

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO CON ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 6 DE LOS GRUPOS
ELECTROGENOS DE LA CENTRAL TÉRMICA IQUITOS**

PRESENTADO POR:

Bach. JHOEL TINTA GUTIERREZ

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

ASESOR:

Mgt. PAOLA LY TRIVEÑO RAMOS

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor PAOLA LY TRIVENO RAMOS.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesistitulada: DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO CON
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 6 DE LOS GRUPOS
ELECTROGENOS DE LA CENTRAL TÉRMICA IQUITOS

Presentado por: JHOEL TINTA GUTIERREZ..... DNI N° 47975979.....;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 13 de OCTUBRE de 2025


Firma

Post firma PAOLA LY TRIVENO RAMOS

Nro. de DNI 41915368

ORCID del Asesor 0000-0002-3693-9293

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:512515109

Jhoel Tinta Gutierrez

TESIS FINAL.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:512515109

Fecha de entrega

13 oct 2025, 8:01 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 oct 2025, 8:05 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL.pdf

Tamaño del archivo

9.6 MB

199 páginas

36.126 palabras

195.330 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
25 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi amada madre, por su dedicación incansable en mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

A mis hermanos, por su apoyo incondicional.

A mi alma mater la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, por la formación académica recibida.

A la empresa Electro Oriente S.A. por las facilidades para el desarrollo de la presente tesis y al área de generación de la Central Térmica Iquitos por las experiencias y conocimientos adquiridos que contribuyeron a la realización de este trabajo.

Agradezco a todos que han colaborado de alguna u otra manera en el presente trabajo y no han sido nombrados.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue diseñar un sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica para mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 a 80 °C en el tanque diario y la tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

El análisis realizado en el tanque diario y tubería de combustible reveló una transferencia de calor de 5,906.18 W y 1,405.29 W respectivamente, valores necesarios para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80 °C. En base a estos datos, se dimensionó un sistema de precalentamiento compuesto por un calentador eléctrico de inmersión de 8 kW para el tanque y un cable calefactor autorregulable de 10 W/ft con 110 m de longitud para la tubería.

Asimismo, se dimensionó un sistema fotovoltaico conectado a red para abastecer el 25 % de la demanda del sistema de precalentamiento. El sistema tiene una potencia instalada de 16,380 Wp y está compuesto por 28 módulos monocristalinos N-Type de 585 Wp ideal para la ubicación del proyecto y un inversor trifásico de 12,000 W.

El sistema de precalentamiento requiere una inversión de S/ 238,814.77. Se proyecta una reducción anual en el consumo de 48,547 galones de diésel B5, los cuales serán reemplazados por petróleo industrial N° 6, equivalente a una reducción de S/ 196,614.80 por año; el análisis económico arrojó un VAN de S/ 640,570.55, una TIR del 59 %, una relación beneficio-coste de 2.09 y periodo de recuperación de 1.69 años.

Palabras clave: Transferencia de calor, petróleo industrial N° 6, sistema de precalentamiento y energía solar fotovoltaica.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design a preheating system using photovoltaic solar energy to maintain the temperature of industrial fuel oil No. 6 at 80 °C in the daily tank and the pipeline leading to the booster unit of the Wartsila 5-6-7 generator sets at the Iquitos Thermal Power Plant.

The analysis performed of the daily tank and fuel pipeline revealed a heat transfer of 5,906.18 W and 1,405.29 W respectively, values necessary to maintain Industrial Oil No. 6 at 80 °C. Based on these data, a preheating system was sized, consisting of an 8 kW electric immersion heater for the tank and a 10 W/ft self-regulating heat trace cable, 110 meters in length, for the pipeline.

Additionally, a grid-connected photovoltaic system was sized to supply 25% of the demand for the preheating system. The system has an installed capacity of 16,380 Wp and consists of 28 N-Type monocrystalline modules of 585 Wp, ideal for the project's location, along with a 12,000 W three-phase inverter.

The preheating system requires an investment of S/ 238,814.77. An annual reduction of 48,547 gallons of B5 diesel is projected, which will be replaced by industrial oil No. 6, equivalent to a cost reduction of S/ 196,614.80 per year. The economic analysis yielded an NPV of S/ 640,570.55, an IRR of 59%, a benefit-cost ratio of 2.09, and a payback period of 1.69 years.

Keywords: Heat transfer, Industrial Oil No. 6, preheating system, photovoltaic solar energy.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, la generación de energía eléctrica mediante grupos electrógenos continúa siendo la fuente principal de abastecimiento en zonas aisladas, como ocurre en el Sistema Eléctrico Aislado de Iquitos; donde la Central Térmica Iquitos abastece una fracción de la demanda de energía eléctrica del sistema, esta central opera con grupos electrógenos que utilizan el petróleo industrial N° 6 como principal combustible, el cual tiene una alta viscosidad a temperatura ambiente, por lo que requiere un precalentamiento para garantizar su bombeo y óptima combustión en los motores.

El sistema de precalentamiento del petróleo industrial N° 6 empleado en la central, aprovecha el calor de los gases de escape de los motores Wärtsilä 5-6-7 para generar el vapor; sin embargo, este sistema depende directamente de la operación de los grupos electrógenos, por lo que, cuando estos grupos se encuentran en modo espera (stand by), el combustible no puede mantenerse a la temperatura requerida. En estas condiciones, durante el reinicio de operación de los grupos electrógenos, es necesario emplear diésel hasta que el petróleo industrial N° 6 alcance la temperatura deseada, esta situación genera incremento en los costos operativos, ya que el diésel es más costoso que el combustible residual.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de proponer soluciones energéticas eficientes, sostenibles y económicamente viables para mantener el combustible a la temperatura requerida. Una alternativa viable es la implementación de calentadores eléctricos alimentados por sistemas fotovoltaicos, esta solución no solo permite reemplazar parte del consumo de diésel por petróleo industrial, lo que se traduce en una reducción de los costos operativos, sino que también permite aprovechar el recurso renovable disponible, contribuyendo a una mayor sostenibilidad en la operación de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN	v
INDICE	vi
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xiv
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvi
CAPITULO I.....	1
1. Generalidades	1
1.1. Ámbito Geográfico.....	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.1.1. Problema General.....	5
1.1.2. Problema Específico	5
1.2. Objetivo	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivo Especifico	6
1.3. Justificación de Estudio	6
1.4. Alcances.....	10
1.5. Limitaciones del Estudio	11
1.6. Hipótesis y Variables	11
1.6.1. Hipótesis General	11
1.6.2. Hipótesis Especifica.....	11
1.7. Variables	12
1.7.1. Variable Independiente	12
1.7.2. Variable Dependiente	12
1.8. Metodología de Investigación	12
1.8.1. Tipo de Investigación	12
1.8.2. Diseño de Investigación.....	12

1.9.	Población y Muestra	12
1.9.1.	Población	13
1.9.2.	Muestra.....	13
1.10.	Métodos y Herramientas para la Recolección de Datos.....	13
1.10.1.	Métodos.....	13
1.10.2.	Instrumentos	13
1.10.3.	Análisis de Datos	13
CAPITULO II		14
2.	Marco teórico	14
2.1.	Antecedentes de Trabajos de Investigación	14
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	14
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	15
2.1.3.	Antecedentes Locales.....	17
2.2.	Bases teóricas.....	17
2.2.1.	Grupos electrógenos.....	17
2.2.2.	Motor de combustión interna.....	18
2.2.2.1.	Sistema de combustible	19
2.2.2.2.	Sistema de aire de sobrealimentación y escape	21
2.2.2.3.	Sistema de generación de vapor.....	22
2.2.2.4.	Petróleo Industrial N° 6	22
2.3.	Intercambiadores de calor	24
2.3.1.	Calentamiento por vapor.....	24
2.3.2.	Calentamiento eléctrico.....	24
2.3.2.1.	Calentamiento directo de líquidos	25
2.3.2.2.	Calentamiento indirecto	25
2.4.	Transferencia de Calor	26
2.4.1.	Primera ley de la termodinámica.....	27
2.4.2.	Mecanismos de transferencia de calor.....	27
2.4.2.1.	Conducción	28
2.4.2.2.	Convección	29
2.4.2.3.	Radiación	30
2.4.3.	Resistencia Térmica	31
2.4.3.1.	Red de resistencias térmicas en superficies cilíndricas.....	33
2.4.4.	Metodología de análisis de problemas de transferencia de calor	34

2.5.	Energía Solar	34
2.5.1.	Sistema de energía solar fotovoltaica	35
2.5.2.	Efecto fotovoltaico.....	35
2.5.3.	Radiación solar	35
2.5.3.1.	Radiación directa	36
2.5.3.2.	Radiación difusa	36
2.5.3.3.	Radiación reflejada o de albedo	36
2.5.4.	La irradiancia solar.....	37
2.5.5.	La irradiación	37
2.5.6.	Hora solar pico (HSP)	37
2.5.7.	Movimiento del sol	38
2.5.7.1.	Orientación (α)	38
2.5.7.2.	Inclinación (β).....	38
2.5.8.	Componentes del sistema fotovoltaico.....	39
2.5.8.1.	Módulos fotovoltaicos.....	39
2.5.8.2.	Tipos de módulos fotovoltaicos	40
2.5.8.3.	Cálculo del generador fotovoltaico de una instalación conectada a la red.....	40
2.5.8.4.	Inversores de corriente	41
2.5.8.5.	Dispositivos de protección.....	42
2.5.8.6.	Cableado	42
2.5.8.7.	Estructuras de soporte de los módulos	43
CAPITULO III.....		44
3.	Cálculo de la Cantidad de Calor.....	44
3.1.	Diagnóstico de la situación actual.....	44
3.2.	Consideraciones previas al análisis	52
3.3.	Análisis de transferencia de calor en tanque diario	52
3.3.1.	Análisis en la superficie cilíndrica.....	56
3.3.2.	Análisis en la superficie superior	59
3.3.3.	Análisis en la superficie sin aislamiento	63
3.4.	Análisis de transferencia de calor en la tubería de combustible	68
3.4.1.	Análisis en la tubería con aislamiento	71
CAPITULO IV		75
4.	Dimensionamiento del sistema de precalentamiento	75

4.1.	Consideraciones previas	75
4.2.	Sistema de precalentamiento para tanque.....	75
4.2.1.	Cálculo de la potencia del calentador.....	75
4.2.2.	Selección del calentador de inmersión.....	76
4.2.3.	Selección del equipamiento de control y sensores.....	78
4.2.3.1.	Sensor de temperatura.	78
4.2.3.2.	Controlador de temperatura	79
4.2.3.3.	Relé de estado sólido (SSR)	81
4.2.3.4.	Transformador	82
4.2.3.5.	Tablero eléctrico	83
4.2.4.	Dispositivos de protección	83
4.2.4.1.	Interruptor termomagnético	83
4.2.4.2.	Interruptor diferencial	83
4.2.5.	Instalación y conexión del sistema de calentamiento	84
4.3.	Sistema de precalentamiento para tubería	85
4.3.1.	Cálculo de la potencia del cable calefactor	86
4.3.2.	Selección del cable calefactor.....	86
4.3.3.	Selección del equipamiento de control.....	93
4.3.3.1.	Sensor de temperatura	93
4.3.3.2.	Controlador de temperatura	94
4.3.3.3.	Accesorios	95
4.3.3.4.	Tablero eléctrico	97
4.3.4.	Dispositivos de protección	97
4.3.4.1.	Interruptor termomagnético	97
4.3.4.2.	Interruptor diferencial	98
4.3.5.	Instalación y conexión del sistema de precalentamiento para tubería.....	98
CAPITULO V		102
5.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	102
5.1.	Consideraciones previas	102
5.2.	Ubicación del proyecto	102
5.3.	Cálculo del consumo energético.....	102
5.3.1.	Hora de operación por día	102
5.3.2.	Hora solar pico.....	105
5.3.3.	Potencia del generador fotovoltaico	106

5.4.	Selección de inversor	107
5.5.	Cálculo de la cantidad de paneles	109
5.5.1.	Angulo de inclinación optima	110
5.5.2.	Arreglo de los paneles fotovoltaicos.....	110
5.5.3.	Selección de soportes de paneles solares	113
5.5.4.	Área ocupada por módulos fotovoltaicos	113
5.5.5.	Cálculo de sección de conductor	114
5.5.5.1.	Conductor módulos fotovoltaicos – inversor	114
5.5.5.2.	Conductor inversor – tablero principal auxiliares	114
5.6.	Dispositivos de protección	115
5.6.1.1.	Fusibles	115
5.6.1.2.	Interruptor termomagnético	115
5.6.1.3.	Interruptor diferencial	115
5.7.	Conexión del sistema fotovoltaico.....	116
CAPITULO VI		117
6.	Análisis del Impacto Económico.....	117
6.1.	Consideraciones previas	117
6.2.	Análisis económico del sistema de precalentamiento	118
6.2.1.	Costos de inversión del sistema de precalentamiento.....	118
6.2.1.1.	Costos de operación y mantenimiento	120
6.2.1.2.	Costos de depreciación.....	122
6.2.2.	Reducción de consumo de combustible.....	123
6.2.3.	Flujos de caja.....	127
6.2.4.	Indicadores económicos de viabilidad.....	128
6.2.4.1.	Valor actual neto (VAN)	128
6.2.4.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	130
6.2.4.3.	Relación Beneficio/Costo (B/C)	131
6.2.4.4.	Período de Recuperación de la Inversión.....	132
CONCLUSIONES		134
RECOMENDACIONES		137
BIBLIOGRAFÍA.....		139
ANEXOS.....		143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista de la Central Térmica Iquitos	1
Figura 2 Consumo diésel B5, petróleo industrial N° 6 y horas de operación de los grupos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos	4
Figura 3 Diagrama de operación actual de los grupos de la Central Térmica Iquitos.....	8
Figura 4 Diagrama de operación deseado de los grupos de la Central Térmica Iquitos	9
Figura 5 Diagrama de tratamiento de petróleo industrial N° 6	19
Figura 6 Diagrama de la unidad alimentadora de combustible	20
Figura 7 Diagrama de la unidad elevadora de combustible	20
Figura 8 Diagrama del sistema de sobrealimentación de aire	21
Figura 9 Diagrama del sistema de gases de escape	21
Figura 10 Diagrama de sistema de vapor.....	22
Figura 11 Límites de viscosidad de operación del combustible de los motores Wärtsilä W18V32 (cSt)	24
Figura 12 Métodos de calentamiento directo	25
Figura 13 Métodos de calentamiento indirecto	26
Figura 14 Conservación de la energía para un volumen de control. Aplicación a un instante...27	
Figura 15 Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A.	28
Figura 16 Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.	29
Figura 17 Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan	30
Figura 18 Representación de la resistencia a la conducción de una pared plana.....	31
Figura 19 Esquema para la resistencia a la convección en una superficie	32
Figura 20 Red de resistencias térmicas para casco cilíndrico sujeto a convección sobre ambos lados	33
Figura 21 Tipos de radiación sobre una superficie	36
Figura 22 HSP de un día equivalente a la irradiación de ese día	37
Figura 23 Orientación e inclinación de un modulo	39

Figura 24 <i>Sección de un módulo fotovoltaico</i>	39
Figura 25 <i>Secciones de conductores comerciales de cobre (mm²)</i>	43
Figura 26 <i>Máxima caída de tensión en los diferentes circuitos</i>	43
Figura 27 <i>Diagrama de flujo del sistema de vapor y combustible de los grupos Wartsila 5-6-7</i> 45	
Figura 28 <i>Diagrama de flujo del sistema de combustible de los grupos electrógenos</i>	47
Figura 29 <i>Componentes considerados del sistema de precalentamiento propuesto (verde)</i>	51
Figura 30 <i>Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie plana superior)</i>	53
Figura 31 <i>Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)</i>	53
Figura 32 <i>Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie sin aislamiento)</i>	54
Figura 33 <i>Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)</i> .	56
Figura 34 <i>Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie plana superior)</i>	60
Figura 35 <i>Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)</i> .	63
Figura 36 <i>Mecanismos de transferencia de calor en la tubería de petróleo industrial N° 6</i>	69
Figura 37 <i>Red de resistencias térmicas de la tubería</i>	71
Figura 38 <i>Especificaciones del modelo – Carcasa resistente a explosiones/humedad</i>	76
Figura 39 <i>Imagen referencial del calentador LTFX</i>	78
Figura 40 <i>Conexiones del controlador de temperatura</i>	80
Figura 41 <i>Guía para selección de disipadores de calor</i>	81
Figura 42 <i>Soporte disipador de calor seleccionado con montaje en panel o riel DIN</i>	82
Figura 43 <i>Instalación de calentador de inmersión tipo brida en tanque</i>	84
Figura 44 <i>Imagen referencial de instalación de sistema de calentamiento en tanque de combustible</i>	84
Figura 45 <i>Conexión del calentador de tanque</i>	85
Figura 46 <i>Características de cables calefactores Chromalox</i>	87

Figura 47 <i>Valores Nominales de Salida Térmica en Tuberías Metálicas Aisladas</i>	88
Figura 48 <i>Unidad alimentadora LFO/HFO</i>	91
Figura 49 <i>Imagen referencial de cable calefactor SRM/E</i>	92
Figura 50 <i>Imagen referencial de sensor e instalación en tubería</i>	94
Figura 51 <i>kit de sellado de extremo</i>	96
Figura 52 <i>Accesorios para fijación del traceado eléctrico</i>	97
Figura 53 <i>Guía para selección del interruptor automático "disyuntor" (longitudes máximas de circuito en ft)</i>	98
Figura 54 <i>Imagen referencial de instalación del cable calefactor</i>	99
Figura 55 <i>Detalle de instalación típica de cable calefactor en tubería</i>	99
Figura 56 <i>Conexión del cable calefactor</i>	101
Figura 57 <i>Horas de operación del sistema de precalentamiento por día</i>	104
Figura 58 <i>Demanda de energía y generación fotovoltaica</i>	105
Figura 59 <i>Potencia del inversor a lo largo del año</i>	107
Figura 60 <i>Arreglo de los paneles solares fotovoltaicos</i>	111
Figura 61 <i>Ejemplo de conexión de módulos solares con técnica de salto de rana</i>	112
Figura 62 <i>Imagen referencial de arreglo y ubicación de paneles en Central Térmica Iquitos</i> ..	112
Figura 63 <i>Imagen referencial de estructura de soporte con panel</i>	113
Figura 64 <i>Conexión del sistema fotovoltaico</i>	116
Figura 65 <i>Etapas en la operación de los grupos electrógenos</i>	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ubicación Geográfica del Trabajo</i>	1
Tabla 2 <i>Condiciones Meteorológicas</i>	2
Tabla 3 <i>Características de los grupos Wartsila 5-6-7</i>	18
Tabla 4 <i>Propiedades físicas y químicas básicas del petróleo industrial N° 6</i>	23
Tabla 5 <i>Análisis de subsistemas para incluir en el sistema de precalentamiento</i>	48
Tabla 6 <i>Análisis de criterios para la selección de tipo de calentamiento</i>	49
Tabla 7 <i>Área de conexiones en superficies de tanque</i>	65
Tabla 8 <i>Características del calentador seleccionado</i>	77
Tabla 9 <i>Características del sensor de temperatura RTD seleccionado</i>	79
Tabla 10 <i>Características del controlador Autonics seleccionado</i>	80
Tabla 11 <i>Características del relé de estado sólido Maxwell seleccionado</i>	81
Tabla 12 <i>Características técnicas de transformador EN-SBK10000 ENERGIT</i>	82
Tabla 13 <i>Características de cable calefactor SRM/E 10-2CT</i>	89
Tabla 14 <i>Longitudes de cable adicionales requeridas para componentes en línea de 2-1/2"</i>	90
Tabla 15 <i>Equivalencias de componentes de la unidad alimentadora</i>	92
Tabla 16 <i>Características del sensor de temperatura RBF185M tipo RTD seleccionado</i>	93
Tabla 17 <i>Características de termostato digital DTS-HAZ seleccionado</i>	95
Tabla 18 <i>Horas de operación de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la CT Iquitos</i>	103
Tabla 19 <i>Consumo energético del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 ..</i>	104
Tabla 20 <i>Irradiancia solar en la Central Térmica Iquitos - (GHI) kWh/m² por día</i>	106
Tabla 21 <i>Características de inversor seleccionado</i>	108
Tabla 22 <i>Características del panel fotovoltaico seleccionado</i>	109
Tabla 23 <i>Producción de energía y consumo de combustible Wartsila 5-6-7</i>	117
Tabla 24 <i>Detalle de costos de inversión de sistema de precalentamiento</i>	118
Tabla 25 <i>Precio de compra de energía</i>	120
Tabla 26 <i>Costo de operación del sistema de precalentamiento (costo de energía)</i>	121

Tabla 27 Depreciación anual del sistema de precalentamiento con energía solar	122
Tabla 28 Costos de los combustibles de los grupos Wartsila 5-6-7	124
Tabla 29 Cantidad de arranques grupos Wartsila 5-6-7 2024	126
Tabla 30 Flujo de caja del sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica.....	128
Tabla 31 Calculo de VAN del sistema de precalentamiento con energía solar	129
Tabla 32 Calculo de VAN del sistema de precalentamiento con energía solar	130
Tabla 33 Cálculo de la relación beneficio costo del sistema de calentamiento con energía solar	132
Tabla 34 Cálculo del período de recuperación de la inversión del sistema de precalentamiento	132
Tabla 35 Resumen de análisis económico del sistema de precalentamiento con y sin energía fotovoltaica.....	133

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Sistema Eléctrico: Conjunto de equipos, instalaciones y dispositivos destinados a la generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica.

Sistema Eléctrico Aislado: Sistema Eléctrico que no se encuentra conectado al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)

Central Térmica: Es una planta industrial que genera electricidad mediante la transformación de la energía térmica de un combustible fósil.

Modo stand by: Estado en el que el grupo electrógeno se encuentra listo para funcionar.

Central base: Central eléctrica, cuya función principal es suministrar energía eléctrica de forma permanente.

Central de reserva: Central eléctrica que tiene la función de sustituir, total o parcialmente, a las centrales de base en las siguientes situaciones: escasez o falta de materias primas (agua, carbón, fuel-oil, etc.).

Potencia efectiva: Potencia neta que puede entregar el grupo electrógeno al sistema eléctrico, después de descontar el consumo propio de los auxiliares.

Potencia contratada: Potencia definida en un contrato y/o acuerdo.

Operación comercial: Fecha a partir de la cual, la planta está en capacidad de iniciar con el suministro dentro del rango de la potencia contratada.

Caldera de recuperación de calor: Máquina que produce vapor o sobrecalentar vapor, aceite térmico o agua, aprovechando el calor de los gases de escape de hornos, turbinas de gas o motores alternativos.

Equipamiento auxiliar: Equipos/sistemas para un fin específico.

Sistema de combustible: Conjunto de equipos/componentes para el transporte, filtrado, calentamiento, presurizado y pulverizado del combustible.

HFO: Heavy fuel oil, combustible de alta densidad y viscosidad, también llamado combustible pesado.

LFO: Light fuel oil, combustible de menor viscosidad que el HFO, también llamado combustible liviano.

Ingreso de grupo electrógeno: Puesta en funcionamiento del grupo electrógeno para comenzar a generar energía eléctrica e inyectar al Sistema Eléctrico.

Centro de control: instalación desde la cual se supervisa, coordina y controla la operación en tiempo real del sistema eléctrico.

Costos variables combustible: Costo directamente asociado al consumo de combustible, clave en el despacho económico.

Viscosidad: Propiedad física de los fluidos que mide su resistencia a fluir.

Pre calentamiento: Proceso mediante el cual se eleva la temperatura del combustible antes de su uso, para reducir la viscosidad, facilitar el bombeo e inyección (atomización durante la combustión).

Máxima demanda: Es el máximo valor de potencia eléctrica requerida por los consumidores en un período de tiempo determinado.

Parada de grupo electrógeno: Detención total o salida de operación del grupo electrógeno.

CAPITULO I

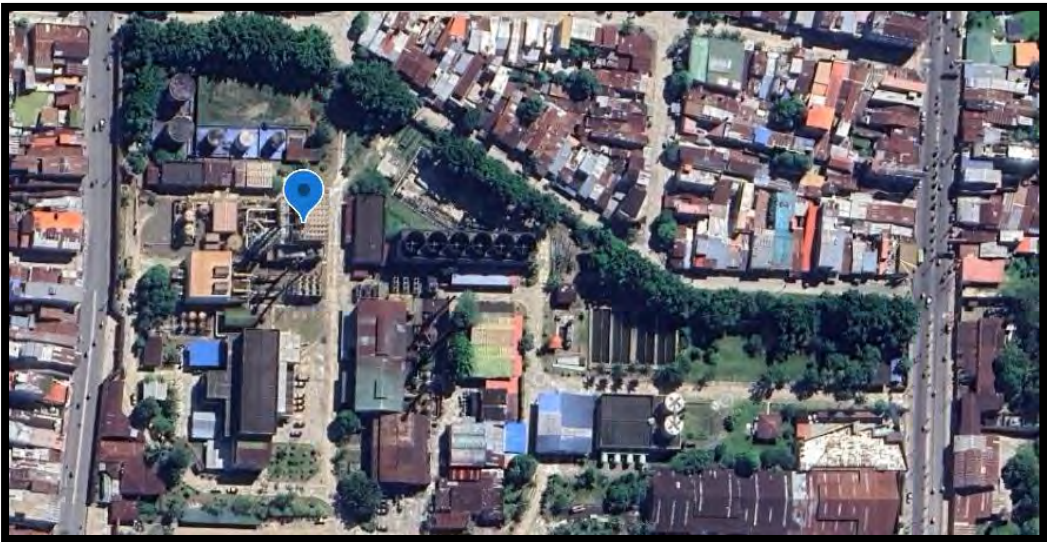
Generalidades

1.1. Ámbito Geográfico

El presente trabajo de tesis se desarrollará en el área de Generación de la Central Térmica Iquitos, ubicado en la Av. Augusto Freyre N° 1168 Distrito de Iquitos, Provincia de Maynas y Departamento de Loreto, según se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Vista de la Central Térmica Iquitos



Nota: Tomado de Google Earth 2025, (<https://earth.google.com/web>)

La ubicación geográfica del proyecto se presenta de manera detallada en la Tabla 1.

Tabla 1

Ubicación Geográfica del Trabajo

Características	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)
Ubicación geográfica	Loreto	Maynas	Iquitos	3°44'08"S (-3.74) 73°14'33"W (-73.24)	93

Nota: Adaptado de Google Earth 2025, (<https://earth.google.com/web>)

La ciudad de Iquitos tiene condiciones meteorológicas como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2

Condiciones Meteorológicas

Característica	Valor
Temperatura máxima promedio	31.54 °C
Temperatura mínima promedio	21.91 °C
Temperatura promedio	26.86 °C

Nota: Adaptado de información *Meteorológica Senahmi 1992-2014*, por Senahmi (2025).

1.2. Formulación del Problema

El Sistema Eléctrico Aislado de Iquitos (SEIA), se abastece actualmente de dos centrales de generación. La primera es la Central Térmica Iquitos Nueva (CTIN) de propiedad de la empresa GenRent del Perú S.A., la cual inició su operación comercial en octubre del 2017, con un contrato de concesión por un periodo de veinte (20) años; la segunda es la Central Térmica Iquitos de propiedad de la empresa Electro Oriente S.A., que cuenta con grupos electrógenos diseñados para operación continua. Hasta el ingreso de la Central Térmica Iquitos Nueva, la Central Térmica Iquitos operó como central base del Sistema Eléctrico, sin embargo, a partir del 2017, ambas centrales son generadoras del Sistema Eléctrico Aislado Iquitos, siendo la Central Térmica Iquitos Nueva la que viene operando como “central base”.

El centro de control de la Central Térmica Iquitos Nueva está a cargo de tomar las decisiones del despacho, racionamiento y otros similares del Sistema Eléctrico Aislado Iquitos (SEAI), esta central se encarga de suministrar casi la totalidad de la demanda de energía eléctrica, por su parte, los equipos de la Central Térmica Iquitos (CTI) solo ingresan a generar a solicitud de la Central Térmica Iquitos Nueva, ya sea por mantenimientos programados, situaciones fortuitas o fallas de sus unidades generadoras.

Los grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos de operación continua, utilizan el petróleo industrial N° 6 como combustible principal y el diésel B5 en situaciones de arranque y apagado, sin embargo, el combustible residual a temperatura ambiente tiene una alta viscosidad y presenta una fuerte resistencia al flujo que impide su uso, por lo que, los grupos electrógenos cuentan con un sistema de calentamiento del petróleo industrial N° 6 que utiliza vapor como fuente de calor; en ese contexto, para la utilización del petróleo industrial N° 6 se requiere un precalentamiento a temperaturas entre 70 a 90 °C ($80 \pm 10^{\circ}\text{C}$) para reducir la viscosidad y poder ser bombeado desde el tanque de almacenamiento “tanque diario” hasta las unidades elevadoras “boosters” previo a su ingreso al motor, la viscosidad recomendada por el fabricante de los motores para la operación es entre 16 a 24 cSt, viscosidad que se obtienen a temperaturas de operación del combustible entre 100 a 130 °C.

El sistema de calentamiento de petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos, está equipado con calderas recuperadoras de calor, estas calderas aprovechan el calor de los gases de escape de los grupos electrógenos en funcionamiento para producir vapor, su funcionamiento depende completamente de la operación del grupo electrógeno, por lo cual, cuando los grupos están en modo stand by, es decir en espera y fuera de funcionamiento, no se dispone de una fuente de calor o sistema de calentamiento; lo que significa que, luego de la parada del grupo electrógeno, la temperatura del petróleo industrial N° 6 de todo el sistema de combustible disminuye gradualmente hasta equilibrarse con la temperatura ambiente que en promedio se encuentra en 26.86 °C.

Cuando la Central Térmica Iquitos Nueva solicita el ingreso de los grupos de Electro Oriente S.A., estos deben operar inicialmente con diésel B5 hasta que el vapor generado permita calentar el petróleo industrial N° 6, proceso que puede prolongarse hasta por 9 horas, dependiendo del periodo de inactividad de los grupos, para luego realizar el cambio de combustible de diésel B5 a petróleo industrial N° 6; en la Figura 2 se muestra los registros de

consumo de combustibles (diésel y petróleo industrial) y horas de operación de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

Figura 2

Consumo diésel B5, petróleo industrial N° 6 y horas de operación de los grupos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos

Ene-2024	COMBUSTIBLE						Hrs.de Operación de Grupos		
	Petróleo industrial N° 6			Diesel B5			Wärts 5	Wärts 6	Wärts 7
FECHA	Wärtsilä 5	Wärtsilä 6	Wärtsilä 7	Wärtsilä 5	Wärtsilä 6	Wärtsilä 7	Wärts 5	Wärts 6	Wärts 7
lun,1-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar,2-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mié,3-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jue,4-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vie,5-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sáb,6-Ene-24	0	0	0	584	0	0	1.58	0	0
dom,7-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lun,8-Ene-24	0	0	0	1,142	0	0	2.73	0	0
mar,9-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mié,10-Ene-24	0	0	0	1,216	0	0	2.70	0	0
jue,11-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vie,12-Ene-24	0	0	0	1,270	0	0	3.18	0	0
sáb,13-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dom,14-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lun,15-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar,16-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mié,17-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jue,18-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vie,19-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sáb,20-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dom,21-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lun,22-Ene-24	0	0	0	4,153	0	0	9.40	0	0
mar,23-Ene-24	0	0	0	3,671	0	0	8.75	0	0
mié,24-Ene-24	813	0	1,718	391	0	1,610	2.95	0	6.85
jue,25-Ene-24	0	0	1,784	18	0	709	0.13	0	6.76
vie,26-Ene-24	601	0	0	529	0	266	2.38	0	0.83
sáb,27-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dom,28-Ene-24	0	0	0	8	0	0	0	0	0
lun,29-Ene-24	0	717	1,950	0	1,255	857	0	3.10	7.58
mar,30-Ene-24	610	1,509	1,785	523	756	1,120	2.94	6.44	7.80
mié,31-Ene-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2,024	2,226	7,238	13,503	2,011	4,561	36.75	9.54	29.82

Nota: El cuadro muestra información del mes enero 2024, tomado de *Balance de Energía enero 2024 Generación*, por Electro Oriente S.A.

En la Figura 2, se muestra el consumo de combustible y las horas de operación de los grupos de la Central Térmica Iquitos, en el mes de enero los días 22 y 23 el grupo Wartsila 5 operó 9.4 y 8.75 horas respectivamente, utilizando solamente diésel B5, el día 24 el grupo Wartsila 7 operó 6.85 horas, empleando diésel B5 y petróleo industrial N° 6; esto evidencia que

ante paradas prolongadas, en este caso de 9 días (desde el día 12 al 19), el tiempo requerido para calentar el sistema de combustible de petróleo industrial N° 6, puede demorar hasta 9.4 horas; por otro lado, ante paradas breves de hasta tres días, el periodo de cambio de combustible de diésel a petróleo industrial es menor, como es el caso de los días 24 y 25; también, en la Figura 2 se muestra de manera representativa el modo de operación actual de la Central Térmica Iquitos, con paradas prolongadas, periodos de operación variable e irregularidad en la frecuencia de ingresos.

La falta de equipamiento para mantener la temperatura media de precalentamiento de 80°C del petróleo industrial N° 6, cuando los grupos electrógenos están en modo stand by, obliga a incrementar los periodos de operación con diésel B5 para calentar el sistema del petróleo industrial N° 6, lo cual trae como consecuencia el incremento en los costos de producción de energía con los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

1.1.1. Problema General

¿Cómo mantener la temperatura de precalentamiento del petróleo industrial N° 6, para los grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos?

1.1.2. Problema Específico

- ¿Cuál es la cantidad de calor requerido para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos?
- ¿Cómo dimensionar un sistema de precalentamiento mediante calentadores eléctricos para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos?
- ¿Cómo dimensionar un sistema fotovoltaico que alimente al sistema de precalentamiento para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario

y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos?

- ¿Cuál es la viabilidad económica de la implementación del diseño del sistema de precalentamiento para petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos?

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica para petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos.

1.2.2. Objetivo Específico

- Calcular la cantidad de calor para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.
- Dimensionar el sistema de precalentamiento con calentadores eléctricos para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico que alimente al sistema de precalentamiento para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7.
- Evaluar la viabilidad económica de la implementación del diseño del sistema de precalentamiento para petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

1.3. Justificación de Estudio

Los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos utilizan el petróleo industrial N° 6 como combustible principal y emplean diésel B5 para los procesos de arranque y

parada; debido a la alta viscosidad del combustible residual a temperatura ambiente, los grupos electrógenos están equipados con calderas recuperadoras de calor, las cuales aprovechan los gases de escape de los grupos electrógenos en funcionamiento para generar el vapor y calentar el sistema de combustible; así mismo, cuando los grupos están en modo stand by, es decir en espera y fuera de funcionamiento, no se dispone de una fuente de calor o sistema de calentamiento que funcione de manera independiente del vapor producido por las calderas recuperadoras de calor; como consecuencia, luego de la parada del grupo eléctrico, la temperatura del petróleo industrial N° 6 de todo el sistema de combustible disminuye gradualmente hasta equilibrarse con la temperatura ambiente que en promedio se encuentra en 26.86 °C.

En la operación actual, cuando la Central Térmica Iquitos Nueva solicita el ingreso de los grupos Wartsila 5-6-7 de Electro Oriente S.A., luego del arranque estos deben operar inicialmente con diésel B5 hasta que el vapor generado en las calderas recuperadoras de calor permita calentar el petróleo industrial N° 6, proceso que puede extenderse hasta por 9 horas, dependiendo del periodo de inactividad de los grupos, una vez alcanzado la temperatura de precalentamiento de 80 °C, se procede al cambio de combustible de diésel B5 a petróleo industrial N° 6 para continuar con la operación.

Por otro lado, se observa una tendencia creciente en la generación con los grupos Wartsila 5-6-7, como respuesta al crecimiento sostenido de la demanda de energía del Sistema Eléctrico Aislado Iquitos y a la capacidad limitada de la Central Térmica Iquitos Nueva. De acuerdo con información de Electro Oriente S.A., en los años 2022, 2023 y 2024, el Sistema Eléctrico Aislado Iquitos registró máximas demandas de 62.50 MW, 67.471 MW y 72.664 MW respectivamente; en esos mismos años, la participación de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 fue de 1.32 %, 2.55 % y 4.47 % del total de la demanda de energía.

En ese contexto, se prevé el incremento de horas de operación de los grupos Wartsila 5-6-7, lo que incrementará el consumo de combustible y con el actual sistema de calentamiento, la

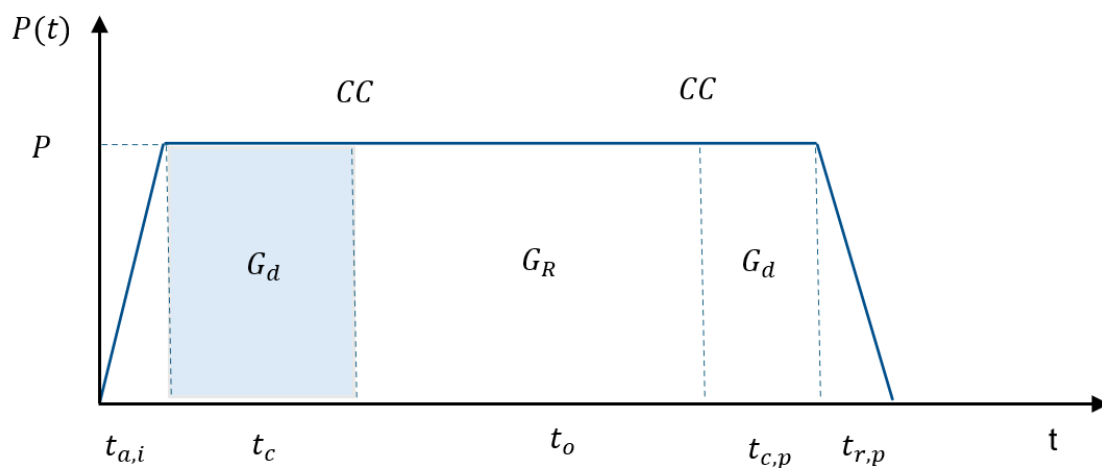
proporción de consumo de diésel B5 en relación con el petróleo industrial N° 6 permanecerá elevada. Esta situación compromete la sostenibilidad económica y operativa de la generación de la empresa Electro Oriente, además de afectar negativamente en la rentabilidad de empresa; y podría poner en riesgo el suministro de energía al Sistema Eléctrico Aislado Iquitos frente a las indisponibilidades de la Central Térmica Iquitos Nueva.

Por lo cual, se propone un sistema de precalentamiento, mediante calentadores eléctricos abastecidos parcialmente con energía solar fotovoltaica, con la finalidad de mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7.

El sistema de precalentamiento propuesto permitirá reemplazar gran parte del periodo de operación con diésel por petróleo industrial N° 6, específicamente en el tiempo de calentamiento (t_c); en la Figura 3 se visualiza la secuencia en la operación desde el arranque, calentamiento del combustible (R6), cambio de combustible, operación con petróleo industrial N° 6, cambio de combustible y parada de un grupo electrógeno.

Figura 3

Diagrama de operación actual de los grupos de la Central Térmica Iquitos



Nota. Elaboración propia, eje "X" tiempo, eje "Y" potencia.

Donde:

$t_{a,i}$: Tiempo de arranque e incremento de carga

t_c : Tiempo de calentamiento del sistema de combustible R6

t_o : Tiempo de operación con petróleo industrial N° 6

$t_{c,p}$: Tiempo de cambio de combustible para parada

$t_{r,p}$: Tiempo de reducción de carga y parada

G_d : Consumo de diésel B5

G_R : Consumo de petróleo industrial N° 6

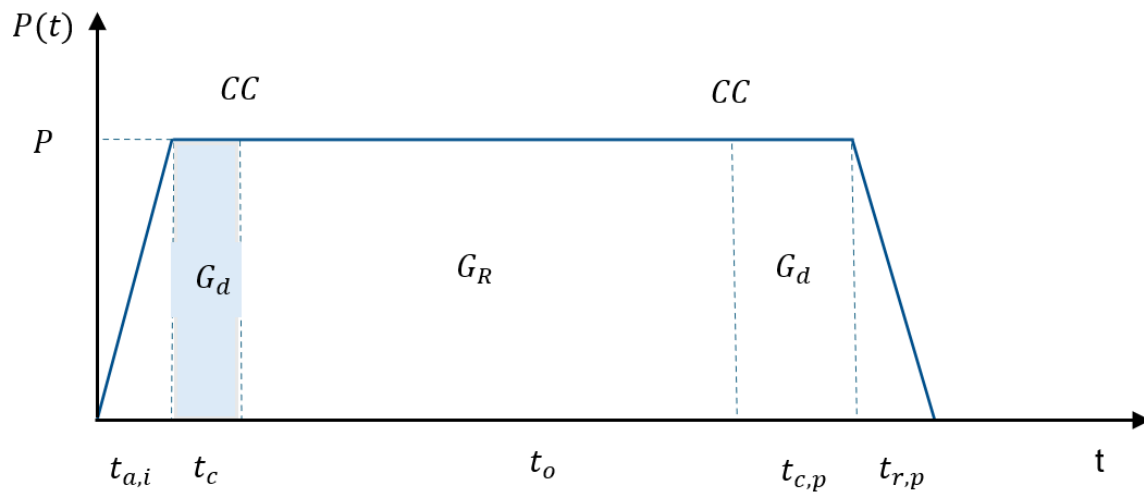
CC : Cambio de combustible

P : Potencia efectiva de la unidad generadora

Con la disminución del periodo de calentamiento de combustible (t_c) durante el cual se utiliza diésel, se prevé que la secuencia de operación será como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Diagrama de operación deseado de los grupos de la Central Térmica Iquitos



Nota. Elaboración propia, eje "X" tiempo, eje "Y" potencia.

La reducción del periodo de calentamiento del combustible (t_c) incrementará el periodo de operación con petróleo industrial (t_o), es decir, el tiempo que se deje de operar con diésel B5 se operará con petróleo industrial N° 6.

La implementación del diseño de un sistema de precalentamiento para el petróleo industrial N° 6, complementará al sistema de calentamiento por vapor actualmente existente, este nuevo sistema funcionará exclusivamente cuando los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 se encuentren en modo espera (stand by) y dejará de funcionar cuando estos entren en operación, garantizando que en todo momento el petróleo industrial N° 6 mantenga la temperatura requerida de precalentamiento en tanque diario y tubería hasta la unidad de incremento de presión.

De esta manera, frente a las solicitudes de la Central Térmica Iquitos Nueva para el ingreso de grupos de la Central Térmica Iquitos, se logrará sustituir parte de los periodos de operación con diésel B5 (periodo para el calentamiento del petróleo industrial), por operación con petróleo industrial N° 6, lo cual permitirá una reducción en los costos de producción de energía eléctrica, debido a que el costo por galón del diésel B5 en el 2024 fue en promedio 45 % más que el petróleo industrial N° 6; garantizando de esta forma la sostenibilidad de la operación y mantenimiento de sus unidades de generación, y la continuidad del suministro de energía al Sistema Eléctrico Aislado Iquitos.

1.4. Alcances

- El presente trabajo de tesis será aplicado en el sistema de petróleo industrial N° 6 en la Central Térmica Iquitos.
- Se realizará el cálculo de la cantidad de calor, la selección de los calentadores eléctricos, el dimensionamiento y configuración del sistema fotovoltaico para mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 a 80° C en el tanque diario de 120 m³ y la tubería hasta la unidad de incremento de presión de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

- Se realizará la evaluación de la viabilidad económica de la implementación del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 propuesto.

1.5. Limitaciones del Estudio

- El sistema de precalentamiento del petróleo industrial N° 6, será diseñado exclusivamente para el modo de operación stand by de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7; no considera el precalentamiento del combustible cuando los mencionados grupos estén en operación.
- El sistema de precalentamiento del petróleo industrial N° 6, será diseñado específicamente para los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7; no considera el precalentamiento del combustible para los demás grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos.
- El sistema de precalentamiento para el petróleo industrial N° 6, estará diseñado únicamente para mantener la temperatura del combustible a 80 °C, una vez que este haya alcanzado ese valor con el sistema de calentamiento a vapor existente.
- No se realizará cálculos de las uniones soldadas o refuerzos asociados con la instalación del calentador de inmersión en el tanque diario, debido a que el trabajo está enfocado en el diseño térmico y funcional del sistema de precalentamiento.

1.6. Hipótesis y Variables

1.6.1. Hipótesis General

El diseño del sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica permitirá mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos de la Central Térmica Iquitos.

1.6.2. Hipótesis Específica

- El cálculo del calor permitirá determinar la cantidad necesaria para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80 °C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

- El dimensionamiento del sistema de precalentamiento mediante calentadores eléctricos permitirá mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.
- El dimensionamiento del sistema fotovoltaico permitirá alimentar al sistema de precalentamiento para mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 a 80°C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.
- El análisis económico de la implementación del diseño del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos, permitirá evidenciar la viabilidad económica del trabajo.

1.7. Variables

1.7.1. Variable Independiente

Sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica

1.7.2. Variable Dependiente

Temperatura del petróleo industrial N° 6

1.8. Metodología de Investigación

1.8.1. Tipo de Investigación

La clase de investigación que caracteriza al presente trabajo es una investigación aplicada, debido a que está orientada a resolver un problema específico.

1.8.2. Diseño de Investigación

El método de investigación a emplear para el presente trabajo será el Método de Modelos Cuantitativos (selección de un sistema de calentamiento del petróleo industrial N° 6 mediante energía solar fotovoltaica), porque en el desarrollo del presente trabajo se realizarán cálculos para determinar un equipamiento con alimentación mediante energía solar.

1.9. Población y Muestra

1.9.1. Población

Como población de datos para la información correspondiente, se ha seleccionado la ciudad de Iquitos.

1.9.2. Muestra

Por las características del trabajo, se ha seleccionado y tomado muestras de la Central Térmica Iquitos

1.10. Métodos y Herramientas para la Recolección de Datos

1.10.1. Métodos

Los principales métodos que se empleara en la investigación son:

Trabajo de campo y gabinete

- Recolección de diagramas de flujo de sistemas involucrados
- Recolección de fichas técnicas de equipamiento del sistema de combustible
- Recolección de datos de operación del sistema eléctrico

Trabajos de tecnología

- Características meteorológicas (irradiación)

1.10.2. Instrumentos

Procesamiento numérico: análisis numérico

1.10.3. Análisis de Datos

La información recolectada en la Central Térmica Iquitos se evaluará, analizará y procesará. El procesamiento de los datos se realizará con herramientas numéricas de análisis, para determinar la cantidad de calor, capacidad del calentador eléctrico y el cálculo del sistema fotovoltaico, para lo cual se emplearán algunas herramientas informáticas como Excel, NASA POWER, entre otros.

CAPITULO II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de Trabajos de Investigación

Para este trabajo de tesis, se han tomado como referencia trabajos realizados por otros investigadores, enfocados a reducir costos operativos mediante la incorporación de energías renovables en sus procesos para la generación de energía eléctrica y soluciones para el calentamiento de combustible en plantas de generación con combustible pesado.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Gómez (2022), en la tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE FUEL OIL PESADO (HFO) BASADO EN ENERGÍA SOLAR PARA OPTIMIZAR RECURSOS EN LA TERMOELÉCTRICA CELEC - EP CENTRAL SANTA ELENA II” Santa Elena – Ecuador, el propósito de la investigación fue diseñar un sistema de precalentamiento para “Fuel Oil Pesado” (HFO) sustentado con energía solar empleando herramientas CAD 3D el cual contribuya a la observación de su funcionamiento adecuado incrementando la eficiencia de los recursos en la Termoeléctrica CELEC – EP Central Santa Elena II; debido a que cuando a la Central Termoeléctrica se le solicita generar, normalmente le toma un tiempo en torno a 6 horas a fin de alcanzar las condiciones requeridas del combustible Fuel Oil Pesado, en el lapso de ese periodo generan con diésel, siendo este combustible 75% más costoso que el Fuel Oil Pesado, luego se realiza el cambio, ya que el fuel oil pesado requiere una temperatura óptima para lograr el nivel adecuado de viscosidad, consiguiendo así transportarse desde los tanques de almacenamiento hacia los motores, con la finalidad de iniciar la generación de energía eléctrica.

Concluyo que la implementación del sistema de precalentamiento podría generar mejoras significativas en la eficiencia operativa de la planta, optimizando recursos y promoviendo el uso de energía sostenible. El análisis de prefactibilidad indicó que la inversión inicial en el sistema se vería compensada por los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos y el impacto ambiental positivo.

Santos (2018), en la tesis “ELABORACION DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BASE AL CALENTAMIENTO DE LOS TANQUES DE HFO PARA LA OPERACIÓN DE LOS MOTORES HYUNDAI DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA SANTA ELENA II, DE LA EMPRESA CELEC EP, UBICADA EN EL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA” Santa Elena – Ecuador, el problema surge cuando la Central Santa Elena II requiere generar energía eléctrica demora en tiempo promedio de 5 horas a su máxima capacidad de producción, existiendo una demora de 10 horas hasta conseguir la estabilidad debido al calentamiento de los tanques de HFO (Fuel Oil) por tener elevada densidad y concentración, el equipamiento de calentamiento no suministra las características usuales de producción, ni tampoco en ocasiones en los que la central este fuera de funcionamiento. Por lo cual el objetivo del trabajo de investigación es implementar calderas eléctricas que aceleran el calentamiento de HFO (Fuel Oil) de los tanques para optimizar el funcionamiento de los motores Hyundai, en la Central Térmica Santa Elena II; de suma importancia el desarrollo de la propuesta, cuyo propósito es reducir los periodos de calentamiento de los tanques de HFO (fuel oil), se estima lograr en un promedio de 60 minutos el calentamiento de combustible con los nuevos intercambiadores de calor, entregando al fuel oil las condiciones necesarias que requiere los motores Hyundai. El autor concluyo que, la implementación de las calderas eléctricas puede reducir significativamente los tiempos de calentamiento del fuel oil, aumentar la capacidad de producción, también ofrecer un retorno económico viable a mediano plazo, según el análisis financiero.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bellota (2018), en la tesis de maestría “Proceso de Generación de Energía Eléctrica a partir de Energía Solar para uso Industrial Caso: Planta de Secado de Mineral No Metálico” Arequipa, la problemática fue los elevados costos de transporte de mineral tierras de diatomea, desde la planta de extracción hasta la planta del cliente; el mineral tiene la característica de absorber y almacenar grandes cantidad de agua, que es complicado eliminar por medios

naturales, en promedio el mineral contiene una humedad del 60%; por lo cual, el propósito fue detallar la secuencia de generación de electricidad con energía solar para aplicación industrial, caso: Planta de secado de Mineral No Metálico en el Distrito de la Joya – Arequipa, así como, examinar la factibilidad y valorar el proceso sugerido para la generación de energía eléctrica mediante energía solar. El estudio analizó y modeló un sistema fotovoltaico que incluyó el uso de redes neuronales para optimizar el punto de máxima potencia, empleó modelado matemático y simulaciones en Matlab. Los resultados mostraron que la demanda mensual de energía de la planta es de 3,019.20 kWh, lo que requiere la instalación de 243 paneles fotovoltaicos de 260W y 216 baterías de 24V; una de las conclusiones de la investigación, indica que el proceso de generación de energía eléctrica utilizando energía solar en el distrito de la Joya - Arequipa, si es factible, no solo desde la perspectiva técnica, sino que también desde las dimensiones económica y ambiental.

López (2019), en la tesis “IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA ELECTRIFICACION DE LA EMPRESA VIETTEL PERU S.A.C., EN ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO, 2019” Huancayo, indica que una de las mayores dificultades que enfrentan las empresas del sector telecomunicaciones en general, es la alimentación de energía eléctrica de sus estaciones base celular, debido a que en gran parte están ubicadas en zonas apartadas, con difícil acceso y geografía irregular, ocasionando dificultades técnicas, ambientales, sociales y económicas cuando son ejecutadas. El objetivo es determinar la influencia del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico aislado en la electrificación de estaciones base celular de Viettel Perú S.A.C. en zonas rurales de la provincia de Huancayo, se propone el empleo de la energía solar como fuente para la electrificación de las estaciones base celular y su impacto frente a un sistema convencional.

El autor empleó modelos matemáticos, software PVsyst, bases de datos (NASA, mapa solar del Perú - SENAMHI), así mismo, según los resultados obtenidos de los análisis económicos, técnicos y ambientales, desarrollados en la tesis, concluye que la instalación de un

sistema fotovoltaico aislado tiene un impacto positivo en la electrificación de las estaciones base celular de la empresa Viettel Perú S.A.C en las áreas rurales de la provincia de Huancayo.

2.1.3. Antecedentes Locales

Hervias (2018), en la tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR AGUA POTABLE A LA POBLACION DE MAYNAS – PERÚ”, indica que el trabajo se realizó para diseñar un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar a través de paneles fotovoltaicos, a fin de abastecer de agua salubre a la población de Maynas – Loreto. En el trabajo se llevó a cabo una preevaluación previa al desarrollo del diseño, destacando las características particulares de la zona, para demostrar la factibilidad del proyecto. También se estableció la irradiación del área geográfica durante un año típico utilizando los datos de la Nasa; además se calculó la potencia de la bomba, mediante la mecánica de fluidos y determinación de la insolación de la bomba para analizar el régimen adecuado de bombeo. Se seleccionó y dimensionó las tuberías a emplear, con el propósito de brindar sostenibilidad durante los años de vida del sistema.

Los resultados del autor señalan que, el trabajo de tesis mejoró el acceso al agua potable para las familias beneficiarias, contribuyendo a una reducción en enfermedades relacionadas con la calidad del agua; además, un sistema de bombeo solar fotovoltaico presenta una solución técnica y económicamente viable en comparación con un sistema basado en diésel; así mismo, el sistema solar demostró menor impacto ambiental y mayores beneficios económicos a largo plazo

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Grupos electrógenos

AutoSolar (2025) indica que un grupo electrógeno, es un equipo que tiene la función de convertir la energía mecánica en energía eléctrica, se encuentra compuesto por un motor de combustión interna y un alternador acoplados en una base.

UNIMAQ (2025) indica que los grupos electrógenos pueden emplearse como respaldo de energía en cortes, como suministro principal zonas sin acceso a la red eléctrica, como soporte de eventos temporales (emergencias, ferias, etc.) y para estabilización del voltaje en equipos sensibles, evitando daños por fluctuaciones de corriente.

La Central Térmica Iquitos, cuenta con una variedad de grupos electrógenos a diésel B5/petróleo industrial N° 6, en la Tabla 3 se detallan las principales características de los grupos electrógenos, a los que se integrará el sistema de precalentamiento propuesto.

Tabla 3

Características de los grupos Wartsila 5-6-7

Grupo electrógeno	Warsila 5	Wartsila 6	Wartsila 7
Motor			
Modelo	W18V32	W18V32	W18V32
Potencia nominal	8,100 kW	8,100 kW	8,100 kW
Potencia efectiva	7,800 kW	7,800 kW	7,800 kW
RPM	720	720	720
Sentido de giro	Horario	Horario	Horario
Numero de cilindros	18	18	18
Disposición de cilindros	“V”	“V”	“V”
Diámetro de cilindro	320 mm	320 mm	320 mm
Carrera	400 mm	400 mm	400 mm
Tipo de combustible	Petróleo industrial N° 6/diésel	Petróleo industrial N° 6/diésel	Petróleo industrial N° 6/diésel
Generador			
Modelo	AVK DIG 167 g/10	AVK DIG 167 g/10	AVK DIG 167 g/10
Salida	9,878 KVA	9,878 KVA	9,878 KVA
Factor de potencia	0.8	0.8	0.8
Tensión	10,500 V	10,500 V	10,500 V
Intensidad	543 A	543 A	543 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Peso (grupo electrógeno)	133,300 kg	133,300 kg	133,300 kg

Nota: Adaptado de *Manual de instrucciones de motor*, por Wärtsilä (2013).

2.2.2. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna es una maquina térmica capaz de transformar la energía térmica almacenada en un fluido combustible en energía mecánica, proporcionando un trabajo (Gonzáles, 2012, p. 2)

Wärtsilä (2013b) indica que los equipos auxiliares suministran combustible, aceite de lubricación, aire comprimido, agua refrigerante y aire de sobrealimentación al motor, estos equipos son fundamentales para el funcionamiento del motor.

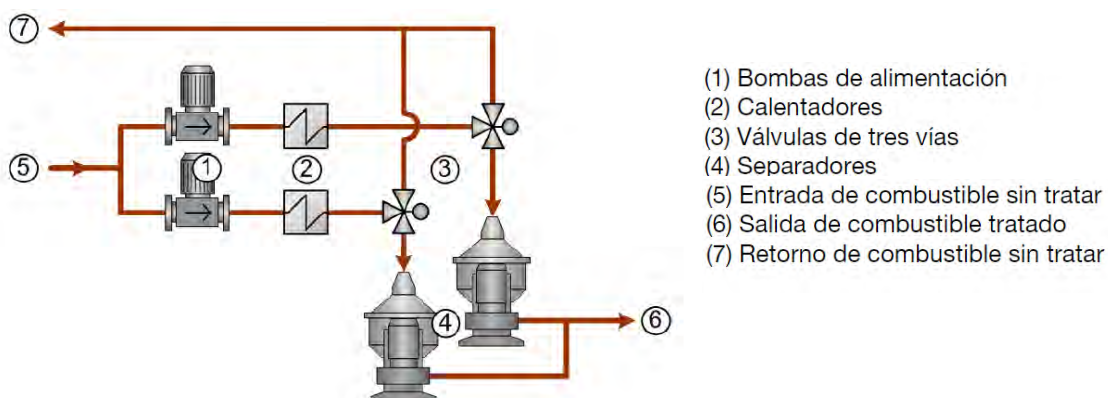
2.2.2.1. Sistema de combustible

Proporciona combustible limpio al motor con la temperatura y presión adecuada, el motor se puede poner en marcha con HFO o LFO. El HFO se usa como combustible principal y el LFO se usa en situaciones de arranque y apagado, y como combustible de seguridad.

- **Almacenamiento de combustible**, los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 cuentan con un tanque de sedimentación (HFO) y un tanque diario (HFO), así mismo, cuenta con un tanque de almacenamiento de diésel B5 (LFO).
- **Tratamiento de combustible**, Antes de que el petróleo industrial entre en el tanque diario, se trata en la unidad de separación, donde se eliminan las impurezas y el agua; en la Figura 5 se muestra el diagrama de tratamiento del petróleo industrial N° 6.

Figura 5

Diagrama de tratamiento de petróleo industrial N° 6

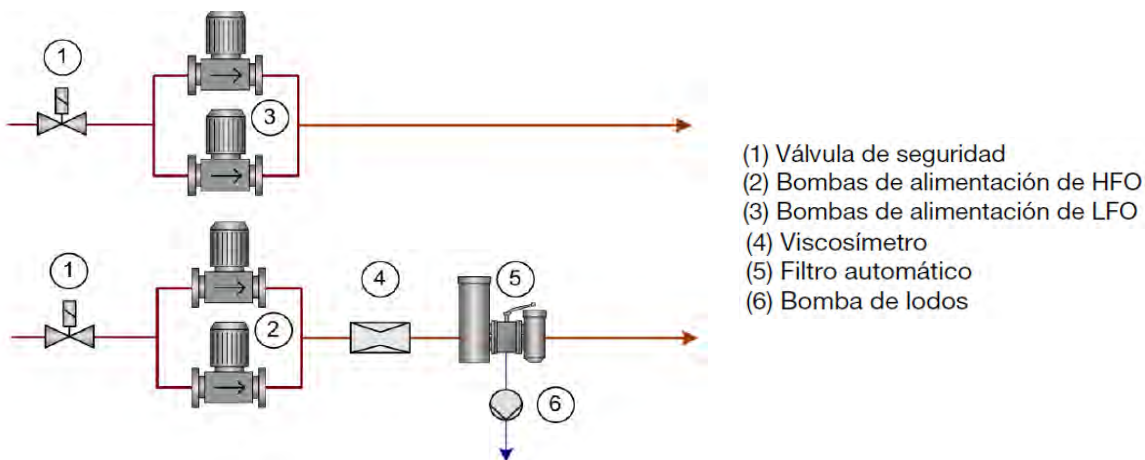


Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

- **Alimentación de combustible HFO/LFO**, la unidad alimentadora o “feeder” suministra petróleo industrial y diésel, procedente de los depósitos de combustible hasta la unidad elevadora; en la Figura 6 se muestra el diagrama de la unidad alimentadora.

Figura 6

Diagrama de la unidad alimentadora de combustible



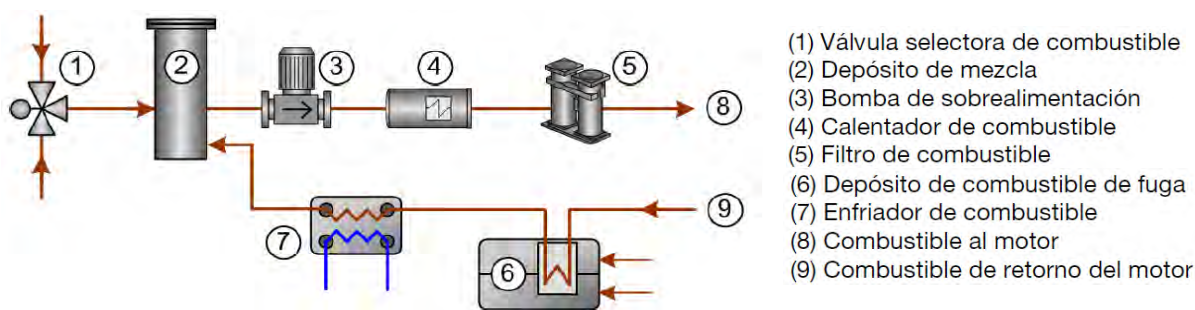
Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

Las tuberías de HFO y lodos están calefactados por tubería acompañante de vapor.

- **Sobrealimentación de combustible LFO/HFO**, la unidad elevadora o “booster” suministra al motor combustible con la presión y temperatura adecuada. En la Figura 7 se muestra el diagrama de la unidad elevadora.

Figura 7

Diagrama de la unidad elevadora de combustible



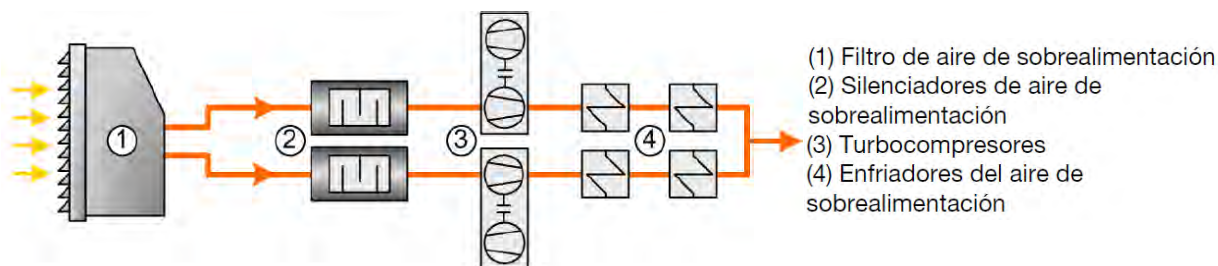
Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

2.2.2.2. Sistema de aire de sobrealimentación y escape

Suministra aire de combustión limpio al motor, en la Figura 8 se muestra el diagrama del sistema de sobrealimentación de aire.

Figura 8

Diagrama del sistema de sobrealimentación de aire

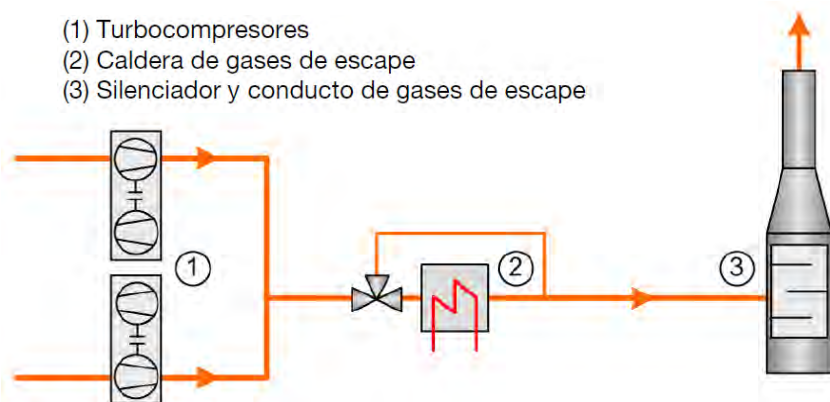


Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

El sistema de gases de escape conduce los gases de escape hasta fuera de la planta eléctrica y reduce el ruido. Tras dejar los turbocompresores, los gases de escape del motor circulan por una caldera de gases de escape para recuperar el calor, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Diagrama del sistema de gases de escape



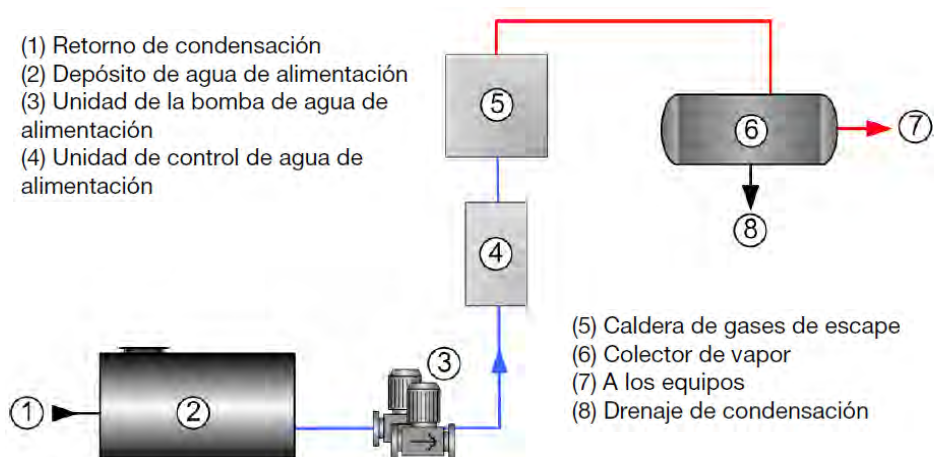
Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

2.2.2.3. Sistema de generación de vapor

El vapor se produce a través de la recuperación de calor procedente de los gases de escape de los motores, el vapor generado se conduce a un colector de vapor, de donde se distribuyen a los equipos del sistema de combustible y otros de la central que lo requieren. En la Figura 10 se muestra el diagrama de sistema de vapor con sus principales componentes.

Figura 10

Diagrama de sistema de vapor



Nota: Tomado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013a).

2.2.2.4. Petróleo Industrial N° 6

El petróleo industrial N° 6, también referido como Bunker C, es un petróleo residual de alta viscosidad, utilizando mayormente en hornos industriales y comerciales. Requiere precalentamiento en el tanque de almacenamiento para permitir su bombeo y calentamiento adicional en el quemador para su atomización (NTP 321.002 Petróleo y Derivados. Petróleos industriales. Especificaciones, 2001, p. 10).

Composición

Mezcla compleja de hidrocarburos derivados del petróleo de alta viscosidad, cuya composición consta de cadenas carbonadas que contienen aprox. entre 12 y 50 carbonos C_{12} – C_{50} (Ficha de Datos de Seguridad - Petróleo Industrial N° 6, 2019, p. 2).

Propiedades técnicas

- Mayor poder calorífico, esencial para determinar el balance energético.
- Baja concentración de azufre, que reduce las complicaciones de corrosión en el sistema de combustión.
- Muy baja proporción de sedimentos y agua, evitando la saturación de filtros y boquillas de quemadores (Petroperú, 2025, párr. 2).

En la Tabla 4, se presentan las principales propiedades físicas y químicas del petróleo industrial N° 6.

Tabla 4

Propiedades físicas y químicas básicas del petróleo industrial N° 6

Información sobre propiedades físicas y químicas básicas	
Aspecto	Líquido aceitoso y viscoso
Olor	Característico
Color	Negro
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	PIE: 220 °C, PE (50%): 528 °C
Punto de inflamación	65,5 °C mín. (ASTM D-93)
Densidad	0.970 g/cm ³ a 15 °C (ASTM D-287)
Solubilidad(es)	En disolventes del petróleo
Temperatura de autoinflamación	408 °C
Viscosidad	(50 °C) 92 - 638 cSt (ASTM D-445)

Nota. Adaptado de *Ficha de Datos de Seguridad Petróleo industrial 6* (p. 8), por Repsol (2016).

Wärtsilä (2013a) indica que el motor Wärtsilä fue diseñado para que pueda operar con combustible pesado o residual con una viscosidad máxima de 700 cSt a 50°C (aprox. 55 cSt a 100°C) y también opera de forma satisfactoria con combustibles mezclados (intermedios) de viscosidad inferior, así como con combustible destilado. Por otro lado, recomienda no usar combustibles con una viscosidad de inyección inferior o superior a los valores de la Figura 11.

Figura 11

Límites de viscosidad de operación del combustible de los motores Wärtsilä W18V32 (cSt)

Tipo de motor	Combustible	
	Combustible ligero (LFO), min	Combustible pesado (HFO)
Wärtsilä 32	2,0	16 - 24

Nota: Tomado de *Manual de instrucciones de motor*, por Wärtsilä (2013a).

La viscosidad del combustible en la operación del grupo electrógeno es fundamental, no solo para la operación eficiente y mayor aprovechamiento del poder calorífico del combustible, sino que también garantiza la vida útil de los componentes críticos del sistema de combustible.

Wärtsilä (2013a) señala que el empleo de combustibles con una viscosidad de inyección demasiado baja puede ocasionar que se agarrote el embolo de la bomba de inyección o la boquilla de inyección y, además, que aumenten las fugas de combustible en la bomba de inyección, lo que ocasiona que aumente el consumo de combustible, que disminuya el rendimiento del motor y que incremente el riesgo de que haya cavitación en el sistema de combustible.

2.3. Intercambiadores de calor

Cengel (2007) señala que, los intercambiadores de calor son equipos que favorecen el intercambio de calor entre dos fluidos que están a temperaturas diferentes; la transferencia de calor normalmente comprende convección en cada fluido y conducción a través de la pared que los separa.

2.3.1. Calentamiento por vapor

TLV (2025) indica que, el vapor atraviesa sobre el área de transferencia de calor del intercambiador de calor y el calor del vapor se transfiere al fluido que se está calentando, de esta manera, el vapor no entra en contacto directo con la sustancia que se calienta.

2.3.2. Calentamiento eléctrico

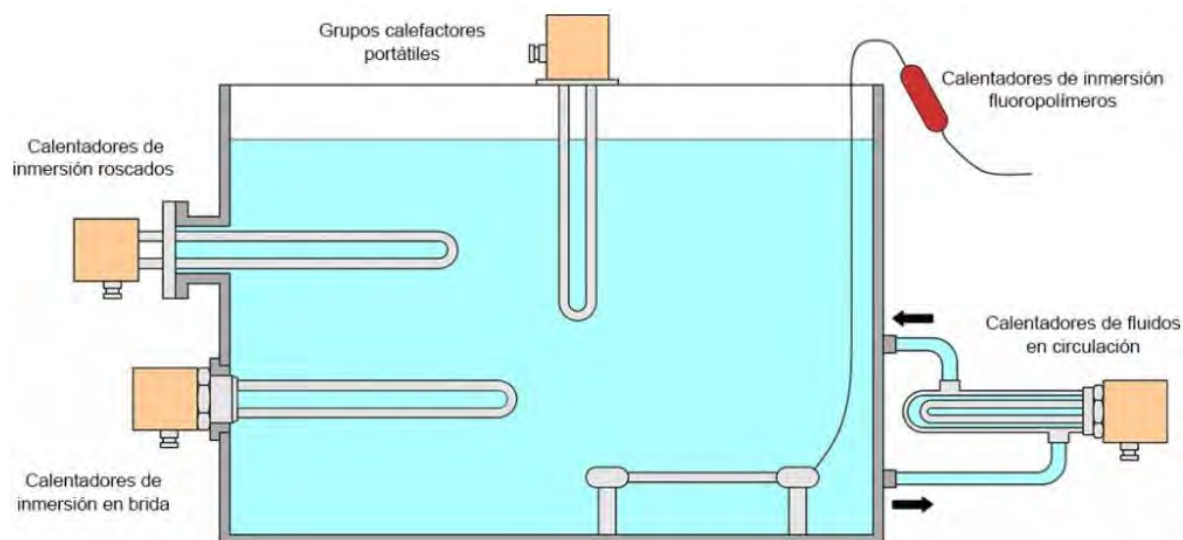
Los calentadores eléctricos, son equipos que convierten la energía eléctrica en calor mediante el principio de Joule, también llamado “calefacción óhmica”, proceso que genera calor cuando se atraviesa corriente eléctrica a través de un conductor.

2.3.2.1. Calentamiento directo de líquidos

El calentamiento de un líquido por convección natural (fluido estático) o convección forzada (fluido en circulación) se lleva a cabo por resistencias eléctricas en contacto directo con el fluido (Vulcanic, 2025, párr. 1).

Figura 12

Métodos de calentamiento directo



Nota. Tomado de *Calentar líquidos*, por VULVANIC (<https://www.vulcanic.com/es/calentamiento-liquidos/>)

Calentadores de Inmersión

Según Chromalox (2025), los calentadores de inmersión industriales se emplean para el calentamiento por contacto directo de fluidos (agua, aceites, materiales viscosos, solventes, soluciones de proceso y gases); a causa de que todo el calor se genera dentro del fluido, se obtiene prácticamente la totalidad de eficiencia energética.

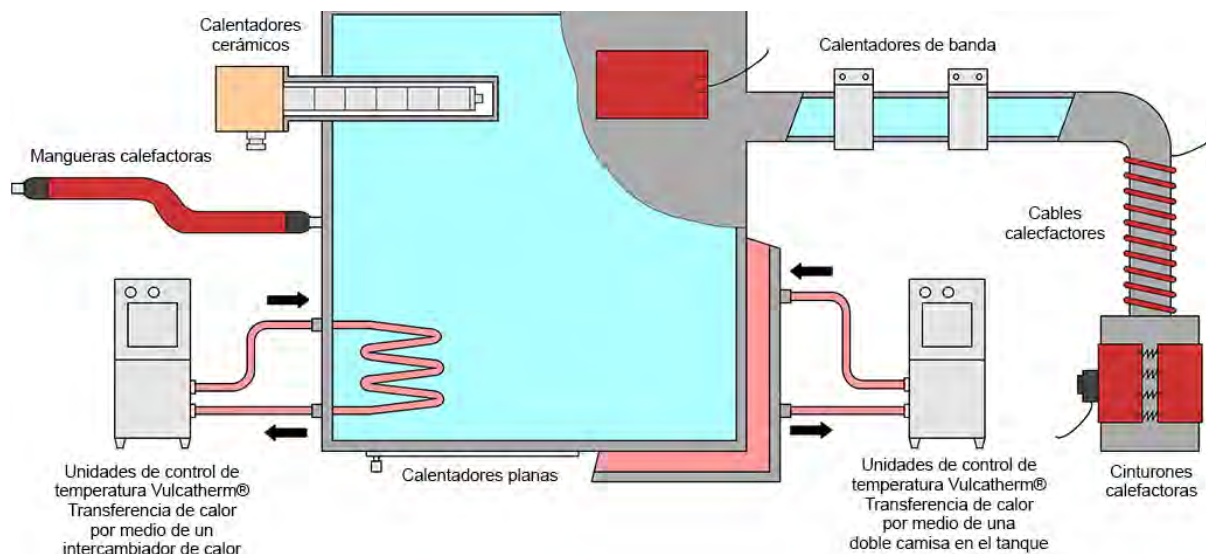
2.3.2.2. Calentamiento indirecto

Según Vulcanic (2025), el calentamiento del líquido es a través de paredes de un tanque, tuberías o una funda. La fuente de calor no está en contacto directo con el fluido.

En la Figura 13 se ilustran los métodos de calentamiento indirecto.

Figura 13

Métodos de calentamiento indirecto



Nota. Tomado de *Calentar líquidos*, por VULVANIC (<https://www.vulcanic.com/es/calentamiento-liquidos/>)

Cables calefactores

Los cables calefactores autorregulantes limitan su potencia en función de la temperatura que se requiere mantener, los cables trabajan con un sensor de temperatura o un termostato para reducir la utilización de energía. Por otro lado, los cables calefactores de potencia constante calientan de manera continua, independientemente de la temperatura a mantener, lo que requiere un sistema de control de temperatura.

2.4. Transferencia de Calor

Cengel (2007) indica que la energía se puede transferir desde o hasta una masa dada, por dos mecanismos: *calor* Q y *trabajo* W . La transferencia de calor se produce si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura, caso contrario, es trabajo; así mismo, la energía de

un sistema se reduce cuando realiza trabajo y se incrementa cuando se realiza trabajo sobre él. Por lo cual, se denomina a la energía térmica como calor y a la transferencia de energía térmica como transferencia de calor. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se representa por $\dot{Q}$.

2.4.1. Primera ley de la termodinámica

Cengel (2007) indica que, la primera ley de la termodinámica, conocida como el principio de conservación de la energía, indica que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo puede transformarse.

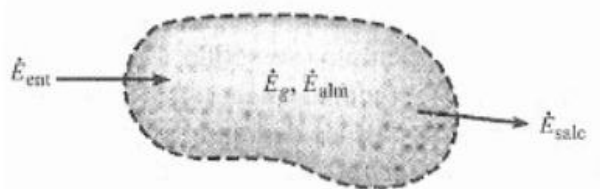
En un instante de tiempo, la velocidad a la que la energía térmica y mecánica ingresa en un volumen de control, más la velocidad a la que se genera energía térmica dentro del volumen de control, menos la velocidad a la que sale energía térmica y mecánica del volumen de control debe ser igual a la velocidad de incremento de la energía almacenada dentro del volumen de control (Incropera & DeWitt, 1999, p. 13).

Considerando el volumen de control de la Figura 14, una manera general del requerimiento de conservación de energía se expresa como.

$$\dot{E}_{ent} + \dot{E}_g - \dot{E}_{sal} = \frac{dE_{alm}}{dt} \equiv \dot{E}_{alm} \quad \dots (1)$$

Figura 14

Conservación de la energía para un volumen de control. Aplicación a un instante



Nota: Tomado de *Fundamentos de transferencia de calor* (p.13), por Incropera & DeWitt (1999), Prentice Hall.

2.4.2. Mecanismos de transferencia de calor

Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir la transferencia de calor (Incropera & DeWitt, 1999, p. 2).

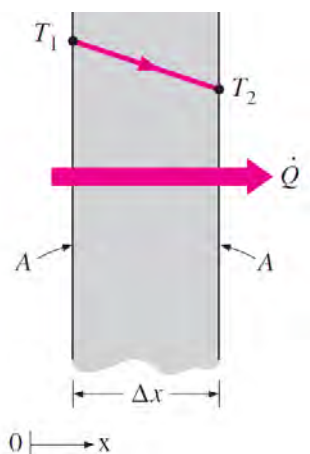
2.4.2.1. Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La *rapidez* o *razón* de la conducción de calor a través de un medio depende de la *configuración geométrica* de éste, su *espesor* y el *material* de que esté hecho, así como de la *diferencia de temperatura* a través de él (Cengel, 2007, p. 18).

Cengel (2007), indica que, considerando la pared plana grande de espesor Δx y área A como se ilustra en la Figura 15, la diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$; la razón de transferencia de calor por conducción se puede expresar mediante la ecuación 2.

Figura 15

Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A .



Nota: Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 18), por Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad \dots (2)$$

Donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación (1) se reduce a la forma diferencial:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad \dots (3)$$

La cual se denomina ley de Fourier de la conducción del calor, donde dT/dx es el gradiente de temperatura.

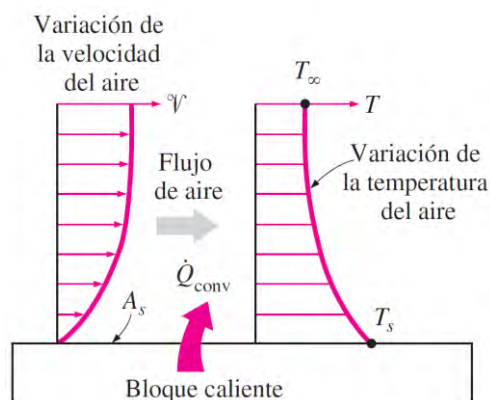
2.4.2.2. Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Se observa que la rapidez de la transferencia *de calor por convección* es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la **ley de Newton del enfriamiento** (Cengel, 2007, p. 26).

En la Figura 16 se muestra de manera representativa la transferencia de calor para la convección.

Figura 16

Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.



Nota: Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 26), Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (W) \quad \dots (4)$$

Donde h es el *coeficiente de transferencia de calor por convección*, A_s es el área superficial a través de la cual se produce la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_{∞} es la temperatura del fluido lo suficientemente apartado de esta superficie.

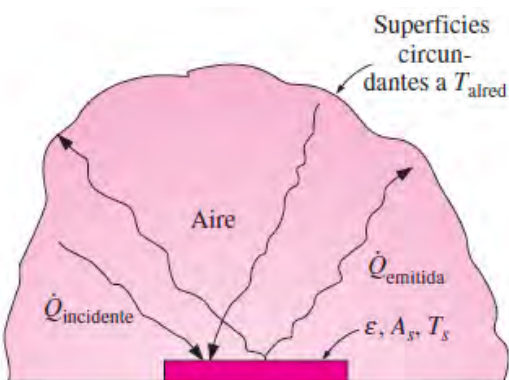
2.4.2.3. Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternatively, fotones) (Incropera & De Witt, 1999, p. 8).

Cuando una superficie de emisividad ε y área superficial A_s , a una temperatura termodinámica T_s , está por completo encerrada por una superficie mucho más grande (o negra), a una temperatura termodinámica T_{alred} , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por (Cengel, 2007, p. 29).

Figura 17

Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan



Nota. Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 29), Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (W) \quad \dots (5)$$

La transferencia de calor por radiación hacia una superficie, o desde ésta, rodeada por un gas como el aire, ocurre *paralela* a la conducción (o convección, si se tiene un movimiento masivo del gas) entre esa superficie y el gas. Por tanto, la transferencia total de calor se determina al *sumar* las contribuciones de los dos mecanismos de transferencia. Por sencillez y conveniencia esto se lleva a cabo con frecuencia mediante la definición de un **coeficiente combinado de transferencia de calor**, h combinado, que incluye los efectos tanto de la convección como de la radiación. Entonces, la razón *total* de transferencia de calor hacia una superficie, o desde ésta, por convección y radiación se expresa (Cengel, 2007, p. 29).

$$\dot{Q}_{total} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{\infty}) \quad (W) \quad \dots (6)$$

2.4.3. Resistencia Térmica

Cengel (2007), menciona, la ecuación 3 para la conducción de calor a través de una pared plana se puede expresar de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad (W) \quad \dots (7)$$

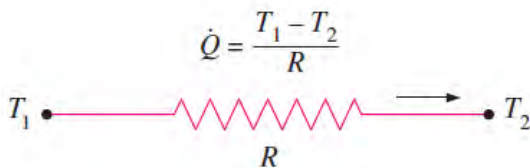
Donde:

$$R_{pared} = \frac{L}{kA} \quad \dots (8)$$

A esta expresión, se denomina *resistencia térmica* de la pared en contra de la conducción de calor o **resistencia a la conducción** de la pared y se representa en la Figura 18.

Figura 18

Representación de la resistencia a la conducción de una pared plana



Nota. Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 133), Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

Por otro lado, considerando la transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área A_s y temperatura T_s hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es T_∞ , con un coeficiente de transferencia de calor por convección h . La ecuación 4 se puede expresar:

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad (W) \quad \dots (9)$$

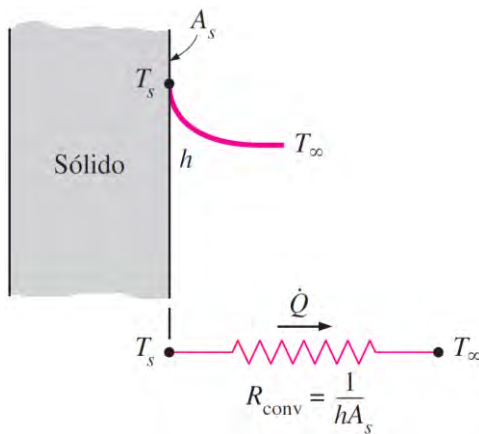
Donde:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad \dots (10)$$

A esta expresión, se denomina *resistencia térmica* de la superficie contra la convección de calor o **resistencia a la convección** de la superficie, según se ilustra en la Figura 19.

Figura 19

Esquema para la resistencia a la convección en una superficie



Nota. Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 134), Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

Una pared que está rodeada por un gas puede generar efectos significativos por la radiación, y podría ser necesario considerarlos. La razón de la transferencia de calor por radiación entre una superficie de emisividad ε y área A_s , que está a una temperatura T_s , y las superficies a su alrededor a una temperatura promedio T_{alred} se puede expresar como

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) = h_{rad} A_s (T_s - T_{alred}) = \frac{T_s - T_{alred}}{R_{rad}} \quad (W) \quad \dots (11)$$

Donde

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} A_s} \quad \dots (12)$$

Es la resistencia térmica de una superficie contra la radiación, o la resistencia a la radiación, así mismo

$$h_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{A_s (T_s - T_{alred})} = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_{alred}^2) (T_s + T_{alred}) \quad \dots (13)$$

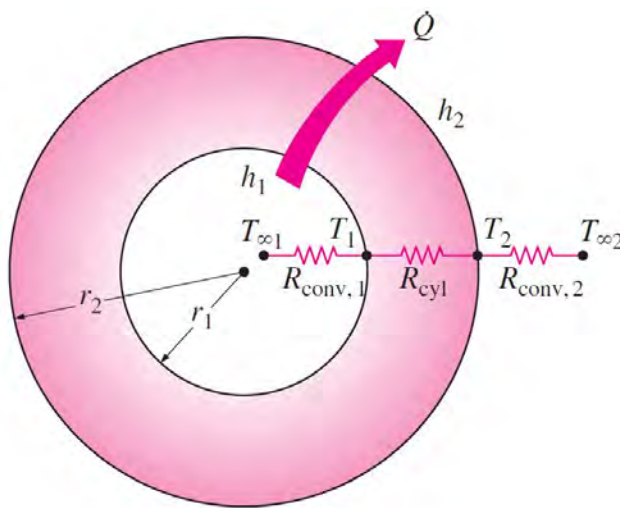
Es el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

2.4.3.1. Red de resistencias térmicas en superficies cilíndricas

Considerando un flujo unidimensional de calor en estado estacionario a través de una capa cilíndrica que se encuentra expuesta a la convección en ambos lados hacia fluidos que están a las temperaturas $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$ ($T_{\infty 1} > T_{\infty 2}$), con coeficientes de transferencia de calor h_1 y h_2 respectivamente, según se ilustra en la Figura 20.

Figura 20

Red de resistencias térmicas para casco cilíndrico sujeto a convección sobre ambos lados



$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cyl} + R_{conv,2}$$

Nota. Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 151), Cengel (2007), McGraw-Hill Editorial.

La red de resistencias térmicas en serie está compuesta por una resistencia a la conducción y dos a la convección, la razón de la transferencia de calor en condiciones estacionarias se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (W) \quad \dots (14)$$

Donde:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil} + R_{conv,2} = \frac{1}{(2\pi r_1 L)h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} + \frac{1}{(2\pi r_2 L)h_2} \quad \dots (15)$$

2.4.4. Metodología de análisis de problemas de transferencia de calor

Incropera & DeWitt (1999) recomienda para la resolución de problemas, un procedimiento sistemático que tiene un formato característico.

- I. Se conoce: Establecer lo que se conoce del problema.
- II. Encontrar: Plantear de manera concisa qué se debe encontrar.
- III. Esquema: Dibujar un esquema del sistema. Identificar los procesos de transferencia de calor relevantes con flechas etiquetadas.
- IV. Suposiciones: Realizar una lista de las suposiciones de simplificación correspondiente.
- V. Propiedades: Reunir los valores de las características necesarias para los cálculos e identificar la fuente de donde se obtiene.
- VI. Análisis: Iniciar el análisis aplicando las leyes de conservación y ecuaciones de flujo necesarias. Desarrollar el análisis completo, antes de reemplazar valores numéricos. Realizar los cálculos para obtener los resultados buscados.
- VII. Comentarios: Analizar los resultados, este análisis debe incluir un resumen de conclusiones clave, una crítica de las suposiciones iniciales y una deducción de las tendencias obtenidas realizando cálculos adicionales.

2.5. Energía Solar

En el núcleo del sol se producen continuamente reacciones de fusión, donde alcanzan temperaturas de varios millones de grados centígrados, provocando la liberación de enormes cantidades de energía en forma de radiación electromagnética. Parte de esta energía llega a la capa exterior de la atmosfera terrestre con una irradiancia promedio de 1367 W/m^2 , valor que se conoce con el nombre de constante solar. La energía procedente del sol puede aprovecharse mediante sistemas de energía solar fotovoltaica o sistema de energía solar térmica (Cantos, 2022, p. 12).

2.5.1. Sistema de energía solar fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica constituye una fuente de suministro eléctrico gracias a los módulos, que captan la energía solar y la convierten en energía eléctrica debido al efecto fotovoltaico que se produce en sus células (Cantos, 2022, p. 50).

Méndez (2011), señala que los sistemas conectados a red no tienen sistemas de almacenamiento, debido a que energía producida en las horas de insolación es inyectada a la red eléctrica, de tal forma que se eliminan las baterías del sistema, que son la parte más costosa y compleja de una instalación (ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.). Los sistemas conectados a la red se integran con las redes eléctricas residenciales e industriales convencionales, permitiendo su uso alternado o combinado con la red eléctrica para cubrir las necesidades energéticas del usuario final.

2.5.2. Efecto fotovoltaico.

El efecto fotoeléctrico o fotovoltaico consiste en la conversión de luz en electricidad, este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrógenos. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad (Méndez, 2011, p. 56).

2.5.3. Radiación solar

Cantos (2022) indica que la radiación solar, es la energía que se produce en el sol a través de reacciones nucleares de fusión, transmitiéndose en forma de radiación

electromagnética y llegando hasta la atmósfera terrestre. La energía que recibe un panel solar fotovoltaico o un captador solar térmico es la suma de las siguientes radiaciones.

2.5.3.1. Radiación directa

Proviene del sol, se caracteriza por proyectar sombras definidas de los objetos opacos en los que incide, este tipo de radiación es menor cuanto más nublado este el día.

2.5.3.2. Radiación difusa

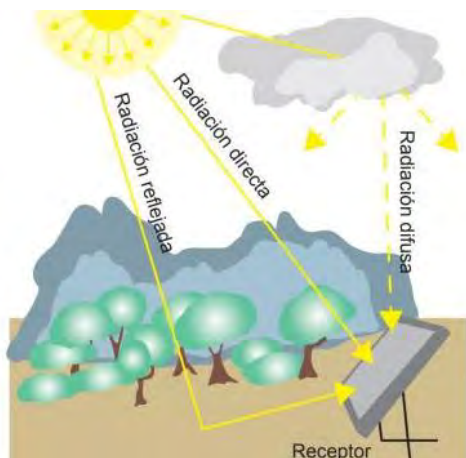
Es la radiación que proviene de la atmósfera, a causa de la dispersión de parte de la radiación solar en ella, dirigiéndose en todas las direcciones. En días despejados, esta radiación alcanza el 15 % de la radiación global, pero en días nublado puede llegar a valores mayores al 50 %.

2.5.3.3. Radiación reflejada o de albedo

Es la radiación que proviene de la superficie terrestre y de otros objetos, a causa de la reflexión de la radiación solar. La cantidad de esta radiación depende en gran medida de la capacidad de una superficie para reflejar la radiación solar. La radiación solar global, es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada, como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21

Tipos de radiación sobre una superficie



Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 12), Cantos (2022), Paraninfo.

2.5.4. La irradiancia solar

La irradiancia es una medida de la potencia solar incidente por unidad de superficie, cuantificando la intensidad de la radiación y midiéndose en W/m^2 . La irradiancia procedente del sol se ve reducida a su paso por la atmósfera, de forma que a la superficie terrestre llegan aproximadamente 1000 W/m^2 si el cielo está despejado (Cantos, 2022, p. 13).

2.5.5. La irradiación

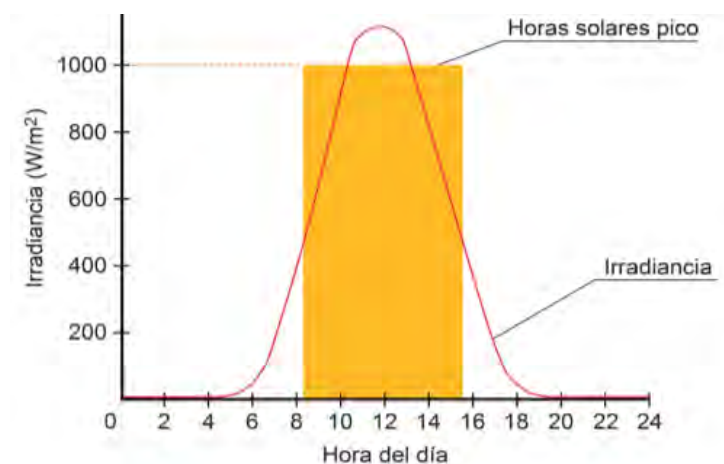
La irradiación es la energía solar que recibe una unidad de superficie en un tiempo determinado, dicho de otro modo, se obtiene integrando o sumando las irradiancias que se presentan durante ese período de tiempo considerado, su unidad de medida es Wh/m^2 .

2.5.6. Hora solar pico (HSP)

Cantos (2022) indica que la hora solar pico (HSP), es una unidad de medida que cuantifica la irradiación solar recibida en una superficie durante un día, es decir, representa la duración de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 ; por ejemplo, si un día tuviera 4.5 HSP, significa que la irradiación solar recibida equivale a un día que tuviera 4.5 horas de sol a 1000 W/m^2 y el resto del día no hubiese nada de irradiación.

Figura 22

HSP de un día equivalente a la irradiación de ese día



Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 89), Cantos (2022), Paraninfo.

El cálculo de la HSP se realiza mediante la siguiente expresión

$$HSP = \frac{G}{I_{(CEM)}} \quad \dots (16)$$

Donde: G, es la irradiación solar media diaria, expresada en Wh/m².dia y I_(CEM) es la potencia de radiación incidente en W/m², para las Condiciones Estándar de Medida (CEM), siendo el valor 1000 W/m².

2.5.7. Movimiento del sol

Méndez (2011) señala que el sol traza diferentes trayectorias dependiendo la estación del año, lo que genera que las sombras sean distintas a lo largo de las estaciones.

Cantos (2022) indica que factores primordiales a tener en cuenta para la ubicación de los paneles fotovoltaicos son la orientación, la inclinación y la minimización de sombras que podrían proyectarse de edificios cercanos u otros elementos.

2.5.7.1. Orientación (α)

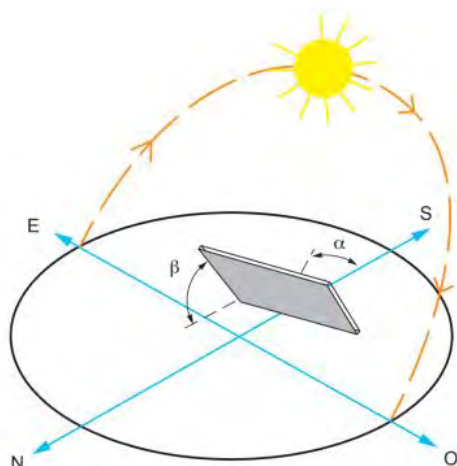
Viene caracterizada por el ángulo de acimut, α , que se define como el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del módulo o captador con el meridiano del lugar (Cantos, 2022, p. 8).

2.5.7.2. Inclinación (β)

Depende principalmente de la latitud de lugar (a mayor latitud, mayor inclinación) y de la época en la que se prevea dar uso a la instalación (para aplicaciones de uso invernal se requiere una mayor inclinación que para aplicaciones de uso de verano) (Cantos, 2022, p. 8).

Figura 23

Orientación e inclinación de un modulo



Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 8), Cantos (2022), Paraninfo.

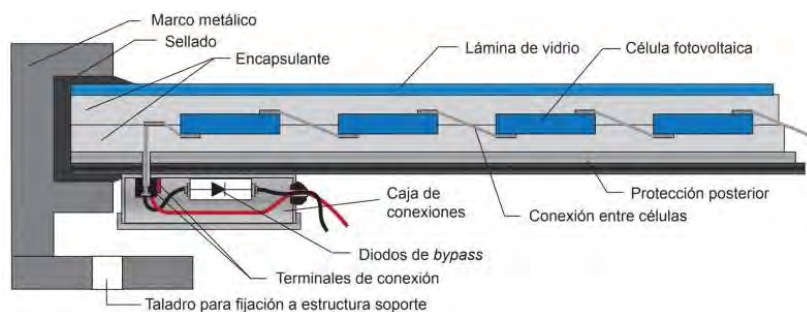
2.5.8. Componentes del sistema fotovoltaico

2.5.8.1. Módulos fotovoltaicos

El conjunto de módulos constituye la parte generadora de una instalación fotovoltaica, cada uno de ellos está formada por células fotovoltaicas conectadas eléctricamente entre sí. Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de células fotovoltaicas. A dicho conjunto se le dota de aislamiento, protección, rigidez y estanqueidad (Cantos, 2022, p. 51).

Figura 24

Sección de un módulo fotovoltaico



Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 52), Cantos (2022), Paraninfo.

2.5.8.2. Tipos de módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos, dependiendo del material semiconductor con el que se fabriquen sus células, pueden ser.

2.5.8.2.1. Módulos de silicio monocristalino

Su eficiencia es una de las más altas del mercado, del 15% al 18%. Además, tienen una gran durabilidad y sus propiedades se deterioran poco con el paso de tiempo (Cantos, 2022, p. 52).

2.5.8.2.2. Módulos de silicio policristalino

Su eficiencia es algo menor que los módulos anteriores, encontrándose entre 13% y el 15%. Además, su coste es también en torno a una 10% inferior. Su durabilidad es notable y el rendimiento que mantienen con el paso de los años es similar al de los módulos de silicio monocristalino (Cantos, 2022, p. 52).

2.5.8.2.3. Módulos de capa fina

Estos módulos se fabrican añadiendo un material semiconductor sobre otro elemento que sirve como soporte físico. En estos casos, el ahorro de material es considerable, ya que se utiliza menos cantidad, y además tienen la ventaja de que son flexibles, pudiéndose aplicar para diferentes soluciones. (Cantos, 2022, p. 52).

2.5.8.3. Cálculo del generador fotovoltaico de una instalación conectada a la red

Según Cantos (2022), la energía media suministrada en un determinado día E_G (Wh/día), por un generador fotovoltaico se calcula con la siguiente expresión

$$E_G = HSP \cdot P_p \cdot N_T \cdot \eta_m \quad \dots (17)$$

Donde:

- HSP, son las horas solares pico
- P_p , es la potencia pico del modulo
- N_T , es el número de módulos en total de la instalación

- η_m , es el rendimiento del módulo, debido a la suciedad en su superficie, pérdidas por reflexión, tolerancias, etc.

Los módulos en serie N_s , se obtiene redondeando por exceso el resultado de dividir la tensión del sistema de corriente continua ($V_{sist\ cc}$) entre la tensión en el punto de máxima potencia del módulo (V_m)

$$N_s = \frac{V_{sist\ cc}}{V_m} \quad \dots (18)$$

El número de módulos en paralelo N_p , se calcula con la siguiente expresión, redondeando por exceso

$$N_p = \frac{N_T}{N_s} \quad \dots (19)$$

La potencia pico o potencia máxima del generador fotovoltaico P_{Gp} , se calcula con la siguiente expresión

$$P_{Gp} = N_s \cdot N_p \cdot P_p = N_T \cdot P_p \quad \dots (20)$$

2.5.8.4. Inversores de corriente

Los inversores de corriente son dispositivos que transforman la corriente continua en alterna; se basan en el uso de dispositivos electrónicos que actúan como interruptores que permiten interrumpir y conmutar su polaridad (Méndez, 2011, p. 111).

En la mayoría de los casos, los inversores actuales incorporan la importante función de buscar el punto de máxima potencia en el que los módulos deben trabajar. Es decir, los módulos pueden trabajar a una tensión e intensidad que, viene definida por su curva característica, que a su vez depende de las condiciones de irradiancia y de temperatura, y es el inversor el que define cuáles son la tensión y la intensidad a la que deben operar para que se pueda extraer de ellos la máxima potencia (Cantos, 2022, p. 57).

2.5.8.4.1. Instalaciones conectadas a la red de distribución de baja tensión

Los inversores en este tipo de instalación utilizan una fuente exterior (la red de distribución) para realizar la conmutación. La señal de salida del inversor sigue la tensión y frecuencia de la red a la que vierte la energía (Méndez, 2011, p. 112).

La mayoría de los inversores modernos incluyen la función de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), obteniendo el mayor rendimiento posible de los módulos (Cantos, 2022, p. 58).

2.5.8.4.2. *Instalaciones aisladas de la red de distribución de baja tensión*

Los inversores de este tipo de instalación tienen una conmutación forzada (auto conmutados), no necesitan la red porque ellos mismos fuerzan la conmutación (Méndez, 2011, p. 112).

2.5.8.5. Dispositivos de protección

Los dispositivos de protección proporcionan seguridad tanto a las personas como a los equipos de la instalación, minimizando las consecuencias de posibles contactos directos o indirectos, cortocircuitos, sobreintensidades y sobretensiones (Cantos, 2022, p. 59).

2.5.8.6. Cableado

Tiene doble aislamiento y su sección es superior a la del cableado convencional de las instalaciones de corriente alterna debido a que las tensiones empleadas son bajas (12 o 24 V).

La sección en mm² de un cable, ya sea de con corriente continua o de corriente alterna monofásica, se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V(\%) * V} \quad \dots (21)$$

Donde:

- ρ : resistividad del conductor, para conductores de cobre, se puede usar $\rho = 0.022$ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (máxima resistividad que puede alcanzar el conductor en operación normal).
- L: longitud del cable, en m
- I: intensidad máxima prevista por el cable en régimen normal, en A

- ΔV : caída de tensión, en %
- V : tensión nominal del circuito, en V

En la Figura 25 se muestra las secciones comerciales de conductores.

Figura 25

Secciones de conductores comerciales de cobre (mm²)

Secciones de conductores comerciales de cobre (mm²)															
1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300

Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 109), Cantos (2022), Paraninfo.

Para la caída de tensión de la ecuación 21, se tendrá en cuenta los valores de.

Figura 26

Máxima caída de tensión en los diferentes circuitos

Tramo	Máxima caída de tensión admisible, en %	Máxima caída de tensión recomendable, en %
Generador – Regulador	3 %	1,5 %
Regulador – Baterías	1 %	0,5 %
Regulador – Inversor	1 %	0,5 %
Regulador – Cuadro consumos de CC	3 %	1,5 %
Inversor – Cuadro consumos de CA	3 %	1,5 %

Nota. Tomado de *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 110), Cantos (2022), Paraninfo.

2.5.8.7. Estructuras de soporte de los módulos

Mantienen los módulos en su lugar y los aseguran al techo en caso de las cubiertas planas, estas estructuras pueden ajustar la orientación de los paneles, para optimizar su exposición al inclinarlos hacia los rayos del sol.

CAPITULO III

Cálculo de la Cantidad de Calor

3.1. Diagnóstico de la situación actual

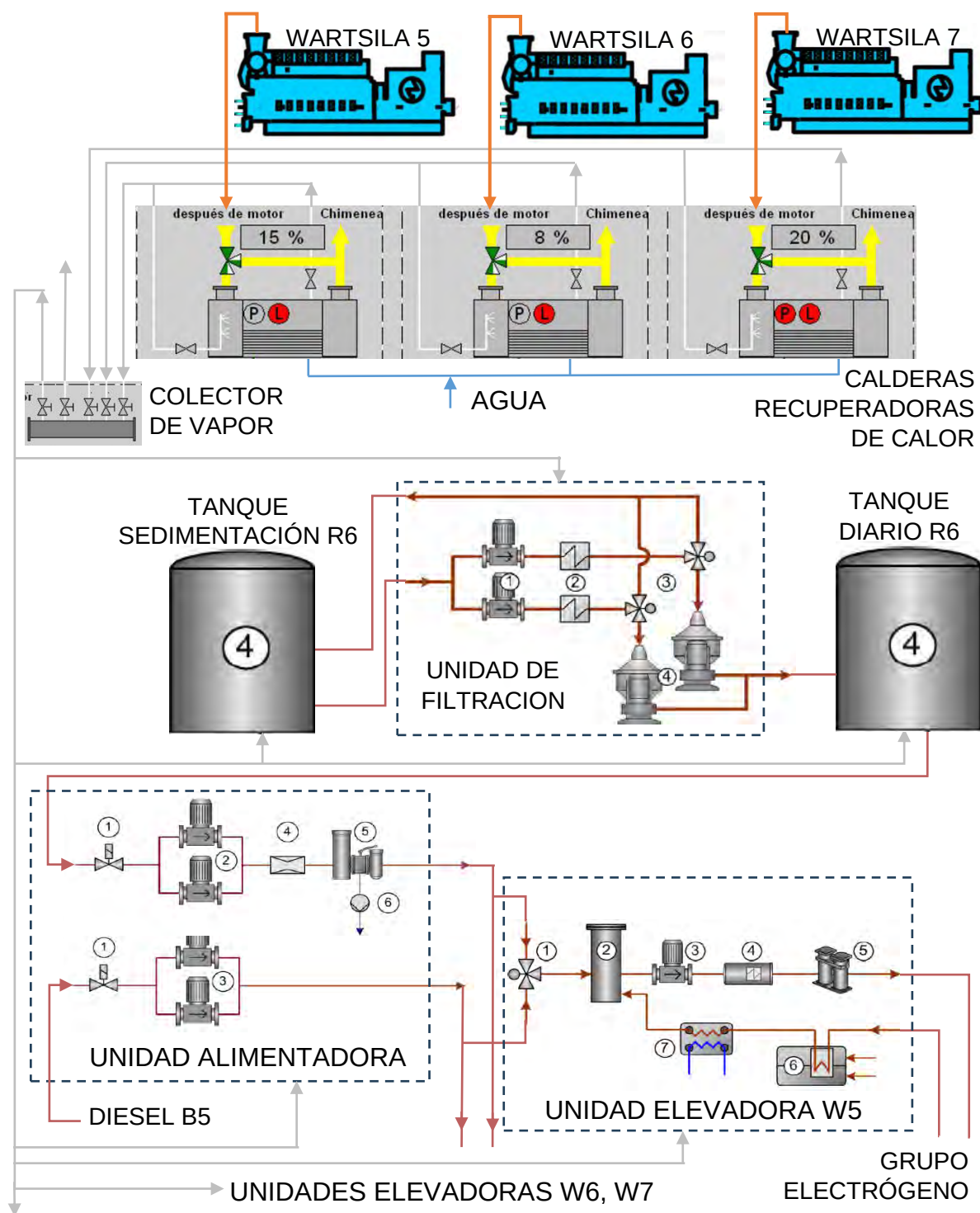
Los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos, solo despachan energía a solicitud de la Central Térmica Iquitos Nueva, por periodos y frecuencias variables (de forma intermitente), estos grupos están diseñados para operar de manera continua y emplean el petróleo industrial N° 6 como combustible principal.

Los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 cuentan con un sistema de calentamiento de combustible que utiliza los gases de escape de los motores como fuente de calor para la generación del vapor, lo cual permite que cuando los grupos están en operación con el combustible principal, se garantiza el calentamiento continuo del petróleo industrial N° 6, asegurando una viscosidad y fluides adecuada para su bombeo y combustión; sin embargo, cuando los grupos electrógenos se detienen, dicho sistema deja de funcionar, lo que provoca el enfriamiento progresivo del petróleo industrial en todo el sistema. Como consecuencia, al reiniciar la operación de los grupos luego de un periodo de inactividad, el petróleo industrial N° 6 no puede ser utilizado de manera inmediata, y se requiere un proceso de precalentamiento para alcanzar las condiciones adecuadas previo a su utilización, proceso que exige que las unidades de generación operen por periodos prolongados con diésel B5 antes del cambio a petróleo industrial N° 6. En el año 2024, el consumo del combustible liviano representó alrededor del 20 % del consumo total de combustible (diésel más petróleo industrial).

El sistema de vapor existente se encarga de calentar el petróleo industrial, desde su almacenamiento hasta la entrega final al motor, e incluye los tanques, la unidad alimentadora, unidades elevadoras, tuberías y demás componentes del sistema. En la Figura 27, se muestra el diagrama de proceso del sistema de vapor (calderas recuperadoras de calor y su distribución) y el sistema de combustible de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7.

Figura 27

Diagrama de flujo del sistema de vapor y combustible de los grupos Wartsila 5-6-7



Nota: a) Línea gris (vapor), b) Línea roja (combustible), adaptado de *Manual de operaciones de la central*, por Wärtsilä (2013b).

El análisis de las horas de operación de la Figura 2, muestra que tras paradas prolongadas (como la de 9 días entre el 12 y el 21 de enero de 2024), los grupos deben operar por periodos prolongados con diésel B5 antes de cambiar a petróleo industrial N° 6, debido al tiempo requerido para el calentamiento del combustible. Por otro lado, es necesario indicar que la parada de los grupos electrógenos se realiza con diésel, ya que no se tiene certeza del próximo arranque, y un eventual enfriamiento del petróleo industrial en el sistema de inyección de los motores, sería sumamente perjudicial

El Sistema Eléctrico Aislado Iquitos ha mostrado un crecimiento sostenido, del mismo modo la participación de los grupos Wartsila 5-6-7 también ha aumentado, esto indica que la generación de los grupos Wartsila continuará aumentando, incrementando el consumo de diésel si no se incorpora otra fuente de calor que complemente al sistema de precalentamiento actual.

En ese contexto, para garantizar la disponibilidad del petróleo industrial N° 6 y poder realizar el cambio del combustible en periodos inferiores a los actuales, se plantea implementar un sistema de precalentamiento para el petróleo industrial N° 6, parcialmente alimentado por energía solar fotovoltaica; este nuevo sistema tendrá como función:

- Mantener la temperatura constante de 80°C del petróleo industrial N° 6, durante los periodos en que los grupos estén detenidos.
- Operar únicamente cuando los tres grupos se encuentren en modo stand by y apagarse cuando cualquiera de los grupos entre en funcionamiento y realice el cambio de combustible a petróleo industrial N° 6.

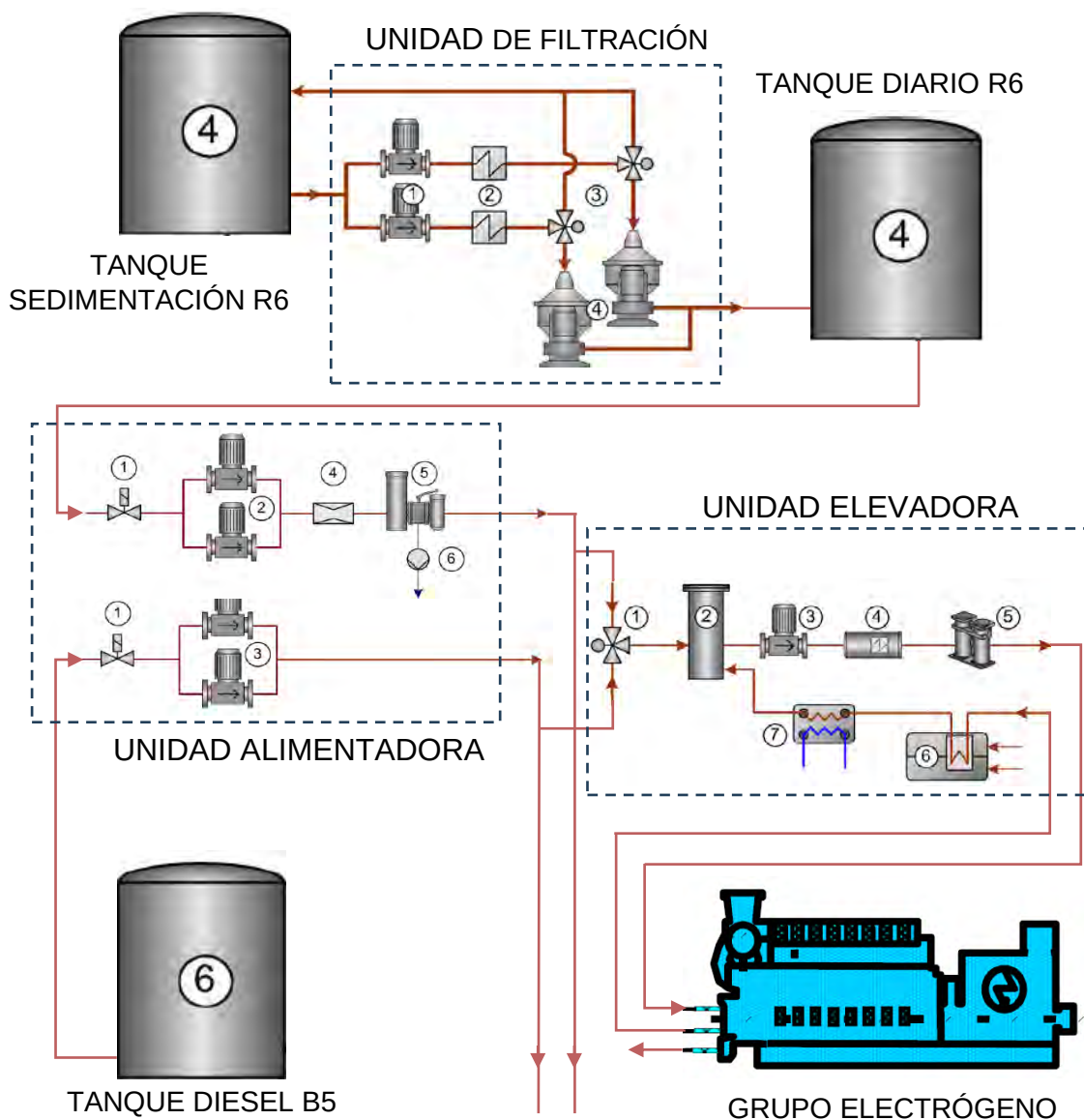
Este sistema complementará al sistema de calentamiento por vapor existente, sin reemplazarlo; de esta manera, se reducirán los periodos de operación con diésel para calentar el petróleo industrial N° 6 durante la etapa inicial de operación del grupo electrógeno.

Debido a los múltiples componentes del sistema de combustible, es necesario analizar cada unidad o subsistema para validar la hipótesis de los componentes que deben incluirse en

el sistema propuesto. En la Figura 28 se muestra el diagrama de proceso del sistema de combustible de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7.

Figura 28

Diagrama de flujo del sistema de combustible de los grupos electrógenos



Nota: adaptado de Manual de operaciones de la central, por Wärtsilä (2013b).

El análisis parte de la identificación de los componentes que requieren mantenerse a una temperatura adecuada para realizar el cambio de diésel a petróleo industrial en el menor tiempo

posible tras el arranque; por ello se realiza un análisis de cada componente del sistema, según se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Análisis de subsistemas para incluir en el sistema de precalentamiento

Componente	Función	¿Debe mantenerse caliente?
Tanque de sedimentación	Almacena el petróleo industrial antes de filtrado; el tanque diario garantiza una autonomía de 25.5 h	No
Unidad de filtración	Filtra el combustible del tanque de sedimentación y lo deposita en el tanque diario; cada unidad tiene una capacidad de filtrado de 19.5 m ³ /h (254 gal/h) pudiendo llenar el tanque diario en 6.2 horas.	No
Tanque diario	Almacena petróleo industrial para uso inmediato; tiene capacidad de 120 m ³ (31,700.6 galones) y de acuerdo con la Figura 2, cada grupo electrógeno consume 414.7 gal/h, con lo cual, se tiene una autonomía de 25.5 horas de operación de los tres grupos electrógenos.	Si
Unidad alimentadora	Suministra petróleo industrial del tanque diario hasta las unidades elevadoras, el combustible que se encuentra en este tramo debe mantenerse caliente para poder realizar el bombeo	Si
Unidad elevadora	Incrementa presión y temperatura al combustible; el tramo que el combustible debe recorrer desde esta unidad hasta el motor es inferior a 10 m.	No
Tubería desde tanque hasta unidades elevadoras	Conduce el petróleo industrial desde el tanque hasta las unidades elevadoras, tiene una longitud de 92.2 m de tubería y 2-1/2" de diámetro.	Si

Nota: Elaboración propia.

Entonces, se valida los componentes considerados para el sistema de precalentamiento propuesto, los cuales son:

- Tanque diario
- Tramo de tubería desde el tanque diario hasta las unidades elevadoras (incluye la unidad alimentadora)

Respecto al tipo de calentadores propuestos para el sistema de precalentamiento (calentadores eléctricos), se analiza los principales criterios para validar dicha selección, los cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis de criterios para la selección de tipo de calentamiento

Criterio	Calentamiento por resistencia eléctrica	Calentamiento por Vapor	Calentamiento por aceite térmico
Instalación y espacio	Simple y rápida. compacto.	Requiere espacio y sala para equipamiento	Requiere espacio y sala para equipamiento
Equipamiento	Mínimo	Requiere sistema de combustible (bombas, tanque, calentadores, etc) y sistema de agua (bomba, tanques, etc). En caso de caldera eléctrica, no se requiere el sistema de combustible	Requiere sistema de combustible (tanques, bombas, calentadores, etc), sistema de bombeo (bombas, tuberías) e intercambiadores de calor. En caso de emplear calentadores eléctricos, no se requiere el sistema de combustible y calentador-serpentín
Equipamiento existente que puede emplearse	Ninguno	Se cuenta con equipamiento para el vapor (calentadores, tuberías, colector, etc.)	Ninguno
Consumo energético	Moderado.	Alto. Requiere combustibles fósiles o electricidad continua. Existe periodos no aprovechables (tiempo de generación de vapor)	Alto. Requiere combustibles fósiles o energía constante para calentar el aceite. Existe periodos no aprovechables (tiempo de calentamiento del aceite)
Costo de inversión	Bajo a medio.	Alto.	Alto.
Mantenimiento	Bajo, con personal técnico de planta	Alto, requiere mantenimiento permanente	Moderado.

Automatización	Alta. Controlado por sensores de temperatura.	Limitada. Requiere supervisión constante.	Media. Sistemas automáticos complejos.
Operación	Sistema automático	Requiere operador, adicionalmente se requiere controlar calidad de agua tratada	No requiere operador permanente
Seguridad	Alta. Sin presión ni riesgo de explosión.	Media. Presión y temperatura de vapor.	Media. Alta temperatura de aceite.
Tiempo de respuesta	Rápido. Calienta bajo demanda.	Lento. Requiere tiempo para generar vapor.	Medio. Requiere calentar volumen de aceite.
Ambiental	Sin emisión de gases	Emisión de gases de combustión	Emisión de gases de combustión

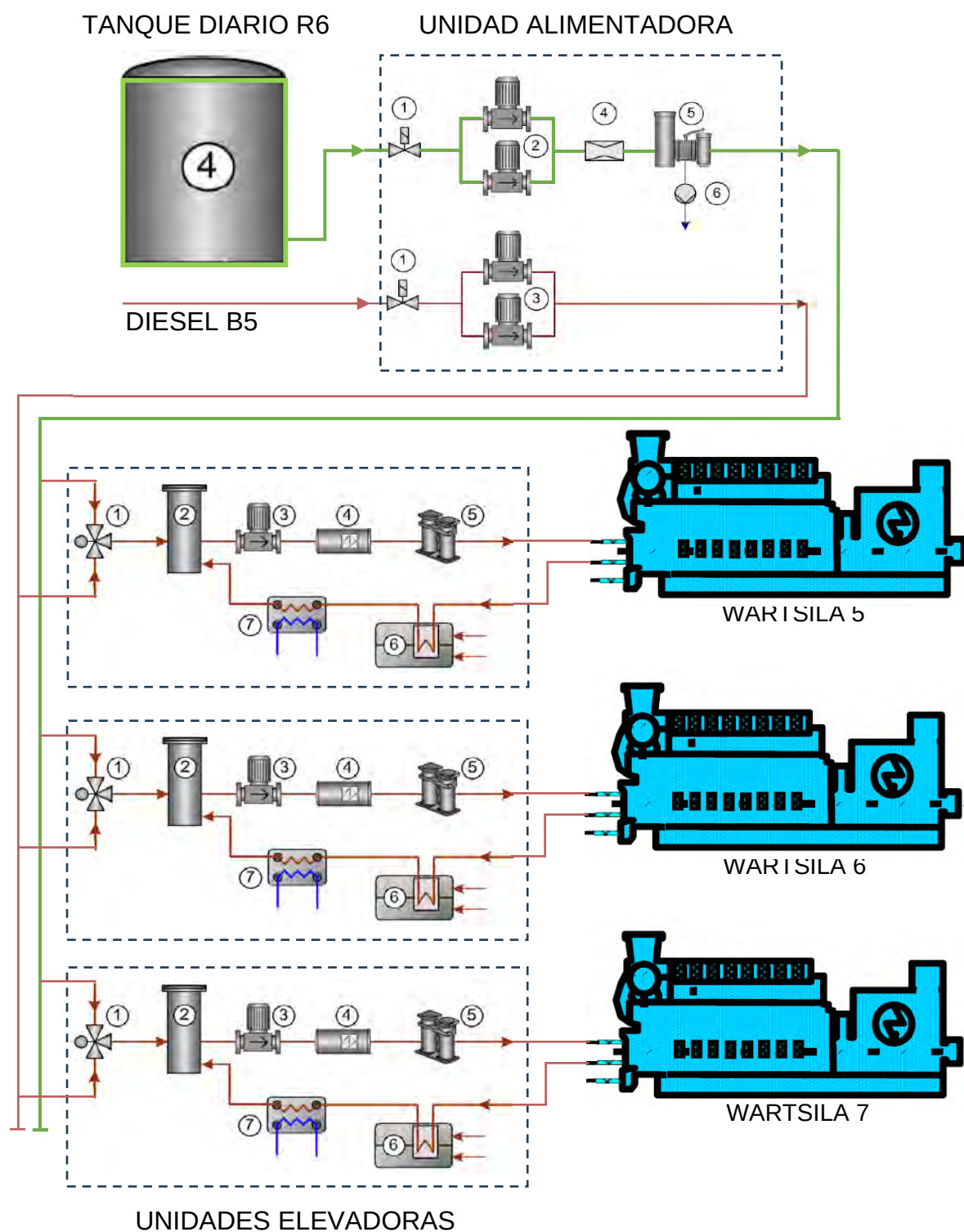
Nota: Elaboración propia.

El calentamiento mediante resistencias eléctricas presenta ventajas significativas según los criterios considerados en el análisis, lo que permite validar la hipótesis de selección del tipo de calentamiento para el sistema propuesto. Así mismo, el sistema de precalentamiento estará compuesto por un calentador eléctrico de inmersión tipo brida instalado en el tanque diario y un cable calefactor adosado a lo largo de la tubería desde el tanque diario hasta las unidades elevadoras.

En la figura 29, se resaltan de color verde los componentes y tramos considerados en el sistema de precalentamiento propuesto, sobre estos componentes se realizará el análisis de transferencia de calor, a partir del cual se llevará a cabo la selección de los equipos de calentamiento.

Figura 29

Componentes considerados del sistema de precalentamiento propuesto (verde)



Nota: adaptado de Manual de operaciones de la central, por Wärtsilä (2013b).

3.2. Consideraciones previas al análisis

El sistema de precalentamiento propuesto tiene la función de mantener la temperatura del combustible, compensando las pérdidas de calor por los diferentes mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación). Por lo cual, en este capítulo se realiza el cálculo de la cantidad de calor para mantener el petróleo industrial N° 6 a una temperatura constante de 80 °C, en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras “boosters” de los grupos electrógenos, en base a los conceptos detallados en el capítulo II.

3.3. Análisis de transferencia de calor en tanque diario

El análisis de transferencia de calor en el tanque de petróleo industrial N° 6, se realiza en partes, separando las superficies con distintas características geométricas para simplificar el modelado y facilitar los cálculos; es decir, análisis en la superficie cilíndrica, superficie superior y en las superficies sin aislamiento

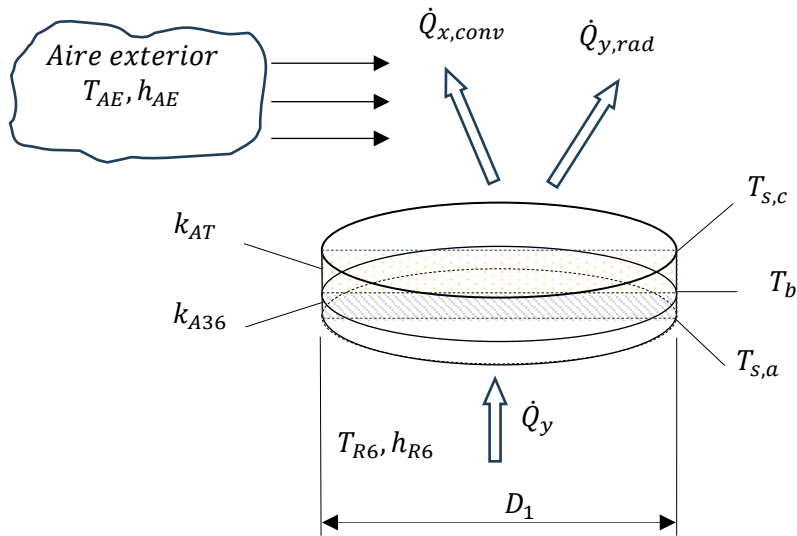
El tanque de petróleo industrial N° 6, es de tipo cilíndrico vertical con un diámetro interior de 5 m y 7.2 m de altura, el tanque está construido en acero A36 con espesor de 6 mm, cuenta con un aislamiento de lana de vidrio de 100 mm y esta recubierto exteriormente con una plancha galvanizada (ver Anexo 1, 2 y 3); el tanque tendrá un calentador que suministre calor de forma constante y se requiere calcular dicha cantidad de calor para mantener el combustible a 80 °C (353.15 K).

Para el desarrollo del problema, se aplica la metodología de análisis de problemas de transferencia de calor.

- I. Se conoce: La temperatura del fluido interior, las dimensiones del tanque diario
- II. Encontrar: La transferencia de calor desde el interior del tanque diario
- III. Esquema: El esquema del tanque cilíndrico vertical se realiza en tres partes, en la Figura 30 se visualiza la geometría plana superior, en la Figura 31 la parte geométrica cilíndrica y en la Figura 32 los mecanismos de transferencia de calor en las superficies sin aislamiento.

Figura 30

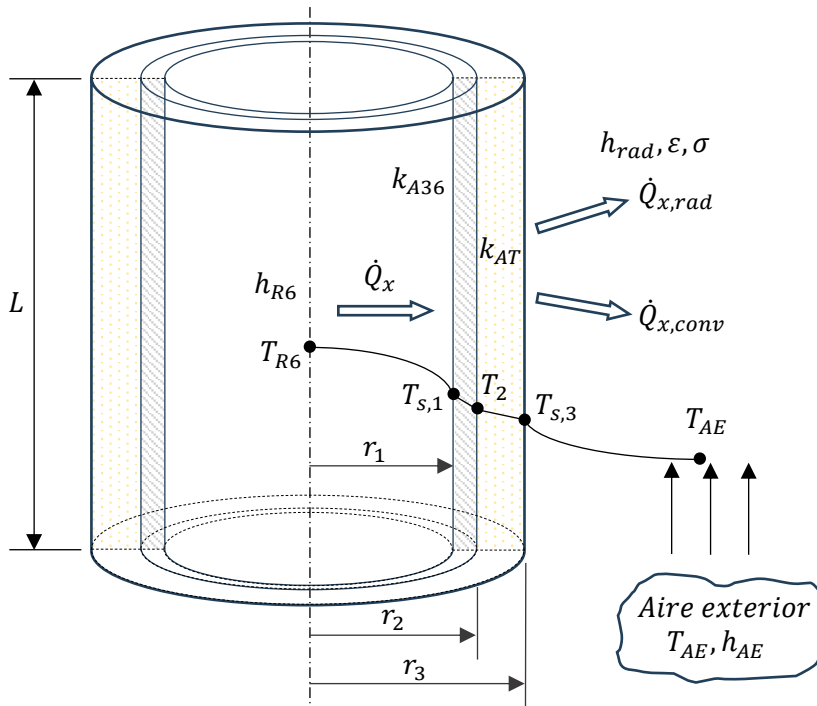
Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie plana superior)



Nota. Elaboración propia

Figura 31

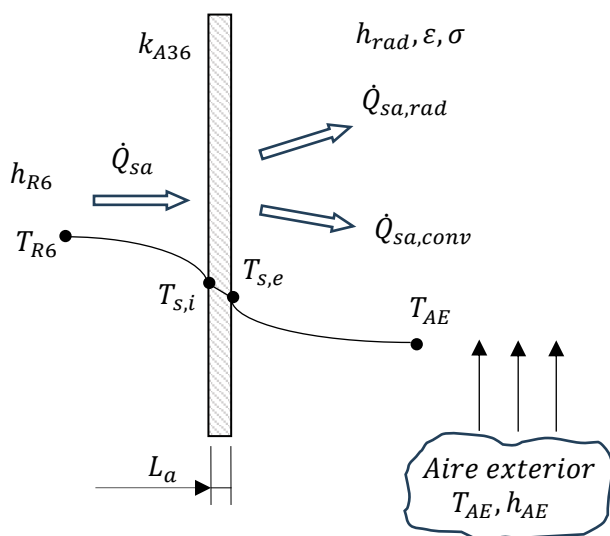
Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)



Nota. Elaboración propia

Figura 32

Mecanismos de transferencia de calor de tanque de almacenamiento (superficie sin aislamiento)



Nota. Elaboración propia

IV. Suposiciones:

- El combustible se encuentra en estado estacionario
- Transferencia de calor a través de la base de tanque despreciable
- La conducción a través del acero y aislamiento térmico es unidimensional
- No existe variación en la energía mecánica del sistema
- No hay incremento en la energía almacenada
- El acero y aislamiento térmico es homogéneo y tiene propiedades constantes
- El espesor de la plancha galvanizada es insignificante, por lo cual no se considera para el cálculo.
- El tanque se encuentra lleno de petróleo industrial N° 6 en su totalidad.
- La superficie superior es plana.

V. Propiedades:

- K_{A36} , conductividad térmica del acero A36, 51.9 W/m · K (ABRAMS Industries MX, 2025)

- K_{AT} , conductividad térmica del aislamiento térmico, $0.042 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (FICHA DE PRODUCTO LANA DE VIDRIO AISLANGLASS, 2020)
- h_{R6} , coeficiente de transferencia de calor por convección del petróleo industrial N° 6, $50 - 450 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Cao, 2010). Se tomará un valor intermedio de $250 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- h_{AE} , coeficiente de transferencia de calor por convección natural de aire exterior 2 – $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Incropera & DeWitt, 1999). Pág. 8. Se tomará un valor intermedio de $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- σ , constante de Stefan-Boltzmann $5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ (Cengel, 2007)Pag.
- ε , emisividad de la plancha galvanizada, 0.23 (Holman, 1998). Pág. 452.
- T_{AE} , temperatura exterior del aire, se considera para el presente trabajo la temperatura promedio mínima igual a 21.9°C (295.05 K) (Senahmi, 1992-2014)
- T_{R6} , temperatura del petróleo industrial N° 6 en el interior del tanque, 80°C (353.15 K)
- r_1 , radio interior de cilindro 2.5 m (ver Anexo 1)
- r_2 , radio exterior de cilindro 2.506 m
- r_3 , radio exterior de aislamiento 2.606 m
- L , longitud de cilindro, 7.2 m
- D_1 , diámetro interior del cilindro 5 m
- L_a , espesor de la plancha de acero A36, 0.006 m
- L_b , espesor del aislamiento térmico, 0.1 m

VI. Análisis: Empleando el principio de conservación de energía al sistema, se tiene:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que ingresa} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{generada} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que sale} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Incremento de energía} \\ \text{almacenada} \end{matrix} \right)$$

Aplicando las suposiciones, la expresión se reduce a:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que ingresa} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que sale} \end{matrix} \right)$$

La transferencia de calor a través del sistema, proviene de la suma de la transferencia de calor de la superficie cilíndrica, más la transferencia de calor de la superficie superior y la transferencia de calor de la superficie sin aislamiento.

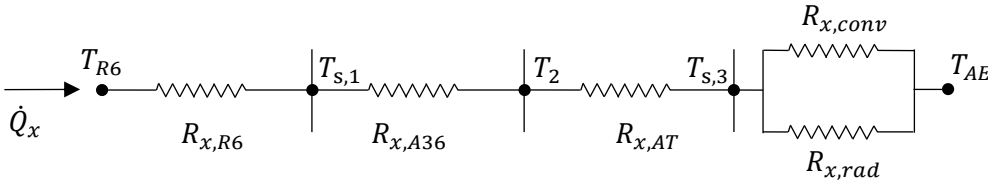
$$\dot{Q} = \dot{Q}_x + \dot{Q}_y + \dot{Q}_{sa} \quad \dots (22)$$

3.3.1. Análisis en la superficie cilíndrica

La resistencia a la transferencia de calor entre el petróleo industrial N° 6 y el aire exterior está compuesta por convección en el petróleo industrial N°6, conducción en el acero, conducción en el aislamiento térmico, convección y radiación hacia el aire exterior, en la Figura 33 se muestra las redes de resistencias térmicas de la parte cilíndrica del tanque.

Figura 33

Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)



Nota: Elaboración propia

La transferencia de calor a través de la superficie cilíndrica se expresa como se muestra

$$\dot{Q}_x = \frac{T_{R6} - T_{s,1}}{R_{x,R6}} = \frac{T_{s,1} - T_2}{R_{x,A36}} = \frac{T_2 - T_{s,3}}{R_{x,AT}} = \frac{T_{s,3} - T_{AE}}{R_{x,eq}} \quad \dots (23)$$

O también se expresa como:

$$\dot{Q}_x = \frac{T_{R6} - T_{AE}}{R_{x,total}} \quad \dots (24)$$

La resistencia térmica total, es la suma de las resistencias del petróleo industrial N° 6, plancha de acero, aislamiento térmico y del aire exterior

$$R_{x,total} = R_{x,R6} + R_{x,A36} + R_{x,AT} + R_{x,eq} \quad \dots (25)$$

Donde:

$$R_{x,eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_{x,conv}} + \frac{1}{R_{x,rad}}} \quad \dots (26)$$

a) Resistencia por convección del petróleo industrial N° 6

$$R_{x,R6} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_{R6}} = \frac{1}{2\pi * 2.5m * 7.2m * 250W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{x,R6} = 3.537 \times 10^{-5} K/W$$

b) Resistencia por conducción en el acero

$$R_{x,A36} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi K_{A36} L} = \frac{\ln(2.506m/2.5m)}{2\pi * (51.9 W/m \cdot K) * 7.2m}$$

$$R_{x,A36} = 1.021 \times 10^{-6} K/W$$

c) Resistencia por conducción en el aislamiento térmico

$$R_{x,AT} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi K_{AT} L} = \frac{\ln(2.606m/2.506m)}{2\pi * (0.042 W/m \cdot K) * 7.2m}$$

$$R_{x,AT} = 0.0206 K/W$$

d) Resistencia equivalente

a. Resistencia por convección al aire exterior

$$R_{x,conv} = \frac{1}{2\pi r_3 L h_{AE}} = \frac{1}{2\pi * 2.606m * 7.2m * 15W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{x,conv} = 5.655 \times 10^{-4} K/W$$

b. Resistencia por radiación al aire exterior

$$R_{x,rad} = \frac{1}{2\pi r_3 L \varepsilon \sigma (T_{s,3}^2 + T_{AE}^2)(T_{s,3} + T_{AE})}$$

Como no se conoce $T_{s,3}$ se necesita iterar, por lo cual, se realiza una estimación inicial de la temperatura superficial exterior, para este caso no muy diferente de la temperatura ambiente, suponiendo unos 30 °C (303.15 K), entonces la resistencia por radiación es:

$R_{x,rad}$

$$= \frac{1}{2\pi * 2.606m * 7.2m * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((303.15K)^2 + (295.05K)^2)(303.15 + 295.05)}$$

$$R_{rad} = 6.075 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

Reemplazando en la ecuación 26, la resistencia equivalente es.

$$R_{x,eq} = \frac{1}{\frac{1}{5.655 \times 10^{-4}} + \frac{1}{6.075 \times 10^{-3}}}$$

$$R_{x,eq} = 5.173 \times 10^{-4} \text{ K/W}$$

Reemplazando en la ecuación 25, la resistencia total es:

$$R_{x,total} = 3.537 \times 10^{-5} + 1.021 \times 10^{-6} + 0.0206 + 5.173 \times 10^{-4}$$

$$R_{total} = 0.0211 \text{ K/W}$$

Por lo cual, reemplazando en la ecuación 24, la cantidad de calor que se pierde a través de la superficie cilíndrica es

$$\dot{Q}_x = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{x,total}} = \frac{353.15 \text{ K} - 295.05 \text{ K}}{0.0211 \text{ K/W}}$$

$$\dot{Q}_x = 2747.39 \text{ W}$$

Para obtener un valor más preciso de la temperatura exterior superficial $T_{s,3}$, se despeja la ecuación 23 como se muestra:

$$T_{R6} - T_{s,1} = \dot{Q}_x R_{x,R6}$$

$$T_{s,1} - T_2 = \dot{Q}_x R_{x,A36}$$

$$T_2 - T_{s,3} = \dot{Q}_x R_{x,AT}$$

Si se realiza la suma de las tres ecuaciones se obtiene:

$$T_{R6} - T_{s,3} = \dot{Q}_x R_{x,R6} + \dot{Q}_x R_{x,A36} + \dot{Q}_x R_{x,AT}$$

De donde:

$$T_{s,3} = T_{R6} - \dot{Q}_x R_{x,R6} - \dot{Q}_x R_{x,A36} - \dot{Q}_x R_{x,AT}$$

$$T_{s,3} = 353.15 - (2747.39 \times 3.537 \times 10^{-5}) - (2747.39 \times 1.021 \times 10^{-6}) - (2747.39 \times 0.0206)$$

$$T_{s,3} = 296.47 \text{ K}$$

Con lo cual, se recalcula $R_{x,rad}$ y $R_{x,eq}$:

$$R_{x,rad}$$

$$= \frac{1}{2\pi * 2.606m * 7.2m * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((296.47K)^2 + (295.05K)^2)(296.47 + 295.05)}$$

$$R_{x,rad} = 6.285 \times 10^{-3} K/W$$

Entonces:

$$R_{x,eq} = \frac{1}{\frac{1}{5.655 \times 10^{-4}} + \frac{1}{6.285 \times 10^{-3}}}$$

$$R_{x,eq} = 5.188 \times 10^{-4} K/W$$

Por lo tanto, la resistencia total es:

$$R_{x,total} = 6.946 \times 10^{-5} + 1.203 \times 10^{-6} + 0.0186 + 6.369 \times 10^{-4}$$

$$R_{x,total} = 0.0211 K/W$$

Entonces, la cantidad de calor a través de la **superficie cilíndrica** es:

$$\dot{Q}_x = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{total}} = \frac{353.15 K - 294.9 K}{0.0193 K/W}$$

$$\dot{Q}_x = 2747.20 W$$

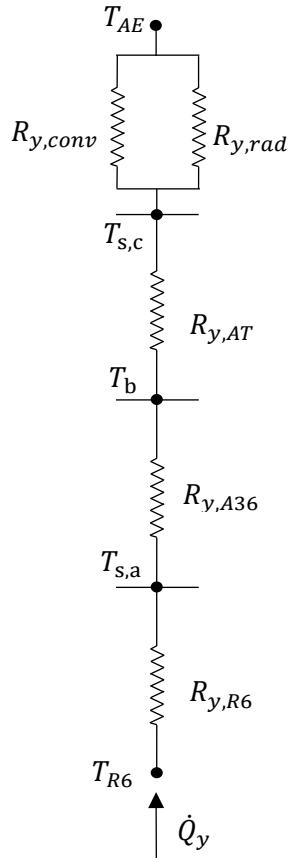
El valor obtenido, es muy cercano al conseguido con la suposición de la temperatura superficial exterior.

3.3.2. Análisis en la superficie superior

La resistencia a la transferencia de calor entre el petróleo industrial N° 6 y el aire exterior está compuesta por convección en el petróleo industrial N°6, conducción en el acero, conducción en el aislamiento térmico, convección y radiación hacia el aire exterior, en la Figura 34 se muestra las redes de resistencias térmicas de la superficie superior del tanque, que para este ejercicio se considera como plana.

Figura 34

Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie plana superior)



Nota: Elaboración propia

La transferencia de calor a través de la superficie superior del tanque se expresa como se muestra

$$\dot{Q}_y = \frac{T_{R6} - T_{s,a}}{R_{y,R6}} = \frac{T_{s,a} - T_b}{R_{y,A36}} = \frac{T_b - T_{s,c}}{R_{y,AT}} = \frac{T_{s,c} - T_{AE}}{R_{y,eq}} \quad \dots (27)$$

O también se expresa como:

$$\dot{Q}_y = \frac{T_{R6} - T_{AE}}{R_{y,total}} \quad \dots (28)$$

La resistencia térmica total, es la suma de las resistencias del petróleo industrial N° 6, plancha de acero, aislamiento térmico y del aire exterior

$$R_{y,total} = R_{y,R6} + R_{y,A36} + R_{y,AT} + R_{y,eq} \quad \dots (29)$$

Donde:

$$R_{y,eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_{y,conv}} + \frac{1}{R_{y,rad}}} \quad \dots (30)$$

a) Resistencia por convección del petróleo industrial N° 6

$$R_{y,R6} = \frac{1}{Ah_{R6}} = \frac{1}{\pi r_1^2 h_{R6}} = \frac{1}{\pi * (2.5m)^2 * 250W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{y,R6} = 2.037 \times 10^{-4} K/W$$

b) Resistencia por conducción en el acero

$$R_{y,A36} = \frac{L_a}{AK_{A36}} = \frac{L_a}{\pi r_1^2 K_{A36}} = \frac{0.1m}{\pi * (2.5m)^2 * (51.9 W/m \cdot K)}$$

$$R_{y,A36} = 5.888 \times 10^{-6} K/W$$

c) Resistencia por conducción en el aislamiento térmico

$$R_{y,AT} = \frac{L_b}{AK_{AT}} = \frac{L_b}{\pi r_1^2 K_{AT}} = \frac{0.006m}{\pi * (2.5m)^2 * (0.042 W/m \cdot K)}$$

$$R_{y,AT} = 0.121 K/W$$

d) Resistencia equivalente

a. Resistencia por convección al aire exterior

$$R_{y,conv} = \frac{1}{\pi r_1^2 h_{AE}} = \frac{1}{\pi * (2.5m)^2 * 15W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{y,conv} = 3.395 \times 10^{-3} K/W$$

b. Resistencia por radiación al aire exterior

$$R_{y,rad} = \frac{1}{Ah_{rad}} = \frac{1}{\pi r_1^2 \varepsilon \sigma (T_{s,c}^2 + T_{AE}^2)(T_{s,c} + T_{AE})}$$

Como no se conoce $T_{s,c}$ se necesita iterar, por lo cual, se realiza una estimación inicial de la temperatura superficial exterior, para este caso no muy diferente de la temperatura ambiente, suponiendo unos 30 °C (303.15 K), entonces la resistencia por radiación es:

$$R_{y,rad}$$

$$= \frac{1}{\pi * (2.5m)^2 * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((303.15K)^2 + (295.05K)^2)(303.15 + 295.05)}$$

$$R_{y,rad} = 0.036 K/W$$

Reemplazando en la ecuación 30, la resistencia equivalente es.

$$R_{y,eq} = \frac{1}{\frac{1}{3.395 \times 10^{-3}} + \frac{1}{0.036}} = 3.106 \times 10^{-3} K/W$$

Reemplazando en la ecuación 29, la resistencia total es:

$$R_{y,total} = 2.037 \times 10^{-4} + 5.888 \times 10^{-6} + 0.121 + 3.106 \times 10^{-3} = 0.125 K/W$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde por la superficie superior es:

$$\dot{Q}_y = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{y,total}} = \frac{353.15 K - 295.05 K}{0.125 K/W}$$

$$\dot{Q}_y = 466.38 W$$

Para obtener un valor más preciso de la temperatura exterior superficial $T_{s,c}$, se despeja la ecuación 27 como se muestra:

$$T_{R6} - T_{s,a} = \dot{Q}_y R_{y,R6}$$

$$T_{s,a} - T_b = \dot{Q}_y R_{y,A36}$$

$$T_b - T_{s,c} = \dot{Q}_y R_{y,AT}$$

Al realizar la suma de las tres ecuaciones se obtiene:

$$T_{R6} - T_{s,c} = \dot{Q}_y R_{y,R6} + \dot{Q}_y R_{y,A36} + \dot{Q}_y R_{y,AT}$$

De donde:

$$T_{s,c} = T_{R6} - \dot{Q}_y R_{y,R6} - \dot{Q}_y R_{y,A36} - \dot{Q}_y R_{y,AT}$$

$$T_{s,c} = 353.15 - (466.38 * 2.037 \times 10^{-4}) - (466.38 * 5.888 \times 10^{-6}) - (466.38 * 0.121)$$

$$T_{s,c} = 296.50 K$$

Con lo cual, se recalcula $R_{y,rad}$ y $R_{y,eq}$:

$$R_{y,rad}$$

$$= \frac{1}{\pi * (2.5m)^2 * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((296.50K)^2 + (295.05K)^2)(296.33 + 295.50)}$$

$$R_{y,rad} = 3.777 \times 10^{-2} K/W$$

Entonces:

$$R_{y,eq} = \frac{1}{\frac{1}{3.395 \times 10^{-3}} + \frac{1}{3.777 \times 10^{-2}}} = 3.115 \times 10^{-3} K/W$$

Por lo tanto, la resistencia total es:

$$R_{y,total} = 2.037 \times 10^{-4} + 5.888 \times 10^{-6} + 0.121 + 3.115 \times 10^{-3}$$

$$R_{y,total} = 1.246 \times 10^{-1} K/W$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde por la **superficie superior** del tanque es:

$$\dot{Q}_y = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{total}} = \frac{353.15 K - 294.9 K}{1.246 \times 10^{-1} K/W}$$

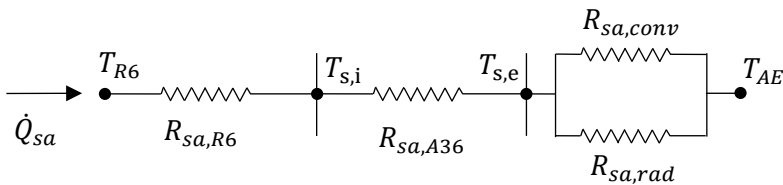
$$\dot{Q}_y = 466.35 W$$

3.3.3. Análisis en la superficie sin aislamiento

La resistencia a la transferencia de calor entre el petróleo industrial N° 6 y el aire exterior está compuesta por convección en el petróleo industrial N°6, conducción en el acero, convección y radiación hacia el aire exterior, en la Figura 35 se muestra las redes de resistencias térmicas de la superficie sin aislamiento.

Figura 35

Red de resistencias térmicas del tanque de almacenamiento (superficie cilíndrica)



Nota: Elaboración propia

La transferencia de calor a través de la superficie sin aislamiento del tanque se expresa como se muestra

$$\dot{Q}_{sa} = \frac{T_{R6} - T_{s,i}}{R_{sa,R6}} = \frac{T_{s,1} - T_{s,e}}{R_{sa,A36}} = \frac{T_{s,e} - T_{AE}}{R_{sa,eq}} \quad \dots (31)$$

O también se expresa como:

$$\dot{Q}_{sa} = \frac{T_{R6} - T_{AE}}{R_{sa,total}} \quad \dots (32)$$

La resistencia térmica total, es la suma de las resistencias del petróleo industrial N° 6, plancha de acero y del aire exterior

$$R_{sa,total} = R_{sa,R6} + R_{sa,A36} + R_{sa,eq} \quad \dots (33)$$

Donde:

$$R_{sa,eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_{sa,conv}} + \frac{1}{R_{sa,rad}}} \quad \dots (34)$$

El área superficial sin aislamiento considera manholes, bridas ciegas en las diferentes superficies del tanque, tuberías de ingreso y salida del tanque, espacios donde se encuentran instrumentos, soportes, anclajes, entre otros (ver Anexo 1, 2 y 3).

$$A_{sa} = A_m + A_{cs} \quad \dots (35)$$

Área de los manholes

- r_{m1} , radio de manhole 1, 0.35 m
- L_{m1} , longitud de cilindro manhole 1, 0.134 m
- r_{m2} , radio de manhole 2, 0.3125 m
- L_{m2} , longitud de cilindro manhole 2, 0.226 m

$$A_m = \pi r_{m1}^2 + 2\pi r_{m1} L_{m1} + \pi r_{m2}^2 + 2\pi r_{m2} L_{m2}$$

$$A_m = \pi * 0.35^2 + 2\pi * 0.35 * 0.134 + \pi * 0.3125^2 + 2\pi * 0.3125 * 0.226 = 1.43 \text{ m}^2$$

Área de conexiones en superficies

Tabla 7*Área de conexiones en superficies de tanque*

Descripción	Datos	Área
Un tramo de tubería de venteo 4"	Radio interior de tubería $r_v = 0.0508 \text{ m}$, longitud de tubería $L_v = 0.15 \text{ m}$	$A_4'' = 2(\pi * 0.0508^2) + 2\pi * 0.0508$
Un tramo de tubería de HFO 4"	Radio interior de tubería $r_{hfo} = 0.0508 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{hfo} = 0.15 \text{ m}$	$* (0.15 + 0.15)$ $= 0.112 \text{ m}^2$
Tres tramos de tubería de carga y retorno 3"	Radio interior de tubería $r_{cyr} = 0.03896 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{cyr} = 0.15 \text{ m}$	
Cuatro tramos de tubería de control de nivel 3"	Radio interior de tubería $r_{cn} = 0.03896 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{cn} = 0.2 \text{ m}$	$A_3'' = 8(\pi * 0.03896^2) + 2\pi * 0.03896$ $* (3 * 0.15 + 4 * 0.2$ $+ 0.175) = 0.387 \text{ m}^2$
Un tramo de tubería de limpieza 3"	Radio interior de tubería $r_{tl} = 0.03896 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{tl} = 0.175 \text{ m}$	
Dos tramos de tubería de rebose 6"	Radio interior de tubería $r_r = 0.07704 \text{ m}$, longitud de tubería $L_r = 0.25 \text{ m}$	$A_6'' = 2(\pi * 0.07704^2) + 2\pi *$ $0.07704 * (0.25 + 0.25) = 0.279 \text{ m}^2$
Un tramo de tubería de succión 5"	Radio interior de tubería $r_s = 0.0641 \text{ m}$, longitud de tubería $L_s = 0.25 \text{ m}$	$A_5'' = \pi * 0.0641^2 + 2\pi * 0.0641 * 0.25$ $= 0.114 \text{ m}^2$
Dos tramos de tubería de drenaje 1"	Radio interior de tubería $r_d = 0.01332 \text{ m}$, longitud de tubería $L_d = 0.2 \text{ m}$	$A_1'' = 2(\pi * 0.01332^2) + 2\pi *$ $0.01332 * (0.2 + 0.2) = 0.0346 \text{ m}^2$
Dos tramos de tubería de rebose de tanque 8"	Radio interior de tubería $r_{rt} = 0.10137 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{rt} = 0.25 \text{ m}$	$A_8'' = 2(\pi * 0.10137^2) + 2\pi * 0.10137$ $* (0.25 + 0.25)$ $= 0.383 \text{ m}^2$
Un tramo de tubería de transmisor 1-1/2"	Radio interior de tubería $r_{tt} = 0.02047 \text{ m}$, longitud de tubería $L_{tt} = 0.17 \text{ m}$	$A_{1-1/2}'' = \pi * 0.02047^2 + 2\pi * 0.02047$ $* 0.17 = 0.023 \text{ m}^2$
Una superficie rectangular para instrumento	$L_{r1} = 0.15 \text{ m}$, $L_{r2} = 0.15 \text{ m}$	$A_{R1} = 0.15 * 0.15 = 0.0225 \text{ m}^2$

Una superficie rectangular para ingreso de vapor	$L_{v1} = 0.16 \text{ m}, L_{v2} = 0.16 \text{ m}$	$A_{R2} = 0.16 * 0.16 = 0.0256 \text{ m}^2$
Dos superficies rectangulares para instrumentos	$L_{s1} = 0.17 \text{ m}, L_{s2} = 0.18 \text{ m}$	$A_{R3} = 2(0.17 * 0.18) = 0.0612 \text{ m}^2$
Una superficie circular para salida de vapor	$D_{sv} = 0.17 \text{ m}$	$A_{S1} = \pi * \frac{0.17^2}{4} = 0.0227 \text{ m}^2$
Una superficie circular para instrumento	$D_{si} = 0.28 \text{ m}$	$A_{S2} = \pi * \frac{0.28^2}{4} = 0.06158 \text{ m}^2$
TOTAL	Área de las conexiones	$A_{cs} = 1.526 \text{ m}^2$

Nota: Elaboración propia.

Por lo cual, reemplazando en la ecuación 35, el área superficial sin aislamiento es

$$A_{sa} = 1.43 + 1.526 = 2.956 \text{ m}^2$$

En el cálculo de las áreas sin aislamiento, no se consideró anclajes de tanque, tubos para soporte de barandas y escaleras, por lo cual se considera un porcentaje al área calculada

$$A_{sa} = 2.956 * 1.1 = 3.25 \text{ m}^2$$

a) Resistencia por convección del petróleo industrial N° 6

$$R_{sa,R6} = \frac{1}{A_{sa} h_{R6}} = \frac{1}{3.25 \text{ m}^2 * 250 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 1.353 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

b) Resistencia por conducción en el acero

$$R_{sa,A36} = \frac{L_a}{A_{sa} K_{A36}} = \frac{0.1 \text{ m}}{3.25 \text{ m}^2 * 51.9 \text{ W/m} \cdot \text{K}} = 3.910 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

c) Resistencia equivalente

a. Resistencia por convección al aire exterior

$$R_{sa,conv} = \frac{1}{A_{sa} h_{AE}} = \frac{1}{3.25 \text{ m}^2 * 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 0.0225 \text{ K/W}$$

b. Resistencia por radiación al aire exterior

$$R_{sa,rad} = \frac{1}{A_{sa} h_{rad}} = \frac{1}{A_{sa} \varepsilon \sigma (T_{s,e}^2 + T_{AE}^2)(T_{s,e} + T_{AE})}$$

Como no se conoce $T_{s,e}$ se necesita iterar, por lo cual, se realiza una estimación inicial de la temperatura superficial exterior, para este caso no muy diferente de la temperatura interior del combustible, suponiendo unos 75 °C (348.15 K), entonces la resistencia por radiación es:

$$R_{sa,rad} = \frac{1}{3.25m^2 * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((348.15K)^2 + (295.05K)^2)(348.15 + 295.05)}$$

$$R_{sa,rad} = 0.194 K/W$$

Reemplazando en la ecuación 34, la resistencia equivalente es.

$$R_{sa,eq} = \frac{1}{\frac{1}{0.0225} + \frac{1}{0.194}} = 0.0202 K/W$$

Reemplazando en la ecuación 33, la resistencia total es:

$$R_{sa,total} = 1.353 \times 10^{-3} + 3.910 \times 10^{-5} + 0.0202 = 0.0216 K/W$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde por la superficie sin aislamiento es:

$$\dot{Q}_{sa} = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{sa,total}} = \frac{353.15 K - 295.05 K}{0.0216 K/W}$$

$$\dot{Q}_{sa} = 2691.02 W$$

Para obtener un valor más preciso de la temperatura exterior superficial $T_{s,e}$, se despeja la ecuación 31 como se muestra:

$$\dot{Q}_{sa} = \frac{T_{R6} - T_{s,i}}{R_{sa,R6}} = \frac{T_{s,i} - T_{s,e}}{R_{sa,A36}} = \frac{T_{s,e} - T_{AE}}{R_{sa,eq}}$$

$$T_{R6} - T_{s,i} = \dot{Q}_{sa} R_{sa,R6}$$

$$T_{s,i} - T_{s,e} = \dot{Q}_{sa} R_{sa,A36}$$

Al realizar la suma de las dos ecuaciones se obtiene:

$$T_{R6} - T_{s,e} = \dot{Q}_{sa} R_{sa,R6} + \dot{Q}_{sa} R_{sa,A36}$$

De donde:

$$T_{s,e} = T_{R6} - \dot{Q}_{sa} R_{sa,R6} - \dot{Q}_{sa} R_{sa,A36}$$

$$T_{s,e} = 353.15 - (2691.02 * 1.353 \times 10^{-3}) - (2691.02 * 3.910 \times 10^{-5}) = 349.40 \text{ K}$$

Con lo cual, se recalcula $R_{sa,rad}$ y $R_{sa,eq}$:

$$R_{sa,rad} = \frac{1}{3.25m^2 * 0.23 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((349.40K)^2 + (295.05K)^2)(349.40 + 295.05)}$$

$$R_{sa,rad} = 0.192 \text{ K/W}$$

Entonces:

$$R_{sa,eq} = \frac{1}{\frac{1}{0.0225} + \frac{1}{0.192}} = 0.0202 \text{ K/W}$$

Por lo tanto, la resistencia total es:

$$R_{sa,total} = 1.353 \times 10^{-3} + 3.910 \times 10^{-5} + 0.0202 = 0.0216 \text{ K/W}$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde por la **superficie sin aislamiento** es:

$$\dot{Q}_{sa} = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{sa,total}} = \frac{353.15 \text{ K} - 349.4 \text{ K}}{0.0216 \text{ K/W}}$$

$$\dot{Q}_{sa} = 2692.63 \text{ W}$$

Finalmente, con los valores obtenidos de la transferencia de calor de la superficie cilíndrica, la transferencia de calor de la superficie superior y la transferencia de calor de la superficie sin aislamiento se reemplaza en la ecuación 22.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_x + \dot{Q}_y + \dot{Q}_{sa} = 2747.20 + 466.35 + 2692.63 = 5906.18 \text{ W}$$

Resultado que es la transferencia de calor total desde el interior del tanque de almacenamiento de petróleo industrial N° 6.

- VII. Comentarios: el análisis muestra que la perdida de calor por la superficie sin aislamiento en una fracción de área del tanque se acerca bastante a la pérdida por su superficie con aislamiento.

3.4. Análisis de transferencia de calor en la tubería de combustible

La tubería desde el tanque diario hasta las unidades elevadoras tiene un diámetro de 2-1/2" y 92.2 m de longitud, la tubería es de acero A53, tiene un aislamiento de lana de vidrio de

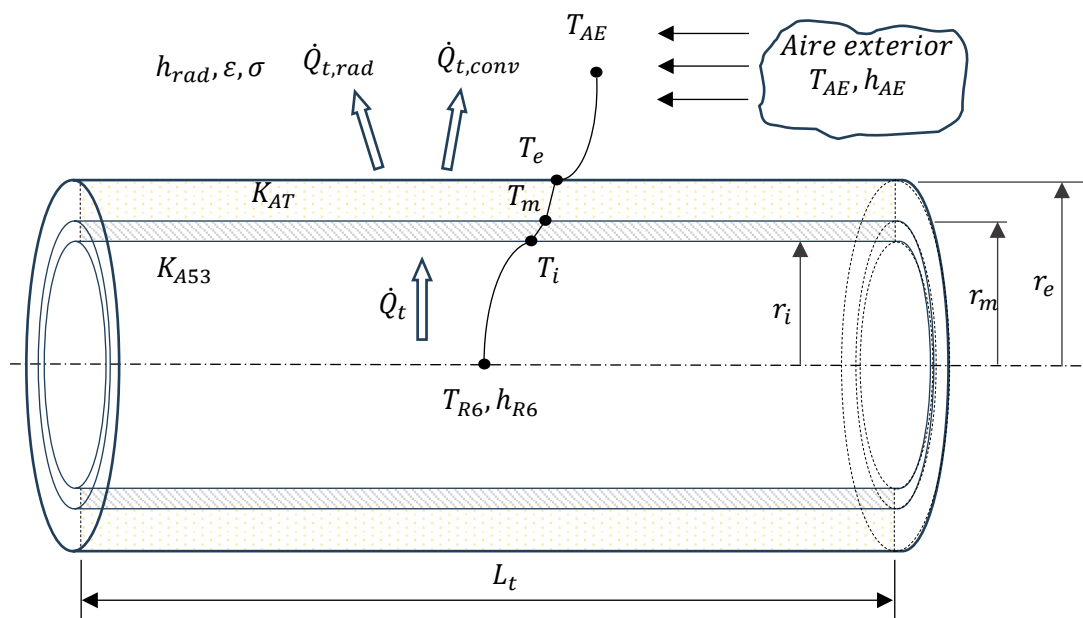
60 mm y esta recubierta con chapa de aluminio en la parte exterior; la tubería tendrá un calentador que suministra calor de forma constante; se requiere calcular la cantidad de calor necesaria para mantener el combustible a 80 °C (353.15 K).

Para el desarrollo del problema, se aplica la metodología de análisis de problemas de transferencia de calor.

- 1) Se conoce: La temperatura del fluido interior, las dimensiones de la tubería y aislamiento
- 2) Encontrar: La transferencia de calor desde el interior de la tubería
- 3) Esquema: En la Figura 36 se muestra de manera representativa la tubería que transporta petróleo industrial N° 6, con los mecanismos de transferencia de calor.

Figura 36

Mecanismos de transferencia de calor en la tubería de petróleo industrial N° 6



Nota. Elaboración propia

- 4) Suposiciones:
 - El combustible se encuentra en estado estacionario
 - La conducción a través del acero y aislamiento térmico es unidimensional

- No hay incremento en la energía almacenada
- El acero y aislamiento térmico es homogéneo y tiene propiedades constantes
- El espesor de la chapa de aluminio es insignificante, por lo cual no se considera para el cálculo
- La tubería se encuentra llena de petróleo industrial N° 6 en su totalidad.

5) Propiedades:

- K_{A53} , conductividad térmica del acero A53, $51 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (Precise Pipepedia, 2025)
- K_{AT} , conductividad térmica del aislamiento térmico, $0.042 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (FICHA DE PRODUCTO LANA DE VIDRIO AISLANGLASS, 2020)
- h_{R6} , coeficiente de transferencia de calor por convección del petróleo industrial N° 6, $50 - 450 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Cao, 2010). Se tomará un valor intermedio de $250 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- h_{AE} , coeficiente de transferencia de calor por convección natural de aire exterior $2 - 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Incropera & DeWitt, 1999). Pág. 8. Se tomará un valor intermedio de $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- σ , constante de Stefan-Boltzmann $5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ (Cengel, 2007)Pag.
- ε , emisividad de la chapa de aluminio, 0.07 (Incropera & DeWitt, 1999). Pág. 851.
- T_{AE} , temperatura exterior del aire, se considera para el presente trabajo la temperatura promedio mínima igual a 21.9°C (295.05 K) (Senahmi, 1992-2014)
- T_{R6} , temperatura del petróleo industrial N° 6 en el interior de la tubería, 80°C (353.15 K)
- r_i , radio interior de la tubería 0.03134 m (ver Anexo 4)
- r_m , radio exterior de la tubería 0.0365 m (ver Anexo 4)
- r_e , radio exterior de aislamiento 0.1 m
- L_t , longitud de la tubería, 92.2 m

6) Análisis: Empleando el principio de conservación de energía al sistema, se tiene:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que ingresa} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{generada} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que sale} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Incremento de energía} \\ \text{almacenada} \end{matrix} \right)$$

Aplicando las suposiciones, la expresión se reduce a:

$$\left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que ingresa} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Energía térmica} \\ \text{que sale} \end{matrix} \right)$$

Para determinar la cantidad de calor necesaria para mantener el combustible a 80 °C, es necesario calcular la cantidad de calor que se pierde del trayecto, el cual proviene de la transferencia de calor por de la tubería con aislamiento.

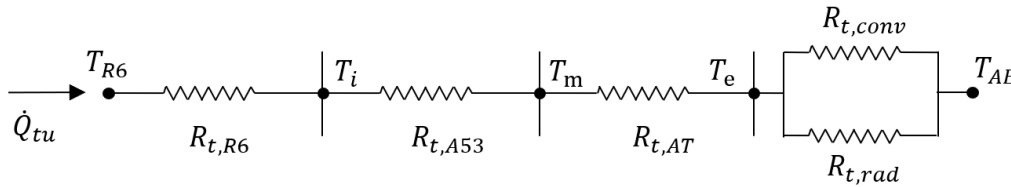
$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{tu} \quad \dots (36)$$

3.4.1. Análisis en la tubería con aislamiento

La resistencia a la transferencia de calor entre el petróleo industrial N° 6 y el aire exterior está compuesta por convección en el petróleo industrial N°6, conducción en el acero, conducción en el aislamiento térmico, convección y radiación en el aire exterior. Por lo cual, en la Figura 37 se muestra la red de resistencias térmicas del sistema.

Figura 37

Red de resistencias térmicas de la tubería



Nota: Elaboración propia

Donde la transferencia de calor se expresa como se muestra

$$\dot{Q}_{tu} = \frac{T_{R6} - T_i}{R_{t,R6}} = \frac{T_i - T_m}{R_{t,A53}} = \frac{T_m - T_e}{R_{t,AT}} = \frac{T_e - T_{AE}}{R_{t,eq}} \quad \dots (37)$$

O también se expresa como:

$$\dot{Q}_{tu} = \frac{T_{R6} - T_{AE}}{R_{t,total}} \quad \dots (38)$$

La resistencia térmica total, es la suma de las resistencias del petróleo industrial N° 6, plancha de acero, aislamiento térmico y del aire exterior

$$R_{t,total} = R_{t,R6} + R_{t,A53} + R_{t,AT} + R_{t,eq} \quad \dots (39)$$

Donde:

$$R_{t,eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_{t,conv}} + \frac{1}{R_{t,rad}}}$$

a) Resistencia por convección del petróleo industrial N° 6

$$R_{t,R6} = \frac{1}{Ah_{R6}} = \frac{1}{2\pi r_i L_t h_{R6}} = \frac{1}{2\pi * 0.03134m * 92.2m * 250W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{t,R6} = 2.20 \times 10^{-4} K/W$$

b) Resistencia por conducción en el acero

$$R_{t,A53} = \frac{\ln(r_m/r_i)}{2\pi K_{A53} L_t} = \frac{\ln(0.0365m/0.03134m)}{2\pi * (51 W/m \cdot K) * 92.2m}$$

$$R_{t,A53} = 5.16 \times 10^{-6} K/W$$

c) Resistencia por conducción en el aislamiento térmico

$$R_{t,AT} = \frac{\ln(r_e/r_m)}{2\pi K_{AT} L_t} = \frac{\ln(2.5822m/2.506m)}{2\pi * (0.042 W/m \cdot K) * 92.2m}$$

$$R_{t,AT} = 3.99 \times 10^{-2} K/W$$

d) Resistencia equivalente

a. Resistencia por convección al aire exterior

$$R_{t,conv} = \frac{1}{2\pi r_e L_t h_{AE}} = \frac{1}{2\pi * 0.0965m * 92.2m * 15W/m^2 \cdot K}$$

$$R_{t,conv} = 1.19 \times 10^{-3} K/W$$

b. Resistencia por radiación al aire exterior

$$R_{t,rad} = \frac{1}{2\pi r_e L_t \varepsilon \sigma (T_e^2 + T_{AE}^2)(T_e + T_{AE})}$$

Como no se conoce T_e se necesita iterar, por lo cual, se realiza una estimación inicial de la temperatura superficial exterior, para este caso no muy diferente de la temperatura ambiente, suponiendo unos 30 °C (303.15 K), entonces la resistencia por radiación es:

$$R_{t,rad}$$

$$= \frac{1}{2\pi * 0.0965m * 92.2m * 0.07 * 5.6704 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4 ((303.15K)^2 + (295.05K)^2)(303.15 + 295.05)}$$

$$R_{t,rad} = 4.21 \times 10^{-2} K/W$$

Entonces la resistencia equivalente será.

$$R_{t,eq} = \frac{1}{\frac{1}{1.19 \times 10^{-3}} + \frac{1}{4.21 \times 10^{-2}}} = 1.16 \times 10^{-3} K/W$$

Por lo cual, reemplazando en la ecuación 39, la resistencia total es

$$R_{t,total} = 1.11 \times 10^{-3} + 5.16 \times 10^{-6} + 3.99 \times 10^{-2} + 1.16 \times 10^{-3}$$

$$R_{t,total} = 4.13 \times 10^{-2} K/W$$

Entonces la cantidad de calor que se pierde es

$$\dot{Q}_{tu} = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{t,total}} = \frac{353.15 K - 295.05 K}{4.13 \times 10^{-2} K/W}$$

$$\dot{Q}_{tu} = 1405.29 W$$

Para obtener un valor más preciso de la temperatura exterior superficial T_e , se despeja la ecuación 37 como se muestra:

$$T_{R6} - T_i = \dot{Q}_t R_{t,R6}$$

$$T_i - T_m = \dot{Q}_t R_{t,A53}$$

$$T_m - T_e = \dot{Q}_t R_{t,AT}$$

Si se realiza la suma de las tres ecuaciones se obtiene:

$$T_{R6} - T_i = \dot{Q}_t R_{t,R6} + \dot{Q}_t R_{t,A36} + \dot{Q}_t R_{t,AT}$$

De donde:

$$T_{s,3} = T_{R6} - \dot{Q}_t R_{t,R6} - \dot{Q}_t R_{t,A36} - \dot{Q}_t R_{t,AT}$$

$$T_{s,3} = 353.15 - (1405.29 * 1.11 \times 10^{-3}) - (1405.29 * 5.16 \times 10^{-6}) - (1405.29 * 3.99 \times 10^{-2})$$

$$T_e = 296.68 \text{ K}$$

Con lo cual, se recalcula $R_{t,rad}$ y $R_{t,eq}$:

$$R_{t,rad}$$

$$= \frac{1}{2\pi * 0.0965m * 92.2m * 0.07 * 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 ((296.68\text{K})^2 + (295.05\text{K})^2)(296.68 + 295.05)}$$

$$R_{t,rad} = 4.35 \times 10^{-2} \text{ K/W}$$

Entonces:

$$R_{t,eq} = \frac{1}{\frac{1}{1.19 \times 10^{-3}} + \frac{1}{4.35 \times 10^{-2}}} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

La resistencia total será:

$$R_{t,total} = 1.11 \times 10^{-3} + 5.16 \times 10^{-6} + 3.99 \times 10^{-2} + 1.16 \times 10^{-3}$$

$$R_{t,total} = 4.13 \times 10^{-2} \text{ K/W}$$

Entonces, la cantidad de calor que se pierde por la **tubería con aislamiento** es:

$$\dot{Q}_{tu} = \frac{(T_{R6} - T_{AE})}{R_{total}} = \frac{353.15 \text{ K} - 294.9 \text{ K}}{4.13 \times 10^{-2} \text{ K/W}}$$

$$\dot{Q}_{tu} = 1405.29 \text{ W}$$

Finalmente, se reemplaza en la ecuación 36.

$$\dot{Q}_t = 1405.29 \text{ W}$$

Resultado que es la transferencia de calor desde el interior de la tubería que transporta petróleo industrial N° 6 desde el tanque de almacenamiento hasta las unidades elevadoras “booster” de los grupos electrógenos.

- 7) Comentarios: el análisis muestra lo determinante del aislamiento térmico en la conservación de la temperatura del combustible a lo largo de la tubería, proporcionando alrededor del 95 % de la resistencia a la transferencia de calor desde el interior al exterior de la tubería.

CAPITULO IV

Dimensionamiento del sistema de precalentamiento

4.1. Consideraciones previas

El sistema de precalentamiento tiene como objetivo mantener una temperatura constante de 80 °C tanto en el tanque diario de petróleo industrial N° 6 como en la tubería de combustible que conecta ese tanque con las unidades elevadoras "boosters". Este sistema se activará cuando los grupos electrógenos se detengan, por lo que la temperatura inicial del combustible será poco más de 80 °C, compensando las pérdidas de calor causadas por la diferencia entre la temperatura entre el combustible y la temperatura exterior, a través de los diferentes mecanismos de transferencia de calor, que se calcularon en el capítulo anterior.

Por otro lado, el equipamiento seleccionado será conectado al sistema eléctrico existente, el cual dispone, entre otros voltajes de 380 V trifásico para los equipos de potencia y 220 V o 110 V monofásico para equipos de control.

4.2. Sistema de precalentamiento para tanque

El sistema de calentamiento en el tanque diario se realizará mediante un calentador de inmersión tipo brida, controlado automáticamente.

4.2.1. Cálculo de la potencia del calentador

La potencia del calentador se define por:

$$Potencia\ del\ calentador = Potencia\ calculada * factor\ de\ seguridad \quad \dots (40)$$

Para la selección del factor de seguridad, se tiene en consideración:

- Operación, el sistema de precalentamiento solo operará para mantener la temperatura requerida y no tendrá grandes variaciones de la demanda de calor.
- Condiciones ambientales, una temperatura exterior por debajo de la considerada para el cálculo (temperatura promedio mínimo) no representa una variación significativa en la demanda de calor, debido al aislamiento térmico.

- Incertidumbre en el cálculo de calor, la contaminación y/o envejecimiento del material aislante, puede afectar la conductividad térmica del aislamiento.

El sistema tiene incertidumbre baja y condiciones estables, se aplica un factor de seguridad de 1.2; entonces, reemplazando en la ecuación 40, la potencia del calentador es.

$$\text{Potencia del calentador} = 5906.18 \text{ W} * 1.2 = 7087.41 \text{ W}$$

4.2.2. Selección del calentador de inmersión

El calentador para el tanque debe cumplir y/o satisfacer los siguientes requerimientos:

- Fluido de trabajo: petróleo industrial N° 6 (fuel oil)
- Temperatura de operación: 80 °C
- Potencia del calentador: 7.1 kW
- Posición de calentador: horizontal, para tanque cilíndrico vertical, D=5 m
- Criticidad de equipo: critico, la indisponibilidad del tanque diario ocasionaría la parada de la planta
- Inactividad del tanque: mínima (instalación rápida)
- Carcasa de calentador expuestos a la intemperie y humedad.

Se selecciona un calentador LTFX de la marca Chromalox, el cual permite reemplazar los elementos calefactores del tanque sin vaciarlo, alternativa idónea para esta aplicación.

Figura 38

Especificaciones del modelo – Carcasa resistente a explosiones/humedad

Heater Model	kW	Volts	Phase	Circuits	Immersion Length (In.)	ANSI Flange Size	Number of Tubes	Nominal Tube Diameter	Watt Density (Outside)
LTFX-125-004E2	4	480	3	1	66	4" - 150#	1	2"	9
LTFX-128-008E2	8	480	3	1	96	4" - 150#	1	2"	12
LTFX-1212-012E2	12	480	3	1	144	4" - 150#	1	2"	12

Nota: Tomado de *LTFX Tubing Heater*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-ltfx.ashx?rev=c33e3db06f9e459ca07a17c6aa2162a4&hash=C5846943007773E5FD8337545F8C1AE1>)

El calentador seleccionado LTFX-128-008-E2 (Anexo 5), que cumple los requerimientos detallados para el tanque de almacenamiento de petróleo industrial N°6, tiene las siguientes características.

Tabla 8

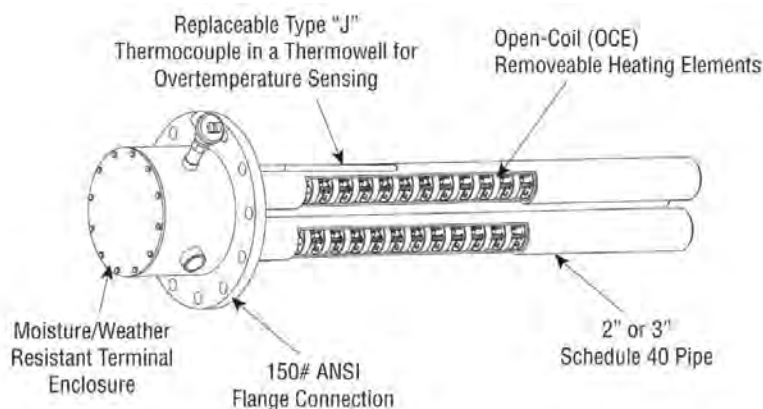
Características del calentador seleccionado

Característica	Detalle
Descripción	El modelo LTFX permiten cambiar los elementos calefactores del tanque sin vaciarlo
Potencia del calentador	8 kW
Voltaje	480 V
Fases	3
Circuito	1
Longitud de inmersión	96" (2,438.4 mm)
Brida	4"
Numero de tubos	1
Diámetro del tubo	2"
Densidad de potencia	12 W/in ² (1.9 W/cm ²)
Elementos calefactores	Reemplazables, no requiere vaciar el tanque
Corriente total	9.6 A
Carcasa	Resistente a explosiones/humedad, certificación IECEx, IP66, ATEX
Aplicaciones	Diésel, fueloil y otros
Posición	Montaje horizontal
Espacio mínimo requerido	Los elementos de bobina abierta (OCE) se pueden doblar y requieren tan solo 91 cm de espacio libre
Calefacción eléctrica limpia y sin contaminación	Ofrecen una mayor eficiencia operativa. Además, la calefacción eléctrica se puede controlar con precisión mediante paneles de control

Nota: Adaptado de *LTFX Tank Heating Solution*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-ltfx.ashx?rev=c33e3db06f9e459ca07a17c6aa2162a4&hash=C5846943007773E5FD8337545F8C1AE1>)

Figura 39

Imagen referencial del calentador LTFX



Nota: Tomado de *Tank Heating: A Practical Guide*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/white-papers/en-us/wp-tankheating.ashx>)

4.2.3. Selección del equipamiento de control y sensores

El sistema de control del calentador eléctrico está compuesto por un controlador de temperatura, un sensor de temperatura, un contactor encargado de la conmutación de potencia y los dispositivos de protección; para la selección de cada componente, se tiene las siguientes consideraciones:

- Precisión de control de temperatura, no requiere precisión exigente, una termocupla o sensor RTD con termo pozo (evitar vaciar el tanque) cubre la necesidad.
- Tipo de control, no exige una precisión en el control, las oscilaciones de temperatura no son críticas; un control on/off como mínimo cumplirá la necesidad.
- Interfaz de usuario, mínimo una pantalla digital para visualizar la temperatura.

4.2.3.1. Sensor de temperatura.

Se selecciona un sensor tipo RTD PT100 de la marca Chromalox, modelo PR-18-L-3-100-14-12 (Anexo 6) con termo pozo, el cual además de cumplir la función de protección, permitirá reemplazar y/o realizar mantenimiento al sensor de temperatura sin vaciar al tanque.

Tabla 9*Características del sensor de temperatura RTD seleccionado*

Característica	Detalle
PR – RTD con cabezal de conexión	Elemento RTD de platino de precisión de 100 ohmios (PT100)
Cabezal de conexión	Cabezal de conexión de aluminio con cierre a presión
Rango de temperatura	Temperatura baja: -50 a 250 °C (-58 a 482 °F)
Tipo de TDR	RTD de platino de 3 hilos y 100 ohmios
Rosca de montaje	1/2"
Dimensiones del diámetro exterior de la vaina	1/4"
Longitud de la sonda	12"
Material de vaina	Vaina de acero inoxidable 304
PR-18	Cabezal de aluminio con práctico diseño de cierre a presión y bloque de terminales interno

Nota: Adaptado de *Controls PR*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-pr.ashx?rev=6b0481827bd94aa3a31be534088b6d7a&hash=ED51DEED17D7BEECBDB855FF6B3BFC715>)

Termo pozo

Con las características del sensor de temperatura RTD (rosca de montaje 1/2" y longitud de la sonda 12"). Se selecciona el termo pozo para uso general 260S modelo 1/2-260S-U10-1/2-316SS/C de la marca Chromalox (Anexo 7).

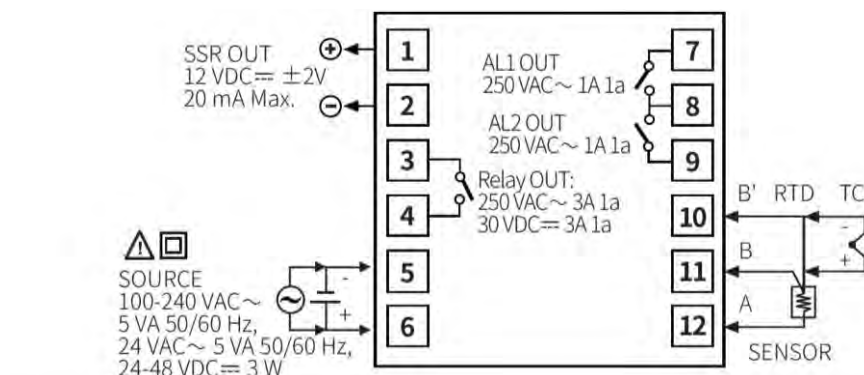
4.2.3.2. Controlador de temperatura

Se encargará de controlar al calentador de inmersión seleccionado LTFX-128-008-E2 (8 kW, 480 V trifásico y 9.6 A), con una entrada de sensor RTD PT100; al revisar las opciones en el mercado, se verifico que controladores con alimentación de 480 V trifásica no son comunes, por lo cual, se selecciona un controlador tipo PID de doble pantalla modelo TCN4S-24S de la marca Autonics (Anexo 8), el cual tiene diferente voltaje del calentador, es decir, la alimentación del controlador y calentador serán independientes.

Tabla 10*Características del controlador Autonics seleccionado*

Característica	Detalle
Alimentación	100-240 VAC~50/60 Hz
Rango de voltaje permisible	90 a 110 % de la tensión nominal
Consumo de energía	CA: ≤ 5 VA, CC: ≤ 3 W ≤ 5 VA
Periodo de muestreo	100 ms
Entrada	RTD (PT100, Cu50), Termocupla (K, J, L, T, R, S)
Salida de control	Relay: 250 VAC~ 3A, 30 VDC $\approx$ 3A, 1a SSR: 12 VDC $\approx$ $\pm$ 2 V, ≤ 20 mA
Salida de alarma	250 VAC ~ 1 A 1a
Tipo de pantalla:	7 segmentos (rojo, verde), tipo LED
Tipo de control	Calefacción, Refrigeración: ON/OFF, P, PI, PD, Control PID
Histéresis	1 a 100 (0,1 a 50,0) °C/°F
Control cycle (T)	0.5 to 120.0 sec
Opciones de control de la salida del variador SSR (función SSRP)	Control de encendido/apagado, control de ciclo, control de fase

Nota: Tomado de *Dual Indicator Temperature Controller TCN4 SERIES*, por Autonics (s.f.), (<https://peruautonics.com/wp-content/uploads/2022/01/Manual-de-Instruccion-Serie-TCN-Autonics.pdf>)

Figura 40*Conexiones del controlador de temperatura*

Nota: Tomado de *Dual Indicator Temperature Controller TCN4 SERIES*, por Autonics (s.f.) (<https://peruautonics.com/wp-content/uploads/2022/01/Manual-de-Instruccion-Serie-TCN-Autonics.pdf>)

4.2.3.3. Relé de estado sólido (SSR)

El relé de estado sólido se encargará de encender o apagar la carga eléctrica del calentador LTFX-128-008-E2 (8 kW, 480 V trifásico y 9.6 A), por orden del controlador TCN4S-24S, con entrada de 12 VDC. Se selecciona el relé MS-3DA4825 (Anexo 9) de la marca Maxwell.

Tabla 11

Características del relé de estado sólido Maxwell seleccionado

Característica	Detalle
Voltaje de operación	24-680 VAC 50/60 Hz
Sobretensión transitoria máxima (Vpico)	1200
Corriente de fuga máxima en estado apagado @ voltaje nominal (mA)	menos de 10 mA
Fases	Tres fases
Corriente de carga	25 amps
Configuración de entrada	Rango 5 – 32 VDC
Voltaje mínimo de encendido	5.2 VDC
Voltaje mínimo de apagado	1 VDC
Corriente de fuga	15 mA
Rango de temperatura ambiente de operación	-20 °C ~ +80 °C

Nota: Tomado de SSR TRIFASICO, RELE DE ESTADO SOLIDO 3X60A, 3-32V CONTROL, 480VAC CARGA, por Automaq Corporation S.A.C. (s.f.) (<https://automaq.pe/producto/5967/ssr-trifasico-rele-de-estado-solido-3x60a-3-32v-control-480vac-carga>)

El relé de estado sólido requiere disipadores de calor, que a la vez sirve de soporte; en la Figura 41 se muestra alternativas para selección.

Figura 41

Guía para selección de disipadores de calor

ITEM NO	SIZE(mm)	Compatible SSR	Mouting method
MW-L-150	150x88x35	10A/25A	Panel mount only
MW-E-105	105x74x40	10A/25A	Panel mount or din rail mount

Nota: Tomado de SSR TRIFASICO, RELE DE ESTADO SOLIDO 3X60A, 3-32V CONTROL, 480VAC CARGA, por Automaq Corporation S.A.C. (s.f.) (<https://automaq.pe/producto/5967/ssr-trifasico-rele-de-estado-solido-3x60a-3-32v-control-480vac-carga>)

Figura 42

Soporte disipador de calor seleccionado con montaje en panel o riel DIN



Model: MW-E-105
 Size: 105mm*74mm*40mm
 For 10 amps/25 amps SSR
 Mounting method: Panel mount and din rail mount

Nota: Tomado de SSR TRIFASICO, RELE DE ESTADO SOLIDO 3X60A, 3-32V CONTROL, 480VAC CARGA, por Automaq Corporation S.A.C. (s.f.) (<https://automaq.pe/producto/5967/ssr-trifasico-rele-de-estado-solido-3x60a-3-32v-control-480vac-carga>)

4.2.3.4. Transformador

Debido a que el calentador de inmersión tiene un voltaje distinto a los disponibles, se requiere transformar el voltaje de 380 V a 480 V, por lo cual, se selecciona el transformador de 10 kVA modelo EN-SBK10000 de la marca ENERGIT (Anexo 10), el cual tiene las siguientes características que se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Características técnicas de transformador EN-SBK10000 ENERGIT

Característica	Detalle
Tipo:	Transformador de Aislamiento (Doble bobina)
Potencia Real:	10 KVA
Voltajes para fabricar:	220V – 380V – 440V – 480V AC (Mas Tierra o Neutro), entrada y salida
Fase:	3PH – Trifásico
Frecuencia:	50 – 60 Hz
Tipo de conexión:	Bornera (Ingreso y Salida)
Eficiencia:	> 98%
Tipo:	Seco
Aislamiento térmico:	Tipo H (155°C)
Factor de potencia:	0.9
Nivel de aislamiento A.T.:	1.1/3KV
Nivel de aislamiento B.T.:	1.1/3KV
Condiciones de trabajo	
Altitud máxima:	4800 m.s.n.m

Temperatura de Trabajo:

0° ~ 60 °C

Nota: Tomado de *Transformador de Aislamiento Trifásico – 10 kVA*, por Epri Peru (s.f.) (<https://epriperu.com/productos/transformador-de-aislamiento-trifasico-10kva>)

4.2.3.5. Tablero eléctrico

Para la instalación del controlador de temperatura, relé de estado sólido y los dispositivos de protección, se selecciona el tablero para adosar metálico 500x400x200 mm con puerta c/plancha de la marca Legrand (Anexo 11).

4.2.4. Dispositivos de protección

Para el calentador eléctrico se requiere principalmente dos tipos de protección, la protección por sobre corriente contra sobrecargas y cortocircuitos, y la protección contra fugas a tierra, para la seguridad del personal de planta contra descargas eléctricas.

4.2.4.1. Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético seleccionado para la protección de sobre corriente y cortocircuitos, se instalará entre el transformador y la fuente de alimentación de 380 V, por lo cual, el dispositivo de protección en el lado primario será

$$P_{entrada} = \frac{P_{entrada}}{Eficiencia} = \frac{8000}{0.98} = 8,163.26 \text{ W}$$

Y la corriente en la entrada es

$$I_{primario} = \frac{P_{entrada}}{\sqrt{3} * V_{entrada}} = \frac{8,163.26}{\sqrt{3} * 380} = 12.4 \text{ A}$$

El interruptor termomagnético seleccionado para 380 V trifásico y $12.4 * 1.25 = 15.5$ A, es el modelo S203-C16 (16 A) de la marca ABB (Anexo 12).

4.2.4.2. Interruptor diferencial

El interruptor diferencial para la protección contra fugas a tierra se instalará entre el transformador y la fuente de alimentación, es decir para 380 V y 15.5 A por lo cual, el dispositivo de protección seleccionado es el modelo F204 AC-25/0,03 (25 A) de la marca ABB (Anexo 13).

4.2.5. Instalación y conexión del sistema de calentamiento

La instalación del calentador de inmersión tipo brida en el tanque diario se muestra en el plano TK-D-001 (Anexo 14) y de manera referencial en la Figura 43 y 44.

Figura 43

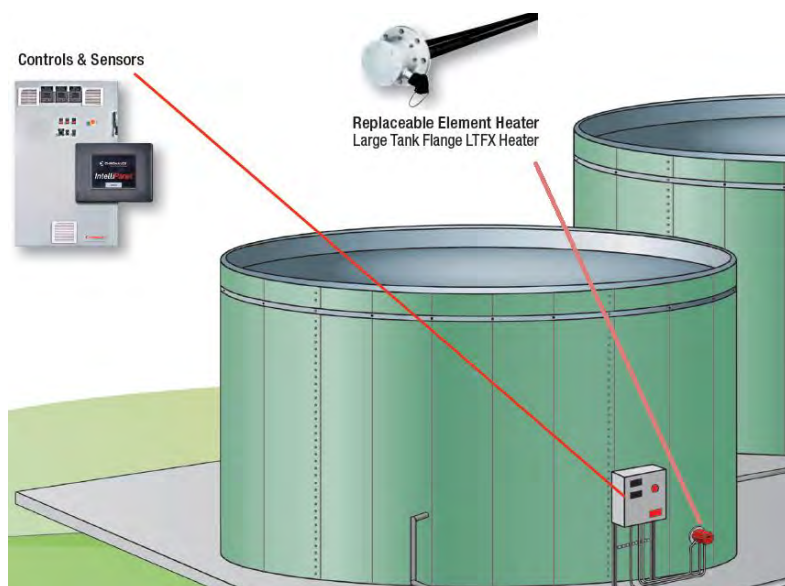
Instalación de calentador de inmersión tipo brida en tanque



Nota: Tomado de *Tank Heating Systems*, por Chromalox (2016).

Figura 44

Imagen referencial de instalación de sistema de calentamiento en tanque de combustible

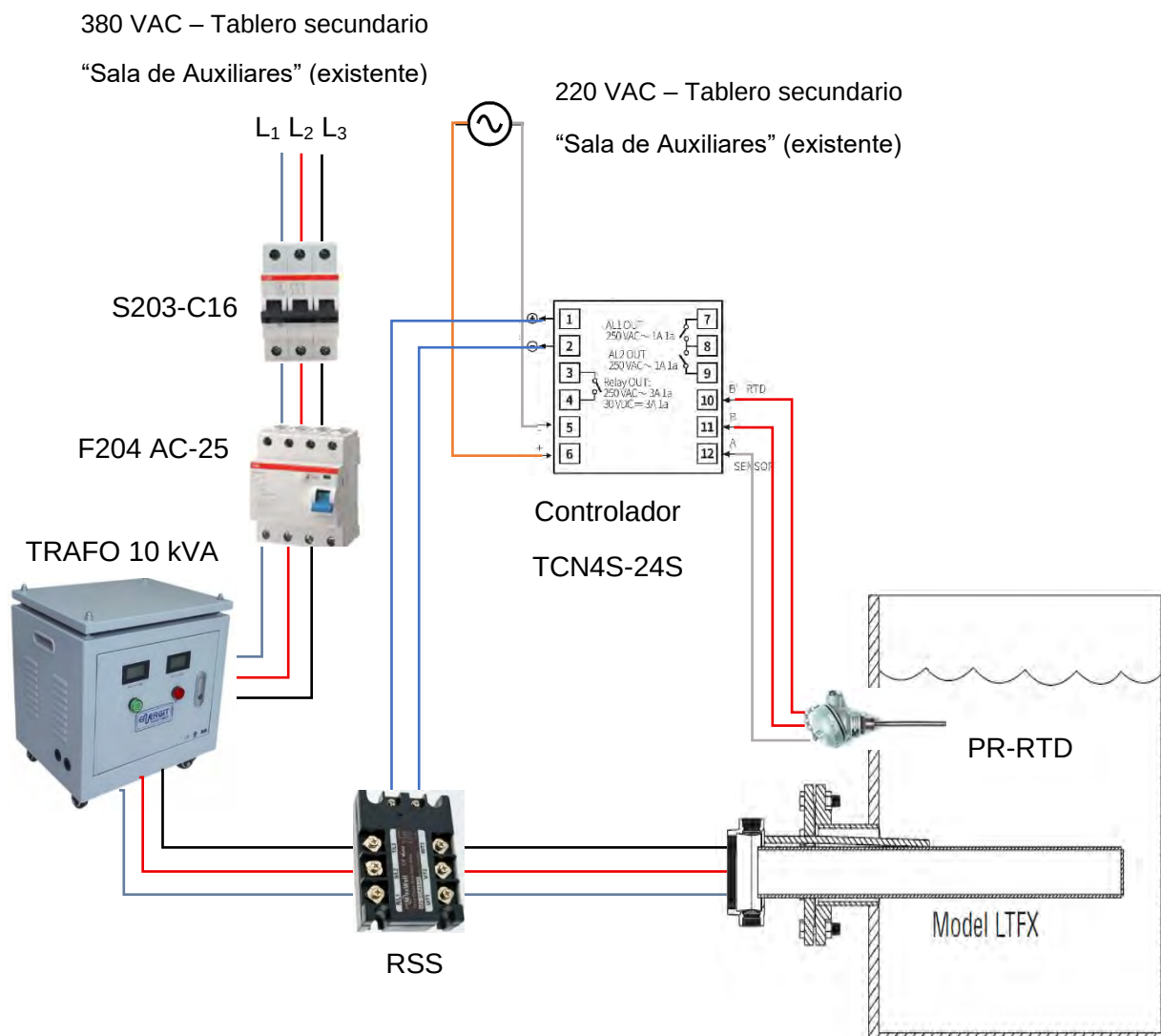


Nota: Tomado de *Tank Heating Systems*, por Chromalox (2016).

El sistema de precalentamiento para el tanque de combustible tendrá la conexión, según se muestra en la Figura 45.

Figura 45

Conexión del calentador de tanque



Nota: Elaboración propia

4.3. Sistema de precalentamiento para tubería

El sistema de precalentamiento para la tubería de petróleo industrial N° 6, se realizará mediante un cable calefactor y su equipamiento de control, cuya función es mantener constante

la temperatura a 80 °C, es decir compensar las pérdidas de calor por los diferentes mecanismos de transferencia desde el interior al exterior.

4.3.1. Cálculo de la potencia del cable calefactor

En el capítulo anterior se calculó la pérdida de calor desde el interior al exterior de la tubería de petróleo industrial N° 6, el cual es

$$\dot{Q}_t = 1405.29 \text{ W}$$

Así mismo, la longitud total de tubería que se requiere mantener la temperatura es

$$L_T = 92.2 \text{ m}$$

Entonces, la pérdida de calor de la tubería de combustible por unidad de longitud es

$$q' = \frac{1405.29 \text{ W}}{92.2 \text{ m}} = 15.24 \text{ W/m}$$

A fin de la selección del cable calefactor, se define la potencia lineal por:

$$\text{Potencia lineal del cable calefactor} = \text{Potencia lineal calculada} * \text{factor de seguridad} \dots (41)$$

Para la selección del factor de seguridad, se tiene en consideración:

- Operación, el sistema de precalentamiento solo operará para mantener la temperatura requerida y no tendrá grandes variaciones de la demanda de calor.
- Condiciones ambientales, una variación en la temperatura exterior por debajo de la considerada para el cálculo (temperatura promedio mínimo) no representa una variación significativa en la demanda de calor, debido al aislamiento térmico.
- Incertidumbre en el cálculo de calor, la contaminación y/o envejecimiento del material aislante no afectará la conductividad térmica del aislamiento.

El sistema tiene incertidumbre baja y condiciones estables, por lo cual se aplica un factor de seguridad de 1.2; entonces, reemplazando en la ecuación 41, la potencia del calentador es.

$$\text{Potencia lineal del cable calefactor} = 15.24 \text{ W/m} * 1.2 = 18.29 \text{ W/m}$$

4.3.2. Selección del cable calefactor

El cable calefactor debe cumplir y/o satisfacer los siguientes requerimientos:

- Fluido de trabajo: petróleo industrial N° 6 (fuel oil)
- Temperatura de operación: 80 °C (176 °F)
- Temperatura máxima de exposición: 170 °C (338 °F), temperatura del vapor
- Diámetro de tubería: 2-1/2"
- Material de tubería: Acero A53
- Longitud total de tubería: 92.2 m (302.49 ft)
- Potencia lineal del cable calefactor: 18.29 W/m (5.57 W/ft)

Se selecciona el cable calefactor auto regulable para aplicación industrial SRM/E de la marca Chromalox, según se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Características de cables calefactores Chromalox

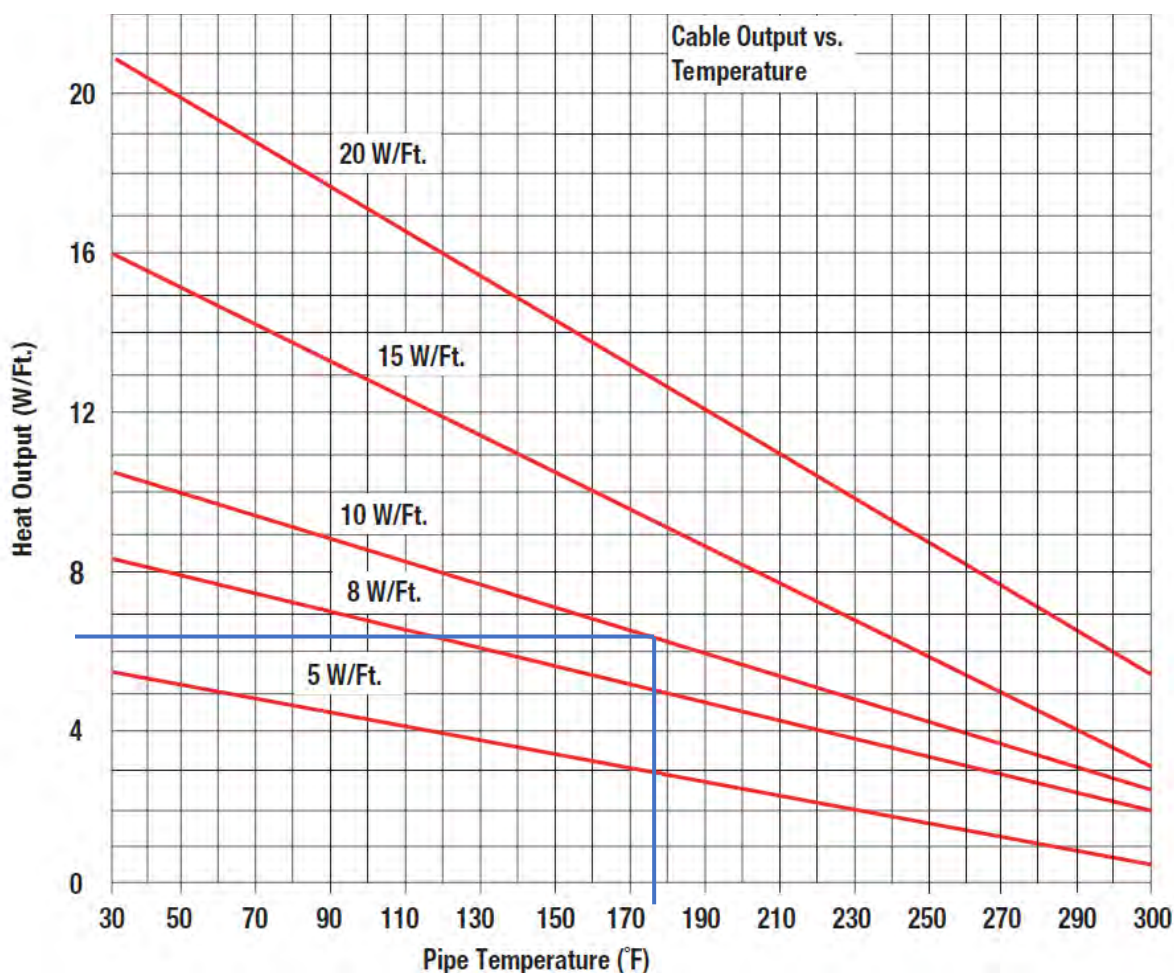
Features	Industrial						Commercial		
	SRL	SRP	SRM/E	CWM	SLL	Alloy 825 MI	SRF	SRF-RG	HWM
Max. Maintenance Temp. (°F)	150	225	302	320	302	900	100	50	225
Max. Exposure Temp. (°F) Power Off	185	275	420	400	450	1,100	185	185	275
Max. W/Ft.	10	15	20	12	12	50	8	12	15
Max. Circuit Length (Ft.)	95-660	55-750	150-750	225-900	7,500	330-1,000	180-660	135-540	500-800
Buss Wire Size	16	16	16	12	16,14,12,10	N/A	16	16	16
Voltages	120, 208-277	120, 208-270	120, 208-277	120, 208-277, 480	120-600	Up to 600	120, 208-277	120, 208-277	120, 208-270
Hazardous Ratings	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Usable on Plastic Pipe	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Cut-to-Length in Field	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Field Splicable	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Can be Overlapped	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Output Varies with Temp.	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Varies Output Along Length	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Design of System	Simple	Simple	Simple	Simple	Involved	Involved	Simple	Simple	Simple
Installation of System	Easiest	Easiest	Easiest	Simple	Simple	Involved	Easiest	Easiest	Easiest
Fire Resistance	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Excellent	Fair	Fair	Fair
Chemical Resistance	See Corrosion Guide, next page								
Size (Max. In.)	.435x.185	.435x.185	.435x.185	.435x.235	.435x.185	0.4	.435x.185	.435x.185	.435x.185
Accessories	DL/EL/U	D/UL	DL/U	DL/EL/U	U		DL/EL/U	RG Access.	DL/U
Monitor Wire Available	Yes	Yes	Contact Factory	Contact Factory	No	No	No	No	Yes
Applications	FL,PL	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL	RG	HWM
FL = Freeze Protection FH = Freeze Protection, High Exposure Temp. PL = Process Maintenance, Low Temperature PH = Process Maintenance, High Temperature RG = Roof and Gutter De-icing HWM = Hot Water Maintenance									

Nota: Tomado de *Heat Tracing Products*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/technical-overview/dg-heat-trace.ashx?rev=416853f8dac049ada74822bb12a63ba2&hash=EE26F8A65DAD015EDF1B7B9FDC62B703>)

Una vez definido el tipo de cable calefactor (SMR/E), se ajusta la potencia en función de la temperatura de mantenimiento, empleando el grafico potencia térmica del cable SMR/E que se muestra en la Figura 47, se selecciona la potencia del cable más baja que suministre a la temperatura de mantenimiento que es 80 °C (176 °F), para este caso nos da un valor aproximado de 6.4 W/ft, valor que es superior el requerido (5.57 W/ft). Por lo cual se selecciona el cable calefactor con potencia de salida de 10 W/ft.

Figura 47

Valores Nominales de Salida Térmica en Tuberías Metálicas Aisladas



Nota: Tomado de SRM/E Self-Regulating Medium Temperature, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-srme.ashx?rev=d96c3afabc534ebaac043a76d94b1d02&hash=1BBE2683B0D4C4792AA3B616A7902160>)

El cable calefactor seleccionado es el autorregulable de temperatura media SRM/E 10-2CT de la marca Chromalox (Anexo 15); el cual, a medida que la temperatura del proceso disminuye, la emisión de calor del núcleo aumenta y a medida que la temperatura del proceso aumenta, la salida de calor disminuye. Las principales características se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Características de cable calefactor SRM/E 10-2CT

Característica	Detalle
Modelo	Auto regulable (Matriz de núcleo de polímero semiconductor — Componente “autorregulador” del cable, su resistencia eléctrica varía con la temperatura)
Potencia salida	10 W/ft
Voltaje	208 - 277 V
Calibre de cable	16 AWG
Máxima longitud de circuito	750 ft
Máxima temperatura de mantenimiento	302 °F (150 °C)
Máxima temperatura de exposición	420 °F (215 °C)
Aplicación	Mantenimiento de procesos industriales, protección industrial contra congelamiento
Dimensiones aproximadas	0.47”x0.2” (11.94 mm x 5.08 mm)
Uso	Tuberías metálicas
Radio de curvatura mínimo	1-1/8” (28.58 mm)
Diseño del sistema	Sencillo (costo de instalación menor que el traceado con vapor, menos gastos de mantenimiento y tiempo de inactividad).
Instalación del sistema	Fácil (se corta a cualquier longitud), los empalmes se realicen fácilmente
Resistencia al fuego	Regular
Resistencia química	Cubierta de polímero resistente a la corrosión sobre trenzado para entornos hostiles/corrosivos
Aprobado	ATEX, IECEx, FM y CSA

Nota: Adaptado SRM/E Self-Regulating Medium Temperature, por Chromalox (2025) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-srme.ashx?rev=d96c3afabc534ebaac043a76d94b1d02&hash=1BBE2683B0D4C4792AA3B616A7902160>)

La longitud total del cable calefactor se determina sumando los metros de tubería y los márgenes para componentes como bridas, válvulas y soportes. En la Tabla 14 se muestra las equivalencias de los diferentes componentes.

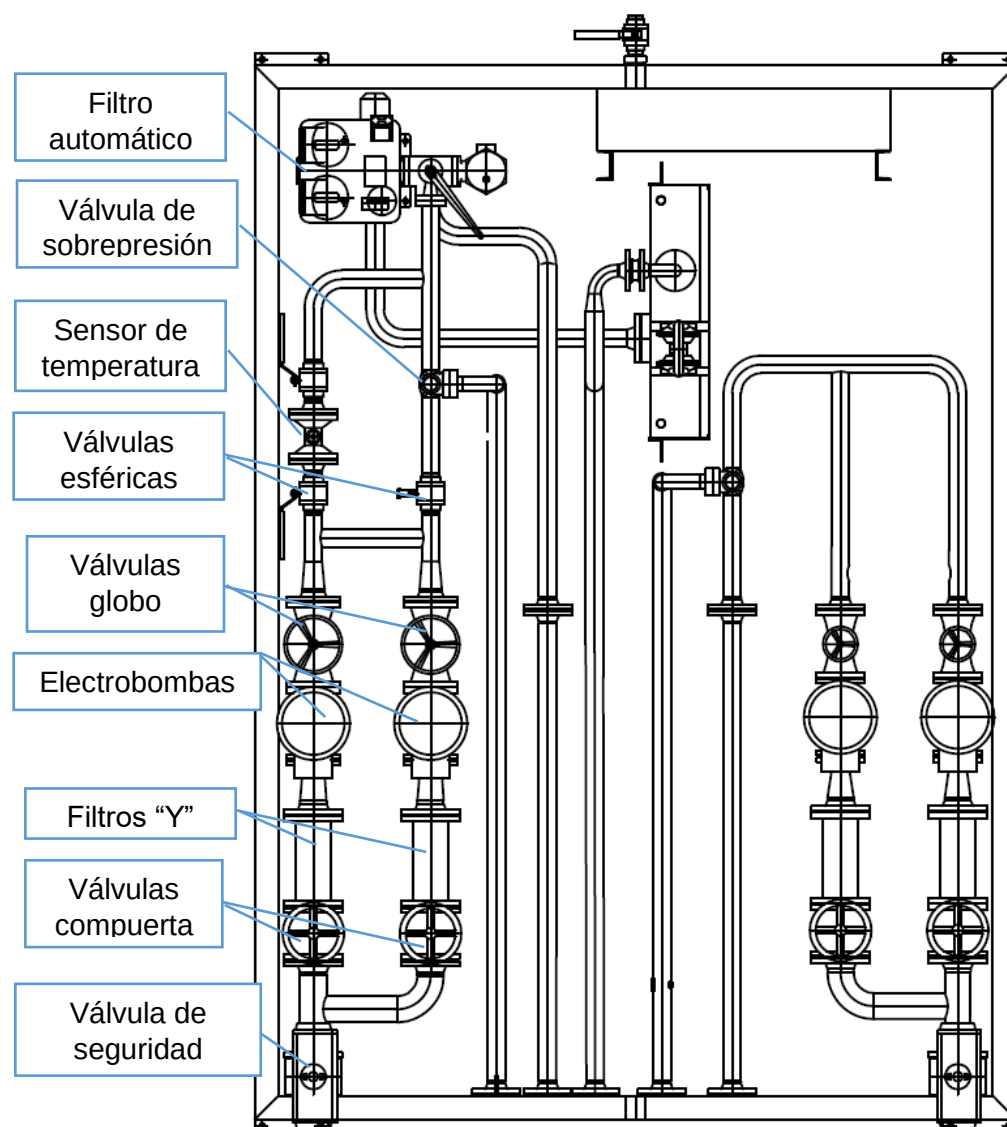
Tabla 14

Longitudes de cable adicionales requeridas para componentes en línea de 2-1/2"

Componente	Dimensión (ft)
Válvula compuerta	2.5
Válvula de globo	2.0
Válvula de bola	2.0
Válvula mariposa	2.0
Soporte de zapata	2.0
Soporte de suspensión (colgadores)	2.0
Soporte de durmientes	2.0
Par de bridas	0.3

Nota: Adaptado de *Heat Tracing Products*, por Chromalox (2025) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/technical-overview/dg-heat-trace.ashx?rev=416853f8dac049ada74822bb12a63ba2&hash=EE26F8A65DAD015EDF1B7B9FDC62B703>)

En el recorrido de la tubería de petróleo industrial N° 6, desde el tanque diario hasta las unidades elevadoras o “booster” de los grupos electrógenos, atraviesa la unidad alimentadora o feeder, esta instalación cuenta con diversos accesorios según se muestra en la Figura 48.

Figura 48*Unidad alimentadora LFO/HFO*

Nota: Adaptado de *Plano FEEDER UNIT*, por Wärtsilä (2013).

En la Tabla 15, se muestra las equivalencias de los componentes que se cuenta en la unidad alimentadora.

Tabla 15*Equivalencias de componentes de la unidad alimentadora*

Componentes de unidad alimentadora	Equivalencia a componentes definidos en la Figura 50	Longitud (ft)
1 filtro automático	2 válvulas compuesta	$2 * 2.5 = 5.0 \text{ ft}$
1 válvula de sobrepresión	1 válvula de bola	$1 * 2.0 = 2.0 \text{ ft}$
1 válvula de seguridad	1 válvula de bola	$1 * 2.0 = 2.0 \text{ ft}$
3 válvulas de bola	-	$3 * 2.0 = 6.0 \text{ ft}$
2 válvulas compuerta	-	$2 * 2.5 = 5.0 \text{ ft}$
2 válvulas globo	-	$2 * 2.0 = 4.0 \text{ ft}$
2 electrobombas	2 válvulas compuerta	$2 * 2.5 = 5.0 \text{ ft}$
2 filtros tipo "Y"	2 válvulas compuerta	$2 * 2.5 = 5.0 \text{ ft}$
1 sensor de temperatura	1 válvula de bola	$1 * 2.0 = 2.0 \text{ ft}$
10 par de bridas (línea)	-	$10 * 0.3 = 3.0 \text{ ft}$
10 soportes (línea)	-	$10 * 2.0 = 20.0 \text{ ft}$
Total		59.0 ft

Nota: Elaboración propia

Entonces, la longitud total del cable calefactor es

$$L = 302.49 + 59.0 = 361.49 \text{ ft}$$

Con el valor de la longitud total, se determina el número de circuitos

$$\text{Nro de circuitos} = \frac{\text{longitud de cable}}{\text{longitud maxima de circuito}} = \frac{361.49 \text{ ft}}{750 \text{ ft}} = 0.48 = 1 \text{ circuito}$$

Figura 49*Imagen referencial de cable calefactor SRM/E*

Nota: A) Cables de bus de cobre dobles de 16 AWG, B) Matriz de núcleo de polímero semiconductor, C) Cubierta protectora de fluoropolímero de alta temperatura, D) Trenza metálica

y E) Cubierta protectora de fluoropolímero de alta temperatura. Tomado de SRM/E Self-Regulating Medium Temperature, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-srme.ashx?rev=d96c3afabc534ebaac043a76d94b1d02&hash=1BBE2683B0D4C4792AA3B616A7902160>)

4.3.3. Selección del equipamiento de control

El sistema de control del cable calefactor está compuesto por un controlador de temperatura, un sensor de temperatura, un dispositivo de potencia y dispositivos de protección; para la selección de cada componente, se tiene las siguientes consideraciones:

- Precisión de control de temperatura, no es necesario un nivel de precisión exigente, por lo cual una termocupla o sensor RTD cubre la necesidad de la aplicación.
- Tipo de control, el sistema de control no exige una precisión en el control, las oscilaciones de temperatura no son críticas, por lo cual un control on/off como mínimo cumplirá la necesidad de esta aplicación.
- Interfaz de usuario, mínimo una pantalla digital para visualizar la temperatura.

4.3.3.1. Sensor de temperatura

Se selecciona el sensor de temperatura RTD modelo RBF185M-HT-304-18RD-48SB/C de la marca Chromalox (Anexo 16), el cual tiene las siguientes características.

Tabla 16

Características del sensor de temperatura RBF185M tipo RTD seleccionado

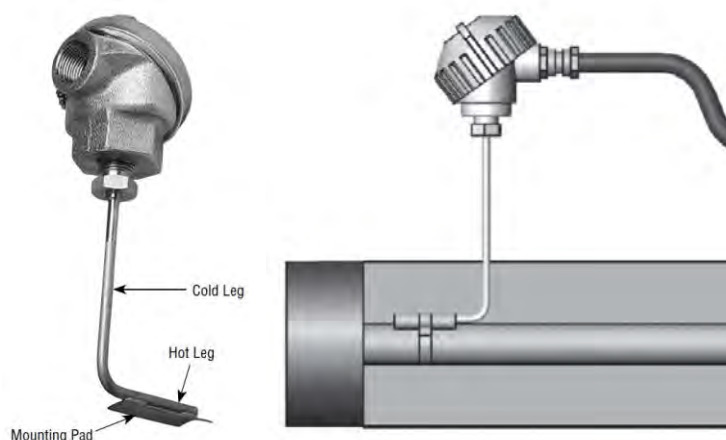
Característica	Detalle
Tipo de sensor	RTD de 100 ohmios, precisión de $\pm 0,12\%$
Sonda RTD	con aislamiento de fibra de vidrio
Rango de temperatura	-100 a 700 °F (-73.33 a 371.11 °C)
Cabezal de conexión	Cabezal de aluminio con tapa abatible
Cabezal	Resistente a la humedad
Conexión cabezal	NTP 1/2"
Longitud de patas de sonda	Caliente (3"), frío (6")

Rosca de montaje	1/2"
Placa de montaje	compatible con todos los tamaños de tubería, cabezal abatible
Material de vaina (sonda)	Vaina de acero inoxidable 316

Nota: Adaptado de *RBF Heat Trace*, por Chromalox (2025) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-rbf-.ashx?rev=d185e2aca02d4d1c97a8778c047f5c45&hash=646039142605899BBD75E3DFE2AA9878>)

Figura 50

Imagen referencial de sensor e instalación en tubería



Nota: Tomado de *Wireless Temperature Sensing Solutions*, por Chromalox (2025) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-itellitrace-wireless.ashx?rev=e2f71425739c46629670b94649fc44dd&hash=B1C3A30401E75F8B9652EEA9FDE286C3>)

4.3.3.2. Controlador de temperatura

El controlador de temperatura se encargará de controlar al cable calefactor seleccionado SRM/E 10-2CT (10 W/ft y 220 V), con una entrada de sensor RBF185M-HT-304-18RD-48SB/C tipo RTD. El controlador seleccionado es un termostato digital DTS-HAZ (Anexo 17) de la marca Chromalox, equipo de aplicación específica para este sistema de calentamiento, el cual tiene las siguientes características principales.

Tabla 17*Características de termostato digital DTS-HAZ seleccionado*

Característica	Detalle
Termostato digital	Kit de conexión de potencia con clasificación NEMA 4X y un control de temperatura basado en microprocesador
Alimentación	120 a 277 VCA, 50/60 Hz, monofásico
Temperatura de funcionamiento	- Zonas peligrosas: -40 °C a 40 °C (-40 °F a 104 °F) - Zonas normales: -40 °C a 60 °C (-40 °F a 140 °F)
Entrada	RTD de platino de 100 ohmios
Salida	Relé de estado sólido (SSR) de 30 A
Alarmas	- Temperatura alta hasta 621 °C (1150 °F) - Temperatura baja hasta -62 °C (-80 °F) - Fallo del RTD - Indicador LED rojo de estado de alarma en el panel frontal
Banda muerta	1 °F (o °C) a 100 °F (o °C), programable
Puntos de ajuste	-62 °C a 593 °C (-80 °F a 1100 °F) programables
Unidades de temperatura	°F o °C, seleccionables
Modo de control	Control de on/off
Soporte	de tubería integrado
Carcasa	NEMA 4X (protección contra corrosión, polvo, lluvia y salpicaduras)
Indicador LED	Alimentación, alarma y carga
Certificación	Listado por UL, cUL, IECEx y ATEX
Compatible con cables	SR, CWM y MI

Nota: Tomado de *DTS Series Heat Trace Digital Thermostat*, por Chromalox (s.f.) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-dts-series.ashx?rev=ac6af66f9b2345d8a8ba2621c9deab9c&hash=705B2449B883574C9F0176525E281D72>)

4.3.3.3. Accesorios

Kit de sello final

El cable calefactor se instala según la longitud requerida, por lo cual, el extremo seccionado debe aislarse, existen dos opciones, uno que se coloca junto a la tubería, debajo del aislamiento que no es visible y otro sello final que es visible; según se muestra en la Figura 53.

Figura 51

kit de sellado de extremo

	Catalog Number	Description	Installation Manual
	UESL End Seal Signal Light Kit	NEMA 4X rated end seal designed to seal one cable and indicate power on with universal voltage 120-277 LED indicator light. This model provides water-resistant cable entry, enclosure support, terminal block, and corrosion-resistant wiring enclosure. Available in red and green.	PJ448

Nota: Tomado de *Industrial Heating Cable Products*, por Chromalox (2021) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/im/im-pj438.ashx?rev=0f04810a9a604babb151ae1f346fd5f7&hash=A8C9B721AC80278B06C08A637D2D42DC>)

El kit de sello final seleccionado es el UESL, el cual es un sello de extremo con clasificación NEMA 4X, destinado para sellar un cable y además indicar el encendido con una luz indicadora LED (rojo o verde) de voltaje universal de 120-277 V. Este accesorio ofrece entrada de cables resistente al agua, soporte para caja, bloque de terminales y caja de cableado resistente a la corrosión.

Accesorios para fijación

El cable calefactor y accesorios se fijan a la tubería de petróleo industrial N° 6, mediante cinta de aluminio, cinta de fibra de vidrio, tira de acero y abrazaderas; según se muestra en la Figura 53.

Figura 52*Accesorios para fijación del traceado eléctrico*

	Catalog Number	Description	Installation Manual
	AT-1 Aluminum Tape	180 ft roll of aluminum foil installation tape. 2-mil thickness with high tensile strength; 2-1/2" wide. 200°F (93°C) rating. Minimum application temperatures 40°F (5°C).	N/A
	FT-3 Fiberglass Tape	66 ft roll of glass cloth installation tape. 3/8" wide. 500°F (260°C) rating. Strap at one-foot intervals. Minimum application temperature 40°F (5°C).	N/A
	PS Stainless Steel Pipe Straps	One (1) pipe strap used to attach kits to pipe. Available for pipe sizes 1/2" to 3/4", 1" to 3-1/2", 2-1/2" to 9", and 9" to 19.5".	N/A
	CL-1 Caution Labels	Pack of five (5) weather resistant electric heat tracing caution labels.	N/A

Nota: Tomado de *Industrial Heating Cable Products*, por Chromalox (2021) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/im/im-pj438.ashx?rev=0f04810a9a604babb151ae1f346fd5f7&hash=A8C9B721AC80278B06C08A637D2D42DC>)

4.3.3.4. Tablero eléctrico

Para la instalación de los dispositivos de protección, se selecciona el tablero para adosar metálico con dimensiones 400x300x200mm con puerta c/plancha de montaje de la marca Legrand (Anexo 18).

4.3.4. Dispositivos de protección

Al igual que, para el calentador eléctrico, para el cable calefactor se requiere dos tipos de protección, la protección por sobre corriente contra sobrecargas y cortocircuitos, y la protección contra fugas a tierra, para la seguridad del personal de planta contra descargas eléctricas.

4.3.4.1. Interruptor termomagnético

Para la selección del interruptor automático, se emplea el modelo del cable SRM/E 10-2CT y su longitud de 369.49 ft, según se muestra en la Figura 54.

Figura 53

Guía para selección del interruptor automático "disyuntor" (longitudes máximas de circuito en ft)

Cable Rating	50°F Start-Up (Ft.)					0°F Start-Up (Ft.)					-20°F Start-Up (Ft.)				
	15A	20A	30A	40A	50A	15A	20A	30A	40A	50A	15A	20A	30A	40A	50A
SRM/E 5-1	180	240	360	375	NR	165	220	330	375	NR	155	210	310	375	NR
SRM/E 5-2	360	480	720	750	NR	325	430	645	750	NR	310	415	620	750	NR
SRM/E 8-1	145	190	285	325	NR	135	175	265	325	NR	130	165	250	325	NR
SRM/E 8-2	285	380	575	650	NR	255	345	520	650	NR	245	335	490	650	NR
SRM/E 10-1	95	125	190	250	NR	90	110	175	250	NR	85	100	170	245	250
SRM/E 10-2	190	255	385	490	NR	165	225	345	490	NR	155	215	330	470	490
SRM/E 15-1	70	95	145	190	210	65	85	125	165	210	60	80	120	150	210
SRM/E 15-2	145	190	290	385	420	120	175	270	360	420	115	165	260	340	420
SRM/E 20-1	60	75	115	155	160	50	65	105	140	160	45	65	100	135	160
SRM/E 20-2	115	155	230	305	350	100	135	200	270	350	90	130	195	255	335

NR = Not Required. Maximum circuit length has been reached in a smaller breaker size.
Note – Thermal magnetic circuit breakers are recommended since magnetic circuit breakers could "nuisance trip" at low temperature.

Nota: Tomado SRM/E Self-Regulating Medium Temperature, por de Chromalox (2025), (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/mod/mod-srme.ashx?rev=d96c3afabc534ebaac043a76d94b1d02&hash=1BBE2683B0D4C4792AA3B616A7902160>)

Entonces, el interruptor termomagnético seleccionado para 220 V monofásico y 30 A, es el modelo SH202-C32 (32 A) de la marca ABB (Anexo 19).

4.3.4.2. Interruptor diferencial

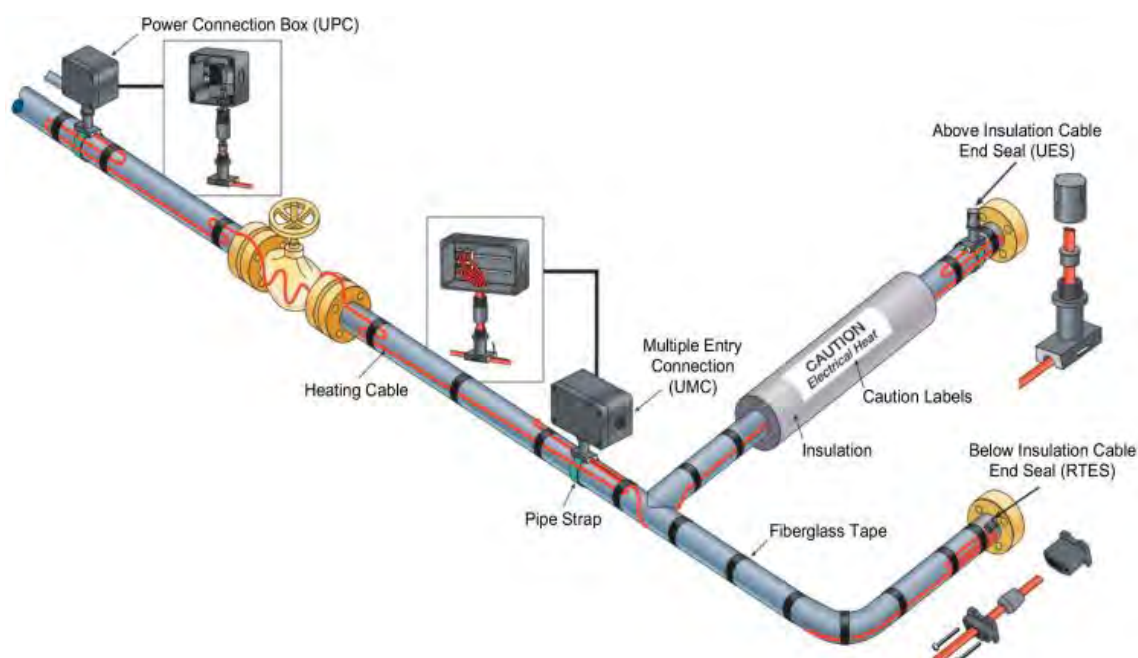
El interruptor diferencial para la protección contra fugas a tierra requiere cumplir un voltaje de 220 V y 30 A por lo cual, el dispositivo de protección seleccionado es el modelo AR FH202 AC-40/0,03 (40 A) de la marca ABB (Anexo 20).

4.3.5. Instalación y conexión del sistema de precalentamiento para tubería

En la Figura 54 se muestra de manera referencial la instalación del cable calefactor sobre la tubería de combustible.

Figura 54

Imagen referencial de instalación del cable calefactor

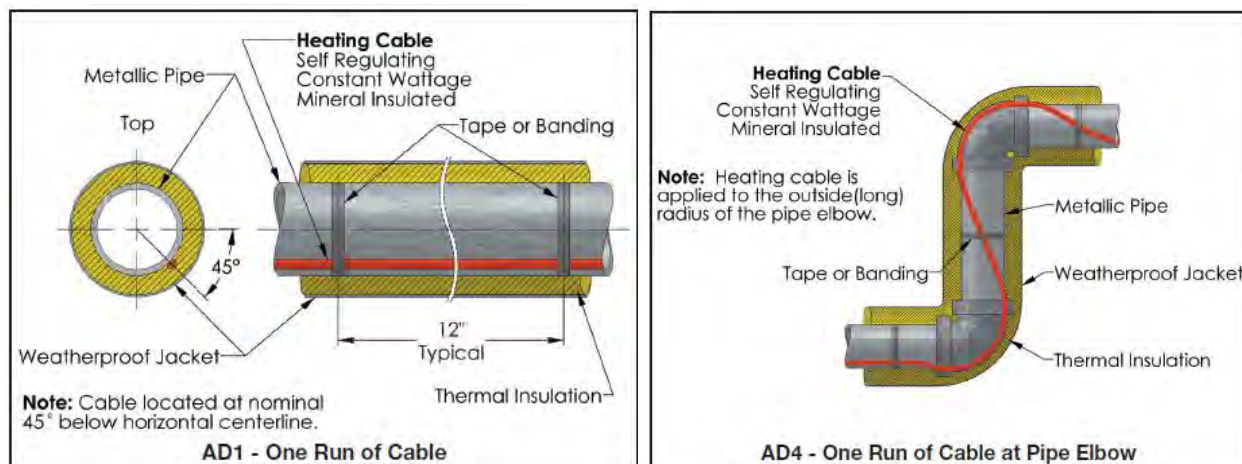


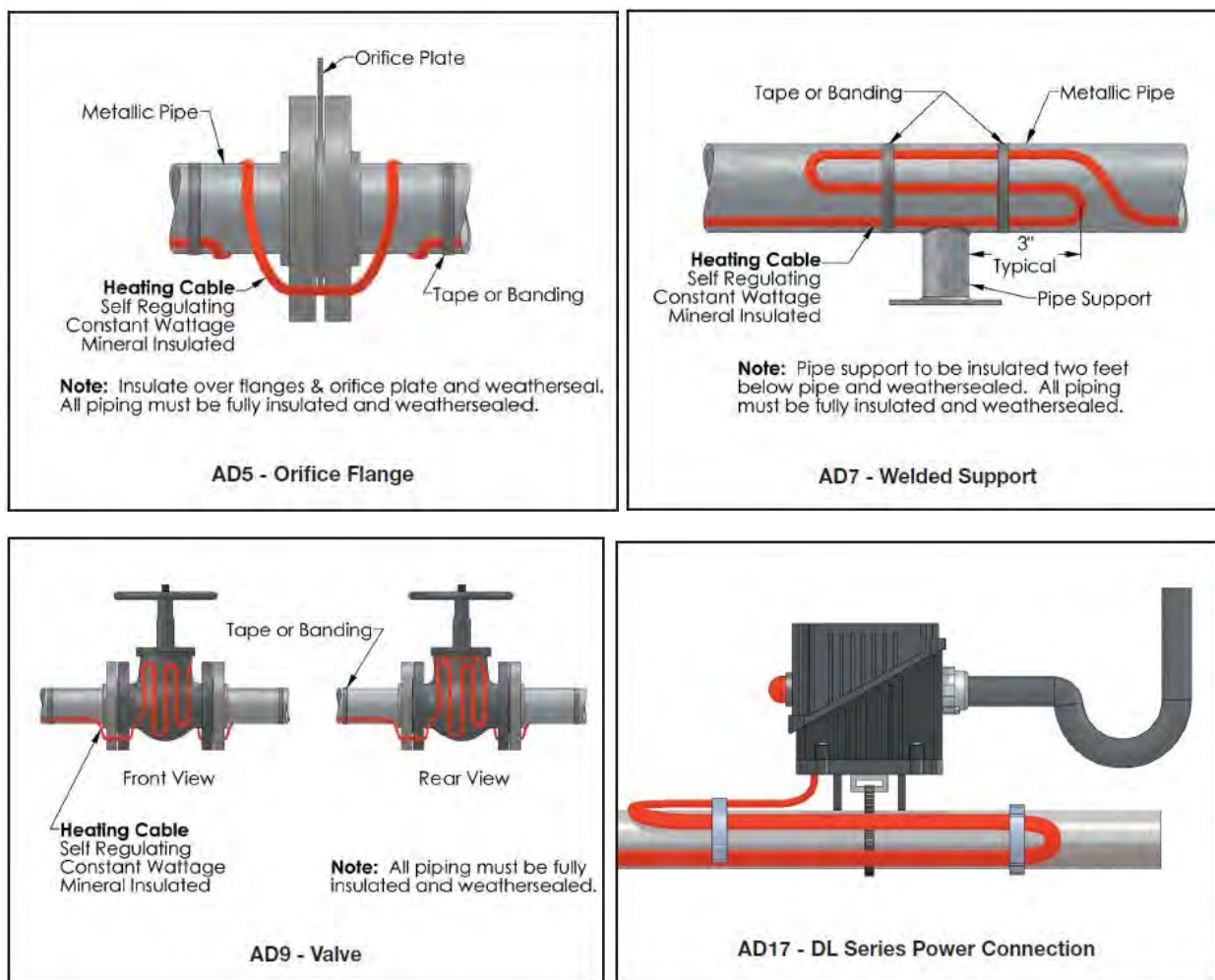
Nota: Tomado de *Industrial Heating Cable Products*, por Chromalox (2021) (<https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/im/im-pj438.ashx?rev=0f04810a9a604babb151ae1f346fd5f7&hash=A8C9B721AC80278B06C08A637D2D42DC>)

La instalación típica del cable calefactor en la tubería se muestra en la figura 55.

Figura 55

Detalle de instalación típica de cable calefactor en tubería



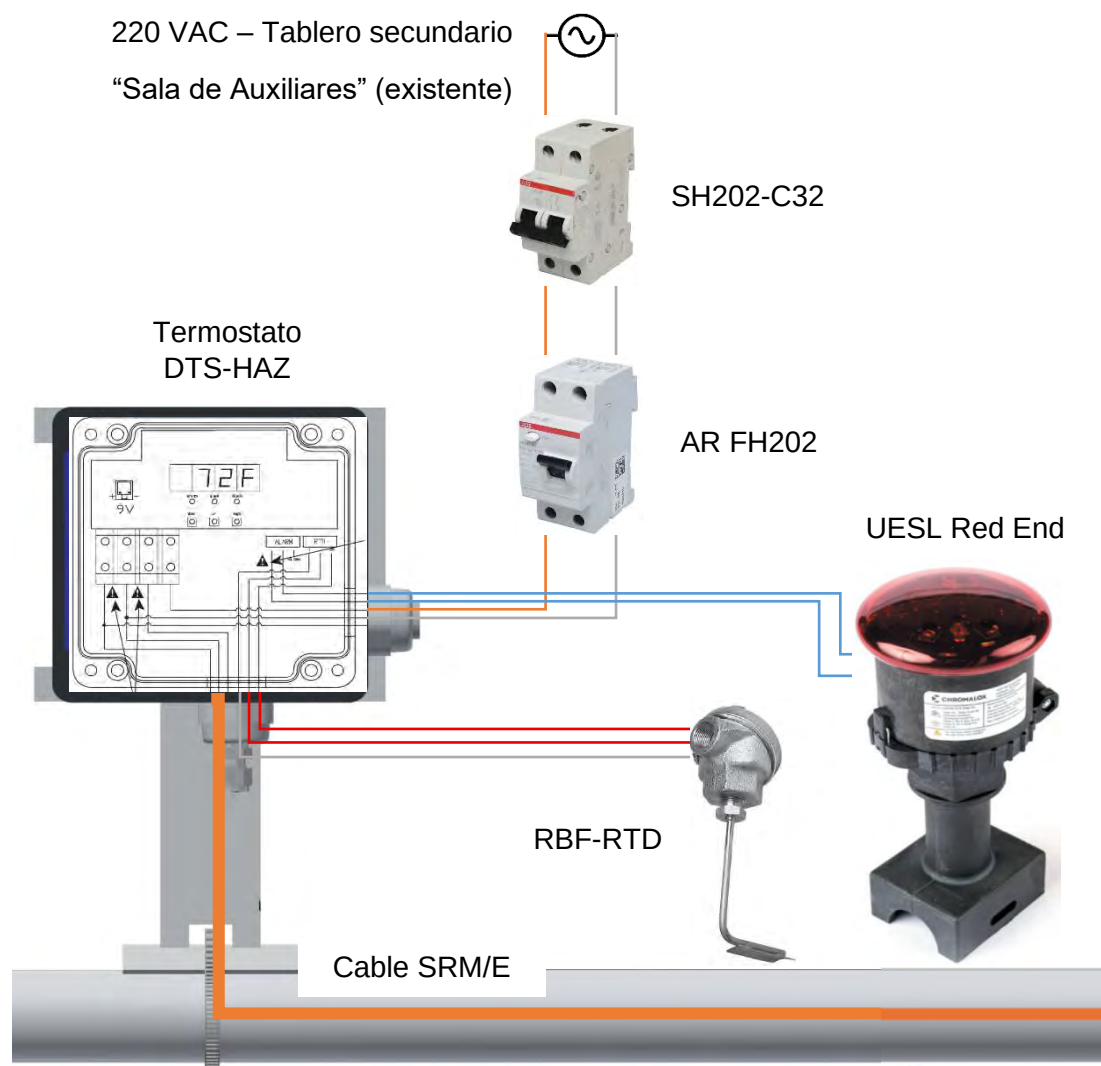


Nota: Tomado de *Industrial Heating Cable Products*, por Chromalox (2021).

La conexión del sistema de precalentamiento para la tubería de combustible se muestra en la Figura 56.

Figura 56

Conexión del cable calefactor



Nota: Elaboración propia

CAPITULO V

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

5.1. Consideraciones previas

El sistema fotovoltaico, se encargará de suministrar parte de la demanda de energía eléctrica del sistema de precalentamiento seleccionado en el capítulo anterior; este sistema estará conectado a la red, lo que permitirá su uso alternado con la red eléctrica; es necesario indicar que la carga del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 es mínima (menos del 3%) en comparación de la carga de todos los equipos auxiliares de los grupos Wartsila electrógenos 5-6-7, por lo cual, cuando los grupos electrógenos se encuentren operando y el sistema de precalentamiento por resistencias eléctricas este inactivo, la energía generada por el sistema fotovoltaico alimentara a una fracción de los demás sistemas auxiliares.

5.2. Ubicación del proyecto

El sistema fotovoltaico se instalará en el área de Generación de la Central Térmica Iquitos, ubicado en la Av. Augusto Freyre N° 1168 Distrito de Iquitos, Provincia de Maynas y Departamento de Loreto, con coordenadas geográficas:

- Latitud 3° 44' 08" (-3.74)
- Longitud 73° 14' 33" (-73.24)

Por otro lado, el área disponible para la instalación de los paneles tiene un área aproximadamente 785.9 m² (16 m x 49.12 m), el techo tiene dos caídas, hacia el este y oeste.

5.3. Cálculo del consumo energético

El consumo de energía eléctrica por día (Wh/día), se realiza multiplicando la potencia (W) de los equipos del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 (calentador eléctrico y cable calefactor) por el número de horas de utilización por día (h/día).

5.3.1. Hora de operación por día

Las horas de operación del sistema de precalentamiento, se determina en base a las horas en stand by de los grupos electrógenos, dato que se obtendrá de las horas disponibles por

año menos las horas de operación, tomando como base las horas del año 2024, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Horas de operación de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la CT Iquitos

Mes	2022			2023			2024		
	W5	W6	W7	W5	W6	W7	W5	W6	W7
Ene	18.63	0.00	0.00	7.61	8.33	7.13	36.75	9.54	29.82
Feb	0.00	0.00	0.00	50.16	42.69	20.39	36.53	35.66	158.98
Mar	1.22	5.73	5.56	20.53	64.81	30.26	107.56	91.37	72.92
Abr	0.43	0.22	0.40	3.90	16.98	34.46	138.17	252.90	33.95
May	5.43	0.11	8.46	0.00	0.00	12.93	50.87	103.23	167.38
Jun	4.96	0.23	9.86	0.00	0.00	0.10	17.42	95.85	47.48
Jul	12.02	5.58	13.33	0.07	1.23	0.33	0.04	4.52	3.07
Ago	97.86	105.36	141.53	0.08	105.96	27.02	0.24	11.04	0.00
Set	36.35	158.20	117.41	0.00	182.23	74.91	16.29	115.87	79.31
Oct	9.27	9.28	1.07	0.00	174.09	287.84	13.40	187.94	75.02
Nov	0.25	2.81	3.91	0.00	152.91	26.28	22.87	173.63	156.32
Dic	5.68	9.75	16.56	3.62	7.78	4.40	24.10	131.19	99.57
Subtotal	192.10	297.27	318.08	85.96	757.00	526.03	464.24	1,212.74	923.82
Total, Año	807.44			1,369.00			2600.80		

Nota: Adaptado de *Balance de Energía 2022, 2023 y 2024 Generación*, por Electro Oriente S.A.

El sistema de combustible alimenta a los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7; por lo que, se sumara las horas de operación máxima por mes de los grupos Wartsila 5-6-7, es decir.

H. op. W567, 2024

$$\begin{aligned}
 &= 36.75 + 158.98 + 107.56 + 252.90 + 167.38 + 95.85 + 4.52 + 11.04 + 115.87 \\
 &+ 187.94 + 173.63 + 131.19 = 1,443.61 \text{ h}
 \end{aligned}$$

Las horas disponibles, se obtiene de la totalidad de las horas del año, menos las horas indisponibles por mantenimiento u otras situaciones, para este caso, se consideran siete días de indisponibilidad del tanque por mantenimiento al año, entonces, las horas de operación del sistema de precalentamiento por año es.

$$H. op. = (24 * (365 - 7)) - 1,443.61 = 7,148.39 h$$

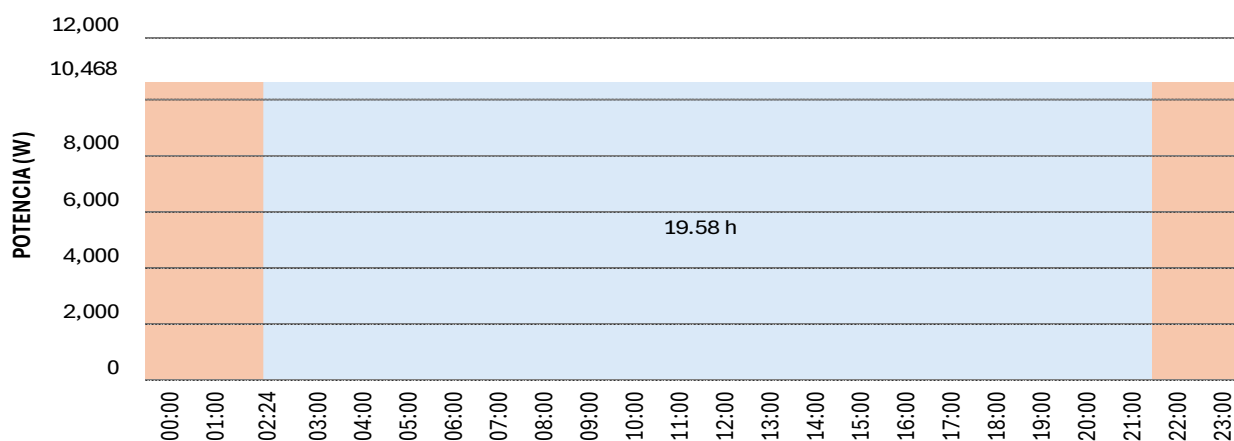
Entonces, las horas de operación del sistema de precalentamiento por día es

$$H. op./dia = \frac{7,148.39}{365} = 19.58 h$$

En la Figura 57, se muestra de manera representativa las horas de operación del sistema de precalentamiento por día.

Figura 57

Horas de operación del sistema de precalentamiento por día



Nota: Elaboración propia.

Entonces, el consumo energético del sistema de precalentamiento; compuesto por el calentador de inmersión (8 kW) y el cable calefactor de $(6.4 \text{ W/ft} * 361.49 \text{ ft} = 2,458.13 \text{ W})$, se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Consumo energético del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6

Equipos	Potencia (W)	Cantidad	Horas de uso por día (h/día)	Consumo por día (Wh)
Calentador de inmersión LTFX-128-008-E2	8,000.00	1	19.58	156,677.04
Cable calefactor SRM/E 10 - 2CT	2,458.13	1	19.58	48,141.57

Controlador de temperatura TCN4S-24S	5.00	1	24.00	120.00
Termostato digital DTS-HAZ y accesorios	5.00	1	24.00	120.00
TOTAL	10,468.13			205,059.61

Nota: Elaboración propia.

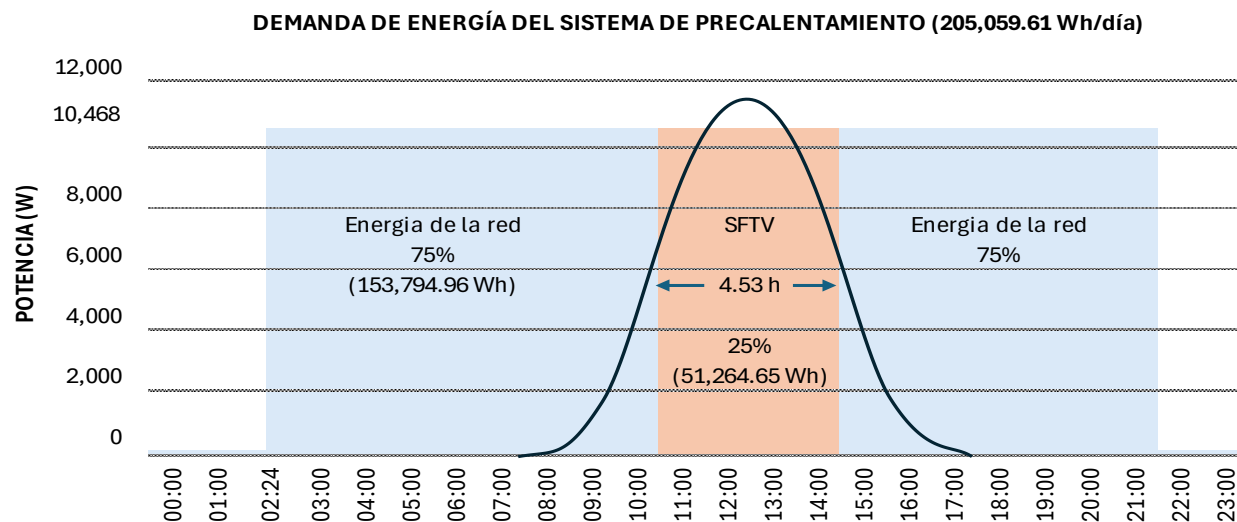
El calentador de inmersión y cable calefactor operarán de manera simultánea:

- Potencia de máxima demanda, 10,468.13 W
- Energía total por día 205,059.61 Wh; el sistema fotovoltaico para autoconsumo alimentara el 25% de la energía demandada, es decir 51,264.65 Wh.

En la Figura 58 se muestra de manera representativa, la demanda total de energía del sistema de precalentamiento y la generación fotovoltaica por día.

Figura 58

Demanda de energía y generación fotovoltaica



Nota: Elaboración propia.

5.3.2. Hora solar pico

Con las coordenadas de la ubicación del proyecto, se obtiene la irradiancia solar global horizontal (GHI) de la página Nasa Power, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Irradiancia solar en la Central Térmica Iquitos - (GHI) kWh/m² por día

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
2001	4.49	4.19	4.6	4.57	4.41	4.06	4.28	4.48	4.98	4.95	5.06	4.44	4.54
2002	4.76	4.33	4.60	4.10	4.12	4.32	3.90	4.59	5.21	4.76	4.38	4.49	4.46
2003	4.60	4.33	4.17	4.29	4.07	4.07	3.80	4.39	4.68	4.65	4.85	4.64	4.38
2004	5.21	4.59	4.43	4.53	3.99	3.77	4.07	4.66	4.61	5.01	4.82	4.66	4.53
2005	5.05	4.26	4.25	4.09	4.50	4.12	4.41	4.55	4.66	4.96	5.15	4.89	4.58
2006	4.64	4.84	4.52	4.35	3.90	4.22	4.24	4.51	5.03	4.90	4.66	4.68	4.54
2007	4.40	5.29	4.55	4.29	4.04	4.16	4.79	4.34	4.83	4.59	4.47	4.62	4.53
2008	4.50	4.52	4.53	4.60	3.80	3.81	4.26	4.83	4.92	4.87	4.61	5.02	4.52
2009	4.09	4.63	4.38	4.18	4.54	3.93	4.29	4.82	5.24	4.98	5.03	4.57	4.56
2010	4.71	4.45	4.6	4.49	4.2	4.02	4.13	4.46	4.78	4.98	4.89	4.79	4.54
2011	4.87	4.44	4.75	4.45	3.95	3.84	4.13	5.05	5.05	5.16	5.08	4.29	4.59
2012	4.41	4.50	4.43	4.5	4.26	4.55	4.34	4.94	5.16	5.00	4.86	4.65	4.63
2013	4.22	4.28	4.54	4.65	4.35	4.39	4.2	4.64	5.41	5.26	4.73	4.91	4.63
2014	4.30	4.42	4.3	4.49	4.25	4.03	4.13	4.5	5.26	4.82	4.40	4.76	4.47
2015	4.00	4.55	4.16	4.32	4.08	4.44	4.34	4.67	5.70	4.90	4.86	4.18	4.51
2016	4.72	3.97	4.08	4.36	4.44	4.04	4.12	4.86	4.86	4.90	5.10	4.65	4.51
2017	4.40	4.73	4.78	4.43	4.43	4.48	4.83	4.96	4.6	4.73	4.51	4.51	4.62
2018	4.63	4.97	4.64	4.03	4.01	4.04	4.33	4.73	5.39	4.71	4.44	4.11	4.50
2019	4.07	4.31	4.36	4.67	4.27	3.88	4.31	4.74	5.28	4.86	4.36	4.38	4.46
2020	4.92	4.46	4.23	4.38	3.83	4.42	4.49	4.77	4.93	5.11	4.67	4.49	4.56
	4.54	4.52	4.48	4.39	4.15	4.09	4.24	4.67	5.05	4.93	4.74	4.57	4.53

Nota: Información de enero del 2001 a diciembre del 2020. Adaptado de *NASA/POWER Source Native Resolution Climatology*, por NASA (s.f.) (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Entonces para determinar la HSP en la ubicación del proyecto, se reemplaza en la ecuación 16.

$$HSP = \frac{4.53 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 4.53 \text{ h}$$

5.3.3. Potencia del generador fotovoltaico

Para el cálculo de la potencia del generador fotovoltaica se tiene en cuenta:

- La carga del sistema de precalentamiento permanecerá constante, no tendrá ampliaciones, por lo cual, no se considera un factor de sobredimensionamiento.

- Las pérdidas totales del sistema (eficiencia del inversor, pérdidas por cableado, suciedad, temperatura, sombra, ángulo de incidencia, degradación de módulos, etc.), se asume para el sistema un valor del 80% ($PR = 0.8$), en concordancia con lo señalado por Méndez (2011). Pág. 146.

Con lo cual, se calcula la potencia pico del generador fotovoltaico, con la ecuación 17:

$$P_{FV} = \frac{E_{FV}}{HSP * PR} = \frac{51,264.65}{4.53 * 0.8} = 14,145.88 \text{ Wp}$$

5.4. Selección de inversor

Para la selección del inversor, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- La ubicación del proyecto, según el mapa de irradiación del Perú, la zona de selva tiene menor irradiación solar a comparación que la zona costa sur.
- Las temperaturas en es la ciudad Iquitos son elevadas, por lo cual se requiere compensar esa pérdida mediante la instalación de mayor potencia pico.

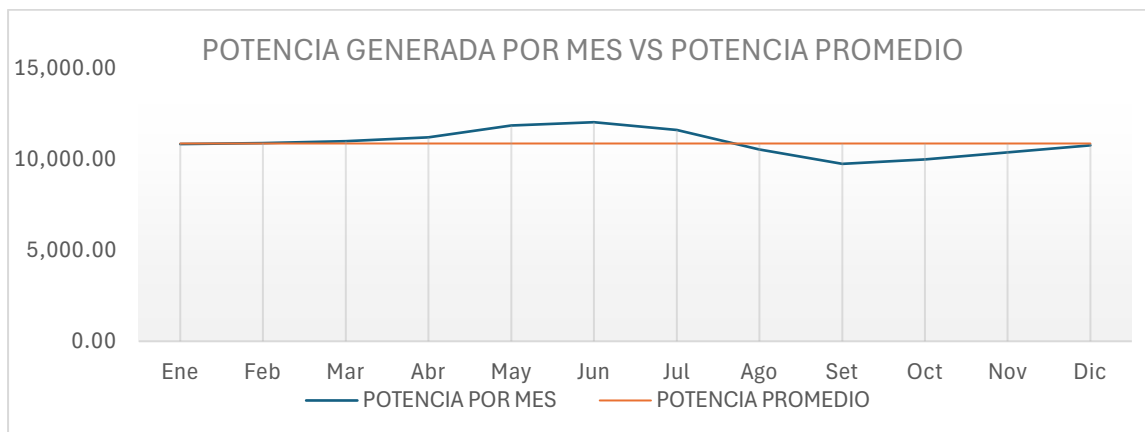
Se estima un valor de 1.30 para el factor de escala, entonces la potencia del inversor es.

$$P_{inv} = \frac{P_{FV}}{FE} = \frac{14,145.88}{1.30} = 10,881.44 \text{ W}$$

En la Figura 59 se visualiza la potencia entregada por el inversor a lo largo del año.

Figura 59

Potencia del inversor a lo largo del año



Nota: Elaboración propia.

Con el valor de la potencia calculada, se selecciona un inversor de 12,000.00 W, con lo cual, la potencia pico del sistema fotovoltaico es

$$P_{P_{FV}} = P_{inv} * FE = 12,000.00 * 1.3 = 15,600.00 \text{ Wp}$$

El inversor seleccionado de 12,000 W es el modelo 12KTL - X de la marca GROWATT (Anexo 21), cuyas principales características se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Características de inversor seleccionado

Característica	Detalle
Eficiencia máxima	98.6 %
Eficiencia europea	98.2 %
Entrada	
Entrada DC máxima recomendada	18,000 Wp
Tensión máxima de entrada	1,100 V
Rango de voltaje MPPT	140 V – 1000 V
Tensión de arranque	160 V
Tensión nominal de entrada	580 V
Corriente máxima de entrada por seguidor MPP	13/26 A
Corriente máxima de cortocircuito por seguidor MPP	16/32 A
Cantidad de rastreadores MPP	2
Número de cadenas fotovoltaicas por seguidor MPP	1/2
Salida	
Conexión a red eléctrica CA	Tres fases, 3W+N+PE
Potencia nominal activa de CA	12,000 W
Max. Potencia aparente de CA	13,200 VA
Tensión nominal de salida CA	220 V / 380 V, 230 V / 400 V (340 – 440 V)
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	18.3 A @380 V / 17.4 A @400 V
Max. Intensidad de salida	20 A
Protección	
Protecciones	Protección contra inversión de polaridad de CC, Conmutador de CC, Protección contra sobretensiones CA/CC, Protección contra cortocircuitos de CA, Monitorización de fallos a tierra, Protección AFCI, Protección anti-isla
Seguridad	IEC62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683

Otros

Rango de operación -25 a +60 °C, enfriamiento natural, protección IP66, pantalla OLED, peso 16 kg, y otros

Nota: Adaptado de *INVERSOR A RED GROWATT MID 15KTL3-X TRIFASICO 380VAC*, por PANEL SOLAR PERU (s.f.) (<https://panelsolarperu.com/478-inversor-a-red-growatt-mid-15ktl3-x-trifasico-380vac/>)

5.5. Cálculo de la cantidad de paneles

La cantidad de paneles solares se obtiene de la división entre la potencia pico del generador fotovoltaico y la potencia pico del panel fotovoltaico, mediante la ecuación 20.

$$\text{NRO paneles} = \frac{P_{P_FV}}{P_{\text{panel}}} = \frac{15,600.00}{585} = 26.7 \text{ paneles}$$

El panel seleccionado de 585 Wp, es el modelo JKM585N-72HL4-V de tecnología type-N de la marca JINKO (Anexo 22), cuyas principales características se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Características del panel fotovoltaico seleccionado

Característica	Detalle	
	STC	NOCT
Potencia Máxima (Pmax)	585 Wp	440 Wp
Voltaje a Máxima Potencia (Vmp)	42.52 V	39.81 V
Corriente a Máxima Potencia (Imp)	13.67 A	11.05 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	51.16 V	48.60 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	14.55 A	11.75 A
Eficiencia del Módulo STC (%)	22.65	
Temperatura de Operación (°C)	-40°C~+85°C	
Voltaje Máximo del Sistema	1000/1500VDC (IEC)	
Corriente Máxima del Fusible en Serie	25A	
Temperatura Nominal de Operación de la Célula (NOCT)	45±2°C	
Tipo de celda	N Type monocristalino	
Nro de celdas	144 (6x24)	
Dimensiones	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)	
Peso	28 kg (61.73 lbs)	

Vidrio frontal	3.2mm, Recubrimiento Antirreflectante, Alta Transmisión, Bajo Contenido de Hierro, Vidrio Templado
Marco	Aleación de Aluminio Anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP68
Cables de salida	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm

Nota: STC (Irradiancia 1000W/m², celda 25°C), NOCT (Irradiancia 800W/m², celda 20°C), Adaptado de *Tiger Neo N-type*, por AutoSolar (s.f.) (<https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-panel-solar-585w-monocristalino-jinko.pdf>)

5.5.1. *Angulo de inclinación optima*

El ángulo de inclinación optimo de los módulos, se calcula en base a las coordenadas de la ubicación del proyecto

- Latitud: 3°44'08"S (– 3.74)
- Longitud: 73°14'33"W (– 73.24)

Por lo cual, el ángulo optimo se obtiene de la siguiente manera

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\varphi| = 3.7 + 0.69 * |-3.74| = 6.28^\circ$$

5.5.2. *Arreglo de los paneles fotovoltaicos*

Para al arreglo de paneles solares fotovoltaicos, se analiza los valores de entrada del inversor y del panel fotovoltaico

Inversor 12,000 W (salida)

- Tensión máxima de entrada, 1,100 V
- Intensidad de corriente máxima, 32 A
- Rango de voltaje MPPT, 140 – 1,000 V
- Tensión nominal de entrada, 580 V
- Cantidad de MPP, 2
- Cantidad máxima de entradas por MPPT, 2

Panel fotovoltaico 585 Wp

- Voltaje de Circuito Abierto (Voc), 51.16 V

- Voltaje a Máxima Potencia (V_{mp}), 42.52 V
- Corriente de Cortocircuito (I_{sc}) 14.55 A

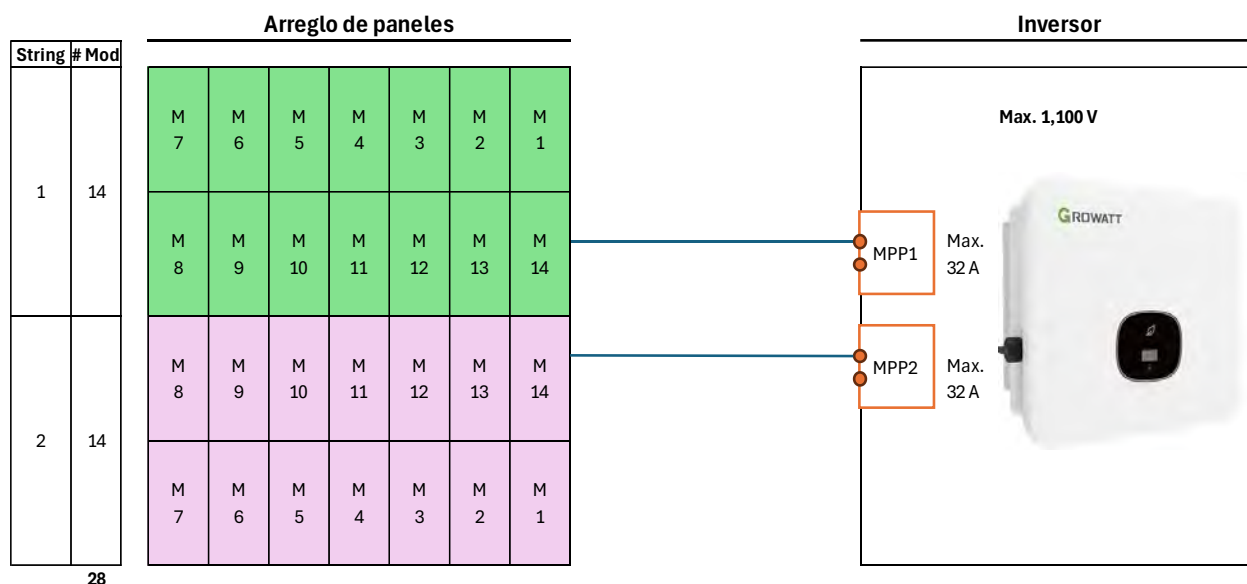
Análisis de configuración de 2 cadenas con 14 paneles en serie:

- Voltaje de circuito abierto, $14 \times 51.16 = 716.24$ V (inferior a 1100 V)
- Voltaje de máxima potencia, $14 \times 42.52 = 595.28$ V (se acerca al valor nominal de 580 V y se encuentra en el rango de la tensión de potencia máxima de MPPT 140 – 1000 Vdc)
- Corriente de cortocircuito, 14.55 A (inferior al máximo de 32 A)

Entonces, el arreglo de 2 cadenas con 14 paneles en serie es el más adecuado; la disposición de módulos se ilustra en la Figura 60, se instalarán 14 módulos en cada caída del techo disponible.

Figura 60

Arreglo de los paneles solares fotovoltaicos



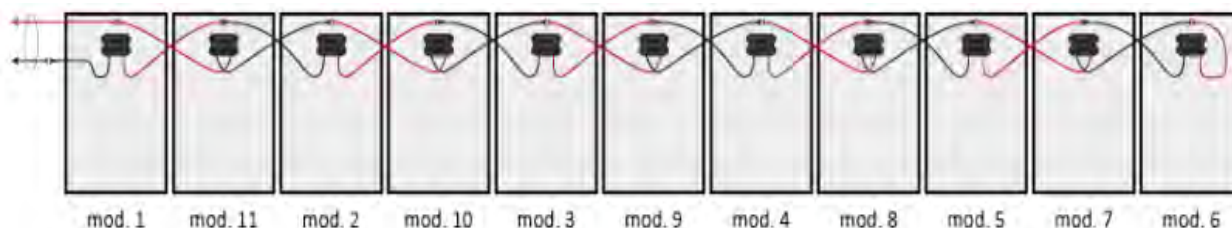
Nota: Elaboración propia

Es necesario indicar, que quedan 2 entradas libres, que pueden ser empleadas para incrementos de paneles futuros.

Así mismo, como los paneles se conectarán en dos cadenas “strings” en serie, se usará la conexión de módulos solares con técnica de salto de rana, según se muestra en la Figura 61.

Figura 61

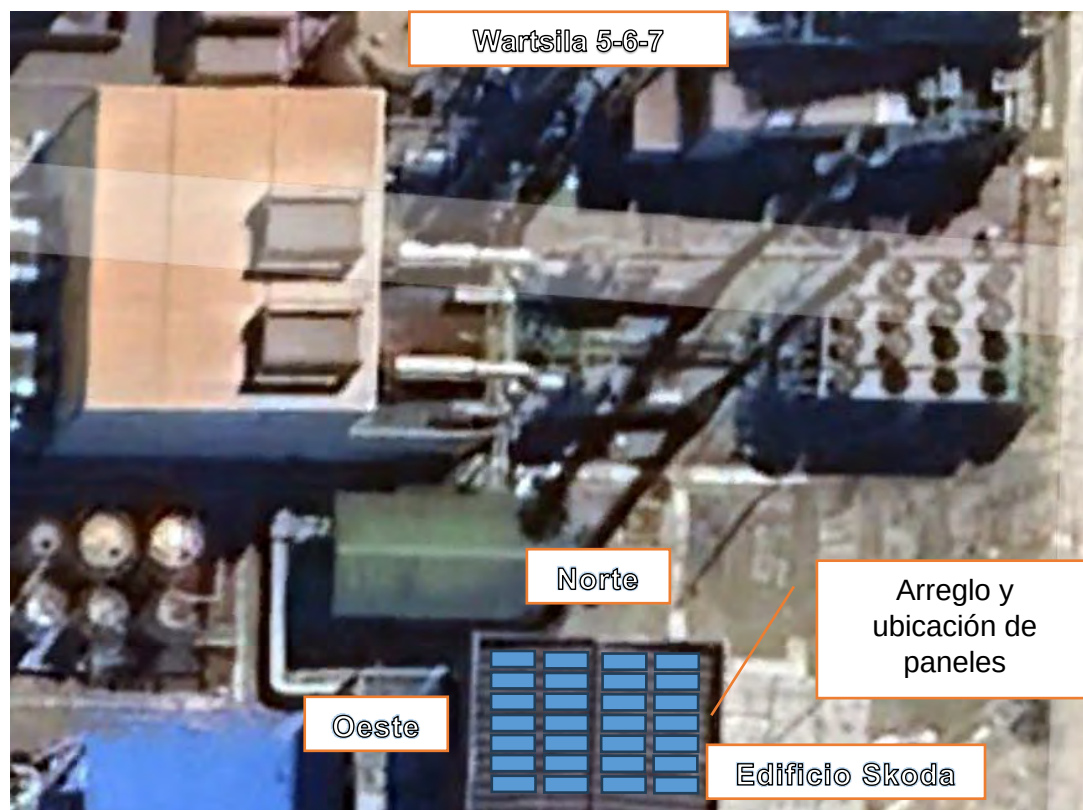
Ejemplo de conexión de módulos solares con técnica de salto de rana



Nota: Tomado de *Conexión en serie de paneles solares: salto de la rana*, por AutoSolar (s.f.) (<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-de-paneles-solares-salto-de-la-rana?srsId=AfmBOoqXj0jGc2a-YRCXE95t3U1WtTiEuq6B6E89c8wXueGG731fy4I>)

Figura 62

Imagen referencial de arreglo y ubicación de paneles en Central Térmica Iquitos



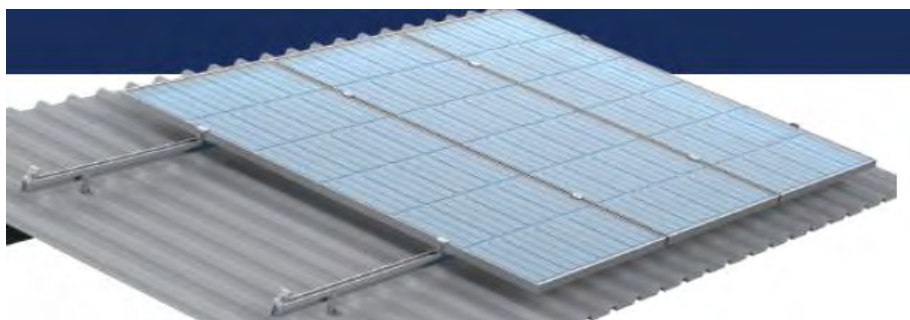
Nota: Elaboración propia

5.5.3. Selección de soportes de paneles solares

La estructura de soporte para los paneles solares fotovoltaicos será coplanar y serán instalados en las dos caídas del techo seleccionado, para aprovechar la irradiación desde el amanecer hasta el atardecer; se selecciona 4 estructuras coplanares para 7 paneles de la marca FALCAT (Anexo 23).

Figura 63

Imagen referencial de estructura de soporte con panel



Nota: Tomado de Ficha técnica: L feet, por AutoSolar (s.f.) (<https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-l-feet.pdf>)

5.5.4. Área ocupada por módulos fotovoltaicos

Se tiene los siguientes datos:

- Numero de paneles, 28.
- Dimensión de panel, 2,278 mm X 1,134 mm.
- Arreglo de módulos, 14 paneles (2x7) en cada caída del techo disponible

Entonces, el área que ocupa cada módulo fotovoltaico es:

$$A_{panel} = 2.278m * 1.134m = 2.58 m^2$$

Y el área ocupada por el generador fotovoltaico, sin considerar los espacios ni la estructura, es:

$$A_{paneles} = 2.58 m^2 * 28 = 72.33 m^2$$

Teniendo en cuenta que existen espacios entre módulos para limpieza y componentes de montaje, se considera un porcentaje extra de 10 %, por lo cual, el área total para el generador fotovoltaico es:

$$A_{total_generador} = 72.33 \text{ m}^2 * 1.10 = 79.56 \text{ m}^2$$

5.5.5. Cálculo de sección de conductor

Para el conexionado del sistema fotovoltaico con el sistema de precalentamiento, y conexionado al sistema eléctrico existente, se requiere dos tipos de cable

5.5.5.1. Conductor módulos fotovoltaicos – inversor

Para la selección del cable en corriente continua, se tiene en consideración los parámetros de cada cadena en serie.

- Voltaje total por cadena
 - o $V_{oc} \text{ total} = 14 \times 51.16 = 716.24 \text{ V}$
 - o $V_{mp} \text{ total} = 14 \times 42.52 = 595.28 \text{ V}$
- Corriente por cadena
 - o $I_{sc} = 14.55 \text{ A}$
 - o $I_{mp} = 13.76 \text{ A}$
- $\rho = 0.022 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- $L = 10 \text{ m}$ (2 tramos)
- $\Delta V (\%) = 0.03$, según Figura 32.

Entonces, reemplazando en la ecuación 25, se obtiene

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V (\%) * V} = \frac{2 * 0.022 * 10 * 14.55}{0.03 * 595.28} = 0.36 \text{ mm}^2$$

Se selecciona la sección inmediata superior de 1.5 mm^2 , el cable comercial más próximo es el cable de 4 mm^2 , Cable Premium Nexans Solar C.4 mm^2 H1Z2Z2-K de la marca INDECO (Anexo 24).

5.5.5.2. Conductor inversor – tablero principal auxiliares

Consideraciones para selección del cable en corriente alterna

- Potencia del inversor, 12,000 W y rendimiento de 98%
- máxima intensidad de salida, 20 A
- Voltaje de salida, 380 V
- $\rho = 0.022 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- $L = 60 \text{ m}$
- $\Delta V (\%) = 0.03$, según Figura 27.

Entonces, reemplazando en la ecuación 21, se obtiene

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V(\%) * V} = \frac{2 * 0.022 * 60 * 20}{0.03 * 380} = 4.63 \text{ mm}^2$$

Se selecciona la sección inmediata superior de 6 mm², el cable seleccionado es el cable RETFLEX N2XY 0,6/1 kV 2x6+1x6 Multipolar C. Tierra aislado; METRIUM de la marca INDECO (Anexo 25).

5.6. Dispositivos de protección

5.6.1.1. Fusibles

Los fusibles se instalarán entre los módulos y el inversor; para lo cual se tiene los datos de cada cadena

- $I_{sc} = 14.55 \text{ A}$
- $I_{mp} = 13.76 \text{ A}$

$$I_{max} = 14.55 * 1.2 = 17.46 \text{ A}$$

Se selecciona el inmediato superior que es 20 A; fusible gPV 20 A 1000 Vdc 10x38 DC de la marca DC Solar Energy (Anexo 26) y el porta fusible gpv 1000 Vdc 10x38 DC.

5.6.1.2. Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético seleccionado para 380 V trifásico y $20 \times 1.25 = 25 \text{ A}$, es el modelo S203-C25 de la marca ABB (Anexo 27).

5.6.1.3. Interruptor diferencial

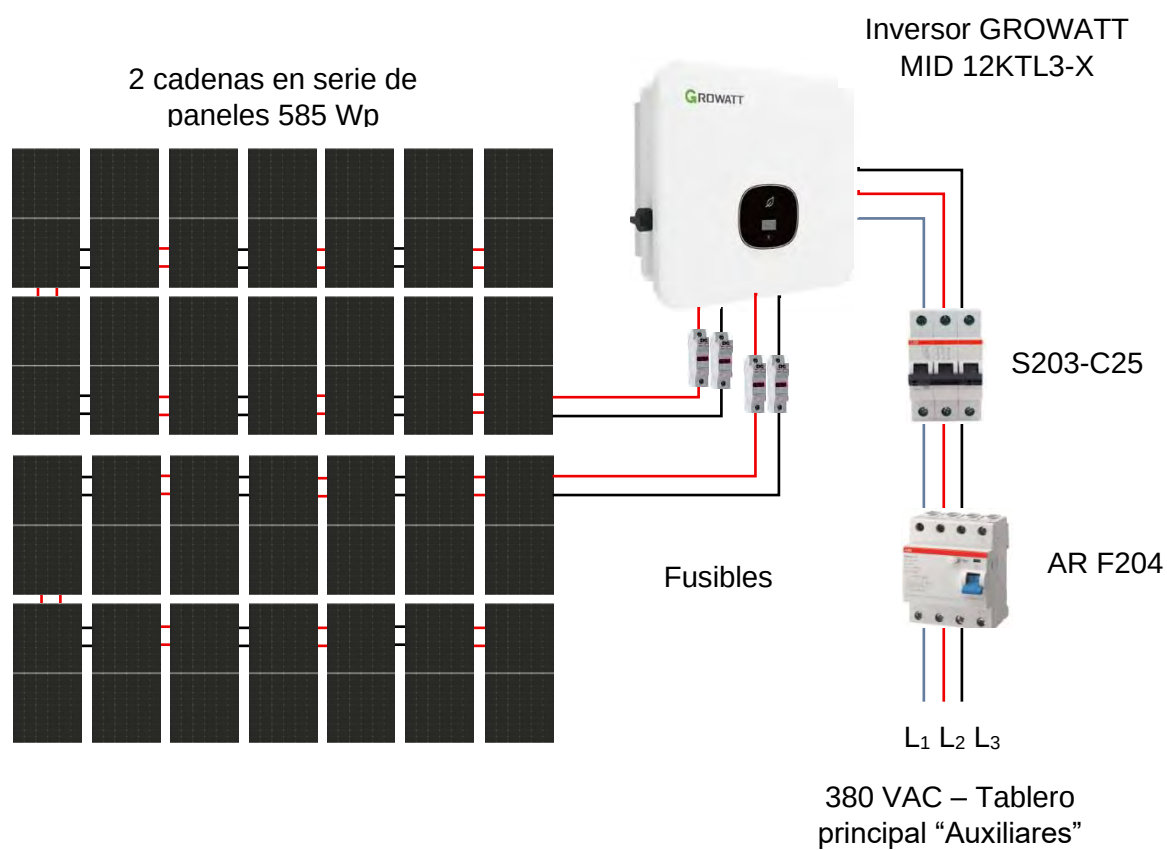
El interruptor diferencial seleccionado para 380 V trifásico y 25 A por lo cual, es el modelo AR F204 AC-25/0.03 de la marca ABB (Anexo 28)

5.7. Conexión del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico dimensionado tendrá una conexión como se muestra en la Figura 64.

Figura 64

Conexión del sistema fotovoltaico



Nota: Elaboración propia

CAPITULO VI

Análisis del Impacto Económico

6.1. Consideraciones previas

El análisis económico busca determinar si el sistema de precalentamiento propuesto es viable desde la perspectiva económica, es decir, si la rentabilidad es suficiente para justificar la inversión. Por otro lado, el periodo para el análisis económico se considera por 10 años.

Previo al análisis, se muestra la producción de energía y el costo de combustible de los grupos Wartsila 5-6-7 en los últimos 5 años, a fin de visualizar la creciente participación en la generación de energía del Sistema Eléctrico Aislado Iquitos, como se detalla en la Tabla 23.

Tabla 23

Producción de energía y consumo de combustible Wartsila 5-6-7

Año	Consumo Diesel B5 (gal)	Consumo petróleo industrial N° 6 (gal)	Producción energía Wartsila 5-6-7 (kWh)	Energía total del SEAI (kWh)	Participación de W567 en SEAI
2020	35,732	1,992	557,746	319,718,293	0.17%
2021	65,457	0	1,020,667	342,709,820	0.30%
2022	295,014	0	4,635,903	349,923,418	1.32%
2023	530,392	59,850	9,330,160	366,165,798	2.55%
2024	232,375	890,452	17,910,676	400,617,390	4.47%

Nota: Adaptado de *Balance de energía 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 Generación*, por Electro Oriente S.A.

Si bien es cierto que existe un incremento en la generación de energía de los grupos Wartsila 5-6-7 en el SEAI, para fines de cálculo y análisis económico, se considera los datos de operación del 2024 (consumo de combustible, horas de operación, etc.), como representativos y constantes para los próximos años, garantizando que los resultados se consiguieron en un escenario desfavorable y se cumplirán de todas maneras en una operación real.

6.2. Análisis económico del sistema de precalentamiento

6.2.1. Costos de inversión del sistema de precalentamiento

Los costos de inversión del sistema de precalentamiento se muestran en la Tabla 24, las fuentes se encuentran detallados en el Anexo 29; debido a que no se obtuvo el precio de algunos componentes, se consideró precios de componentes similares de otras marcas.

Tabla 24

Detalle de costos de inversión de sistema de precalentamiento

ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Precio Total (S/)
Sistema fotovoltaico					55,210.83
1	Modulo fotovoltaico JKM585N-72HL4-V type-N, JINKO	unid	28	699.62	19,589.36
2	Inversor GROWATT MOD 12KTL3 - X, 12 KW trifásico	unid	1	6,512.00	6,512.00
3	Estructura 7 paneles coplanar FALCAT	unid	4	912.85	3,651.40
4	Interruptor diferencial AR F204 AC-25/0.03 ABB	unid	1	265.64	265.64
5	Interruptor termomagnético S203-C25 ABB	unid	1	106.07	106.07
6	Fusible gPV 20 A 1000 Vdc 10x38 DC, DC Solar Energy	unid	4	9.56	38.24
7	Portafusible gpv 1000 Vdc 10x38 DC	unid	4	16.78	67.12
8	Cable Nexans Solar C.4 mm2 H1Z2Z2-K INDECO	m	40	9.89	395.60
9	Cable RETFLEX N2XY 0,6/1 kV 2x6+1x6 Multipolar C, INDECO	m	60	58.09	3,485.40
10	Mano de obra (instalación de sistema fotovoltaico)	unid	1	17,100.00	17,100.00
11	Transporte	unid	1	4,000.00	4,000.00
Sistema de calentamiento de tanque					67,554.06
12	Calentador de inmersión Chromalox LTFX-128-008-E2, 8 kW, 480 V trifásico, 9.6 A	unid	1	39,100.00	39,100.00
13	Controlador de temperatura Autonics TCN4S-24S	unid	1	275.01	275.01
14	Sensor Chromalox RTD PR-18-L-3-100-14-12, PT100	unid	1	1,500.00	1,500.00

15	Termo pozo Chromalox 1/2-260S-U10-1/2-316SS/C	unid	1	1,000.00	1,000.00
16	Relé de estado sólido (SSR) Maxwell MS-3DA4825, 25 A	unid	1	870.00	870.00
17	Transformador 10 KVA, EN-SBK10000 ENERGIT	unid	1	2,400.00	2,400.00
18	Tablero p/adosar 500x400x200mm Legrand	unid	1	504.45	504.45
19	Interruptor termomagnético S203-C16 Trifásico ABB	unid	1	127.42	127.42
20	Interruptor diferencial F204 AC-25/0,03 ABB	unid	1	277.18	277.18
21	Mano de obra (instalación del calentador de inmersión)	unid	1	18,500.00	18,500.00
22	Transporte	unid	1	3,000.00	3,000.00
	Sistema de calentamiento de tubería				93,549.88
23	Cable calefactor Chromalox SRM/E 10-2CT, 10 W/ft	ft	361	194.48	70,207.06
24	Termostato digital Chromalox DTS-HAZ	unid	1	3,000.00	3,000.00
25	Sensor Chromalox RTD RBF185M-HT-304-18RD-48SB/C, PT100	unid	1	1,500.00	1,500.00
26	Kit de sello final Chromalox UESL, con luz indicadora LED	unid	1	2,000.00	2,000.00
27	Interruptor diferencial AR FH202 AC-40/0,03 ABB	unid	1	110.00	110.00
28	Interruptor termomagnético SH202-C32 de la marca ABB	unid	1	33.25	33.25
29	Tablero p/adosar 400x300x200mm Legrand	unid	1	399.57	399.57
30	Accesorios (abrazaderas, cinta, etc)	kit	1	2,000.00	2,000.00
31	Mano de obra (instalación del cable calefactor)	unid	1	14,800.00	14,800.00
32	Transporte	unid	1	2,000.00	2,000.00
	Sistema de precalentamiento para petróleo industrial N° 6				
33	Elaboración de proyecto	unid	1	20,000.00	20,000.00
	TOTAL (incluye IGV)				S/ 238,814.77

Nota: Elaboración propia

La instalación y puesta en servicio del sistema de precalentamiento, demanda una inversión de S/ 238,814.77.

6.2.1.1. Costos de operación y mantenimiento

6.2.1.1.1. Costos de operación del sistema de precalentamiento

El sistema de precalentamiento tiene en conjunto una potencia de 10,468.13 W y una demanda de energía por día de 205,059.61 Wh; el sistema de fotovoltaico se dimensionó para generar 51,264.9 Wh (25 %), por lo cual, la energía faltante $205,059.61 - 51,264.9 = 153,794.71\text{Wh}$ (75 %) se obtendrá de la red eléctrica.

Cuando los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 se encuentren en modo stand by, la energía para la alimentación de los equipos auxiliares de la Central Térmica Iquitos proviene de la Central Térmica Iquitos Nueva (GenRent), el precio de la energía que Electro Oriente paga en barra de 60 kV tiene variaciones a lo largo del tiempo, como se aprecia en la Tabla 25.

Tabla 25

Precio de compra de energía

Periodo	Precio de compra de energía (S/. / kWh)
Ene-24	0.5962
Feb-24	0.6079
Mar-24	0.6032
Abr-24	0.5962
May-24	0.6101
Jun-24	0.6124
Jul-24	0.6049
Ago-24	0.6254
Set-24	0.6547
Oct-24	0.6113
Nov-24	0.6147
Dic-24	0.6112
Promedio	0.6123

Nota: Adaptado de *Informes de Valorizaciones GenRent – 2024*, por Electro Oriente S.A.

La energía generada por el sistema fotovoltaico es 51,264.90 Wh, así mismo, según la ficha técnica del panel fotovoltaico JKM585N-72HL4-V type-N (Anexo 23), el panel tiene una degradación a lo largo de su vida útil, desde su puesta en operación pierde una eficiencia de 1%,

y a partir del segundo año una pérdida de eficiencia del 0.4 % anual. Entonces el costo de la energía para la operación del sistema de precalentamiento por año se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Costo de operación del sistema de precalentamiento (costo de energía)

Año	Energía requerida por el sistema (Wh)/día	Eficiencia de modulo solar	Energía neta generada por los módulos (Wh)/día	Energía por comprar de la red (Wh)/día	Energía por comprar de la red (kWh)/año	Costo de energía por año (\$)
1	205,059.61	0.990	50,752.25	154,307.36	56,322.19	34,488.63
2	205,059.61	0.986	50,547.19	154,512.42	56,397.03	34,534.46
3	205,059.61	0.982	50,342.13	154,717.48	56,471.88	34,580.29
4	205,059.61	0.978	50,137.07	154,922.54	56,546.73	34,626.12
5	205,059.61	0.974	49,932.02	155,127.59	56,621.57	34,671.95
6	205,059.61	0.970	49,726.96	155,332.65	56,696.42	34,717.79
7	205,059.61	0.966	49,521.90	155,537.71	56,771.27	34,763.62
8	205,059.61	0.962	49,316.84	155,742.77	56,846.11	34,809.45
9	205,059.61	0.958	49,111.78	155,947.83	56,920.96	34,855.28
10	205,059.61	0.954	48,906.72	156,152.89	56,995.81	34,901.11

Nota: Elaboración propia

6.2.1.1.2. Costos de mantenimiento del sistema de precalentamiento

Las actividades de mantenimiento preventivo constituyen actividades menores como verificación, comprobación, mediciones, limpieza y otros, que no requieren el reemplazo de componentes por desgaste (repuestos), en ese contexto, se considera un monto de \$/ 2,000.00 por año.

6.2.1.1.3. Costos de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico operará de manera automática (no requiere operador). Por otro lado, además de las actividades de mantenimiento preventivo al sistema eléctrico (verificación, comprobación, mediciones, limpieza y otros), los paneles solares requieren limpieza para garantizar la generación, se considera un monto de \$/ 2,500.00 por año para esta actividad.

6.2.1.2. Costos de depreciación

La depreciación de los equipos del sistema de precalentamiento se calcula en base a la vida útil de los equipos, para el presente trabajo se considera una vida útil de 10 años, entonces la depreciación es del 10% anual y el valor residual será cero.

Tabla 27

Depreciación anual del sistema de precalentamiento con energía solar

ítem	Descripción	Unid.	Cant.	Precio Unitario (S/)	Precio Total (S/)	Depreciación anual (S/)
Sistema fotovoltaico					34,110.83	3,411.08
1	Modulo fotovoltaico JKM585N-72HL4-V type-N, JINKO	unid	28	699.62	19,589.36	
2	Inversor GROWATT MOD 12KTL3 - X, 12 KW trifásico	unid	1	6,512.00	6,512.00	
3	Estructura 7 paneles coplanar FALCAT	unid	4	912.85	3,651.40	
4	Interruptor diferencial AR F204 AC-25/0.03 ABB	unid	1	265.64	265.64	
5	Interruptor termomagnético S203-C25 ABB	unid	1	106.07	106.07	
6	Fusible gPV 20 A 1000 Vdc 10x38 DC, DC Solar Energy	unid	4	9.56	38.24	
7	Portafusible gpv 1000 Vdc 10x38 DC	unid	4	16.78	67.12	
8	Cable Nexans Solar C.4 mm2 H1Z2Z2-K INDECO	m	40	9.89	395.60	
9	Cable RETFLEX N2XY 0,6/1 kV 2x6+1x6 Multipolar C, INDECO	m	60	58.09	3,485.40	
Sistema de calentamiento de tanque					46,054.06	4,605.41
10	Calentador de inmersión Chromalox LTFX-128-008-E2, 8 kW, 480 V trifásico, 9.6 A	unid	1	39,100.00	39,100.00	
11	Controlador de temperatura Autonics TCN4S-24S	unid	1	275.01	275.01	
12	Sensor Chromalox RTD PR-18-L-3-100-14-12, PT100	unid	1	1,500.00	1,500.00	
13	Termo pozo Chromalox 1/2-260S-U10-1/2-316SS/C	unid	1	1,000.00	1,000.00	

14	Relé de estado sólido (SSR) Maxwell MS-3DA4825, 25 A	unid	1	870.00	870.00	
15	Transformador 10 KVA, EN- SBK10000 ENERGIT	unid	1	2,400.00	2,400.00	
16	Tablero p/adosar 500x400x200mm Legrand	unid	1	504.45	504.45	
17	Interruptor termomagnético S203-C16 Trifásico ABB	unid	1	127.42	127.42	
18	Interruptor diferencial F204 AC-25/0,03 ABB	unid	1	277.18	277.18	
Sistema de calentamiento de tubería					79,249.88	7,924.99
19	Cable calefactor Chromalox SRM/E 10-2CT, 10 W/ft	ft	361	194.48	70,207.06	
20	Termostato digital Chromalox DTS-HAZ	unid	1	2,000.00	2,000.00	
21	Sensor Chromalox RTD RBF185M-HT-304-18RD- 48SB/C, PT100	unid	1	1,500.00	1,500.00	
22	Kit de sello final Chromalox UESL, con luz indicadora LED	unid	1	1,000.00	1,000.00	
23	Interruptor diferencial AR FH202 AC-40/0,03 ABB	unid	1	110.00	110.00	
24	Interruptor termomagnético SH202-C32 de la marca ABB	unid	1	33.25	33.25	
25	Tablero p/adosar 400x300x200mm Legrand	unid	1	399.57	399.57	
26	Accesorios (abrazaderas, cinta, etc.)	kit	1	1,000.00	1,000.00	
TOTAL (incluye IGV)					S/ 156,414.77	

Nota: Elaboración propia

6.2.2. Reducción de consumo de combustible

El año 2024, la participación de generación de los grupos Wartsila 5-6-7 alcanzo el 4.47 % en el SEAI, que demando un consumo de 232,375 galones de diésel B5 y 890,452 galones de petróleo industrial N° 6, que sumados alcanzaron el monto de S/ 11,171,153.11, según se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28*Costos de los combustibles de los grupos Wartsila 5-6-7*

2024	Consumo diésel B5 (gal)	Precio diésel según Petroperú (S\$/gal)	Costo diésel B5 (S/)	Consumo petróleo industrial N° 6 (gal)	Precio petróleo industrial N° 6 según Petroperú (S\$/gal)	Costo petróleo industrial N° 6 (S/)
Ene	20,075	14.8	S/ 297,106.72	11,488	9.16	S/ 105,232.89
Feb	37,118	14.45	S/ 536,351.98	59,803	9.16	S/ 547,796.95
Mar	24,037	14.24	S/ 342,283.00	81,157	9.11	S/ 739,343.09
Abr	23,593	13.47	S/ 317,799.53	148,125	9.11	S/ 1,349,422.31
May	20,406	13.09	S/ 267,117.24	106,912	9.06	S/ 968,621.54
Jun	20,675	12.58	S/ 260,092.16	45,830	9.06	S/ 415,224.11
Jul	2,256	12.95	S/ 29,215.13	871	9.06	S/ 7,895.23
Ago	5,036	12.79	S/ 64,407.06	408	9.06	S/ 3,698.62
Set	15,369	12.24	S/ 188,121.45	75,605	9.06	S/ 684,979.42
Oct	18,271	12.37	S/ 226,012.53	103,638	9.06	S/ 938,964.75
Nov	20,099	12.25	S/ 246,206.81	154,785	9.05	S/ 1,400,803.78
Dic	25,440	12.30	S/ 312,914.40	101,828	9.05	S/ 921,542.40
TOTAL	232,375		S/ 3,087,628.02	890,452		S/ 8,083,525.09

Nota: Adaptado de Balance de energía 2024 Generación – Electro Oriente S.A. y precios de lista de combustibles PetroPerú 2024

De la Tabla 28 el porcentaje de consumo de diésel en relación con el total de combustible (diésel más petróleo industrial) es:

$$\% \text{ consumo diesel} = \frac{\text{consumo diesel}}{\text{consumo total combustible}} = \frac{232,375}{(232,375 + 890,452)} = 20.7 \%$$

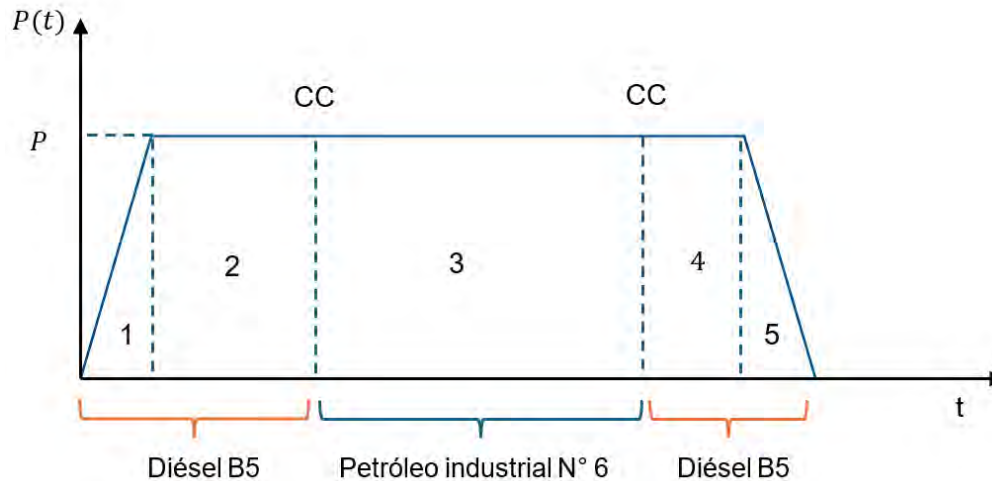
Con la operación del sistema de precalentamiento propuesto, se reducirá el porcentaje de consumo de diésel B5, reemplazando esa reducción por petróleo industrial N° 6, combustible con menor costo por galón.

La operación actual de los grupos electrógenos, con el tipo de combustible se muestra de manera representativa en la Figura 65 por etapas; donde 1) arranque e incremento de carga, 2) calentamiento del sistema de petróleo industrial, 3) cambio de combustible “CC” y operación con

petróleo industrial N° 6, 4) cambio de combustible “CC” para parada y 5) reducción de carga y parada.

Figura 65

Etapas en la operación de los grupos electrógenos



Nota: Elaboración propia

La etapa que se reducirá con la implementación del sistema de precalentamiento propuesta es la etapa 2; entonces, el periodo máximo esperado de operación con diésel B5 se define en base a la experiencia operativa.

- Etapa 1 y 2, treinta y cinco minutos.
- Etapa 4 y 5, sesenta minutos (periodo de operación actual)

Por lo tanto, por cada arranque y parada del grupo electrógeno se deberá operar como máximo noventa y cinco minutos con diésel B5 (1.58 h).

Para cuantificar la reducción del consumo de diésel con el nuevo sistema de precalentamiento, se determina la proporción de operación máximo con diésel en base a la siguiente expresión

$$\% \text{ de op. max. diesel} = \frac{\text{periodo op. max. con diesel} / \text{año}}{\text{horas op} / \text{año}} \quad \dots (42)$$

El periodo de operación máximo con diésel por año del grupo electrógeno se determinará multiplicando el periodo máximo esperado de operación con diésel por cada arranque y parada, por la cantidad de arranques y paradas.

Es necesario indicar que solo se contabilizan los arranques y paradas de periodos de operación continúan mayor a tres horas, debido a que un cambio de combustible “diésel a petróleo industrial” o “petróleo industrial a diésel” demora alrededor de una hora, cumpliendo de esta manera las cinco etapas del proceso de operación satisfactoriamente; así mismo, los periodos de operación menor a tres horas, se asumen que se dan por temas de pruebas antes, durante o después de mantenimientos o solicitudes imprevistas de generación. La Tabla 29 muestra la cantidad de arranques y paradas de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 en el año 2024.

Tabla 29

Cantidad de arranques grupos Wartsila 5-6-7 2024

Año 2024	Wartsila 5	Wartsila 6	Wartsila 7	Total Wartsila 5-6-7
Ene	3	2	4	9
Feb	6	5	15	26
Mar	12	7	10	29
Abr	15	20	4	39
May	5	12	18	35
Jun	2	12	4	18
Jul	0	1	1	2
Ago	0	1	0	1
Set	2	12	7	21
Oct	1	18	7	26
Nov	4	16	15	35
Dic	3	15	10	28
Total	53	121	95	269

Nota: Adaptado de *Balance de energía 2024 Generación*, por Electro Oriente S.A.

Entonces reemplazando valores de las Tablas 18 y 29 en la ecuación 42, se obtiene

$$\% \text{ de op. max. diesel} = \frac{1.583 * 269}{2600.8} = 16.4 \%$$

Debido a que las horas de operación de los grupos electrógenos son directamente proporcionales al consumo de combustible, se puede asumir en este calculo que, el porcentaje de horas de operación con diésel también representa el porcentaje de consumo de galones de diésel; por lo cual, cuando el sistema de precalentamiento propuesto se encuentre en funcionamiento, el porcentaje de consumo de diésel B5 en relación con el combustible total (diésel B5 más petróleo industrial N° 6), será un máximo de 16.4 %, en consecuencia, la reducción de consumo de diésel será:

$$\% \text{ de reduccion de diesel} = \% \text{ consumo actual} - \% \text{ consumo con S.P.} = 20.7 - 16.4 = 4.3 \%$$

Porcentaje que se traduce en

$$\begin{aligned} \text{galones de reduccion de diesel} &= \% \text{ de reduccion de diesel} * \text{consumo total combustible} \\ &= 0.043 * 1,122,827 = 48,547 \text{ gal} \end{aligned}$$

Es decir, con la operación del sistema de precalentamiento propuesto se reducirá el consumo anual de diésel en 48,547 galones, cantidad que será reemplazada con petróleo industrial N° 6. Por lo cual, la reducción económica anual se obtendrá de la diferencia del precio por galón de diésel menos el petróleo industrial N° 6, multiplicado por la cantidad de galones reemplazados. El precio de los combustibles es variable, con incrementos y reducciones, para fines de cálculo se considera el precio promedio del año 2024.

$$\begin{aligned} \text{Reduccion economica} &= (\text{precio diesel} - \text{precio petroleo industrial}) * 48,547 \text{ gal} \\ &= (13.13 - 9.08) \frac{\$/\text{gal}}{\text{gal}} * 48,547 \text{ gal} = \$/ 196,614.80 \end{aligned}$$

6.2.3. Flujos de caja

Con los flujos de entrada (ahorro por reducción de consumo de combustible) y salida (inversión inicial, costos operativos, mantenimiento y depreciación) calculados, se proyecta estos

ingresos y egresos a lo largo de la vida útil del sistema. El flujo de caja del sistema de precalentamiento, se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30

Flujo de caja del sistema de precalentamiento con energía solar fotovoltaica

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Inversión	-238,814.77				
Ingresos					
Reducción en combustible		196,614.80	196,614.80	196,614.80	196,614.80
Egresos					
Depreciación S. FTV		-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08
Mantto S. FTV		-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00
Depreciación S. C		-12,530.39	-12,530.39	-12,530.39	-12,530.39
Operación S. C		-34,488.63	-34,534.46	-34,580.29	-34,626.12
Mantto S. C		-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00
Flujo neto	-238,814.77	141,684.69	141,638.86	141,893.03	141,847.20

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
196,614.80	196,614.80	196,614.80	196,614.80	196,614.80	196,614.80
-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08	-3,411.08
-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00	-2,500.00
-12,230.39	-12,530.39	-12,530.39	-12,530.39	-12,530.39	-12,530.39
-34,671.95	-34,717.79	-34,763.62	-34,809.45	-34,855.28	-34,901.11
-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00	-2,000.00
141,501.37	141,455.53	141,409.70	141,363.87	141,318.04	141,172.21

Nota: Elaboración propia

6.2.4. Indicadores económicos de viabilidad

Para determinar si un proyecto es viable o no, se utilizan diversos parámetros e indicadores, siendo los más importantes

6.2.4.1. Valor actual neto (VAN)

Sapag et al. (2014) menciona que, el criterio de viabilidad del valor actual neto indica:

- Si $VAN > 0$, el proyecto se acepta (es económicamente viable), debido a que la inversión generará ingresos mayores que la rentabilidad proyectada
- Si $VAN < 0$, no se acepta el proyecto (no es económicamente viable), a causa de que los desembolsos anuales y la inversión, superarán a las ganancias obtenidas en el periodo de evaluación.
- Si $VAN = 0$, el proyecto es indiferente, a raíz de que solo se recupera la inversión y desembolsos anuales, pero no se obtiene ninguna ganancia adicional.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde:

- $n = 10$, numero de periodos de evaluación
- $I_0 = S/ 238,814.77$, inversión inicial
- $r = 10\%$, tasa de interés (López, 2019).
- F_t , flujo neto total en el periodo “t”

Tabla 31

Calculo de VAN del sistema de precalentamiento con energía solar

Año	Flujo neto	$F_t/((1+r)^t)$
1	141,684.69	128,804.27
2	141,638.86	117,056.91
3	141,593.03	106,380.94
4	141,547.20	96,678.64
5	141,501.37	87,861.22
6	141,455.53	79,847.96
7	141,409.70	72,565.54
8	141,363.87	65,947.29
9	141,318.04	59,932.64
10	141,272.21	54,466.55
VAN		630,727.18

Nota: Elaboración propia

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido de S/ 630,727.18, indica que el sistema de precalentamiento es económicamente viable.

6.2.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Sapag et al. (2014) menciona que, el criterio de viabilidad de la tasa interna de retorno indica:

- Si $TIR > r$, se acepta el proyecto (es económicamente viable), debido a que la inversión generará una rentabilidad mayor a la esperada
- Si $TIR < r$, no se acepta el proyecto (no es económicamente viable), debido a que la inversión, aplicado a una tasa de oportunidad de “r %”, no obtendrá la rentabilidad mínima requerida
- Si $TIR = r$, el proyecto es indiferente. La rentabilidad que genera el proyecto aplicado a una tasa k, es igual a los egresos totales

Brealey et al. (2010), indica que la tasa interna de rendimiento o tasa interna de retorno, se define como la tasa de descuento a la cual el valor actual neto es igual a cero; es decir, que para encontrar la TIR de un proyecto de inversión que dure t años, se debe despejar la TIR de la expresión siguiente:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde:

- $n = 10$, numero de periodos de evaluación
- $I_0 = S/ 238,814.77$, inversión inicial
- F_t , flujo neto total en el periodo “t”

Tabla 32

Calculo de VAN del sistema de precalentamiento con energía solar

t	Flujo neto
0	-238,814.77

1	141,684.69	-41%
2	141,638.86	12%
3	141,593.03	35%
4	141,547.20	46%
5	141,501.37	52%
6	141,455.53	55%
7	141,409.70	57%
8	141,363.87	58%
9	141,318.04	58%
10	141,272.21	59%
TIR		59%

Nota: Elaboración propia

La Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenido de 59 % > 10 %, indica que el sistema de precalentamiento es económicamente viable.

6.2.4.3. Relación Beneficio/Costo (B/C)

Este indicador determina si los beneficios que se esperan obtener del proyecto son mayores que los costos en los que se incurrirá, el criterio de viabilidad es el siguiente

- Si $B/C > 1$, el proyecto se acepta (es económicamente viable), los beneficios superan los costos.
- Si $B/C < 1$, no se acepta el proyecto.
- Si $B/C = 1$, el proyecto es indiferente.

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} + I_0}$$

Donde:

- $n = 10$, numero de periodos de evaluación
- $I_0 = S/ 238,814.77$, inversión inicial
- $r = 10\%$, tasa de interés (López, 2019).
- Y_t , ingresos en el periodo “t”
- E_t = egresos en el periodo “t”

Tabla 33

Cálculo de la relación beneficio costo del sistema de calentamiento con energía solar

Año	Ingresos	Egresos	$Y_t/((1+r)^t)$	$E_t/((1+r)^t)$
1	196,614.80	54,930.10	178,740.72	49,936.46
2	196,614.80	54,975.94	162,491.57	45,434.66
3	196,614.80	55,021.77	147,719.61	41,338.67
4	196,614.80	55,067.60	134,290.55	37,611.91
5	196,614.80	55,113.43	122,082.32	34,221.10
6	196,614.80	55,159.26	110,983.93	31,135.97
7	196,614.80	55,205.10	100,894.48	28,328.94
8	196,614.80	55,250.93	91,722.25	25,774.97
9	196,614.80	55,296.76	83,383.87	23,451.22
10	196,614.80	55,342.59	75,803.52	21,336.96
Total			1,208,112.81	338,570.86
B/C				2.09

Nota: Elaboración propia

El resultado obtenido B/C es 2.09, significa que por cada S/ 1 invertido, se obtienen S/ 2.09 de beneficio.

6.2.4.4. Período de Recuperación de la Inversión

El índice se estima en años, en el cual se recuperaría la inversión. Para lo cual, se considera los flujos netos actualizados con la tasa de interés y el periodo de recuperación será en el que, el flujo neto acumulado actualizado, sea mayor que la inversión

Tabla 34

Cálculo del período de recuperación de la inversión del sistema de precalentamiento

Año	Fujo de caja	$F_t/((1+k)^t)$	Flujo neto acumulado
1	141,684.69	128,804.27	128,804.27
2	141,638.86	117,056.91	245,861.18
3	141,593.03	106,380.94	352,242.12
4	141,547.20	96,678.64	448,920.76
5	141,501.37	87,861.22	536,781.97
6	141,455.53	79,847.96	616,629.93
7	141,409.70	72,565.54	689,195.47
8	141,363.87	65,947.29	755,142.76

9	141,318.04	59,932.64	815,075.40
10	141,272.21	54,466.55	869,541.95
		Años	1
	PRI = 1.69	Meses	8
		Días	7

Nota: Elaboración propia

El periodo de recuperación de la inversión del sistema de precalentamiento con energía solar es de 1.69 años, es decir, ese es el tiempo que tardará el proyecto en devolver el capital invertido.

Finalmente, en la Tabla 35 se muestra de manera resumida, los resultados del análisis económico realizado.

Tabla 35

Resumen de análisis económico del sistema de precalentamiento con y sin energía fotovoltaica

Escenario	Inversión	VAN	TIR	B/C	PRI
Sistema de precalentamiento	S/ 238,814.77	630,727.18	59 %	2.09	1.69

Nota: Elaboración propia

Finalmente, el sistema de precalentamiento propuesto muestra una alta viabilidad económica, tanto en términos de valor generado (VAN), rentabilidad (TIR), eficiencia (B/C) y rapidez de recuperación (PRI), por lo cual, este proyecto debería implementarse.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de precalentamiento para el petróleo industrial N° 6 de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7, con el objetivo de mantener una temperatura de 80°C en el tanque diario y en la tubería que alimenta a las unidades elevadoras; el sistema de precalentamiento operará exclusivamente cuando los grupos electrógenos se encuentren en modo espera “stand by”. Este sistema está conformado por un calentador eléctrico de inmersión de 8 kW que se instalará en el tanque diario y 110 m de cable calefactor de 10 W/ft para la tubería hasta las unidades elevadoras, el sistema de precalentamiento incorpora un sistema fotovoltaico conectado a la red con una potencia instalada de 16,380 Wp que cubrirá el 25% de la demanda energética (51,264.65 Wh/día).
- El análisis de transferencia de calor en el tanque diario y la tubería de combustible hasta las unidades elevadoras, dio como resultado que las pérdidas de calor en el tanque de almacenamiento ascienden a 5,906.18 W y 1,405.29 W en la tubería de combustible hacia las unidades elevadoras, es decir, estos valores corresponden a la transferencia de calor por los diferentes mecanismos de transferencia (conducción, convección y radiación) desde el interior hacia el exterior por la diferencia de temperaturas, y que por el principio de conservación de energía, estos valores corresponden a la cantidad de calor requerido para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80 °C en el tanque y tubería de combustible de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.
- Se dimensionó un sistema de precalentamiento para mantener el petróleo industrial N° 6 a 80 °C en el tanque diario y tubería hacia las unidades elevadoras de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos, mediante dos subsistemas, en el caso del tanque de almacenamiento se seleccionó un calentador eléctrico de inmersión de 8 kW, capaz de compensar las pérdidas de calor (conducción, convección y radiación) hacia el exterior y mantener la temperatura requerida, el sistema de control recibe la lectura de un sensor de temperatura, permitiendo garantizar la temperatura deseada; por

otro lado, para la tubería de combustible hacia las unidades elevadoras, se seleccionó un cable calefactor autorregulable de 10 W/ft con una longitud de 110 m, el cual proporcionará el calor necesario para mantener la temperatura requerida del petróleo industrial N° 6 en el interior de la tubería, el sistema de control operara de manera automática y debido a la característica del cable calefactor, se optimiza el consumo de energía; por otro lado, el sistema de precalentamiento dimensionado se integrará a las instalaciones ya existentes.

- Se dimensionó un generador fotovoltaico conectado a la red, para alimentar el 25% (51,264.65 Wh/día) de la demanda energética total del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6 que asciende a 205,059.61 Wh/día; el sistema dimensionado tiene una potencia instalada de 16,380 Wp y consta de 28 módulos fotovoltaicos monocristalinos N-Type de 585 Wp, conectados en dos cadenas de 14 módulos en serie, que ocuparan un área total de 79.56 m², los paneles seleccionado tienen un mejor desempeño en condiciones de poca luz (días nublados, amaneceres o atardeceres) y su eficiencia se ve menos afectada con el incremento de temperatura, siendo ideal para el lugar del proyecto; así mismo, se seleccionó un inversor con una potencia de salida de 12,000 W en 380 V trifásico que se conectara al tablero principal de auxiliares existente, debido a que este sistema se integra a las instalaciones de la Central Térmica Iquitos.
- La instalación del sistema de precalentamiento permitirá reemplazar un 4.3% de consumo de diésel B5 por petróleo industrial N° 6, que se traduce en una reducción de 48,547 galones de diésel por año, equivalente a una reducción económica de S/ 196,614.80 al año. El análisis económico de la implementación del sistema de precalentamiento con energía solar, que requiere una inversión de S/ 238,814.77 es altamente rentable y económicamente viable; con un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 640,570.55, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 59 %, una Relación Beneficio-Costo de 2.09 y un Periodo de Recuperación de la Inversión de 1.69 años. Por lo tanto, la implementación del sistema

de precalentamiento de petróleo industrial N° 6, cuenta con la viabilidad económica y generará beneficios económicos significativos a corto y mediano plazo, debido a la reducción y sustitución del consumo de diésel por petróleo industrial, optimizando los costos operativos de la generación de energía eléctrica de los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central Térmica Iquitos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar los equipos del sistema de precalentamiento dimensionado, es decir, el calentador eléctrico de inmersión de 8 kW para el calentamiento del tanque diario y de cable calefactor autorregulable de 10 W/ft con longitud total de 110 m, en la tubería de combustible que va hacia las unidades elevadoras, ambos equipos con sus respectivos dispositivos de medición y control, para su operación automática y eficiente, en las condiciones propuestas y detalladas en el presente trabajo; con la finalidad de mantener la temperatura del petróleo industrial N° 6 en 80 °C para los grupos electrógenos Wartsila 5-6-7 de la Central térmica Iquitos.
- Se recomienda instalar el generador fotovoltaico dimensionado con conexión a la red, el cual está compuesto por 28 módulos monocristalinos N-Type de 585 Wp y un inversor con potencia de salida de 12 kW, que cubrirá el 25 % del consumo de energía del sistema de precalentamiento de petróleo industrial N° 6; esta integración permitirá reducir la compra de energía y por lo tanto optimizar los costos de operación del sistema de precalentamiento propuesto, mediante el empleo de energías renovables.
- Se recomienda evaluar técnica y económicamente la viabilidad de ampliar el sistema fotovoltaico para incrementar el porcentaje cobertura energética del sistema de precalentamiento (más del 25% propuesto); así mismo, se recomienda la evaluación de la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía (baterías) que permitan almacenar el excedente de energía solar durante el día y utilizarlo en horas sin irradiación (noche o días nublados), lo cual reduciría aún más la compra de energía de la red para la alimentación del sistema de precalentamiento, optimizando su operación.
- La sustitución de diésel por petróleo industrial con el sistema de precalentamiento propuesto alcanza el 4.3 %; se recomienda realizar estudios técnicos adicionales para determinar la viabilidad de disminuir aún más el porcentaje de consumo de diésel, con el objetivo de reducir los costos operativos.

- Debido al impacto económico positivo y rentabilidad demostrada (VAN S/ 640,570.55; TIR 59 %; recuperación en 1.69 años), se recomienda considerar el empleo del calentamiento eléctrico con energía solar, en aplicaciones similares; así mismo, considerar la incorporación de energías renovables en aplicaciones industriales que demanden altas cantidades de energía, siendo una alternativa complementaria a las fuentes de energía no renovables.

BIBLIOGRAFÍA

ABRAMS Industries MX. (2025). *1018 / A36 Acero grado herramienta - 1.9413 / ~1.0044 - SAE 1018 / ~1020*. Recuperado el 18 de abril de 2025, de <https://mx.abrams-industries.com/aceros/acero-grado-herramienta/1018-a36>

Alfa Laval. (2025). *Intercambiador de calor*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/transferencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-de-placas/intercambiador-de-calor-definicion-funcionamiento-tipos-y-aplicaciones/>

AutoSolar. (2025). *Que es un grupo electrogeno*. Recuperado el 2 de junio de 2025, de <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-es-un-grupo-electrogeno?srsIid=AfmBOoqbDqc-lotKn2CaKUKDcOFEi5MeHTeE1vMAHBERPnXmM2KIsZJ9>

Bellota, L. E. (2018). *Proceso de Generación de Energía Eléctrica a partir de Energía Solar para uso Industrial Caso: Planta de Secado de Mineral No Metálico* [Tesis de maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8046>

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2010). *Principios de finanzas corporativas* (Novena edición). McGraw-Hill/Interamerica Editores, S.A. de C.V.

Cantos, J. (2022). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (Segunda Edición). Editorial Paraninfo.

Cao, Eduardo. (2010). *Heat Transfer in Process Engineering* (Mc Graw Hil, Ed.; 1st Edition). McGraw-Hill. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071624084/back-matter/appendix7>

Cengel, Y. A. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA* (McGraw-Hill, Ed.; TERCERA EDICION).

Chromalox. (2025-a). *Calentadores de inmersión*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.chromalox.com/es/products-and-technologies/industrial-heaters-and-systems/immersion-heaters>

Chromalox. (2025-b). *Calentadores y controles de proceso*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.chromalox.com/es/products-and-technologies/industrial-heaters-and-systems/process-heaters-and-controls>

Chromalox. (2021). *Industrial Heating Cable Products*. <https://content.chromalox.com/-/media/chromalox/documents/product-pdfs/im/im-pj438.ashx?rev=0f04810a9a604babb151ae1f346fd5f7&hash=A8C9B721AC80278B06C08A637D2D42DC>

Endesa. (2025). *El generador eléctrico*. Recuperado el 4 de junio de 2025, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>

Ficha de Datos de Seguridad - Petróleo Industrial N° 6, Petroperú (2019). <http://www.petroperu.com.pe>

FICHA DE PRODUCTO LANA DE VIDRIO AISLANGLASS (2020). https://volcan.cl/wp-content/uploads/2022/03/lana_de_vidrio_ces.pdf

Gómez, E. D. (2022). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE FUEL OIL PESADO (HFO) BASADO EN ENERGÍA SOLAR PARA OPTIMIZAR RECURSOS EN LA TERMOELÉCTRICA CELEC- EP CENTRAL SANTA ELENA II* [Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8345>

Gonzáles, D. (2012). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares* (Ediciones Paraninfo, Ed.).

Hervias, A. A. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTRAR AGUA POTABLE A LA POBLACIÓN DE MAYNAS – PERÚ* [Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3949>

Holman, J. P. (1998). *Transferencia de Calor* (Mc Graw Hill, Ed.; Octava Edición).

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR* (Prentice Hall, Ed.; CUARTA EDICION).

López, Y. R. (2019). *Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa Viettel Perú S.A.C, en zonas rurales de la provincia de Huancayo, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5929>

Méndez, J. M. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica* (bureau Veritas Formación, Ed.; 7ma Edición).

NTP 321.002 Petróleo y Derivados. Petróleos industriales. Especificaciones, Instituto Nacional de Calidad (2001). <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>

OXPO. (2025). *Central Termoeléctrica*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://tuenergia.axpo.com/glosario/central-termoelectrica/>

Petroperú. (2025). *Petróleos Industriales*. <https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/petroleos-industriales/>

Precise Pipepedia. (2025). *Steel Pipe Comparison: Differences Of A53 PIPE Vs. A106*. Recuperado el 3 de mayo de 2025, de <https://precisepipe.com/steel-pipe-comparison-differences-of-a53-pipe-vs-a106/#:~:text=Density%20at%2020%2Ddegrees%20C,20%20degrees%20C%20%2D%200%2C20>

Santos, R. (2018). *ELABORACION DE UN ESTUDIO TÉCNICO PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BASE AL CALENTAMIENTO DE LOS TANQUES DE HFO PARA LA OPERACIÓN DE LOS MOTORES HYUNDAI DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA SANTA ELENA II, DE LA EMPRESA CELEC EP, UBICADA EN EL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA* [Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. <http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/handle/46000/4310>

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS* (Sexta edición). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
www.fullengineeringbook.blogspot.com

TLV. (2025). *Calentando con vapor*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.tlv.com/es-mx/steam-info/steam-theory/steam-basics/heating-with-steam>

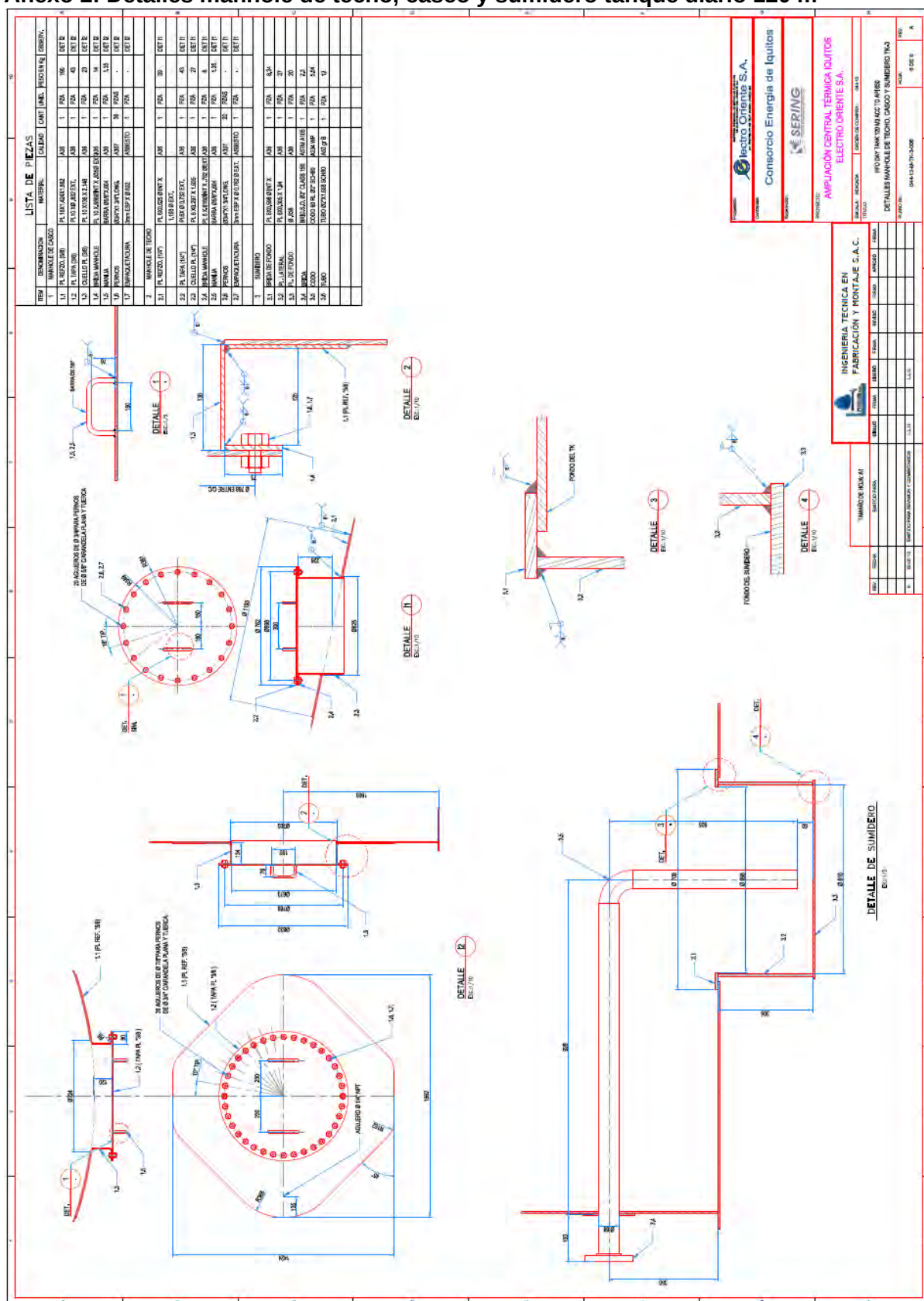
Vulcanic. (2025-a). *Cables calefactores autorregulantes y de potencia constante*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.vulcanic.com/es/cables-calefactores/>

Vulcanic. (2025-b). *Calentamiento de líquidos*. Recuperado el 1 de junio de 2025, de <https://www.vulcanic.com/es/calentamiento-liquidos/>

Wärtsilä. (2013a). *Manual de instrucciones del motor*.

Wärtsilä. (2013b). *Manual de operacion de la Central*.

Anexo 2: Detalles manhole de techo, casco y sumidero tanque diario 120 m³



Anexo 3: Detalles nozles cascós techo tanque diario 120 m³

[illegible]

Anexo 4: Ficha técnica de tubos ASTM A53



**Tubos ASTM A53 /
ASTM A106 / API 5L Gr. B
SCH STD / 40 / XS / 80 / 160**

Tubo de acero negro sin costura, tri-norma A53 / ASTM A106 / API 5L grado B x 6 metros de largo.

Desde 1/4" a 1 1/2" en corte recto, y desde 2" a 24" con extremos biselados¹⁷.

Esta tubería está destinada a aplicaciones mecánicas y de presión y también es aceptable para usos ordinarios en la conducción de vapor, agua, gas, y las líneas de aire. Este tipo de tubería es apta para ser soldada y roscada. La vida útil corresponde al uso en condiciones normales para lo que fue fabricada.

* Opcional extremos planos



Tolerancia Dimensional

Espesor mínimo	-12.5% del valor nominal
Peso	+/-10% del valor nominal
Diámetro	1/8" hasta 1 1/2": +/- 1/64"; 2" hasta 24": +/-1% del valor nominal

Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Tracción, min	60000 PSI (415 MPa)
Fluencia, min	35000 PSI (240 MPa)

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD			SCH-40			XS			SCH-80			SCH-160		
		Espesor Nominal	Peso Teórico		Espesor Nominal	Peso Teórico		Espesor Nominal	Peso Teórico		Espesor Nominal	Peso Teórico		Espesor Nominal	Peso Teórico	
Pulg.	mm	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg
1/4	13.7	2.24	0.63	3.78	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.8	3.02	0.80	4.8	-	-	-
3/8	17.1	2.31	0.84	5.04	2.31	0.84	5.04	3.20	1.10	6.6	3.20	1.10	6.6	-	-	-
1/2	21.3	2.77	1.27	7.62	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72	3.73	1.62	9.72	4.78	1.95	11.7
3/4	26.7	2.87	1.69	10.14	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.2	3.91	2.20	13.2	5.56	2.90	17.4
1	33.4	3.38	2.50	15	3.38	2.50	15	4.55	3.24	19.44	4.55	3.24	19.44	6.35	4.24	25.44
1 1/4	42.2	3.56	3.39	20.34	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82	4.85	4.47	26.82	6.35	5.61	33.66
1 1/2	48.3	3.68	4.05	24.3	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46	5.08	5.41	32.46	7.14	7.25	43.5
2	60.3	3.91	5.44	32.64	3.91	5.44	32.64	5.54	7.48	44.88	5.54	7.48	44.88	8.74	11.11	66.66
2 1/2	73.0	5.16	8.63	51.78	5.16	8.63	51.78	7.01	11.41	68.46	7.01	11.41	68.46	9.53	14.92	89.52
3	88.9	5.49	11.29	67.74	5.49	11.29	67.74	7.62	15.27	91.62	7.62	15.27	91.62	11.13	21.35	128.1
4	114.3	6.02	16.07	96.42	6.02	16.07	96.42	8.56	22.32	133.92	8.56	22.32	133.92	13.49	33.54	201.24
5	141.3	6.55	21.77	130.62	6.55	21.77	130.62	9.53	30.97	185.82	9.53	30.97	185.82	15.88	49.12	294.72
6	168.3	7.11	28.26	169.56	7.11	28.26	169.56	10.97	42.56	255.36	10.97	42.56	255.36	18.26	67.57	405.42
8	219.1	8.18	42.55	255.3	8.18	42.55	255.3	12.70	64.64	387.84	12.70	64.64	387.84	23.01	111.27	667.62
10	273.0	9.27	60.29	361.74	9.27	60.29	361.74	12.70	81.55	489.3	15.09	95.98	575.88	28.58	172.27	1033.62
12	323.8	9.53	73.88	443.28	10.31	79.71	478.26	12.70	97.46	584.76	17.48	132.05	792.3	33.32	238.69	1432.14
14	355.6	9.53	81.33	487.98	11.13	94.55	567.3	12.70	107.39	644.34	19.05	158.11	948.66	35.71	281.72	1690.32
16	406.4	9.53	93.27	559.62	12.70	123.31	739.86	12.70	123.30	739.8	21.44	203.54	1221.24	40.49	365.38	2192.28
18	457	9.53	105.16	630.96	14.27	155.81	934.86	12.70	139.15	834.9	23.83	254.57	1527.42	45.24	459.39	2756.34
20	508	9.53	117.15	702.9	15.09	183.43	1100.58	12.70	155.12	930.72	26.19	311.19	1867.14	50.01	564.85	3389.1
22	559	9.53	129.13	774.78	-	-	-	12.70	171.09	1026.54	28.58	373.85	2243.1	53.98	672.30	4033.8
24	610	9.53	141.12	846.72	17.48	255.43	1532.58	12.70	187.06	1122.36	30.96	442.11	2652.66	59.54	808.27	4849.62
28	711	9.53	164.84	989.04	17.48	298.96	1793.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	813	9.53	188.83	1132.98	17.48	342.94	2057.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	1016	9.53	236.54	1419.24	19.05	468.37	2810.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 5: Ficha técnica de tubos ASTM A53

PACKAGED SYSTEMS

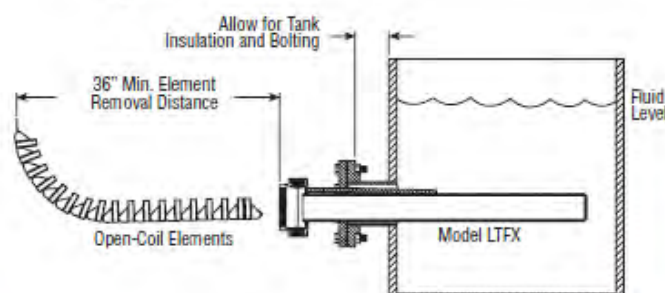
LTFX Large Tank Flange Heater

- Carbon or Stainless Steel Construction
- 4" to 14" 150# Flange Size
- Moisture Resistant (IP66) or Explosion / Moisture Resistant Terminal Housing
- Third Party Certified
- 4 - 240 kW Unit Ratings
- 5' - 25' Immersion Lengths
- 9 - 12 W/in² (Pipe Surface)
- 480V Three Phase (600V Available)
- Standard Type J Thermocouple for Over-Temperature Protection
- Matching Control Panels Available (Pre-Mounting Option Available)
- ASME Design and Certification Available
- Custom Flange Sizes, kW Rating, or Voltages Available



E2 Option shown

Patented



Description

Chromalox LTFX style units allow tank heating elements to be changed without draining the tank. This is ideal for large capacity tanks that must remain filled for continuous operation and storage.

Applications

LTFX units provide low watt density heating over a large surface area, while providing precise temperature control for such materials as fire water storage, asphalt, diesel, lube oils, ethanol, bio-diesel, glycerin, animal fats, vegetable oils, fuel oils, or similar types of liquids.

Note: Horizontal mount only.

Advantages

- **No Tank Draining Required** - Open-coil (OCE) style heating elements can be inspected or changed without draining the tank. This reduces costs and production downtime.
- **Quick & Easy Installation** - Standard ANSI flange provides a straightforward mating connection and requires no special modifications.
- **Third Party Certifications** - Moisture Resistant Housings are CSA Certified. Explosion / Moisture Resistant Housings carry both CSA and ATEX approvals for hazardous locations (see table for specific listings).
- **Minimal Spacing Required** - Open-coil (OCE) style elements can be bent to a vertical plane during removal, with as little as 36" of clearance between tanks, walls or other obstructions. This allows more efficient use of factory floor space.

- **Clean, Pollution Free Electric Heat** - Unlike gas or steam heat, LTFX units have no open flames, no additional plumbing connection, quiet operation, and better operating efficiencies. In addition, electric heat can be precisely controlled with Chromalox control panels.

- **Matching Control Panel** - Each unit can be matched with a corresponding control panel to ensure seamless operation. Control panels can be provided separately or installed directly on the LTFX unit.

- **Provided Overtemperature Sensor** - Each unit comes equipped with a type J thermocouple for overtemperature sensing on the pipe wall.

Options

- **Universal Support Stand** - Support stand helps to ensure ease of installation and minimize on-site fabrication. (Shipped separately)
- Alternate Voltage and kW Ratings
- Larger ANSI style flanges available (up to 36", 300#)
- Optional pre-assembly with Chromalox control panel
- Lower watt densities for highly viscous material
- Customized immersion lengths and/or flanges for custom sized tanks are available

LARGE TANK

Anexo 6: Ficha técnica de sensor PR - RTD

CONTROLS

PR

RTD Probes with Connection Head

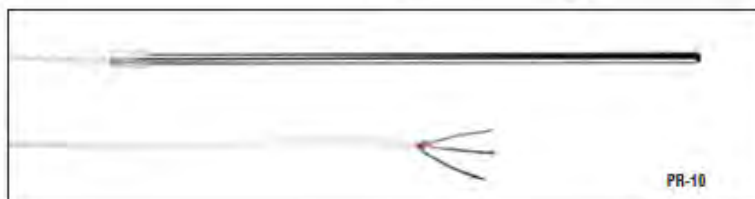
- Precision 100 Ohm Platinum RTD Element
- Rugged Design Offers Variety of Protection Heads with 1/2" NPT Mounting Threads
- 304 SS Sheath
- Spring Loaded Styles Available
- Available with PFA Teflon® Coating
- 6, 9, 12, 18 and 24" Lengths

- **PR-12 — Cast Iron Protection Head with Internal Terminal Block**
- **PR-18 — Aluminum Head, Convenient Snap-Lock Design with Internal Terminal Block**

PR-12— Cast Iron



PR-18 — Aluminum w/Snap-Lock



Stock PR-11s with Compatible Compression Fittings (SSLK)

Model	PCN	1/8 NPT Compression Fitting	PCN	1/4 NPT Compression Fitting	PCN
PR-10H-3-100-1/4-6	309251	SSLK-14-18-TEFLON/C	308750	SSLK-14-14-TEFLON/C	XXXXXX

* For details on SSLK Compression Fitting, see separate catalog sheet.

Stock PR-18 with Compatible Thermowells (260S, 260L)

Model	PCN	Thermowell Match	PCN	Thermowell Match	PCN
PR-18H-3-100-1/4-6	309260	3/4-260S-U4 1/2-304SS/C 3/4-260S-U4 1/2-316SS/C	308662 308697	1/2-260S-U4 1/2-304SS/C 1/2-260S-U4 1/2-316SS/C	NS NS
PR-18H-3-100-1/4-12	309278	3/4-260S-U10 1/2-304SS/C 3/4-260S-U10 1/2-316SS/C	308670 308700	1/2-260S-U10 1/2-304SS/C 1/2-260S-U10 1/2-316SS/C	327361 327370

*HNSL designates Spring Loaded probe

SENSORS

Anexo 7: Ficha técnica de termo pozo 260S

Controls

260S/260L

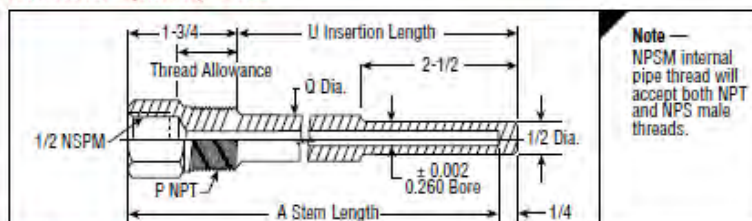
Thermowell
For General Use

- 260S Standard Thermowell
- 260L With 2 or 3" Lagging Extensions
- Standard Threaded Well for 1/4" Diameter Elements
- 1/2 and 3/4" NPT Standard. Additional Thread Sizes are Available on Request
- Standard Well Materials: 304 SS, 316 SS, Carbon Steel and Brass
- PFA Teflon® Coated Thermowells are Available
- For Companion Probe See Models NB & PR

In Stock:

Model	PCN
3/4-260S-U2 1/2-304SS/C	308854
3/4-260S-U2 1/2-316SS/C	308889
3/4-260S-U4 1/2-304SS/C	308862
3/4-260S-U4 1/2-316SS/C	308897
3/4-260S-U10 1/2-304SS/C	308670
3/4-260S-U10 1/2-316SS/C	308700
1/2-260S-U10 1/2-304SS/C	327361
1/2-260S-U10 1/2-316SS/C	327370

Dimensions (Inches) 260S

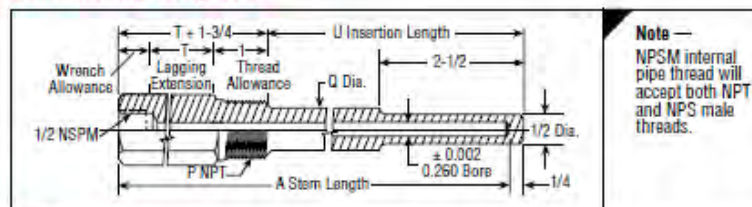


Ordering Information

STANDARD THERMOWELLS

CODE	EXTERNAL THREADING		
1/2-260S	1/2" NPT		
3/4-260S	3/4" NPT		
	CODE	Insertion Length	NB or PR Probe Code Match
	U2 1/2	2-1/2"	4/C
	U4 1/2	4-1/2"	6/C
	U7 1/2	7-1/2"	9/C
	U10 1/2	10-1/2"	12/C
	U13 1/2	13-1/2"	15/C
	U16 1/2	16-1/2"	18/C
	U22 1/2	22-1/2"	24/C
		CODE	Thermowell Material
		304SS/C	304 Stainless Steel
		316SS/C	316 Stainless Steel
		CS/C	Carbon Steel
		BRASS/C	Brass
3/4-260S-	U4 1/2-	304SS/C	Typical Model Number

Dimensions (Inches) 260L



Ordering Information

LAGGING EXTENSION THERMOWELLS

CODE	EXTERNAL THREADING		
1/2-260L	1/2" NPT		
3/4-260L	3/4" NPT		
	CODE	Insertion Length	NB or PR Probe Code Match
	U2 1/2	2-1/2"	6/C
	U4 1/2	4-1/2"	9/C
	U7 1/2	7-1/2"	12/C
	U10 1/2	10-1/2"	15/C
	U13 1/2	13-1/2"	18/C
	U19 1/2	19-1/2"	24/C
		CODE	Thermowell Material
		304SS/C	304 Stainless Steel
		316SS/C	316 Stainless Steel
		CS/C	Carbon Steel
		BRASS/C	Brass
3/4-260L-	U4 1/2-	304SS/C	Typical Model Number

Anexo 8: Ficha técnica de relé de estado sólido MS-3DA-325



TCN Series PRODUCT MANUAL

For your safety, read and follow the considerations written in the instruction manual, other manuals and Autonics website.

The specifications, dimensions, etc. are subject to change without notice for product improvement. Some models may be discontinued without notice.

Cautions during Use

- Follow instructions in 'Cautions during Use'. Otherwise, it may cause unexpected accidents.
- Check the polarity of the terminals before wiring the temperature sensor.
- For RTD temperature sensor, wire it as 3-wire type, using cables in same thickness and length. For thermocouple (TC) temperature sensor, use the designated compensation wire for extending wire.
- Keep away from high voltage lines or power lines to prevent inductive noise. In case installing power line and input signal line closely, use line filter or varistor at power line and shielded wire at input signal line. Do not use near the equipment which generates strong magnetic force or high frequency noise.
- Install a power switch or circuit breaker in the easily accessible place for supplying or disconnecting the power.
- Do not use the unit for other purpose (e.g. voltmeter, ammeter), but temperature controller.
- When changing the input sensor, turn off the power first before changing. After changing the input sensor, modify the value of the corresponding parameter.
- 24 VAC~, 24-48 VDC= power supply should be insulated and limited voltage/current or Class 2, SELV power supply device.
- Make a required space around the unit for radiation of heat. For accurate temperature measurement, warm up the unit over 20 min after turning on the power.
- Make sure that power supply voltage reaches to the rated voltage within 2 sec after supplying power.
- Do not wire to terminals which are not used.
- This unit may be used in the following environments.
 - Indoors (in the environment condition rated in 'Specifications')
 - Altitude Max. 2,000 m
 - Pollution degree 2
 - Installation category II

Ordering Information

This is only for reference, the actual product does not support all combinations. For selecting the specified model, follow the Autonics website.

T	C	N	①	②	-	③	④	⑤	-	⑥
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

① Digit

4: 4 digit

② Size

S: DIN W 48 × H 48 mm
M: DIN W 72 × H 72 mm
H: DIN W 48 × H 96 mm
L: DIN W 96 × H 96 mm

③ Option in/output

2: Alarm 1/2

④ Power supply

2: 24 VAC~ 50/60 Hz, 24-48 VDC=
4: 100-240 VAC~ 50/60 Hz

⑤ Control output

R: Relay
S: SSR drive

⑥ Wiring type

No mark: Bolt
P: Connector plug connection

Product Components

- Product (+ bracket)
- Instruction manual

Sold Separately

- Terminal protection cover: RSA / RMA / RHA / RLA-COVER

Specifications

Series	TCN4□-22□-□	TCN4□-24□-□
Power supply	24 VAC~ 50/60 Hz 24 - 48 VDC=	100 - 240 VAC~ 50/60 Hz
Permissible voltage range	90 to 110 % of rated voltage	
Power consumption	AC: ≤ 5 VA, DC: ≤ 3 W	≤ 5 VA
Sampling period	100 ms	
Input specification	Refer to 'Input Type and Using Range.'	
Control output	Relay	250 VAC~ 3A, 30 VDC= 3A, 1a
	SSR	12 VDC= ± 2 V, ≤ 20 mA
Alarm output	250 VAC~ 1 A 1a	
Display type	7 Segment (red, green), LED type	
Control type	Heating, Cooling	ON/OFF, P, PI, PD, PID Control
Hysteresis	1 to 100 (0.1 to 50.0) °C/°F	
Proportional band (P)	0.1 to 999.9 °C/°F	
Integral time (I)	0 to 9,999 sec	
Derivative time (D)	0 to 9,999 sec	
Control cycle (T)	0.5 to 120.0 sec	
Manual reset	0.0 to 100.0%	
Relay life cycle	Mechanical	≥ 5,000,000 operations
	Electrical	OUT1/2: ≥ 200,000 operations (load resistance: 250 VAC~ 3 A) AL1/2: ≥ 300,000 operations (load resistance: 250 VAC~ 1 A)
Dielectric strength	Between the charging part and the case: 1,000 VAC~ 50/60 Hz for 1 min	Between the charging part and the case: 2,000 VAC~ 50/60 Hz for 1 min
Vibration	0.75 mm amplitude at frequency of 5 to 55 Hz in each X, Y, Z direction for 2 hours	
Insulation resistance	≥ 100 MΩ (500 VDC= megger)	
Noise immunity	± 2 kV square shaped noise (pulse width: 1 μs) by noise simulator R-phase, S-phase	
Memory retention	≈ 10 years (non-volatile semiconductor memory type)	
Ambient temperature	-10 to 50 °C, storage: -20 to 60 °C (no freezing or condensation)	
Ambient humidity	35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH (no freezing or condensation)	
Insulation type	Mark: Ⓜ, double or reinforced insulation (dielectric strength between the measuring input part and the power part: 1 kV)	Mark: Ⓜ, double or reinforced insulation (dielectric strength between the measuring input part and the power part: 2 kV)
Certification	CE, RoHS, REACH, ENEC	
Unit weight (packaged)	• TCN4S: ≈ 100 g (≈ 147 g)	• TCN4M: ≈ 133 g (≈ 203 g)
	• TCN4H: ≈ 124 g (≈ 194 g)	• TCN4L: ≈ 179 g (≈ 275 g)

Anexo 9: Ficha técnica de relé de estado sólido MS-3DA-325

MS-3DA/MS-3AA Series

Three Phase DC to AC, AC to AC solid state relay



Features:

- DC to AC, AC to AC three phase solid state relay
- 5-32Vdc input for DC to AC, 90~280Vac input for AC to AC
- load amps, 10~200 amps
- Load 24~680Vac
- LED process indication
- Panel mount
- Zero-crossing trigger
- All models with the same physical size
- Fast response and no noise
- Black housing
- Terminal type
- Compact size
- Built-in **RC Snubber circuit** for all amps
- 10, 25, 40 use TRIAC, 60 and above use back to back SCR
- Using top quality TRIAC and back to back SCR
- Units completely sealed with resin to have maximum isolation

Technical Specifications

Ordering Information

MS-**1**-**2**-**3**-**4**

1: Type of solid state relay

3 Three phase solid state relay

2: Input configuration

DA DC input, range 5-32Vdc
AA AC input, range 90~280Vac

3: Load voltage

48 24~680Vac 50/60HZ

4: Load amps

10 10 amps
25 25 amps
40 40 amps
60 60 amps
80 80 amps
100 100 amps
120 120 amps
150 150 amps
200 200 amps

eg: MS-3DA4825, for DC to AC 25 amps 680Vac relay
MS-3AA48150, for AC to AC 150 amps 680Vac relay

Guidelines on the selection and usage of a solid state relay

- 1) Current rating, as a general rule consider using the relay at no more than **50%** of its rated current for resistive load such as a heater, considering using the relay at no more than **10%** of its rated current for inductive load, such as a motor, in this application, the relay only can be used to control the start and stop of the motor, not reverse of the motor.
- 2) **Heatsinks** must always be installed together with the SSR regardless of the load amps, natural convection cooling might be sufficient in some cases depends on the site situation, force air cooling must be taken into consideration under harsh conditions (contact our sales team for more info)
- 3) Fast fuse must be installed in the system to protect overload on the SSR.
- 4) Silicon rubber pad or silicon compound must be applied to the bottom of the SSR to help the heat radiation.
- 5) Our SSR is **680Vac** load type, this is suitable for multiple line voltage system including 110V/220V/380V to maximum 680Vac.
- 6) This is a normally open SSR, with no control input, the relay output is non-conducting, some specific types of SSR have a normally closed output, this needs to be specified before order.
- 7) Our relay can only be used for resistive load or inductive load, capacitive load is not suitable.

Application

High-low temperature chamber, heaters, plastic machinery, incubation machine, Oiling machine, HVAC, Elevator control Lighting, Fountain controller

Electrical Technical Features (For DC to AC type)

OUTPUT SPECIFICATIONS

Operating Voltage [VAC]	24-680Vac
Maximum Transient Overvoltage [Vpk]	1200
Maximum Off-State Leakage Current @ Rated Voltage [mA]	Less 10mA
Maximum Surge Current [Adc] (10ms)	7* rated current
Maximum On-State Voltage Drop @ Rated Current [Vdc]	1.5
Maximum Off-State dV/dt [V/μSec]	1000

INPUT SPECIFICATIONS

Control Voltage Range	5-32VDC
Minimum Turn-on Voltage	5.2 VDC
Minimum Turn-off Voltage	1VDC
Leakage Current	15mA
Maximum Turn-on Time [msec]	Less 8.3m Sec
Maximum Turn-off Time [msec]	Less 1/2AC cycle

GENERAL SPECIFICATIONS

Dielectric Strength, Input-Output Base (50/60Hz)	3500
Dielectric Strength, Input-Output (50/60Hz)	3500
Minimum Insulation Resistance	10 ⁹ ohm
Ambient Operating Temperature Range	-20 ⁰ C--+80 ⁰ C
Ambient Storage Temperature Range	-40 ⁰ C--+100 ⁰ C
Switching Type	Zero-Crossing
Weight (g) +/-	50g

Electrical Technical Features (For AC to AC type)

OUTPUT SPECIFICATIONS

Operating Voltage [VAC]	24-680Vac
Maximum Transient Overvoltage [Vpk]	1200
Maximum Off-State Leakage Current @ Rated Voltage [mA]	Less 10mA
Maximum Surge Current [Adc] (10ms)	7* rated current
Maximum On-State Voltage Drop @ Rated Current [Vdc]	1.5
Maximum Off-State dV/dt [V/μSec]	1000

INPUT SPECIFICATIONS

Control Voltage Range	90~280Vac
Minimum Turn-on Voltage	80Vac
Minimum Turn-off Voltage	10Vac
Leakage Current	15mA
Maximum Turn-on Time [msec]	Less 8.3m Sec
Maximum Turn-off Time [msec]	Less 1/2AC cycle

GENERAL SPECIFICATIONS

Dielectric Strength, Input-Output Base (50/60Hz)	3500
Dielectric Strength, Input-Output (50/60Hz)	3500
Minimum Insulation Resistance	10 ⁹ ohm
Ambient Operating Temperature Range	-20 ⁰ C--+80 ⁰ C
Ambient Storage Temperature Range	-40 ⁰ C--+100 ⁰ C
Switching Type	Zero-Crossing
Weight (g) +/-	50g

Anexo 10: Ficha técnica de transformador EN-SBK10000 ENERGIT



Transformador de Aislamiento Trifásico – 10kVA

Los transformadores de aislamiento son de relación 1:1 (igual número de espiras en el primario y en el secundario) cuidadosamente aislados, de forma que el circuito secundario este completamente separado del circuito primario, y por lo tanto de la red. De esta manera, aunque exista un contacto a masa no hay retorno a través de tierra. Este procedimiento se emplea para protección contra indirectos por separación de circuitos. Los transformadores de aislamiento proporcionan una separación de la conexión a tierra de la línea eléctrica para eliminar los bucles de tierra y la puesta a tierra involuntaria de los equipos de prueba. También suprimen los ruidos de alta frecuencia que se producen en la fuente de energía.

Transformador tipo seco con apantallamiento electrostático, fabricado con núcleo de hierro silicoso de grano orientado y arrollamiento de cobre electrolítico de alto grado de pureza, caja metálica protectora. Diseñada con baja inducción magnética y bajo nivel de ruido.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Potencia Real: 10 KVA

Voltajes a fabricar: 220V – 380V – 440V – 480V AC (Mas Tierra o Neutro)

– Nota: La relación de voltajes de INGRESO y SALIDA es a pedido del cliente.

Fase: 3PH – Trifásico

Frecuencia: 50 – 60 Hz

Tipo de conexión: Bornera (Ingreso y Salida)

Tipos de cargas a soportar: Inductiva o Capacitiva

Eficiencia: > 98%

Norma de fabricación: IEC-76 ITINTEC 370 – 002

Tipo: Seco

Refrigeración: ANAN

Aislamiento térmico: Tipo H (155°C)

Factor de potencia: 0.9

Nivel de ruido: < a 25dB

Aislamiento: Factor K-13

Tcc % a 75°C 3.80%

Nivel de aislamiento A.T.: 1.1/3KV

Nivel de aislamiento B.T.: 1.1/3KV

Montaje: Uso interior o exterior

TRANSFORMADOR:

Tipo: Transformador de Aislamiento (Doble bobina)

Aislamiento: Clase H/F

Función principal: Los transformadores de aislamiento proporcionan una separación de la conexión a tierra de la línea eléctrica para eliminar los bucles de tierra y la puesta a tierra involuntaria de los equipos de prueba. También suprimen los ruidos de alta frecuencia que se producen en la fuente de energía. Sirven a tres propósitos principales:

- El primero es aislar el secundario del suelo (Tierra)
- El segundo es proporcionar un aumento o disminución de los voltajes de línea (Red)
- El tercero es reducir el ruido de línea que se transmite del primario al secundario o viceversa.

CONDICIONES DE TRABAJO:

Altitud máxima: 4800 m.s.n.m

Temperatura de Trabajo: 0° ~ 60 °C

Humedad Relativa: 0 ~ 95 % Sin condensación

EQUIPO:

Gabinete de protección: IP20

Gabinete metálico: Fabricado en plancha LAF

Acabados: El gabinete es sometido a un proceso anticorrosivo de tipo fosfatado. El pintado es de base epóxido anticorrosivo y el acabado será epóxido crema. El proceso de pintado es electrostático.

CERTIFICACIONES:

Productos de primera calidad, certificados con normas internacionales. Cumpliendo con todas las pruebas técnicas que exigen las normas nacionales e internacionales.

ITINTEC 370.002: Diseño de fabricación y pruebas

IEC 60076: Diseño de fabricación y pruebas

IEC 60076-7: Diseño de fabricación y pruebas

ANSI C571210: Diseño de fabricación y pruebas

Anexo 11: Ficha técnica de tablero 500x400x200mm LEGRAND



Elija sus armarios Atlantic, Inox, Marina y equipamientos

armarios Atlantic, Atlantic Inox y Marina

DIMENSIONES EXTERIORES	ARMARIOS ATLANTIC				MARINA	
	IP 66-IK 10 Metálicos		Acero Inoxidable IP 66-IK 10	Acero inoxidable 304 L	Poliéster IP 66 - IK 10	Poliéster IP 66 - IK 10
	Gris RAL 7035	Gris RAL 7035 visor de vidrio templado DISPONIBLE DESDE JUNIO 2016	Inox. 304 L	Con visor	RAL 7035	RAL 7035 visor de vidrio templado
 H (mm) L (mm) P (mm)						
300 x 200 x 160	0 369 10 suministrado con placa lisa		0 352 00 suministrado con placa lisa		0 362 50	
400 x 300 x 200	0 369 17	0 369 27*	0 352 01	0 352 21	0 362 51	0 362 71
500 x 400 x 200	0 369 18	0 369 28*	0 352 02	0 352 22	0 362 52	0 362 72
600 x 400 x 200	0 369 19		0 352 03	0 352 23		
500 x 400 x 250	0 369 25					

Anexo 12: Ficha técnica de interruptor termomagnético S203-C16 ABB

Información General

Tipo de producto extendido	S203-C16
Código de producto	2CDS253001R0164
EAN	4016779468008
Descripción corta	S203-C16 Interruptor automático - 3P - C - 16 A
Descripción larga	System pro M compact S200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C,D,K,Z), configurations (1P,1P+N,2P,3P,3P+N,4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 63A). All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 allowing the use for residential, commercial and industrial applications. Bottom-fitting auxiliary contact can be mounted on S200 to save 50% space.

Technical

Standards	IEC/EN 60898-1 IEC/EN 60947-2 UL 1077
Tripping Characteristic	C
Rated Voltage (U _r)	400 V AC
Rated Operational Voltage	acc. to IEC 60898-1 400 V AC acc. to IEC 60947-2 440 V AC
Operational Voltage	Maximum (Incl. Tolerance) 440 V AC Minimum 12 V AC Minimum 12 V DC
Rated Insulation Voltage	acc. to IEC/EN 60664-1 440 V

(U _i)	
Rated Impulse	4 kV
Withstand Voltage (U _{imp})	at 2000 m 5 kV at Sea Level 6.2 kV
Dielectric Test Voltage	50/60 Hz, 1 min: 2 kV
Input Voltage Type	AC/DC
Rated Current (I _n)	16 A
Rated Short-Circuit Capacity (I _{cn})	(AC) 6 kA (DC) 6 kA (400 V AC) 6 kA
Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cu})	(230 V AC) 20 kA (400 V AC) 10 kA (440 V AC) 10 kA
Rated Conditional Short-Circuit Current (I _{nc})	(230 V) 20 kA (400 V) 20 kA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cs})	(230 V AC) 15 kA (400 V AC) 7.5 kA (440 V AC) 7.5 kA
Frequency (f)	50 Hz
Rated Frequency (f)	50 / 60 Hz
Power Loss	7.5 W at Rated Operating Conditions per Pole 2.5 W
Power Supply Connection	Arbitrary
Contact Position Indication	Red ON / Green OFF
Energy Limiting Class	3
Electrical Endurance	20000 AC cycle 20000 cycle
Number of Poles	3
Number of Protected Poles	3
Overvoltage Category	III
Product Range	S200
Tightening Torque	2.8 N·m
Mounting Type	DIN-Rail
Screw Terminal Type	Failsafe Bi-directional Cylinder-lift Terminal
Actuator Marking	I / O
Actuator Material	Insulation Group II, Black, Sealable
Housing Material	Insulation Group II, RAL 7035
Mounting on DIN Rail	TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Mounting Position	Any
Recommended Screw Driver	Pozidriv 2
Accessories Available	Yes
Connecting Capacity	Busbar 10 / 10 mm ² Flexible with Ferrule 0.75 ... 25 mm ² Flexible 0.75 ... 25 mm ² Rigid 0.75 ... 35 mm ² Stranded 0.75 ... 35 mm ²
Installation Size	acc. to DIN 43880 1
Wire Stripping Length	12.5 mm
Terminal Type	Screw Terminals

Ambiente

Temperatura ambiente	Funcionamiento -25 ... +55 °C Almacenamiento -40 ... +70 °C
Reference Ambient Air Temperature	30 °C
Grado de protección	IP20

Anexo 13: Ficha técnica de interruptor diferencial AR F204 AC-25/0.03 ABB

General Information

Extended Product Type	AR F204 AC-25/0.03
Product ID	1TMF204005R1250
EAN	not applicable
Catalog Description	AR F204 AC-25/0.03 Residual Current Circuit Breaker
Long Description	AR F204 AC-25/0.03 Residual Current Circuit Breaker

Technical

Product Name	Residual Current Circuit Breaker
Type of Residual Current	AC type
Rated Voltage (U_r)	230/400 V
Rated Operational Voltage	230/400 V
Rated Insulation Voltage (U_i)	500 V
Rated Impulse Withstand Voltage (U_{imp})	4 kV
Rated Current (I_n)	25 A
Rated Residual Current	30 mA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I_{cs})	1 kA
Maximum Surge Current	0.25 kA
Leakage Current Type	AC
Rated Frequency (f)	50 / 60 Hz
Number of Poles	4
Operating Characteristic	Instantaneous
Mounting Type	DIN rail
Options Provided	None
Rated Cross-Section	4 - Multi-Wired 0...25 mm ² 1 - Solid-Core 25...25 mm ²

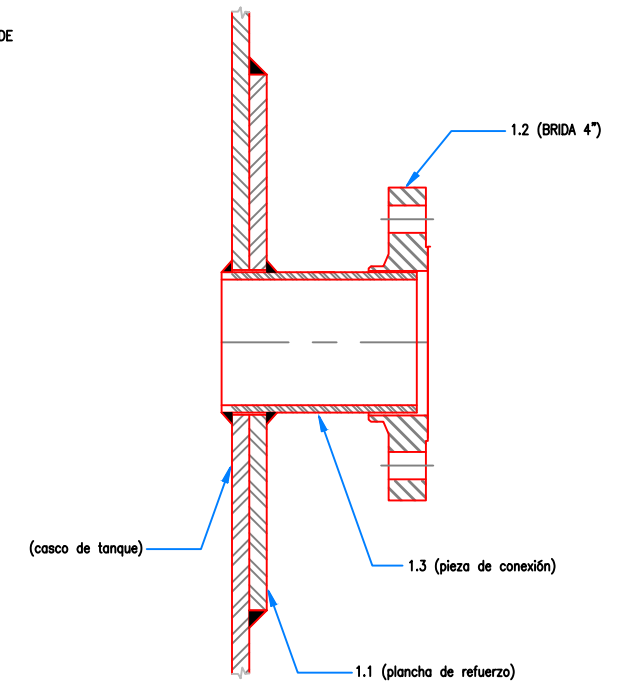
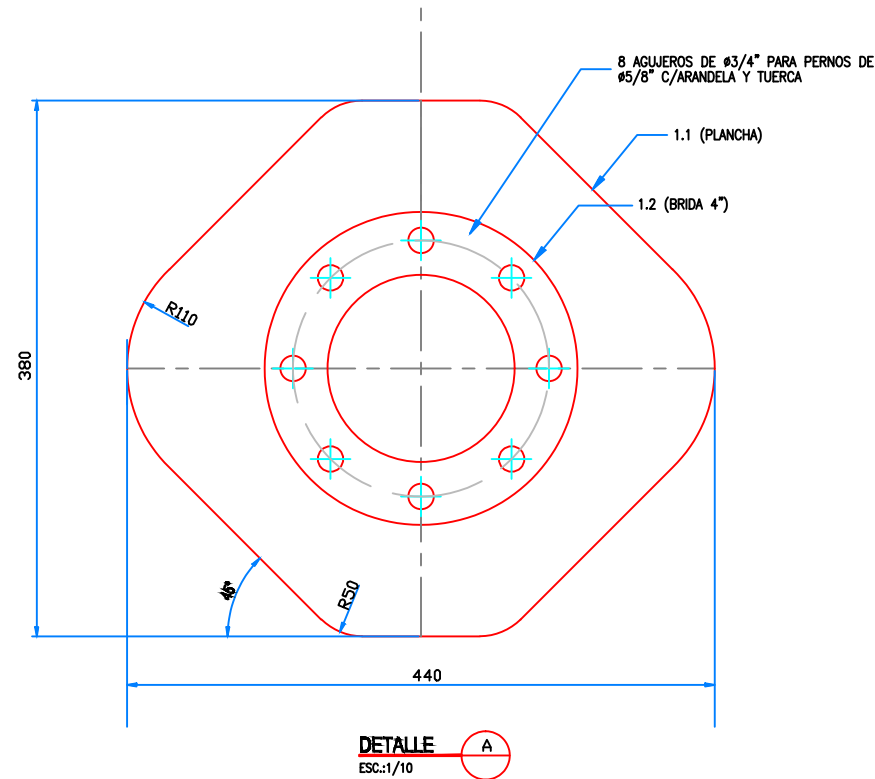
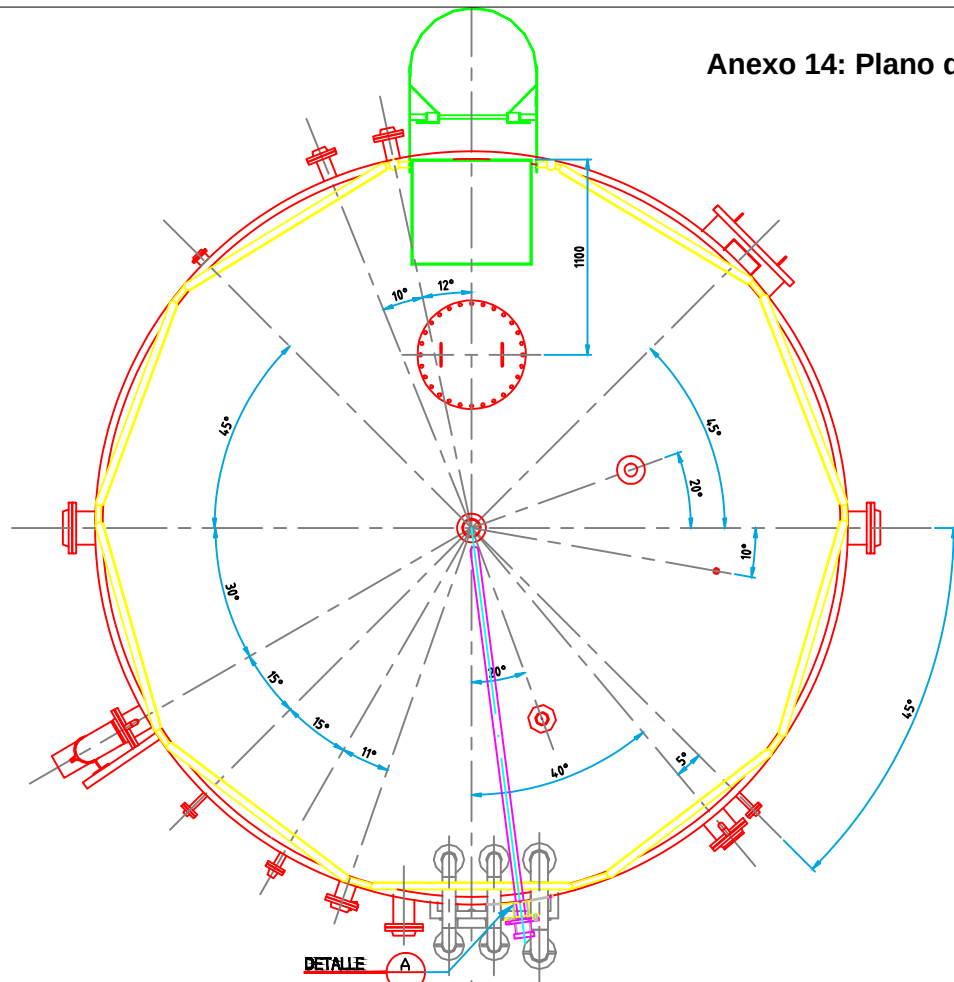
Environmental

Ambient Temperature	-25...55 °C
Ambient Air Temperature	Operation -25...55 °C
Degree of Protection	IP2X
Pollution Degree	2
Environmental Information	Refer to RoHS

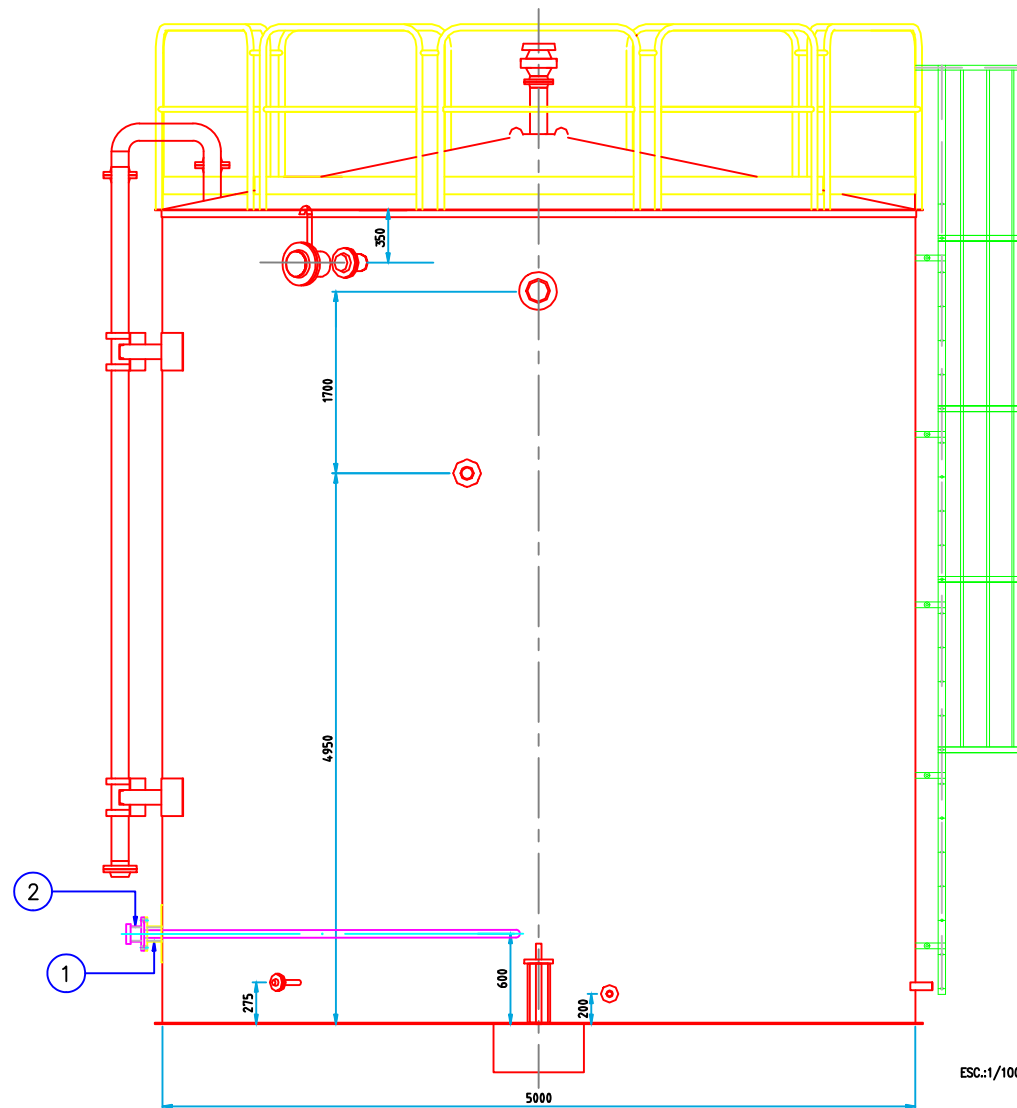
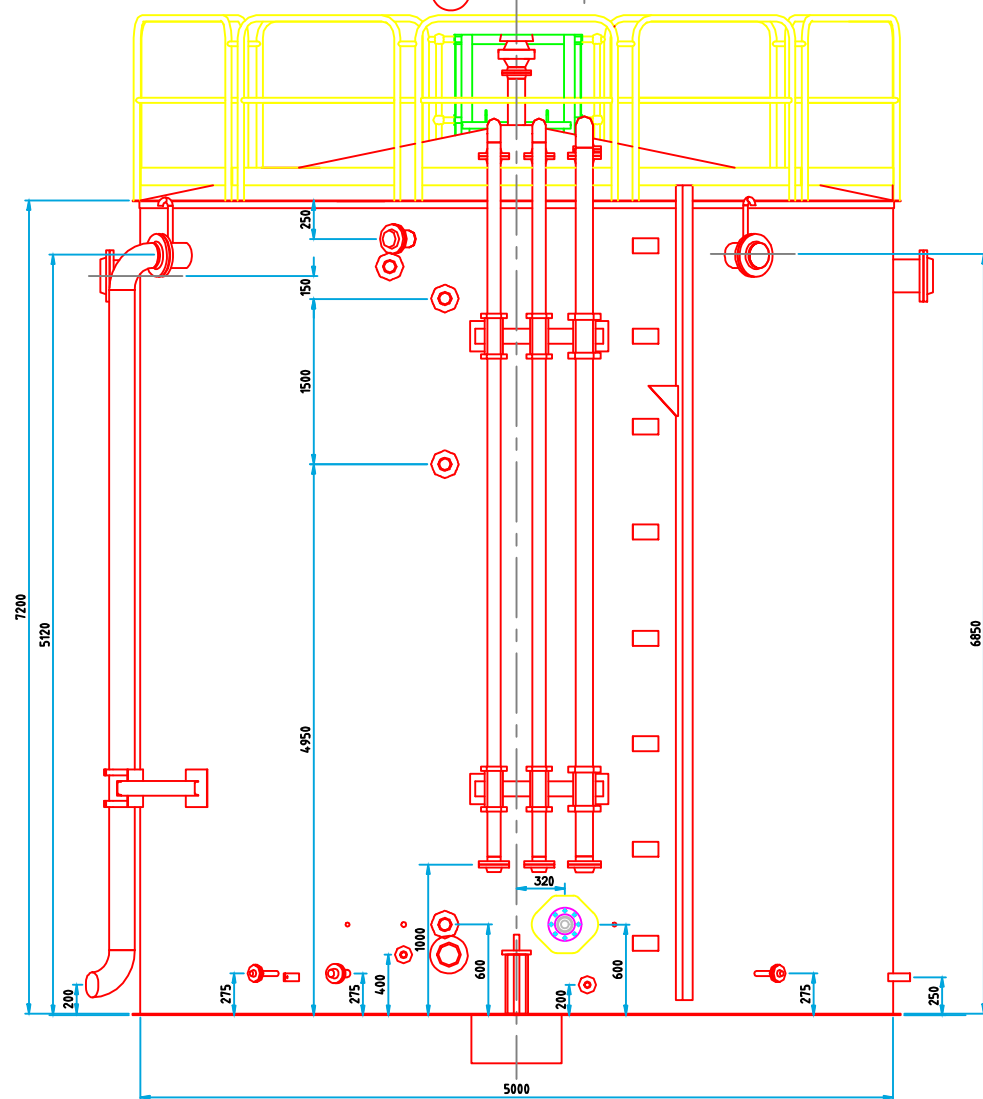
Technical UL/CSA

Short-Circuit Current Rating (SCCR)	0.03 A
-------------------------------------	--------

Anexo 14: Plano de instalación de calentador de inmersión



DETALLE DE SOPORTE
DE CALENTADOR
ESC.:S/E



LISTA DE PIEZAS

ITEM	DENOMINACION	MATERIAL	CALIDAD	CANT	UNID	OBSERV
1	SOPORTE DE CALENTADOR					
1.1	PLANCHA DE REFUERZO	PL 15/64" (6mm)	A36	1	PZA	DETALLE A
1.2	BRIDA 4"	BRIDA 4" CLASE 150	ASTM A105	1	PZA	DETALLE A
1.3	PIEZA DE CONEXION	TUBO Ø4"x200 SCH80	A53 gr B	1	PZA	DETALLE A
2	CALENTADOR DE INMERSION	8 kW				
2.1	CALENTADOR TIPO BRIDA	BRIDA 4" CLASE 150	—	1	PZA	—

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO

PROYECTO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA PETRÓLEO INDUSTRIAL N° 6 DE LA CENTRAL TÉRMICA IQUITOS
----------	--

TÍTULO:	CALENTADOR DE INMERSION TIPO BRIDA
---------	------------------------------------

DIBUJO: JHOEL TINTA GUTIERREZ

PLANO:	ESCALA:	LAMINA:	FECHA:
TK-D-001	INDICADA	1 DE 1	AGO-2025

Anexo 15: Ficha técnica de cable calefactor SMR/E 10-2CT Chromalox

SRM/E Self-Regulating Medium Temperature

- Self-Regulating, Energy Efficient
- 16 AWG Buss Wire
- Circuit Lengths to 750 Feet
- Process Temperature Maintenance to 302°F (150°C)
- Maximum Continuous Exposure Temperature, Power Off, 420°F (215°C)
- Industrial Process Maintenance Applications
- Industrial Freeze Protection Applications
- Single or Dual Monitor Wires Available
- Steam Cleanable on Process Equipment Up to 300 PSIG
- 5, 8, 10, 15 and 20 W/Ft.
- 120 and 208 - 277 Volt From Stock
- Approx. Size 0.47"W x 0.20"H
- Minimum Bend Radius 1-1/8"
- For Use on Metallic Pipes Only

Description

Chromalox SRM/E self-regulating heating cable provides safe, reliable heat tracing for process temperature maintenance and freeze protection of pipes, valves, tanks and similar applications. Constructed of industrial grade 16 AWG buss wire with metal braid and overjacketing, SRM/E ensures operating integrity in most hostile industrial environments. The 420°F (215°C) maximum exposure temperature rating allows steam cleaning of process equipment with up to 300 psig steam.

WARNING — A ground fault protection device is required by NEC to minimize the danger of fire if the heating cable is damaged or improperly installed. A minimum trip level of 30mA is recommended to minimize nuisance tripping.



Features

- Energy efficient, self-regulating SRM/E uses less energy when less heat is required.
- Easy to install, SRM/E can be cut to any length (up to max. circuit length) in the field.
- Field splices can be performed easily in minutes with no scrap or wasted cold sections.
- With lower installed cost than steam tracing, SRM/E features less maintenance expense and downtime.
- SRM/E can be overlapped without burnout, which simplifies heat tracing of in-line process equipment such as valves, elbows and pumps.
- Because SRM/E is self-regulating, overtemperature conditions are minimized.
- Chromalox termination, splice, tee and end seal kits reduce installation time.

Construction

- A** Twin 16 AWG Copper Buss Wires — Provide reliable electrical current capability.
- B** Semiconductive Polymer Core Matrix — "Self-Regulating" component of the cable, its electrical resistance varies with temperature. As process temperature drops, the core's heat output increases; as process temperature rises, the heat output decreases.
- C** High Temperature Fluoropolymer Jacket — Flame retardant, electrically insulates the matrix and provides corrosion resistance.
- D** Metallic Braid — Provides additional mechanical protection in any environment and a positive ground path.
- E** High Temperature Fluoropolymer Overjack

et — Corrosion resistant, flame retardant overjacket is highly effective in hostile, aqueous and chemically active environments. It also protects against abrasion and impact damage.

Approvals

Factory Mutual (FM) Approved, UL Listed, and CSA certified for ordinary areas. ATEX, IECEx, FM, and CSA Approved for hazardous (classified) areas when used with U Series, HL, DL, and EL accessories.

CSA and FM Approved:

- Class I, Div. 1* & 2 Groups A*, B, C, D (gases, vapors)
- Class II, Div. 1* & 2 Groups E*, F, G (combustible dust)
- Class III, Div. 2 (easily ignitable fibers and fillings)
- 5 and 8 Watt Rated T3 Temperature Class
- 10, 15, and 20 Watt Rated T2D Temperature Class

*CSA Only

*-CT overjacket only

ATEX Approved:

- CE2903 II 2 G Ex eb IIC T* Gb Ta -60°C to 195°C

IECEx Approved:

- ITS 07.0018X Ex eb II T* Gb Ta -60°C to 195°C

Note 1 Exception — Cable Surface Temperature shall not exceed 190°C in Class II, Div. 2, Group F; 165°C in Class II, Div. 2 Group G.

Heat Tracing Products

Application & Selection Guidelines

General Product Summary

This section is designed to assist you in determining the appropriate cable for use in your application.

Step 1 — Collect Required Application Data and Determine Heat Loss

Step 2 — Choose the cable that best meets your specific application parameters based on the summary. Consideration of application temperature, exposure temperature, application requirements and environmental ratings should be made.

Step 3 — Select Heating Cable Wattage Rating

Step 4 — Determine Total Cable Required

Step 5 — Determine Circuits and Circuit Protection

Step 6 — Select Appropriate Accessories

Step 1 — Collect Required Application Data & Determine Heat Loss

Application data required can be split into two categories. The first is the heat loss data. This includes:

- Maintenance Temperature
- Minimum Ambient Temperature
- Pipe Size
- Insulation Type (or K factor)
- Insulation Thickness
- Indoor/Outdoor Installation
- Maximum Expected Wind Speed
- Required Safety Factor.

Refer to the Technical section of this catalog, "Determining Heat Energy Requirements — Pipe & Tank Tracing" for details on

performing heat loss calculations. For Commercial Freeze Protection, please see Cable Selection Tables in this section.

The second category of data required is the application and environmental conditions. This includes:

- Maximum Exposure Temperature (Power Off Condition)
- Circuit Length Considerations
- Available Voltage
- Hazardous Area Requirements
- Type of Pipe (Plastic or Metal)
- Chemical Exposure
- Fire Resistance.

Step 2 — Select the Cable

Choose the cable that best fits your specific application parameters and wattage requirements.

Heat Tracing Product Features

Features	Industrial						Commercial		
	SRL	SRP	SRM/E	CWM	SLL	Alloy 825 MI	SRF	SRF-RG	HWM
Max. Maintenance Temp. (°F)	150	225	302	320	302	900	100	50	225
Max. Exposure Temp. (°F) Power Off	185	275	420	400	450	1,100	185	185	275
Max. W/Ft.	10	15	20	12	12	50	8	12	15
Max. Circuit Length (Ft.)	95-660	55-750	150-750	225-900	7,500	330-1,000	180-660	135-540	500-800
Buss Wire Size	16	16	16	12	16,14,12,10	N/A	16	16	16
Voltages	120, 208-277	120, 208-270	120, 208-277	120, 208-277, 480	120-600	Up to 600	120, 208-277	120, 208-277	120, 208-270
Hazardous Ratings	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Usable on Plastic Pipe	Yes	No	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Cut-to-Length in Field	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Field Splicable	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Can be Overlapped	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Output Varies with Temp.	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Varies Output Along Length	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Design of System	Simple	Simple	Simple	Simple	Involved	Involved	Simple	Simple	Simple
Installation of System	Easiest	Easiest	Easiest	Simple	Simple	Involved	Easiest	Easiest	Easiest
Fire Resistance	Fair	Fair	Fair	Fair	Fair	Excellent	Fair	Fair	Fair
Chemical Resistance	See Corrosion Guide, next page								
Size (Max. In.)	.435x.185	.435x.185	.435x.185	.435x.235	.435x.185	0.4	.435x.185	.435x.185	.435x.185
Accessories	DL/EL/U	D/UL	DL/U	DL/EL/U	U		DL/EL/U	RG Access.	DL/U
Monitor Wire Available	Yes	Yes	Contact Factory	Contact Factory	No	No	No	No	Yes
Applications	FL,PL	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL,FH, PL,PH	FL	RG	HWM
FL = Freeze Protection FH = Freeze Protection, High Exposure Temp. PL = Process Maintenance, Low Temperature PH = Process Maintenance, High Temperature RG = Roof and Gutter De-icing HWM = Hot Water Maintenance									

HEAT TRACING PRODUCTS

Heat Tracing Products

Application & Selection Guidelines (cont'd.)

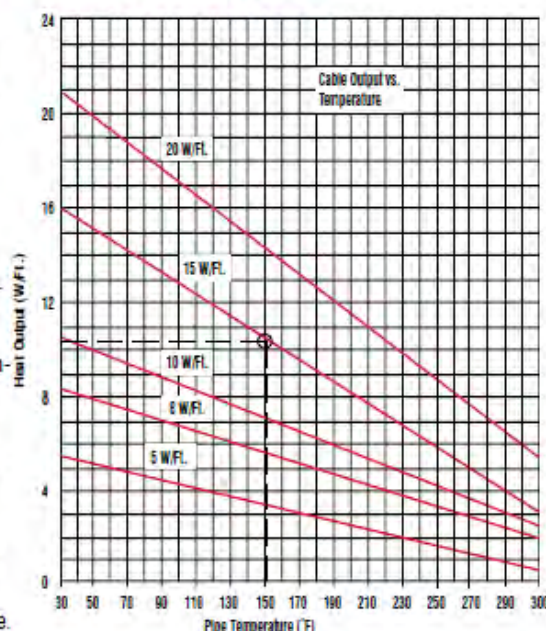
Required Jacket Material

Select the appropriate jacket configuration for the desired level of mechanical and corrosive chemical protection. The CR over-jacket option can be used when additional mechanical protection is desired. The CR over-jacket option is required when the cable can be exposed to aqueous inorganic chemicals. The CT over-jacket option is required when the cable can be exposed to organic chemicals or strong corrosives. Use Corrosion Guide above to determine the correct jacket material option for the cable type selected.

Step 3 — Select Heating Cable Wattage Rating

After calculating the heat loss in the pipe and adjusting for any application deviations, you may determine which cable rating to use. If you have selected a self-regulating cable you must adjust the output based on maintenance temperatures, using the Thermal Output Rating Graphs shown on the individual product pages, select the lowest cable rating that will provide the pipe maintenance temperature. **For Example:** A 15 W/Ft. SRM/E cable @ 150°F will output approximately 10 W/Ft. Multiple passes or runs of cable may be required to provide sufficient output per foot calculated in Step 1. This is accomplished with parallel runs of cable or spiraling. Contact your Local Chromalox Sales office.

Cable Output vs. Temperature



Step 4 — Determine Total Length of Cable Required

The total amount of heating cable is determined by adding the total footage of pipe to be traced and adding for allowances for the components such as flanges, valves, pipe supports; then, multiply by the total number of runs or Wrap Factor determined in Step 3.

(Total Feet of Traced Pipe + Cable Allowance for Components) x # of Runs = Total Cable Length

Step 5 — Determine Circuits & Circuit Protection

Circuit protection depends on the breaker size being used and the start-up temperature. The National Electric Code (NEC 1996) requires the use of ground fault protection breakers for heating cable. Refer to the specific data of the individual heat trace cable to determine maximum circuit lengths. To determine the number of circuits required for each pipe, divide the total cable length found in Step 4 by the maximum circuit length found in the individual cable data charts. Round up to the next higher number.

$$\text{Number of Circuits} = \frac{\text{Cable Length}}{\text{Maximum Circuit Length}}$$

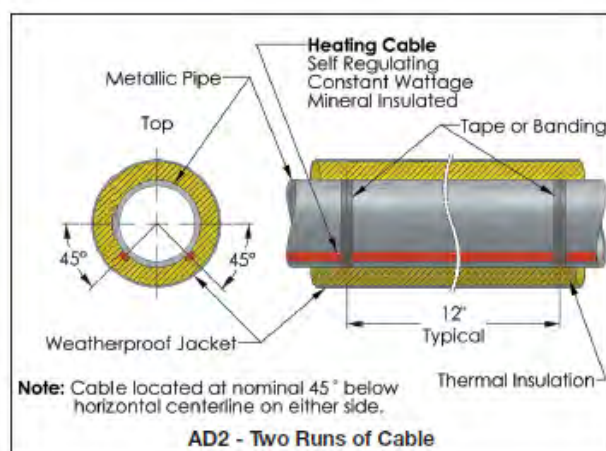
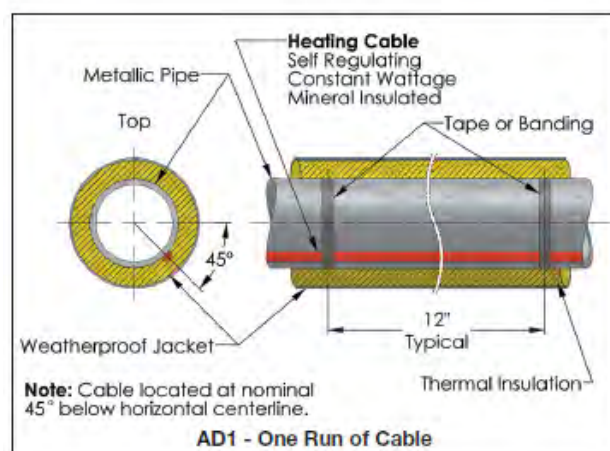
Pipe Component Cable Allowance Estimation

Component	Cable Allowance Factor (FL)	x	# Components	Total Additional Cable
Flange Pair	1.5	x		
Pipe Support	2.0	x		
Butterfly Valve	2.5	x		
Ball Valve	2.7	x		
Globe Valve	4.0	x		
Gate Valve	5.0	x		
Example: Pipe: 150 feet Valves: 1 globe valve Pipe Supports: 2 Flanges: 2 Total Cable Length = $[150 + (1 \times 4) + (2 \times 2) + (2 \times 1.5)] \times 2 \text{ runs}$ = 161 feet x 2 runs = 322 feet				

Table 3 – Additional Cable Lengths Required for In-Line Components (Based on Iron Pipe Size)

Piping Size	Gate Valve	Globe Valve	Ball Valve	Butterfly Valve	Shoe Support	Hanger Support	Sleeper Support	Flange Pair
Dimensions in Feet (Ft.)								
1/2 in.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30
3/4 in.	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	0.30
1 in.	2.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	0.30
1-1/2 in.	2.50	1.50	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	0.30
2 in.	2.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.30
2-1/2 in.	2.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.30
3 in.	3.00	2.50	2.50	2.50	2.00	2.00	2.00	0.50
4 in.	4.00	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50	0.50
6 in.	5.00	3.50	3.50	3.50	2.50	2.50	2.50	0.80
8 in.	7.00	4.00	4.00	4.00	2.50	2.50	2.50	0.80
10 in.	8.00	4.50	4.50	4.50	3.00	3.00	3.00	0.80
12 in.	9.00	5.00	5.00	5.00	3.00	3.00	3.00	0.80
14 in.	10.00	5.50	5.50	5.50	3.00	3.00	3.00	1.00
16 in.	11.00	6.00	6.00	6.00	3.50	3.50	3.50	1.00
18 in.	12.00	7.00	7.00	7.00	3.50	3.50	3.50	1.00
20 in.	13.00	7.50	7.50	7.50	3.50	3.50	3.50	1.00
22 in.	13.00	7.50	7.50	7.50	3.50	3.50	3.50	1.00
24 in.	15.00	8.00	8.00	8.00	4.00	4.00	4.00	1.00

Typical Installation Detail



Anexo 16: Ficha técnica de sensor RBF185M-HT-304-18RD-48SB/C Chromalox

Heating Cable

RBF
Heat Trace
or Pipe Sensor

- Heat Trace or Pipe Sensing Applications
- 316 Stainless Steel Sheath
- Moisture Resistant Heads
- 3/4" or 1/2" NPT Threaded Extension Wire Opening
- 4" to 8" Cold Leg Standard for Varying Insulation Depths
- 100 ohm RTD, ± .12% Accuracy
- Fiberglass Insulated RTD Probe
- RTD or Universal Transmitter Available (Must Specify Temperature Range)

Description

For measuring the surface temperature of process piping that is carrying products whose temperatures must be controlled to prevent freeze-up, or to maintain a viscosity level so that the inner medium will flow. The RTD Sensor Element is made up with a 316SS sheath, and with a stainless steel mounting pad. Cold legs are available in customer specified lengths to accommodate pipe insulation thickness.



Model	Sensor	Insulation	Common Junction	Range (°F)	
				Min	Max
RBF185M-HT	RTD	Fiberglass		-100	900

* Mounting pads conform to pipe with pipe clamps

* Replaces RBF185M-HT-0304-18RD-71SB/C

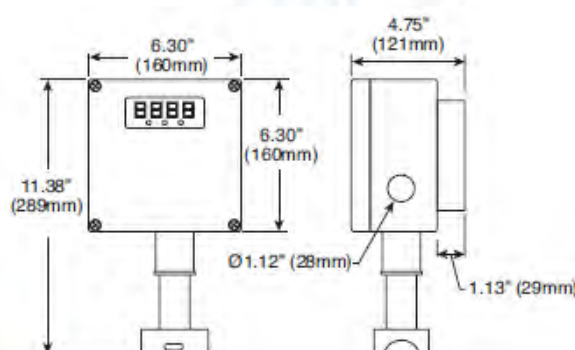
Anexo 17: Ficha técnica de termostato digital DTS-HAZ Chromalox

DTS Series Heat Trace Digital Thermostat

- 30 Amp Solid State Relay (SSR) Output
- 120 to 277 VAC Operation
- C1D2 Hazardous Area Approval
- ATEX / IECEx Zone II
- On/Off Control With 100 Degree Deadband Programmable In One Degree Increments
- Selectable Soft-Start Feature – Eliminates SR Cable In-Rush
- LED Indication for Power, Alarm and Load
- Large LED Display of Process Variables
- Programmable High & Low Temperature Alarms
- Solid State Alarm for Remote Indication of Alarm Status –
 - AC Alarm: DTS-HAZ
 - DC Alarm: DTS-HAZ-DC
- NEMA 4X Enclosure
- Integral Pipe Stand
- Optional Wall Mount
- High Temperature Adapter Kit for use with Pipe Temps. Over 500°F (260°C)
- 100 Ohm Platinum RTD - Included
- Enclosure Serves as Heating Cable, A/C Power & Sensor Connection
- Works with SR, CWM and MI Cable
- RoHS Compliant
- UL, cUL Listed, CE Approved



HEAT TRACE
CONTROLS



Description

The DTS-HAZ digital thermostat is a microprocessor based temperature control and power connection kit. It is used for freeze protection or process temperature maintenance of pipes or tanks protected by heat tracing products. This thermostat can be used with Constant Wattage, Mineral Insulated or Self-Regulating heating cables in Ordinary area or Class 1, Division 2 and IECEx/ATEX Zone II hazardous area locations.

This unit is designed to provide local temperature control and monitoring for heat traced pipes or tanks across a variety of industries and applications and will switch 30 amperes of current.

The DTS-HAZ provides easy programming of the temperature set point, high and low temperature alarms, the deadband, the temperature units, the soft start function and the alarm state through the front panel push buttons. LED lights are provided for indication of power to the unit, heater power on (load) and alarm status. A Fail Safe solid state alarm is included for wiring to your building management system to indicate alarm status. This alarm may be set to open or

close on all alarm conditions including loss of power, high or low temperature alarm and RTD failure. The loss of power indication qualifies this unit to be used to sense temperature and control heat trace. Choose either the DC or the AC customer supplied voltage alarm variation. The minimum operating ambient temperature is -40°F (-40°C). This unit has programmable high and low temperature alarm set points from -80°F (-62°C) to 1150°F (621°C). For temperatures over 500°F (260°C) or for use with MI cables, use the High Temperature Adapter Kit.

The DTS-HAZ employs a Soft Start feature that uses a proprietary software algorithm which eliminates the inherent self-regulating in-rush current, resulting in less nuisance tripping at cold temperatures. For added flexibility, the user may disable the soft start feature for non-heat trace applications. The alarm contact may be either normally open or normally closed.

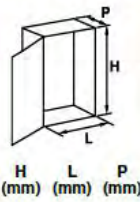
A 100 Ohm platinum RTD is provided with a 3 foot (1 m) lead resulting in flexible mounting options for the user.

Anexo 18: Ficha técnica de tablero LEGRAND



Elija sus armarios Atlantic, Inox, Marina y equipamientos

armarios Atlantic, Atlantic Inox y Marina

DIMENSIONES EXTERIORES 	ARMARIOS ATLANTIC				MARINA	
	IP 66-IK 10 Metálicos		Acero Inoxidable IP 66-IK 10	Acero Inoxidable 304 L	Poliéster IP 66 - IK 10	Poliéster IP 66 - IK 10
	Gris RAL 7035	Gris RAL 7035 visor de vidrio templado DISPONIBLE DESDE JUNIO 2014	Inox. 304 L	Con visor	RAL 7035	RAL 7035 visor de vidrio templado
300 x 200 x 160	0 369 10 suministrado con placa lisa		0 352 00 suministrado con placa lisa		0 362 50	
400 x 300 x 200	0 369 17	0 369 27*	0 352 01	0 352 21	0 362 51	0 362 71
500 x 400 x 200	0 369 18	0 369 28*	0 352 02	0 352 22	0 362 52	0 362 72

Anexo 19: Ficha técnica de interruptor termomagnético SH202-C32 ABB

General Information

Extended Product Type	SH202-C32
Product ID	2CDS212001R0324
EAN	4016779631167
Catalog Description	Miniature Circuit Breaker - SH200 - 2P - C - 32 ampere
Long Description	Compact Home SH200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C), configurations (1P,1P+N,2P,3P,3P+N,4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 40 A). All MCBs of the product range SH200 comply with IEC/EN 60898-1, allowing the use for residential applications.

Technical

Standards	IEC/EN 60898-1
Number of Poles	2
Number of Protected Poles	2
Tripping Characteristic	C
Rated Current (I _n)	32 A
Rated Operational Voltage	acc. to IEC 60898-1 400 V AC
Power Loss	7.4 W at Rated Operating Conditions per Pole 3.7 W
Rated Insulation Voltage (U _i)	acc. to IEC/EN 60664-1 440 V

Operational Voltage	Maximum (Incl. Tolerance) 440 V AC Maximum 440 V AC Minimum 12 V AC
Rated Frequency (f)	50 Hz 60 Hz
Rated Short-Circuit Capacity (I _{cn})	(400 V AC) 6 kA
Energy Limiting Class	3
Overvoltage Category	III
Pollution Degree	2
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp})	4 kV (6.2 kV @ sea level) (5.0 kV @ 2000 m)
Dielectric Test Voltage	50/60 Hz, 1 min: 2 kV
Housing Material	Insulation Group II, RAL 7035
Actuator Type	Toggle
Actuator Material	Insulation Group II, Black, Sealable
Actuator Marking	I / O
Contact Position Indication	ON / OFF
Degree of Protection	IP20
Remarks	IP40 in enclosure with cover
Electrical Endurance	10000 AC cycle 20000 cycle
Terminal Type	Screw Terminals
Screw Terminal Type	Cage Terminal
Connecting Capacity	Conductor 25 / 25 mm ² Flexible with Ferrule 0.75 ... 16 mm ² Flexible 0.75 ... 16 mm ² Rigid 0.75 ... 25 mm ² Stranded 0.75 ... 25 mm ²
Tightening Torque	2 N·m
Recommended Screw Driver	Pozidriv 2
Mounting on DIN Rail	TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Mounting Position	Any
Built-In Depth (t ₂)	69 mm
Installation Size	acc. to DIN 43880 1
Power Supply Connection	Arbitrary

Environmental

Ambient Air Temperature	Operation -25 ... +55 °C Storage -40 ... +70 °C
Reference Ambient Air Temperature	30 °C
Resistance to Shock acc. to IEC 60068-2-27	25g / 2 shocks / 13 ms
Resistance to Vibrations acc. to IEC 60068-2-6	5g, 20 cycles at 5 ... 150 ... 5 Hz with load 0.8 In
Environmental Conditions	28 cycles with 55 °C / 90-96 % and 25 °C / 95-100 %
RoHS Status	Following EU Directive 2011/65/EU

Dimensions

Product Net Width	35 mm
Product Net Depth /	69 mm

Anexo 20: Ficha técnica de interruptor diferencial AR FH202 AC-40/0.03 ABB

General Information

Extended Product Type	AR FH202 AC-40/0,03
Product ID	1TMF202006R1400
EAN	7798079196474
Catalog Description	AR FH202 AC-40/0,03 Residual Current Circuit Breaker
Long Description	AR FH202 AC-40/0,03 RCD

Technical

Standards	IEC/EN 61008
Operating Characteristic	Instantaneous
Type of Residual Current	AC type
Rated Residual Current	30 mA
Rated Current (I_n)	40 A
Number of Poles	2
Rated Voltage (U_r)	230 V

Environmental

Ambient Air Temperature	Operation -25...55 °C
-------------------------	-----------------------

Technical UL/CSA

Short-Circuit Current Rating (SCCR)	0.03 mA
-------------------------------------	---------

Certificates and Declarations (Document Number)

Declaration of Conformity - CE	9AKK106713A5603
Environmental Information	Refer to RoHS
Instructions and Manuals	Printed on product
RoHS Information	2CSC423001K2702

Popular Downloads

Data Sheet, Technical Information	2CSC400030D0202
Instructions and Manuals	Printed on product

Classifications

ETIM 5	EC000003 - Residual current circuit breaker (RCCB)
ETIM 6	EC000003 - Residual current circuit breaker (RCCB)
ETIM 7	EC000003 - Residual current circuit breaker (RCCB)

Anexo 21: Ficha técnica de inversor GROWATT MOD 12KTL3-X

Datasheet	MOD 10KTL3-X	MOD 11KTL3-X	MOD 12KTL3-X	MOD 13KTL3-X
Input data (DC)				
Max. recommended PV power (for module STC)	15000W	16500W	18000W	19500W
Max. DC voltage			1100V	
Start voltage			160V	
Nominal voltage			580V	
MPPT voltage range			140V-1000V	
No. of MPPT trackers			2	
No. of PV strings per MPPT tracker	1	1	1/2	1/2
Max. input current per MPPT tracker	13A	13A	13/26A	13/26A
Max. short-circuit current per MPPT tracker	16A	16A	16/32A	16/32A
Output data (AC)				
AC nominal power	10000W	11000W	12000W	13000W
Max. AC apparent power	11000VA*	12100VA	13200VA	14300VA
Nominal AC voltage (range*)			220V/380V, 230V/400V (340-440V)	
AC grid frequency (range*)			50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)	
Max. output current	16.7A	18.3A	20A	21.7A
Adjustable power factor			0.8leading...0.8lagging	
THDI			<3%	
AC grid connection type			3W+N+PE	
Efficiency				
MAX. efficiency			98.6%	
European efficiency	98.1%	98.1%	98.2%	98.2%
MPPT efficiency			99.9%	
Protection devices				
DC reverse polarity protection			Yes	
DC Switch			Yes	
AC/DC surge protection			Type II / Type II	
Insulation resistance monitoring			Yes	
AC short-circuit protection			Yes	
Ground fault monitoring			Yes	
Grid monitoring			Yes	
Anti-islanding protection			Yes	
Residual-current monitoring unit			Yes	
String fault monitoring			Yes	
AFCI protection			Optional	
General data				
Dimensions (W / H / D)			425/387/178mm	
Weight	14kg	14kg	16kg	16kg
Operating temperature range			-25°C ... +60°C	
Nighttime power consumption			< 1W	
Topology			Transformerless	
Cooling			Natural convection	
Protection degree			IP66	
Relative humidity			0-100%	
Altitude			4000m	
DC connection			H4/MC4(Optional)	
AC connection			Connector	
Display			OLED +LED/WIFI+ APP	
Interfaces: USB/RS485/WIFI/GPRS/LAN/RF			yes/yes/Optional/Optional/Optional/Optional	
Warranty: 5 / 10 years			Yes/Optional	
CE, VDE0126, Greece, EN50549, C10/C11, ITC C 15-712, IEC62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, CEI0-21, N4105, TOR E G98,G99, G100, AS4777, UNE217001, UNE206007, PO12.2				

Anexo 22: Ficha técnica de panel solar JKM585N-72HL4-V Tiger Neo N-type JINKO

www.jinkosolar.com



Tiger Neo N-type 72HL4-(V)

565-585 Watt

MONO-FACIAL MODULE

N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

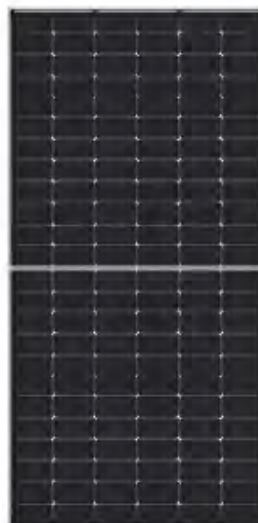
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



Key Features



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



POSITIVE QUALITY™
CONFIDENCE DATA ASSURANCE

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

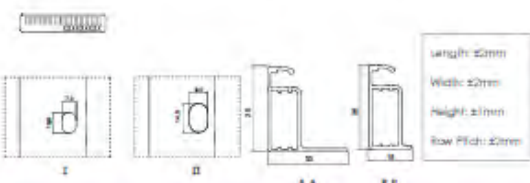
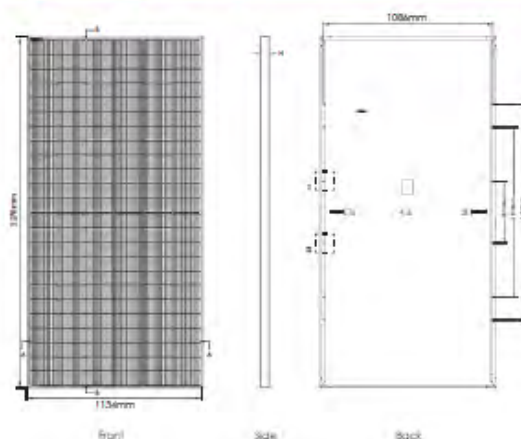


12 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings



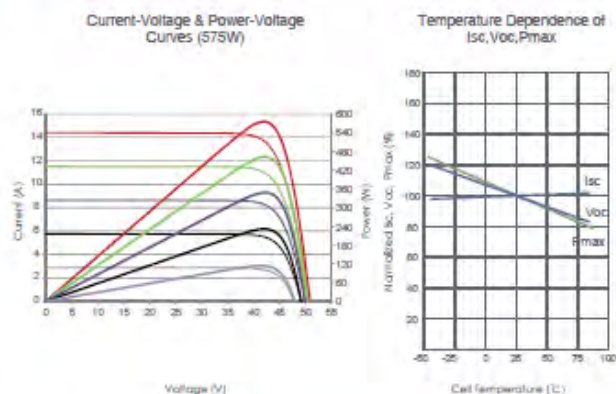
*This tolerance range applies only to the four-angle distance of the module as indicated above.

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V		JKM580N-72HL4 JKM580N-72HL4-V		JKM585N-72HL4 JKM585N-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp	580Wp	436Wp	585Wp	440Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V	42.37V	39.69V	42.52V	39.81V
Maximum Power Current (Imp)	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A	13.69A	10.99A	13.76A	11.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V	51.02V	48.46V	51.16V	48.60V
Short-circuit Current (Isc)	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A	14.47A	11.68A	14.55A	11.75A
Module Efficiency STC (%)	21.87%		22.07%		22.26%		22.45%		22.65%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: Irradiance 1000W/m²

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m²

Ambient Temperature 20°C

AM=1.5

Wind Speed 1m/s

Anexo 23: Ficha técnica de estructura para soporte FALCAT

Instalación de estructura:
L feet

Materiales: aluminio anodizado 6005 T5 acero inoxidable 304
Velocidad del viento: hasta 27 m/s
Carga de nieve: hasta 50 cm

FALCAT
STRUCTURES

Paso 1

Fije el soporte en L en el techo de chapala

Paso 2

Fije el rail en el soporte en L a través de la abrazadera

Paso 3

Fije el panel en el rail con abrazaderas de rail y abrazadera intermedia

Muestra

Accesorios

- L feet
- Rail
- Empalme de rail
- Abrazadera intermedia
- Abrazadera final

Herramientas y equipos de protección

CE

Anexo 24: Ficha técnica de Cable Solar C.4 mm2 H1Z2Z2-K de la marca INDECO

INDECO
by Nexans

Cable Premium Nexans Solar H1Z2Z2-K
C.4 mm2 H1Z2Z2-K

La Oferta Solar de Nexans incluye cables premium creados específicamente con altos estándares de ingeniería. Los cables Nexans H1Z2Z2-K transforman el proceso de electrificación.

NORMAS

Producto EN 50618; IEC 62930

CABLE PREMIUM NEXANS SOLAR H1Z2Z2-K

Cumple los requisitos de las normas UNE 50618 e IEC 62930. Cuenta con conductor de cobre estañado flexible, con aislamiento y cubierta reticuladas (XLPE) libre de halógenos, baja emisión de humos y no propagadores de llama. Los compuestos empleados son libres de sustancias peligrosas (RoHS).

APLICACIONES

Alimentación de circuitos de baja tensión 1.5 kV DC principalmente la conexión de paneles solares fotovoltaicos en techos y granjas solares donde se requieran características de resistencia a la intemperie.

Ideal para conexión entre los string de paneles solares fotovoltaicos y la conexión a la caja combinadora (si existe) y como alimentador principal para la conexión de equipos inversores que transforman la corriente directa (DC) proveniente de la energía solar en corriente alterna (AC). Aptos para instalación en ductos, canalizaciones, instalaciones fijas y móviles (trackers), resistente a los rayos UV y resistentes a temperaturas extremas (-40°C a +120°C).

CONTACTO

Marlene Mauny
Teléfono: +51993560386
marlene.mauny@nexans.com



Cable Premium Nexans Solar H1Z2Z2-K

C.4 mm² H1Z2Z2-K

CARACTERÍSTICAS

Características de construcción		
Aislamiento		XLPE
Cubierta exterior		XLPE
Flexibilidad del conductor		Class 5
Forma del conductor		Bunched Wires
Libre de halógenos		IEC 60754-1, UNE-EN 50267
Material del conductor		Cobre estañado
Características dimensionales		
Peso aproximado		56 kg/km
Sección del conductor		4 mm ²
Diámetro del conductor		2.46 mm
Diámetro exterior nominal		5.62 mm
Espesor Nominal de Cubierta		0.8 mm
Espesor aislación		0.7 mm
Número de fases		1
Características eléctricas		
Intensidad de corriente admisible		55.0 A
Resistencia máxima del conductor en CC a 20° C		5.09 Ohm/km
Tensión nominal de servicio U ₀ /U (U _m)		1.0/1.0 (1.2) kV AC 1.5/1.5 (1.8) kV DC
Características mecánicas		
Flexibilidad del cable		Flexible
Jacket shrinkage		Max 2%, UNE-EN 50618/60811-503 Table 2, 1h, 120°C
Características de uso		
Toxicidad de los gases		Baja Toxicidad IEC 60684-2
RoHS compliant		Yes
Densidad de los humos		IEC 61034-2
Resistencia a Radiación Ultravioleta		EN 50289-4-17 método A, para 720h.
Corrosive or Polluting Substances		Condition AF according to HD 60364-5-52
Minimum installation temperature		-40 °C
Moisture resistance		Moist heat test according to IEC 60068-2-78, 90°C, 1000 h, 85% minimum
No propagación de la llama		IEC 60332-1-2
Outdoor Use		Condition AN 3 (high solar radiation), permanent according to EN 50565-1:2014
Resistance to acid and alkaline solutions		UNE-EN 50618/60811-404 Annex B, 7days, 23°C
Resistance to vibrations		Condition AH 3 (sever industrial conditions) acc. to HD 60364-5-52
Resistencia a la intemperie		Excelente
Resistencia al ozono		EN 50396:2005
Sumergido en agua		AD8

Anexo 25: Ficha técnica de cable RETFLEX N2XY 0.6/1 kV 2x6+1x6 mm² INDECO



RETFLEX N2XY 0,6/1 kV Multipolar C. Tierra aislado; METRIUM

RETFLEX N2XY 0,6/1 kV 2x6+1x6 mm²



Ref. Nexans: P00020494-7
Ref. de País: 10040153

CONTACTO

Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Cable multipolar de cobre blando flexible aislado con polietileno reticulado (XLPE) y con una cubierta externa de PVC flexible, cuya temperatura de operación es 90°C. Este cable es altamente flexible y cumple con la prueba de inmersión AD8. Posee la marcación especial METRIUM. Aplicación general como cable de energía, en instalaciones fijas.

APLICACIÓN

Aplicación general como cable de energía. En redes eléctricas de distribución de baja tensión, instalaciones industriales, edificios y estaciones de maniobra. En instalaciones fijas, ambientes interiores y exteriores. Se puede instalar en ductos, lugares secos y húmedos.

NORMAS

PRODUCTO

NTP-IEC 60228; NTP-IEC 60502-1; IEC 60228; IEC 60502-1

ENSAYOS

IEC 60332-1-2; UL 2556; IEC 60811-401; IEC 60811-402; IEC 60811-409;
IEC 60811-501; IEC 60811-502; IEC 60811-504; IEC 60811-505;
IEC 60811-506; IEC 60811-507; IEC 60811-508; IEC 60811-509

CONSTRUCCIÓN

1. Conductor: Cobre blando flexible, clase 5.
2. Aislamiento: Polietileno reticulado XLPE.
3. Conductor de tierra aislado: Cobre blando flexible, clase 5 - XLPE.
4. Relleno: Compuesto de PVC flexible (cuando sea aplicable).
5. Cubierta externa: Compuesto de PVC flexible.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Buenas propiedades eléctricas y mecánicas. El aislamiento de polietileno reticulado permite mayor capacidad de corriente en cualquier condición de operación, mínimas pérdidas dieléctricas, alta resistencia de aislamiento. La cubierta externa de PVC le otorga una adecuada resistencia a grasas, aceites y abrasión. No propaga la llama.

SECCIÓN

Desde 2,5 mm² hasta 300 mm².

MARCACIÓN

INDECO BY NEXANS RETFLEX N2XY 0,6/1 kV - Nro. Fases x Sección + Sección C.
Tierra - 90C - Año (- metrado secuencial m. || metrado secuencial m. +).



Libre de plomo
SI



Flexibilidad del
conductor
Clase 5 IEC 60228



Tensión nominal de
servicio Uo/U (Um)
0,6/ 1 (1,2) kV



Flexibilidad del
cable
Excelente



Resistencia a
aceites
Buena



Sumergido en agua
AD8 según UNE-
EN 50525-2-21



No propagación de
la llama
IEC 60332-1-2; FT1



Resist. Radiación
UV
UL 2556 -
Resistencia a los
rayos solares



RETIFLEX N2XY 0,6/1 kV Multipolar C. Tierra aislado; METRIUM

RETIFLEX N2XY 0,6/1 kV 2x6+1x6 mm²

Características de construcción	
Libre de plomo	Si
Flexibilidad del conductor	Clase 5 IEC 60228
Aislamiento	XLPE
Color del Aislamiento	Blanco + Negro + verde
Con conductor amarillo/verde	No
Forma del conductor	Circular
Características dimensionales	
Número de fases	2
Sección del conductor	6 mm ²
Diámetro del conductor	3.0 mm
Mínimo espesor de aislamiento	0.7 mm
Sección cond. Tierra	6 mm ²
Mínimo Espesor aislamiento Cond. Tierra	0.7 mm
Mínimo espesor de cubierta	1.2 mm
Diámetro sobre cubierta	12.7 mm
Peso aproximado	262 kg/km
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio U ₀ /U (Um)	0.6/ 1 (1.2) kV
Rigidez dieléctrica	3.5 kV
Tiempo Rigidez Dielectrica V _{ca} al aislamiento	5 min.
Capacidad de corriente ducto a 20°C	53 A
Capacidad de corriente en aire a 30°C	63 A
Capacidad de corriente enterrado a 20°C	58 A
Capacitancia Nominal	343.0 pF/m
Resistencia máxima del conductor en CC a 20° C	3.3 Ohm/km
Características mecánicas	
Flexibilidad del cable	Excelente
Características de uso	
Resistencia a aceites	Buena
Sumergido en agua	AD8 según UNE-EN 50525-2-21
No propagación de la llama	IEC 60332-1-2; FT1
Marcación secuencial	Doble marcación del metraje secuencial METRIUM
Resistencia a Radiación Ultravioleta	UL 2556 - Resistencia a los rayos solares
Temperatura máxima operación	90 °C
Temperatura máxima del conductor en corto-circuito	250 °C

Anexo 26: Ficha técnica de fusible gPV 20 A 1000 Vdc 10x38 DC, DC Solar Energy

MODELO	ZTPV 25			
Imagen				
Tamaño (mm)	10x38			
Tensión nominal Ue (V)	DC1000			
Corriente nominal In (A)	1 2 3 4 5 6 8 10 12 15 16 20 25 30 32			
Capacidad de ruptura nominal (33)	33			
Clase de operación	gPV			
Temperatura de trabajo	-50-105			
Altitud (m)	≤ 2000			
Peso (g)	10			
Estándar	IEC60269.6			
Detalles del material				
Nombre de la pieza	Tapa	Cuerpo	Elemento fusible	Agente extintor de arcos
Material	Cobre rojo	Óxido de aluminio	Plata	Silicio



Anexo 27: Ficha técnica de interruptor termomagnético S203-C25 de la marca ABB

General Information

Extended Product Type	S203-C25
Product ID	2CDS253001R0254
EAN	4016779468206
Catalog Description	Miniature Circuit Breaker - S200 - 3P - C - 25 ampere
Long Description	System pro M compact S200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C,D,K,Z), configurations (1P,1P+N,2P,3P,3P+N,4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 63A). All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 (for this code purchased in South America there is no UL certificate), allowing the use for residential, commercial and industrial applications. Bottom-fitting auxiliary contact can be mounted on S200 to save 50% space.

Technical

Standards	IEC/EN 60898-1 IEC/EN 60947-2 UL 1077
Number of Poles	3
Number of Protected Poles	3
Tripping Characteristic	C
Rated Current (In)	25 A
Rated Operational Voltage	acc. to IEC 60898-1 400 V AC acc. to IEC 60947-2 440 V AC
Power Loss	9.6 W

Rated Frequency (f)	50 Hz 60 Hz
Rated Short-Circuit Capacity (I_{cn})	(400 V AC) 6 kA
Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (I_{cu})	(230 V AC) 20 kA (440 V AC) 10 kA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I_{cs})	(230 V AC) 15 kA
Energy Limiting Class	3
Overvoltage Category	III
Pollution Degree	3
Rated Impulse Withstand Voltage (U_{imp})	4 kV (6.2 kV @ sea level) (5.0 kV @ 2000 m)
Dielectric Test Voltage	50/60 Hz, 1 min: 2 kV
Housing Material	Insulation Group II, RAL 7035
Actuator Type	Insulation group II, black, sealable
Actuator Material	Insulation Group II, Black, Sealable
Actuator Marking	I / O
Contact Position Indication	Red ON / Green OFF
Degree of Protection	IP20
Remarks	IP40 in enclosure with cover
Electrical Endurance	20000 AC cycle 20000 cycle
Terminal Type	Screw Terminals
Screw Terminal Type	Failsafe Bi-directional Cylinder-lift Terminal
Connecting Capacity	Busbar 10 / 10 mm ² Flexible with Ferrule 0.75 ... 25 mm ² Flexible 0.75 ... 25 mm ² Rigid 0.75 ... 35 mm ² Stranded 0.75 ... 35 mm ²
Tightening Torque	2.8 N·m
Recommended Screw Driver	Pozidriv 2
Mounting on DIN Rail	TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Mounting Position	Any
Built-In Depth (t_2)	69 mm
Installation Size	acc. to DIN 43880 1
Power Supply Connection	Arbitrary

Environmental

Ambient Air Temperature	Operation -25 ... +55 °C Storage -40 ... +70 °C
Reference Ambient Air Temperature	30 °C
Resistance to Shock acc. to IEC 60068-2-27	25g / 2 shocks / 13 ms
Resistance to Vibrations acc. to IEC 60068-2-6	5g, 20 cycles at 5 ... 150 ... 5 Hz with load 0.8 In
Environmental	28 cycles

Anexo 28: Ficha técnica de interruptor diferencial AR F204 AC-25/0.03 de la marca ABB**General Information**

Extended Product Type	AR F204 AC-25/0.03
Product ID	1TMF204005R1250
EAN	not applicable
Catalog Description	AR F204 AC-25/0.03 Residual Current Circuit Breaker
Long Description	AR F204 AC-25/0,03 Residual Current Circuit Breaker

Technical

Product Name	Residual Current Circuit Breaker
Type of Residual Current	AC type
Rated Voltage (U_r)	230/400 V
Rated Operational Voltage	230/400 V
Rated Insulation Voltage (U_i)	500 V
Rated Impulse Withstand Voltage (U_{imp})	4 kV
Rated Current (I_n)	25 A
Rated Residual Current	30 mA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I_{cs})	1 kA
Maximum Surge Current	0.25 kA
Leakage Current Type	AC
Rated Frequency (f)	50 / 60 Hz
Number of Poles	4
Operating Characteristic	Instantaneous
Mounting Type	DIN rail
Options Provided	None
Rated Cross-Section	4 - Multi-Wired 0...25 mm ² 1 - Solid-Core 25...25 mm ²

Environmental

Ambient Temperature	-25...55 °C
Ambient Air Temperature	Operation -25...55 °C
Degree of Protection	IP2X
Pollution Degree	2
Environmental Information	Refer to RoHS

Technical UL/CSA

Short-Circuit Current Rating (SCCR)	0.03 A
-------------------------------------	--------

Anexo 29: Precios de bienes y servicios seleccionados



TECNOLOGIA INGENIERIA Y COMERCIO INDUSTRIAL S.A.C.

RUC: 20600388551

Nº COT: TI2150-25

FECHA: 03 / 06 / 2025

PARA : ELECTRO ORIENTE S.A

REFERENCIA : REPUESTOS PARA CALENTADOR

ATENCIÓN : DEPARTAMENTO DE LOGISTICA

Estimados señores,

De acuerdo a su petición, tenemos el gusto de brindarle la siguiente oferta:

REPUESTOS PARA CALENTADOR

ITEM	CANT	UND	DESCRIPCIÓN	PREC. UNIT SOLES	PREC. TOTAL SOLES
Calentamiento de Tanque					
1.00	01	UN	Calentador de inmersión Chromalox LTFX-128-008-E2, 8 kW, 480 V trifásico, 9.6 A	39,100.00	39,100.00
2.00	01	UN	Sensor Chromalox RTD PR-18-L-3-100-14-12, PT100	1,500.00	1,500.00
3.00	01	UN	Termo pozo Chromalox 1/2-260S-U10-1/2-316SS/C	1,000.00	1,000.00
4.00	01	UN	Relé de estado sólido (SSR) Maxwell MS-3DA4825, 25 A	870.00	870.00
Calentamiento de tubería					
5.00	361	Pies	Cable calefactor Chromalox SRM/E 10-2CT, 10 W/ft, 220 V	194.48	70,207.06
6.00	01	UN	Termostato digital Chromalox DTS-HAZ	3,000.00	3,000.00
7.00	01	UN	Sensor Chromalox RTD RBF185M-HT-304-18RD-48SB/C, PT100	1,500.00	1,500.00
8.00	01	KIT	Kit de sello final Chromalox UESL, con luz indicadora LED	2,000.00	2,000.00
TOTAL PRECIO SOLES					119,177.06

CONDICIONES COMERCIALES DE VENTA

1. Precio

Precios cotizados en SOLES y SI INCLUYE EL IGV, valido para un pedido completo.

2. Condiciones de Venta.

a. Al recibir su orden de compra, por ser productos sujetos a especificaciones técnicas para poder cumplir con la calidad ofrecida, es necesario aclarar todos los detalles antes de iniciar la fabricación v/o el despacho.

b. De haberse además convenido un pago inicial es necesario que este se haya realizado. Luego de cumplido con ello emitiremos nuestra Confirmación de Pedido y/o Factura.



[INICIO](#) [PRODUCTOS](#) [NOSOTROS](#) [CONTACTO](#)

[Home](#) > [Transformadores de Aislamiento](#) > [Transformadores Trifasicos](#) > [Transformador de Aislamiento Trifasico - 10KVA](#)



Oferta

Transformador de Aislamiento Trifasico – 10kVA

~~S/2,800.00~~ **S/2,400.00**

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Marca: **ENERGIT**
- Modelo: **EN-SBK10000**
- Tipo: **Transformador de Aislamiento (Doble bobina)**
- Fabricación: **Producto peruano**
- Garantía: **5 años**

🟢 Disponible para reserva

1

AÑADIR AL CARRITO



Promelsa  [Inicia tu sesión](#) [Carro de compras](#)

Productos Marcas Compañía Unidades de negocios Proyectos Mercados Recursos **(511) 712-5500** promotores@promelsa.com.pe Soporte y seguimiento

Inicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Tableros Eléctricos y Componentes > Tableros Adosables > **Tablero p/adosar metálico 500x400x200mm con puerta c/plancha de montaje**



LEGRAND
**Tablero p/adosar metálico
 500x400x200mm con puerta c/plancha
 de montaje**
 036918
S/504.45 Inc. IGV
 Stock disponible : 14
 SKU: 1027322



ENERGÍA SOLAR EQUIPOS DE BOMBEO

Kits Solares Fotovoltaicos Kits Bombeo Agua Solar Paneles Solares Baterías Inversores Solares

Blog solar Buscar...

SECCIÓN ENERGÍA SOLAR

- Kits Solares Fotovoltaicos
- Kits Bombeo Agua Solar
- Paneles Solares
- Soportes Paneles Solares

Termomagnético 3x16A 6kA Trifásico ABB



S/127,42 S/ 107,98

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: Recójalos el viernes, 06.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias

Promelsa  [Inicia tu sesión](#) [Carro de compras](#)

Productos Marcas Compañía Unidades de negocios Proyectos Mercados Recursos **(511) 712-5500** promotores@promelsa.com.pe Soporte y seguimiento

Inicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Interruptores BT > Interruptores Diferenciales > **Interruptor diferencial 4x25A 30mA 230/400V AC**



ABB
**Interruptor diferencial 4x25A 30mA
 230/400V AC**
 1TMF204005R1250
S/277.18 Inc. IGV
 Stock disponible : 15
 SKU: 1040045

RHONA PERÚ  [Bienvenido, Ingreso / Registro](#) [0 productos Carro de Compras](#)

POTENCIA Y CONTROL MATERIALES ELÉCTRICOS ILUMINACIÓN TRANSFORMADORES ACCIONAMIENTOS SERVICIOS

RHONA.cl » Potencia y Control » Medición y Controladores » Controladores » Controlador de temperatura



AUTONICS
Controlador de temperatura
 SALIDA RELÉ / ALARMA 2

Código Rhona: 995933 | Código Fabricante: TCN4S-22R

Precio: **\$ 62.99** +IGV (NIU)

Cantidad: [AGREGAR AL CARRO](#)

Promelsa  [Inicia tu sesión](#) [Carro de compras](#)

Productos Marcas Compañía Unidades de negocios Proyectos Mercados Recursos **(511) 712-5500** promotores@promelsa.com.pe Soporte y seguimiento

Inicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Interruptores BT > Interruptores Termomagnéticos Din > **Interruptor termomagnético 2x32A 10/6kA 230/400V tipo C DIN**

ABB

Interruptor termomagnético 2x32A 10/6kA 230/400V tipo C DIN

2CDS212001R0324

S/33.25 Inc. IGV

Stock disponible : 303
SKU: 1016649



Promelsa  [Inicia tu sesión](#) [Carro de compras](#)

Productos Marcas Compañía Unidades de negocios Proyectos Mercados Recursos **(511) 712-5500** promotores@promelsa.com.pe Soporte y seguimiento

Inicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Interruptores BT > Interruptores Diferenciales > **Interruptor diferencial 2x40A 30mA 230V AC**

ABB

Interruptor diferencial 2x40A 30mA 230V AC

1TMF202006R1400

S/110.00 Inc. IGV

Stock disponible : 390
SKU: 1008337



Promelsa  [Inicia tu sesión](#) [Carro de compras](#)

Productos Marcas Compañía Unidades de negocios Proyectos Mercados Recursos **(511) 712-5500** promotores@promelsa.com.pe Soporte y seguimiento

Inicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Tableros Eléctricos y Componentes > Tableros Adosables > **Tablero p/adobar metálico 400x300x200mm con puerta c/plancha de montaje**

LEGRAND

Tablero p/adobar metálico 400x300x200mm con puerta c/plancha de montaje

036917

S/399.57 Inc. IGV

Stock disponible : 8
SKU: 1027321



Buscar

 Buscar



PRODUCTOS

Kits Solares

Kits bombeo de agua solar

Paneles Solares

Controlador de Carga Solar

Baterías Solares

Inversores Solares



INVERSOR A RED GROWATT MID 15KTL3-X TRIFASICO 380VAC

S/6.512,00

Growatt MID 15KTL3-XL es un inversor perfecto para plantas medianas conectadas a la red informática. Puede proporcionar una potencia de 15 kW y una eficiencia total del 98,5%. Tiene 2 MPPT incorporados, lo que significa que facilita que los paneles solares puedan producir el mayor efecto posible. Tiene buena protección contra errores y tiene varias opciones de monitoreo.

SECCIÓN ENERGÍA SOLAR

- Kits Solares Fotovoltaicos
- Kits Bombeo Agua Solar
- Paneles Solares
- Soportes Paneles Solares
- Baterías

Fusible gPV 20A 1000Vdc 10x38 DC



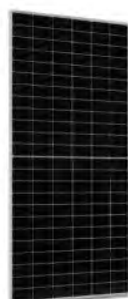
S/.9,56 SIN IGV
S/. 8,10

★★★★★
[1 Opinión](#)

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el lunes, 16.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega.

Panel Solar 585Wp Monocristalino JINKO



S/.699,62 SIN IGV
S/. 592,90

★★★★★

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: **Recójalo el lunes, 02.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Estructura 7 Paneles 144c 40mm Coplanar Falcat



S/.912,85 SIN IGV
S/. 773,60

★★★★★

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: **Recójalo el martes, 03.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: Falcat | Código de artículo: 1507123

SECCIÓN ENERGÍA SOLAR

- Kits Solares Fotovoltaicos
- Kits Bombeo Agua Solar
- Paneles Solares
- Soportes Paneles Solares
- Baterías
- Inversores Solares

Portafusible gpv 1000Vdc 10x38 DC



S/.16,78 SIN IGV
S/. 14,22

★★★★★
[1 Opinión](#)

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el lunes, 16.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Promelsa

¿QUÉ NECESITAS?

Inicia tu sesión

Carro de compras

ProductosMarcasCompañíaUnidades de negociosProyectosMercadosRecursos

(511) 712-5500

promotores@promelsa.com.pe

Soporte y seguimiento

nicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Interruptores BT > Interruptores Termomagnéticos Din > Interruptor termomagnético 3x25A 20/10kA 230/400V tipo C DIN

ABB

Interruptor termomagnético 3x25A
20/10kA 230/400V tipo C DIN

2CDS253001R0254

S/106.07

Inc. IGV

Stock disponible : 6

SKU: 1008253

Promelsa

¿QUÉ NECESITAS?

Inicia tu sesión

Carro de compras

ProductosMarcasCompañíaUnidades de negociosProyectosMercadosRecursos

(511) 712-5500

promotores@promelsa.com.pe

Soporte y seguimiento

nicio > Distribución Eléctrica en Baja Tensión > Interruptores BT > Interruptores Diferenciales > Interruptor diferencial 4x25A 30mA 230/400V AC

ABB

Interruptor diferencial 4x25A 30mA
230/400V AC

1TMF204005R1250

S/265.64

Inc. IGV

Stock disponible : 15

SKU: 1040045

AutoSolar

ENERGÍA SOLAR

EQUIPOS DE BOMBEO

Kit Solar FotovoltaicoKit Bombeo Agua SolarPanel SolarBateríasInversores Solares

ContactoHorarioMi cuenta

Blog solar

Buscar...

SECCIÓN ENERGÍA SOLAR

Kit Solar Fotovoltaico

Kit Bombeo Agua Solar

Panel Solar

Soportes Paneles Solares

Baterías

Inversores Solares

Cable Unifilar 6 mm2 SOLAR PV ZZ-F Rojo

S/9.89

Envío: S/ 8,38

★★★★★

1 Opinión

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: Recójalos el lunes, 16.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias

SECCIÓN ENERGÍA SOLAR

Kit Solar Fotovoltaico

Kit Bombeo Agua Solar

Panel Solar

Soportes Paneles Solares

Baterías

Inversores Solares

Controladores de Carga

Cargador de Baterías

Cable Vulcanizado CA 5X6mm2 Libre Halógenos

S/58.09

Envío: S/ 45,23

★★★★★

0 Opiniones

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: Recójalos el lunes, 16.06.2025 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias

Fabricante: Autosolar | Código de artículo: 5201044

Cantidad: 1

Señores: **ELECTRO ORIENTE S.A.**
 Dirección: Av. Augusto Freysi N° 1168 - Iquitos
 Referencia: Departamento de Generación

Fecha: 4/06/2025
 Moneda: Sol
 Elaborado por: -

Me es grato dirigirme a usted para saludarlo y a su vez expresarle nuestro agradecimiento por la invitación a este proceso de cotización, hacerle llegar nuestra propuesta de acuerdo a su solicitud efectuada

Revisión: 1

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	Precio Unit.	PARCIAL
1.00	SERVICIO DE DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO PARA HFO EN LA CENTRAL TERMICA IQUITOS	Glb	1.00	16,949.15	16,949.15
Precio Total En Soles sin IGV:					16949.15

Son: **DIECISEIS MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y NUEVE CON 15/100 SOLES**

ALCANCES DEL SERVICIO:

- Servicio (evaluación, recopilación de información de campo, cálculos, dimensionamiento de equipos), se entregará la memoria de cálculo y especificaciones técnicas
- Suministro de tubos metálicos, mica, aluzinc, consumibles, tubos IMC, cables, etc.

SERVICIOS, CALIDAD, TECNOLOGIA E INGENIERIA E.I.R.L

Prolon. Navarro Cauper Nro. 276 A.H. El Castañal - San Juan Bautista, Maynas, Loreto
 RUC: 20605365010
 TLF: 910780357



OFERTA: S0019-2025

FECHA:

05/06/2025

PARA: ELECTRO ORIENTE S.A.
 REFERENCIA: SOLICITUD DE COTIZACION
 ATENCION: DEPARTAMENTO DE GENERACIÓN

Estimados señores:

De acuerdo con su petición, tenemos el gusto de brindarles la siguiente proforma:

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
1	SERVICIO DE INSTALACION DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 16,380 Wp (28 MODULOS JKM585N-72HL4-V type-N, JINKO, Inversor HUAWEI SUN2000 - 12KTL - M0, 12 KW trifásico y equipamiento). Trabajos: Acondicionamiento del área de trabajo, señalización y delimitación, instalación de módulos fotovoltaicos en techo de edificio, instalación de inversor, conexión de los componentes (tableros, interruptores, termomagnéticos, etc.), pruebas y puesta en servicio Nota: - El cliente proporcionará los equipos, el monto incluye la mano de obra y consumibles.	S/ 17,100.00	S/ 17,100.00
2	SERVICIO DE INSTALACION DE CALENTAMIENTO DE TANQUE (Calentador de inmersión Chromalox LTFX-128-008-E2, 8 KW, 480 V trifásico, 9.6 A y equipamiento) Trabajos: Acondicionamiento del área de trabajo, señalización y delimitación, trasiego de combustible, limpieza interna de tanque HFO, corte y perforación de agujero en tanque, soldado de brida según indicación, instalación de calentador bridado, conexión de equipos, pruebas y puesta en servicio Nota: - El cliente proporcionará los equipos, el monto incluye la mano de obra y consumibles.	S/ 18,500.00	S/ 18,500.00
3	SERVICIO DE INSTALACION DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE TUBERIA (Cable calefactor Chromalox SRM/E 10-2CT, 10 W/ft y equipamiento) Trabajos: Acondicionamiento del área de trabajo, señalización y delimitación, retiro de aislamiento térmico de 110 m de tubería de 2-1/2", instalación de cable calefactor adosado a tubería, conexión de equipamiento, pruebas, instalación de aislamiento térmico y chapa, puesta en servicio Nota: - El cliente proporcionará los equipos, el monto incluye la mano de obra y consumibles.	S/ 14,800.00	S/ 14,800.00
SUBTOTAL SOLES		S/	50,400.00
IGV (18%)			-
TOTAL, SOLES		S/	50,400.00