



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO



# Matías Alejandro Ramírez Aránguiz

## Aplicación de cintas calefactoras eléctricas para evitar congelamiento de cañerías y equipos en industrias de Alta Montaña

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería

Valparaíso, 03 de enero de 2019



# Aplicación de cintas calefactoras eléctricas para evitar congelamiento de cañerías y equipos en industrias de Alta Montaña

Matías Alejandro Ramírez Aránguiz

Informe Final para optar al título de Ingeniero Eléctrico,  
aprobada por la comisión de la  
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la  
Facultad de Ingeniería de la  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
conformada por

Sr. Javier Alejandro Riedemann Aros  
Profesor Guía

Sr. Werner Eduardo Jara Montacinos  
Segundo Revisor

Sr. Sebastian Fingerhuth Massmann  
Secretario Académico

Valparaíso, 03 de enero de 2019

*“Esta memoria se la dedico a mis padres Angelina y Augusto; a mis hermanos Loreto y Rodrigo; y a mi abuela Ena, que desde algún lugar siempre me cuidó”.*

# Agradecimientos

Primero que todo, agradecer a mi madre Angelina Aránguiz, por entregarme todos los valores que me han convertido en un profesional, mi padre, Augusto Ramírez que me brindó su apoyo en todo momento y me demostró que con esfuerzo se logran grandes cosas, por último, a mis hermanos que siempre mostraron su amor incondicional.

También agradecer a cada uno de mis amigos de la universidad, Víctor Cabrera, Cristian Villablanca, David Barra, Juan Ramírez, Diego Osorio y Diego Guerrero, un grupo que se formó desde el primer año de universidad con los que pasamos momentos de penas y glorias en esta importante etapa de mi vida. A mi amigo del colegio y compañero de casa Matías Galarce, por cada conversación que entregaron enseñanzas y lecciones de vida. A mi primo David Pérez, por cada consejo entregado a lo largo de mi carrera y de los años.

Agradecer al destino por poder reencontrarme con mi compañera de vida, mi Paula Anthonia que siempre me ha apoyado en cada paso y en cada objetivo propuesto, por entregarme su amor y cada palabra de aliento en momentos de angustia y de alegría.

A mis familiares y amigos granerinos, y porteños, que siempre me entregaron sus palabras de apoyo a lo largo de mis años en la universidad.

Además, agradecer a mi profesor guía Javier Riedemann, por aceptar y apoyar la propuesta de mi proyecto de título.

Por último, y nos menos importante agradecer a Cristian Jiménez y a Don Pablo Pardo por todo su apoyo en el desarrollo del proyecto, por haberme entregado sus conocimientos y consejos a través de sus experiencias laborales y profesionales.

*Valparaíso, 3 de enero de 2019*

M.R.

# Resumen

En el siguiente trabajo de proyecto de título se enmarca en el estudio de aplicaciones de cintas calefactoras eléctricas utilizadas para evitar el congelamiento que sufren cañerías y equipos en industrias de alta montaña. Está enfocado ampliamente, en estudiar las características constructivas de las cintas calefactoras, como también métodos de instalación y control que necesitan para obtener una operación correcta y también lograr manejar el mantenimiento que requieren estas. Poder diseñar y probar sistemas de cintas calefactoras que logren ser implementadas en las industrias.

Se llevará a cabo un estudio completo basado en un plan de trabajo que permitirá entender la manera de utilización, partiendo por una introducción a las cintas calefactoras, definiendo sus accesorios de instalación correspondientes, su forma de construcción como también los códigos y estándares aplicables que necesitan. Por otra parte, será importante analizar y estudiar el desarrollo de una memoria de cálculo térmico para lograr una buena selectividad del tipo de cinta, y así también el sistema de montaje que se aplicará.

Después de tener un estudio completo de las cintas calefactoras eléctricas, el proyecto se enfocará en el diseño que está ligado a la suministración de energía eléctrica, estudiando configuración del sistema de fuerza y su configuración del sistema de control con el respectivo interconexiónado eléctrico.

Finalmente, se llevará a cabo un caso y ensayo real de sistemas de cintas calefactoras eléctricas en donde se realizarán inspecciones y pruebas generales para obtener el correcto funcionamiento logrando así un buen desarrollo del proyecto que ayudará teniendo una importante solución en las industrias de alta montaña logrando así, un desarrollo eficiente.

Palabras claves: cintas calefactoras eléctricas, alta montaña, congelamiento, fuerza, control.

# Abstract

In the following title project work is part of the study of electrical heating tape applications used to prevent the freezing of pipes and equipment in high mountain industries. It is widely focused on studying the constructive characteristics of the heating tapes, as well as the installation and control methods they need to obtain a correct operation and also manage the maintenance they require. To design and test systems of heating tapes that can be implemented in industries.

A complete study will be carried out based on a work plan that will understand the way of use, starting with an introduction to the heating tapes, defining their corresponding installation accessories, their construction form as well as the applicable codes and standards that they need. On the other hand, it will be important to analyze and study the development of a thermal calculation memory to achieve a good selectivity of the type of tape, and thus also the mounting system that will be applied.

After having a complete study of the electrical heating tapes, the project will focus on the design that is linked to the supply of electrical energy, studying configuration of the force system and its configuration of the control system with the respective electrical interconnection.

Finally, a case and real test of electric heating tape systems will be carried out, where general inspections and test will be carried out to obtain the correct operation, achieving a good development of the project that will help having an important solution in the high mountain industries achieving well, an efficient development.

Key words: electrical heating tapes, high mountain, freezing, force, control.

# Índice general

Introducción .....	1
Objetivo general.....	2
<b>1 Definición e introducción térmica a las cintas calefactoras eléctricas.....</b>	<b>3</b>
1.1 Definición de cintas calefactoras eléctricas.....	3
1.2 Tipos de cintas calefactoras eléctricas .....	4
1.2.1 Cinta calefactora de Pontencia Constante .....	4
1.2.2 Construcción de cinta calefactora de Potencia Ponstante.....	5
1.2.3 Cinta calefactora de Aislamiento en Compuesto Mineral.....	6
1.2.4 Construcción de cinta calefactora de Aislamiento en Compuesto Mineral.....	6
1.2.5 Cinta calefactora Autorregulable .....	7
1.2.6 Construcción de cinta calefactora Autorregulable.....	8
1.3 Funcionamiento térmico de cinta calefactora Autorregulable .....	9
1.4 Accesorios de instalación para cintas calefactoras .....	10
1.4.1 Juego de conexión de potencia RTPC.....	10
1.4.2 Juego de empalme y derivación en T. ....	12
1.4.3 Juego de sello final o fin de cinta RTES.....	13
1.4.4 Cinta de fijación FT-3. ....	14
1.4.5 Cinta de Aluminio AT-1.....	14
1.4.6 Etiquetas de precaución CL-1.....	14
<b>2 Requerimientos de diseño para instalación de cintas calefactoras .....</b>	<b>16</b>
2.1 Consideraciones generales.....	16
2.2 Requerimientos de diseño .....	16
2.2.1 Consideraciones especificas.....	16
2.2.2 Consideraciones de cintas calefactoras.....	17
2.3 Memoria de cálculo térmico.....	19
2.3.1 Datos constantes para calentamiento de sólido .....	19
2.3.2 Datos constantes para calentamiento del líquido.....	21
2.4 Selectividad del tipo de cinta calefactora.....	22
2.5 Ejercicio real de cálculo térmico para instalación lineal.....	24

---

<b>3 Sistema de montaje para cintas calefactoras eléctricas.....</b>	<b>28</b>
3.1 Examinación previa de cinta calefactora y accesorios .....	28
3.2 Instalación de cinta calefactora .....	29
3.3 Instalación de accesorios.....	36
3.3.1 Sello final.....	36
3.3.2 Caja de conexión de poder serie DL.....	39
3.3.3 Caja de empalme y derivación en T .....	45
3.3.4 Caja con termostato bulbo y capilar 0° a 90°C .....	49
3.3.5 Controlador de temperatura.....	55
3.4 Comprobacion de instalacion.....	56
3.5 Aislación térmica .....	56
3.6 Pruebas para puesta en servicio y mantenimiento.....	57
<b>4 Tablero de fuerza y control para cintas calefactoras eléctricas.....</b>	<b>58</b>
4.1 Tablero eléctrico de fuerza y control .....	58
4.2 Estandares aplicables .....	58
4.2.1 Estándares Internacionales.....	59
4.2.2 Normas Nacionales.....	59
4.3 Condiciones de instalación .....	59
4.3.1 Condiciones ambientales.....	59
4.3.2 Condiciones sísmicas .....	60
4.3.3 Condición del sistema eléctrico de conexión .....	60
4.4 Requerimientos técnicos .....	60
4.4.1 Aspectos generales.....	60
4.4.2 Aspectos técnicos.....	60
4.4.3 Aspectos constructivos .....	60
4.5 Características eléctricas.....	62
4.6 Pruebas .....	65
4.7 Instalación de tablero eléctrico.....	66
4.7.1 Diagrama Unilineal tipico de tablero de fuerza y control .....	66
4.7.2 Descripción del sistema .....	67
4.7.3 Puesta en marcha .....	68
4.7.4 Fallas.....	68
<b>5 Diseño y suministro para caso real de sistema Heat Tracing.....</b>	<b>69</b>
5.1 Condiciones de sitio del proyecto.....	69
5.1.1 Altitud .....	70
5.1.2 Temperatura .....	70
5.1.3 Precipitaciones .....	71
5.1.4 Vientos.....	71
5.2 Potencia eléctrica.....	71
5.3 Tuberías y líquidos del caso.....	72
5.4 Cálculo térmico para cinta calefactora .....	73

---

5.4.1 Cálculo térmico del sólido 3" .....	74
5.4.2 Cálculo térmico del líquido (aceite lubricante) .....	75
5.5 Dimensionamiento del largo de las cintas calefactoras .....	78
5.5.1 Identificación de líneas .....	78
5.5.2 Determinación del largo total por línea de cinta calefactora .....	81
5.5.3 Potencia y corriente total del sistema.....	82
5.6 Determinación de la cantidad de accesorios.....	83
5.7 Tablero de fuerza y control.....	84
5.7.1 Dimensionamiento de conductores .....	84
5.7.2 Capacidad de protecciones.....	86
5.8 Diagrama unilineal del circuito de fuerza.....	87
5.9 Diagrama de control.....	88
5.9.1 Filosofía de control .....	88
5.10 Tabla Valor de impedancia.....	89
Discusión y conclusiones.....	90
Bibliografía.....	92

# Introducción

Un tópico importante en el desarrollo de la industria de alta montaña actual, es el diseño de sistemas de calefacción adecuados a las condiciones climáticas de la zona. La implicancia de estos sistemas es clave, dado que un largo tiempo sin la temperatura y el control correspondiente en equipos que se encuentren a más de 3000 m.s.n.m., empeora progresivamente la calidad y el funcionamiento de estos.

Dado que, la gran mayoría de las industrias de producción de la alta montaña, ubicadas a más de 3000 m.s.n.m., ya sean, industrias mineras, químicas, entre otras, comparten con un clima extremo en donde sufren de muy bajas temperaturas llegando a una mínima de  $-40^{\circ}\text{C}$ , conlleva al congelamiento de cañerías y equipos de procesos que son relevantes para su productividad y desarrollo eficiente. Por lo tanto, el problema principal que se pretende resolver con este proyecto, consiste en encontrar el método óptimo que se adecue a las características que se presentan en este escenario, logrando calefaccionar los equipos y cañerías presentes en las industrias, de tal manera, que permita su correcto funcionamiento.

De esta manera, veremos lo importante que es el estudio de la aplicación del heat tracing que nos permitirá tener un conocimiento completo de la operación, logrando un manejo avanzado que nos permitirá obtener un sistema de control eficiente en cualquier aplicación beneficiándose con ahorros energéticos, bajando los costos de mantenimiento y reduciendo los riesgos que sufre la industria en alta montaña con el tipo de clima.

El desarrollo de la presente investigación se considera cinco etapas, las cuales se presentan a continuación:

## ETAPA 1: ESTUDIO DE CARACTERISTICAS DE LAS CINTAS CALEFACTORAS

Contempla inicialmente un análisis detallado de las características de las Cintas Calefactoras que permiten conocer a fondo el sistema, para su posterior correcto funcionamiento en la Industria focalizada en la Alta Montaña.

## ETAPA 2: ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO DE CINTAS CALEFACTORAS

Una vez identificadas las características principales de las cintas, se analizará todo lo que conlleva al funcionamiento y su correcto seguimiento, con el fin de que el servicio entregado se adecue a los requerimientos y restricciones, según las condiciones a las cuales se presente.

#### ETAPA 3: ESTUDIO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CINTAS CALEFACTORAS.

Dependiendo de la altura y el grado de temperatura de las zonas donde se requiera la instalación de cintas calefactoras, es que será necesario el estudio de como operarán y cuál será el sistema de mantenimiento de ellas, para que el servicio sea de agrado del cliente.

#### ETAPA 4: IDENTIFICACIÓN DEL REAL APORTE DE LAS CINTAS CALEFACTORAS

Teniendo en consideración cuales son las características de las cintas que se requieran, su forma de operar y de mantener, se desarrollará un estudio el cual justifique y entregue información fidedigna que sustente la realización de este proyecto en la Industrial de la Alta Montaña.

#### ETAPA 5: DISEÑO DE IMPLEMENTACIÓN DE CINTAS CALEFACTORAS

Una vez seleccionada el área de implementación y justificada esta, se realizará el diseño ad-hoc de las Cintas Calefactoras, además de su posterior instalación, utilizando metodología acorde a las condiciones que se encuentre. Por lo que, se requiere adquirir y administrar el suministro, el cual será destinado según sus características a las zonas de Alta Montaña.

### **Objetivo general**

Estudiar características y funcionamiento de cintas calefactoras eléctricas (heat tracing) para aplicaciones en industrias de alta montaña.

### **Objetivos específicos**

- Estudiar las características constructivas, mecánicas, eléctricas y térmicas de las cintas calefactoras eléctricas.
- Entender el funcionamiento y los requerimientos de diseño para la instalación y control de las cintas calefactoras.
- Estudiar el sistema de operación y montaje requerido por las cintas.
- Estudiar el diseño del tablero de fuerza y control necesario para la operatividad de los equipos industriales utilizados en alta montaña.
- Diseñar y suministrar un sistema de cintas calefactoras eléctricas que serán implementadas en industrias de alta montaña que sufran congelamiento o bajas temperaturas en cañerías o equipos.

# 1 Definición e introducción térmica a las cintas calefactoras eléctricas

Este capítulo del documento tiene como primer objetivo conocer y explicar de manera detallada la composición de las cintas calefactoras eléctricas, ya sea, sus características constructivas mecánicas, eléctricas y térmicas. En conjunto con esto, se conocerán los accesorios de instalación que logran que el sistema quede instalado de la manera correcta y así permitir suplir las pérdidas de calor que se presentan en instalaciones donde se trabaja a más de 3000 m.s.n.m..

## 1.1 Definición de cintas calefactoras eléctricas

Las llamadas cintas calefactoras o trazado de calor eléctrico son especialmente utilizadas para el calentamiento de superficies, corresponde a un sistema utilizado para mantener o elevar la temperatura de las tuberías, válvulas, recipientes o cualquier otro equipo. Este calentamiento producido por la cinta es ejecutado específicamente en contacto físico a lo largo de una tubería o cualquier otro artefacto en conjunto con esta instalación. El tubo generalmente está cubierto con aislamiento térmico para retener las pérdidas de calor del tubo, luego el calor generado por el elemento mantiene la temperatura de la tubería. El calentamiento de las cintas también es usado para proteger las tuberías del congelamiento, manteniendo a una temperatura ideal y obteniendo un flujo constante en los sistemas en donde transportan sustancias que se solidifican a la temperatura que están expuestas. [1]

Las cintas calefactoras corresponden a un cable eléctrico de dos hilos, que tiene la particularidad de generar calor al ser energizado. Este cable está construido para calefaccionar redes de tubería, estanques, techos, radiadores o cualquier otro tipo de superficie. Este elemento de calefacción puede alcanzar temperaturas sobre los 250 °C, y con un adecuado sistema de control se pueden lograr las temperaturas deseadas. El largo máximo de tendido de cinta calefactora dependerá del tipo de cinta a utilizar, pero ese valor es cercano a los 220 metros por tramo. Y para lograr circuitos de calefacción mayores se debe conectar circuito en paralelo, desde el mismo arranque eléctrico. En la figura 1-1 se puede apreciar modelos típicos de cintas calefactoras.



Figura 1-1: Modelos de cintas calefactoras eléctricas (Fuente: <http://www.tarmax.uy>).

Existen diversos tipos de cintas calefactoras, de las cuales, existen modelos adecuados para utilizar en la mayoría de las aplicaciones de mantenimiento de proceso, protección contra congelación de tuberías y recipientes en la industria de alta montaña. Se realizará un estudio detallado de las más utilizadas en las instalaciones, entre las cuales se tiene, la cinta calefactora de potencia constante; ideal para aplicaciones donde todo el momento se requiere una densidad particular de calor en la tubería. Luego, se tiene la cinta calefactora de aislamiento en compuesto mineral de alta temperatura, que tienen la ventaja de ser muy resistentes y ser utilizada en aplicaciones de alta temperatura y alta potencia. Finalmente, en la cual se enfoca este proyecto, la cinta calefactora autorregulable, tiene la característica responder y abarcar amplios niveles de temperatura, cumple para variadas aplicaciones y proporciona un menor consumo de electricidad, logrando ser mucho más eficiente que las antes nombradas.

## 1.2 Tipos de cintas calefactoras eléctricas

A continuación, se estudia la composición constructiva de las cintas calefactoras nombradas anteriormente, estas cintas calefactoras corresponden específicamente de los fabricantes Chromalox empresa proveedora de estos productos en Chile, con los cuales se realiza y lleva a cabo este proyecto.

### 1.2.1 Cinta calefactora de Potencia Constante

Las cintas calefactoras de potencia constante CWM (Constant Wattage Medium), esta cinta es de uso ideal para aplicaciones que requieren una densidad de vatios constante en todo momento. El elemento calefactor consiste en un alambre de nicromo, material con gran resistividad y difícil oxidación a altas temperaturas, envuelto alrededor de cables de conexiones aislados y en paralelo. A intervalos específicos, una pequeña sección del aislamiento es cortada de los cables de conexiones alternadamente para crear nodos de conexión para el alambre de nicromo. Como

resultado se obtiene una red de resistores paralelos a todo lo largo del cable de vataje constante. En la figura 1-2 se observa el modelo de la cinta.



Figura 1-2: Cinta Calefactora de Potencia Constante (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Esta cinta se caracteriza por ser flexible, puede cortarse a la longitud necesaria en el terreno y son fabricadas para el uso en voltajes desde 120 a 480 Vac. Aunque no son apropiadas para la sobreposición, sus salidas constantes hacen de estos una opción ideal para utilizar en aplicaciones de mayor temperatura, donde se requieren mayores densidades de potencia. Equipados con una trenza de conexiones a tierra y una chaqueta de FEP (resina de fluoropolímero) opcional, lo hacen apropiados para usar en áreas peligrosas y muy corrosivas. A continuación, se detallan los datos relevantes y se muestra en la figura 1-3 la composición de este cable calefactor.

### 1.2.2 Construcción de cinta calefactora de Potencia Ponstante

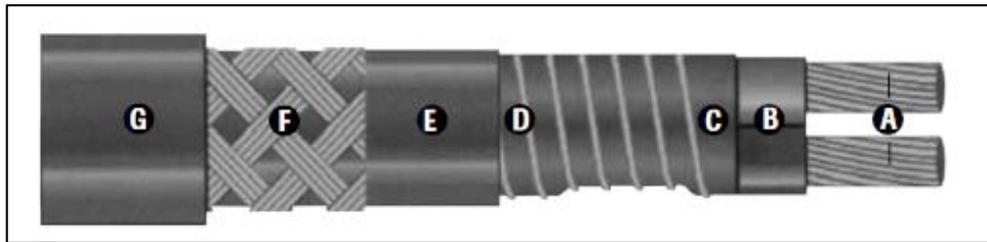


Figura 1-3: Construcción Cinta de Potencia Contante (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

En esta cinta se destaca la uniformidad de la temperatura a lo largo de la cinta que puede alcanzar un largo de 270 metros de longitud, resistente a una temperatura de 200 °C y alcanzando un consumo por distancia de 39 [w/m] usando un solo punto de poder. El detalle de construcción viene dado a continuación, donde se tienen las siguientes especificaciones:

- A. Cables de cobre calibre #12 AWG que proporciona electricidad constante.
- B. Chaqueta de aislamiento eléctrico FEP.
- C. Chaqueta de emparejamiento, proporciona una superficie de envoltura para el cable de nicromo.
- D. Cable de nicromo, componente de calefacción de la cinta.

- E. Aislamiento FEP, funda que protege el cable calefactor y asegura una mayor duración de vida y servicio, asegurando protección contra aplicaciones ambientales peligrosas.
- F. Trenza de cobre estañado, la trenza de cobre plateado proporciona una ruta de protección a tierra en cualquier ubicación.
- G. Sobrecubierta FEP (opcional), de fluoropolímero sobre la trenza, proporciona protección contra la mayoría de acuosos y soluciones químicamente corrosivas. [2]

### 1.2.3 Cinta calefactora de aislamiento en compuesto mineral

Los cables calentadores en compuesto mineral MI (Mineral Insulated) son los más resistentes de la línea de productos Chromalox. Construidos de un elemento resistor en serie sólido e incrustados en un aislante mineral altamente compacto, los cables MI están fabricados para utilizar en aplicaciones exigentes, de alta temperatura y alto vataje. El resistor en serie y aislante mineral están revestidos por una chaqueta metálica de Aleación 825 para las aplicaciones corrosivas o de alta temperatura. Ya que las unidades consisten en un resistor en serie, se puede diseñar cualquier configuración de vataje, tensión o longitud dentro de los límites físicos operativos de la cinta. La cinta de aislamiento mineral se puede utilizar con hasta 600 V, también puede ser expuesta al proceso de mantenimiento donde resiste temperaturas de 600 °C logrando una temperatura máxima de exposición de 648 °C. Se pueden diseñar densidades de vatios de hasta 164 [Watt/metro]. En la figura 1-4 se muestra el cable de aislamiento mineral donde luego se detalla sus características constructivas.

### 1.2.4 Construcción de cinta calefactora de aislamiento en compuesto mineral

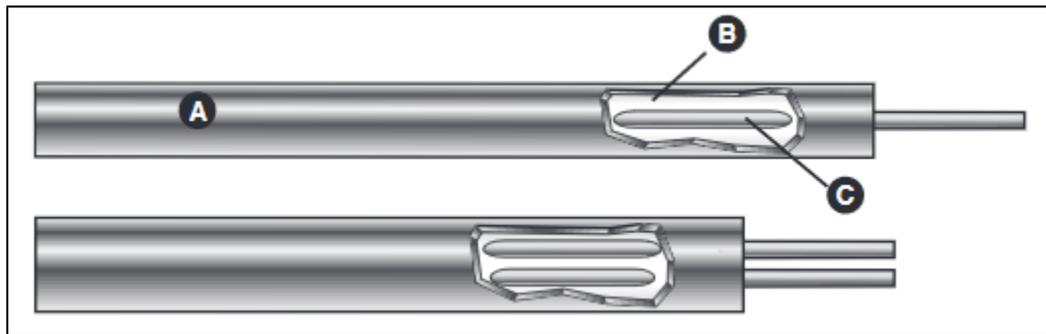


Figura 1-4: Construcción cinta de aislamiento en compuesto mineral (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Su construcción cuenta con las siguientes especificaciones:

- A. Cubierta de metal. Alto contenido de níquel, la aleación 825 es reconocida por su uso en aplicaciones de alta temperatura y su uso en muchos ambientes corrosivos. Esta aleación tiene excelente resistencia a los golpes, exposición al cloruro, a la corrosión ácida y alcalina, también puede ser cubierto con acero inoxidable.

- B. MgO: el óxido de magnesio altamente compactado proporciona aislamiento de la resistencia del cable para voltajes de hasta 600 V. Al estar completamente sellada protege el MgO de la humedad y de la contaminación.
- C. Alambre de resistencia, una gran cantidad de resistencia disponible permiten el diseño de una amplia gama de longitudes y potencias. Este cable se puede apreciar también con una doble resistencia. [3]

### 1.2.5 Cinta calefactora autorregulable

Se describen dos tipos de cintas calefactoras autorregulables, los de tipo SRL (Self - Regulating - Low Temperature), de baja temperatura y del tipo SRM/E (Self – Regulating – Medium Temperature), de alta temperatura. Siendo los cables más versátiles de control construidos de una matriz calefactora semiconductor, extruida entre cables de conexiones paralelos, estos cables autorregulables ajustan el calor que emiten para responder de forma independiente a las temperaturas en toda la longitud. A medida que la temperatura aumenta, aumenta la resistencia del calentador lo que disminuye la emisión de calor. Inversamente, a medida que la temperatura disminuye, la resistencia disminuye y el cable produce más calor. Como resultado se obtiene un cable calentador eficiente.

Estos cables son flexibles, pueden cortarse a la longitud necesaria en el terreno y pueden sobreponerse sin temor a que se produzcan quemaduras, en aquellas áreas donde la complejidad de las tuberías y equipos requieren un trazado que genere calor adicional. A continuación, en la figura 1-5 se aprecian los dos tipos de cinta calefactora autorregulable.

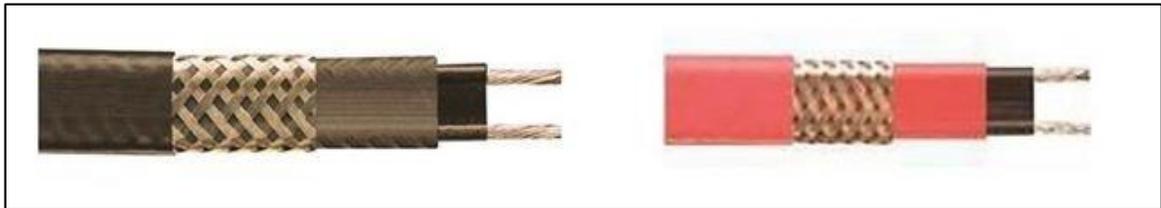


Figura 1-5: Cintas calefactoras autorregulables SRL (Negra) y SRM/E (Roja) (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Los cables calentadores autorregulables de temperaturas bajas (SRL) y de temperaturas medias (SRM/E) se pueden usar en voltajes de 120 Vac y 208 hasta 277 Vac. Equipados con una trenza de conexión a tierra y una chaqueta opcional TRP (reductor programado de temperatura) o FEP (resina de fluoropolímero).

Ambos cables contienen las mismas características constructivas y el mismo principio de funcionamiento. En la figura 1-6 se muestra la composición de la cinta autorregulable.

### 1.2.6 Construcción de cinta calefactora autorregulable

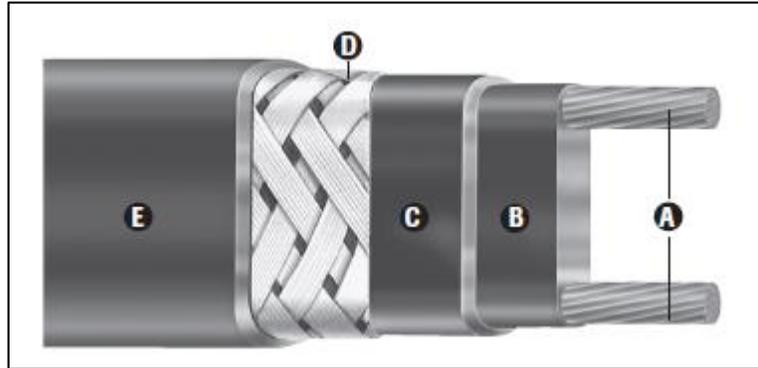


Figura 1-6: Composición de cinta autorregulable (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Su construcción cuenta con las siguientes especificaciones:

- A. Dos conductores de cobre, se encuentran con calibre #14 y #16 AWG que proporcionan una capacidad de corriente eléctrica confiable.
- B. Matriz de núcleo de polímero semiconductor, corresponde al componente autorregulador del cable, cuya resistencia eléctrica varía dependiendo de la temperatura.
- C. Chaqueta de fluoropolímero, funciona como retardante de llama, también aísla eléctricamente la matriz y los cables de cobre. Proporciona resistencia al agua y hacia algunas soluciones químicas.
- D. Trenza de cobre estañado, proporciona protección mecánica adicional en cualquier medio ambiente y también utilizado como un camino de conexión a tierra.
- E. Fluoropolímero de alta temperatura o TPR (opcional), los recubrimientos TPR, son altamente eficaz en ambientes hostiles, acuosos y químicamente activos. [4]

Las diferencias entre estas cintas calefactoras son básicamente la temperatura que controlan y la distancias que estas pueden tener de longitud.

La cinta calefactora SRL de bajas temperaturas, color negro, abarca circuitos de hasta 200 metros de longitud, abarcando distintas potencias por metro a cubrir, 10, 16, 26, 33 w/m. Logrando mantener una temperatura de mantenimiento de hasta 65 °C. Y poder ser expuesta a una temperatura en estado apagado de 85 °C.

Mientras que la cinta modelo SRM/E de altas temperaturas, color rojo, logra circuitos de 220 metros de longitud, abarcando potencias por metro a cubrir de 16, 26, 33, 49 y 65 w/m. Logrando mantener una temperatura de mantención cubre hasta los 150 °C. Y poder ser expuesta a una temperatura en estado Apagado de 210 °C, lo cual permite lavar las cañerías a vapor, sin dañar la cinta calefactora.

### 1.3 Funcionamiento térmico de cinta calefactora autorregulable

A continuación, tenemos el diagrama de funcionamiento térmico de la cinta calefactora, representada por la figura 1-7 y figura 1-8, las cuales nos explican lo que ocurre al someter la cinta a distintos escenarios de temperaturas a las que son expuestas y utilizadas.

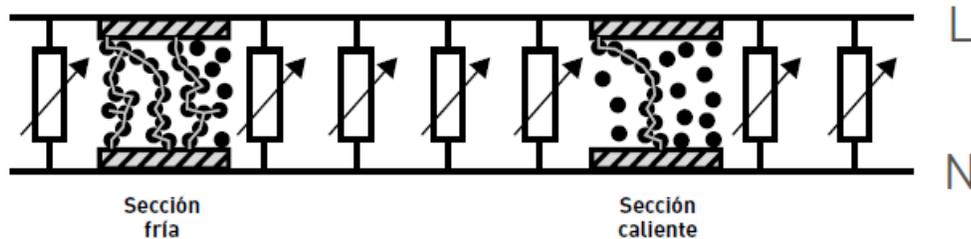


Figura 1-7: Diagrama del funcionamiento del cable calefactor autorregulable (Fuente: <https://www.pentairthermal.com>).

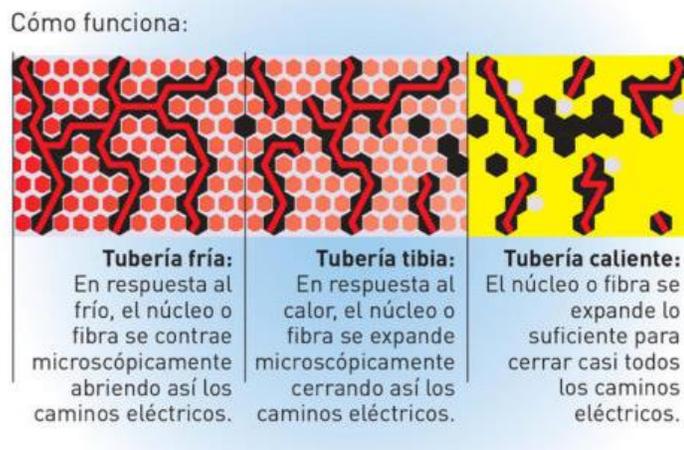


Figura 1-8: Funcionamiento térmico de cinta calefactora autorregulable (Fuente: <https://www.pentairthermal.com>).

De las anteriores figuras, se describe específicamente la reacción térmica de las cintas calefactoras al interactuar con distintas temperaturas. Una vez conectando el cable, la potencia de salida variará dependiendo de la temperatura del sitio. Si la temperatura aumenta, la potencia de salida disminuye. Respecto a esto, se presenta la siguiente relación:

- A altas temperaturas el polímero tiende a expandirse, reduciendo el número de canales conductivos y disminuyendo de este modo el flujo de la corriente.
- A bajas temperaturas se producen más canales conductivos, lo que permite el flujo de la corriente entre los conductores.

## 1.4 Accesorios de instalación para cintas calefactoras

A continuación, se detallan los componentes específicos que se consideran para poder llevar a cabo la instalación de cintas calefactoras. En la figura 1-8 se aprecia una instalación en donde se indica cada uno de los artefactos que se requieren para que estas cintas calefactoras tengan un buen funcionamiento, estos se describen a continuación.

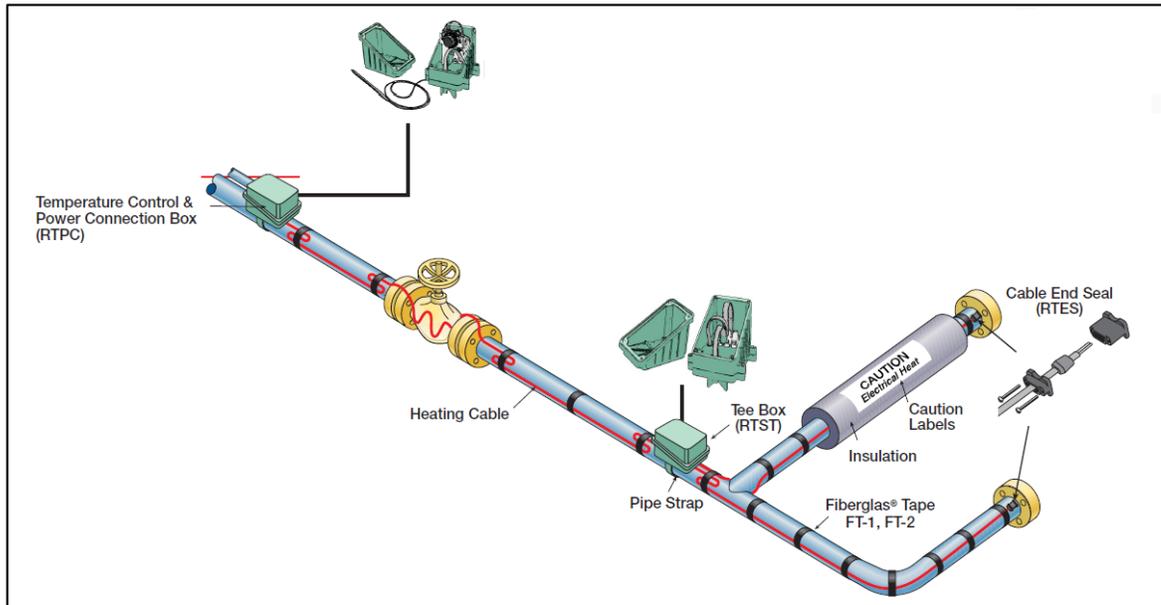


Figura 1-9: Instalación modelo de cinta calefactora (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

De la figura 1-9 describiremos el kit de conexión de la serie DL que corresponde a los accesorios de conexión integrados, los cuales están diseñados para proteger tuberías y equipos frente a la congelación y para mantener la temperatura de proceso en aplicaciones de alta montaña. El kit se usa para tipos de cintas SR (Auto – Regulable) y CWM (Vataje Constante) y su instalación es fácil y su funcionamiento seguro y confiable. Notamos tres elementos importantes, donde en primer lugar tenemos la caja de conexión de alimentación denominada RTPC encargada de proporcionar energía al sistema la cual es alimentada por el sistema de control y fuerza ensamblado en un tablero eléctrico que también será parte de este estudio. Luego, tenemos la caja de empalme y derivación en T denominada RTST la cual se encarga como su nombre lo dice, de los empalmes de los cables calentadores. Y finalmente, contamos con el sello final o fin de cinta RTES, diseñada para terminar todos los cables calentadores.

### 1.4.1 Juego de conexión de potencia RTPC

La caja de conexión de potencia RTPC que se muestra en la figura 1-10 corresponde a una caja clasificada como NEMA 4X, denominada así por una serie de estándar técnico que le proporciona protección contra la corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior. Diseñada para conectar todos los cables calefactores al alambrado de alimentación, cuenta con una entrada impermeable que admite hasta tres cables, un soporte para fijarlo en la

tubería con su respectiva abrazadera de acero inoxidable, bloque de conexiones de cables con orificio de  $\frac{3}{4}$  pulgadas para realizar conexión con el cable alimentador.

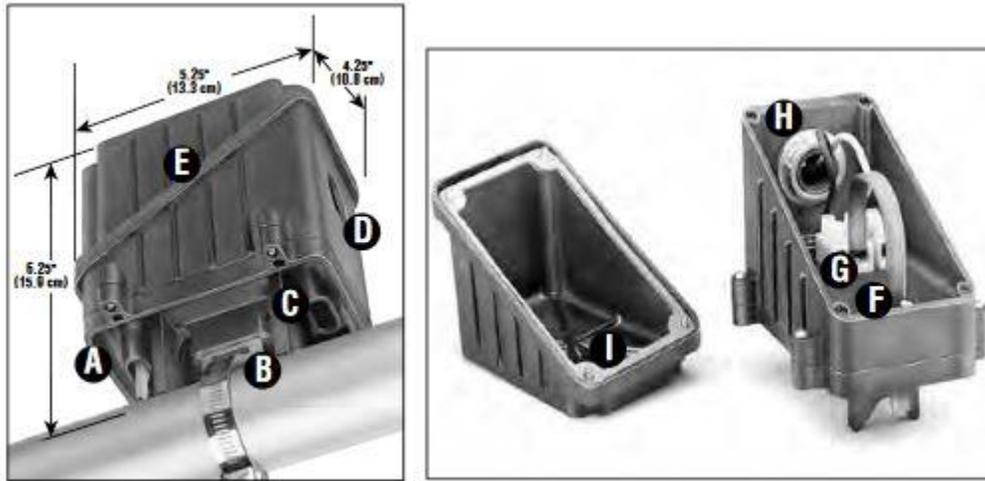


Figura 1-10: Caja de conexión de potencia RTPC (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Su construcción cuenta con las siguientes especificaciones:

- A. Tres entradas de cable estratégicamente colocadas que permiten la máxima flexibilidad para el aislamiento.
- B. Soporte de fijación de acero inoxidable que proporciona un acople positivo a las tuberías.
- C. Patas de apoyo resistentes que permiten un montaje estable de la tubería y permite un espacio libre para utilizar en aplicaciones que tienen hasta 3 pulgadas de aislamiento.
- D. Orificio para enchufe de conducto de  $\frac{3}{4}$  pulgadas (20 mm).
- E. Caja con lados y tapa oblicuos que permiten un fácil acceso para el alambrado.
- F. Pasacables, se cierran herméticamente contra el agua entre la base, la caja y el cable.
- G. Bloque de terminales de tres posiciones que facilita el alambrado.
- H. Entrada de alambrado de alimentación.
- I. Junta que cierra herméticamente contra el agua entre la caja y la tapa. [5]

Algunas características importantes son:

- Moldeado de material plástico duradero.
- Alta temperatura de servicio.
- Anticorrosivo.

- Estabilidad térmica.
- No inflamable.
- Alta resistencia y rigidez.
- Diseño impermeable que previene que la humedad acceda a conexiones eléctricas.
- Todos los modelos están clasificados por NEMA 4X.

### 1.4.2 Juego de empalme y derivación en T.

La caja de empalme y derivación en T RTST se muestra en la figura 1-11, también es una caja clasificada como NEMA 4X, diseñada para hacer empalmes rectos o en forma de derivación en T para todos los cables calefactores. Proporciona una entrada de cable impermeable (para dos cables por un empalme o tres cables por una derivación en T), soporte para ser fijado a la tubería con abrazadera de acero inoxidable, un bloque de terminales y una caja impermeable y anticorrosiva para el alambrado.

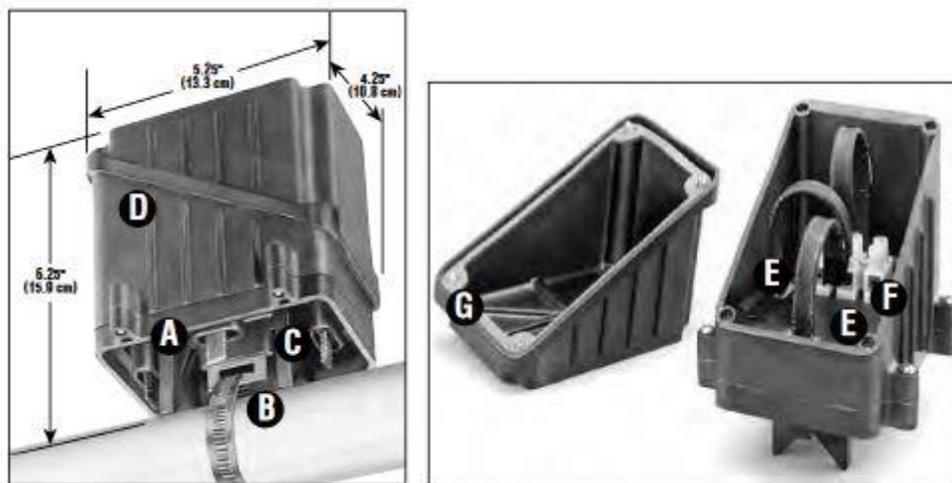


Figura 1-11: Caja de empalme y derivación en T RTST (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Su construcción cuenta con las siguientes especificaciones:

- A. Tres entradas de cables estratégicamente colocadas que permiten la máxima flexibilidad para el aislamiento.
- B. Soporte de fijación de acero inoxidable que proporciona un acople positivo a las tuberías.
- C. Patas de apoyo resistentes que permiten un montaje estable a la tubería y permite un espacio libre para utilizar en aplicaciones que tienen hasta 3 pulgadas de aislamiento.
- D. Caja con lados y tapa oblicuos permiten un fácil acceso para el alambrado. [5]
- E. Pasacables se cierran herméticamente contra el agua entre la base y la caja.

- F. Bloque de terminales de tres posiciones que facilita el alambrado.
- G. Junta que cierra herméticamente contra el agua entre la caja y la tapa.

### 1.4.3 Juego de sello final o fin de cinta RTES.

El accesorio de sello final RTES mostrada en la figura 1-12, es una caja que también se clasifica como NEMA 4X, diseñada para terminar todos los cables calefactores. Este modelo proporciona una entrada impermeable para un cable, soporte de caja y caja impermeable y anticorrosiva. El accesorio tiene dos diferentes superficies curvas de montaje. Un lado tiene una superficie curva con un radio de ½ pulgadas que brida un soporte establea tuberías con un diámetro de 3 pulgadas o mayor. El otro lado tiene una superficie curva con una radio de ½ pulgadas, el cual permite un mejor ajuste en tuberías menores; este lado tiene además cuatro “patas” para la instalación sobre superficies planas.

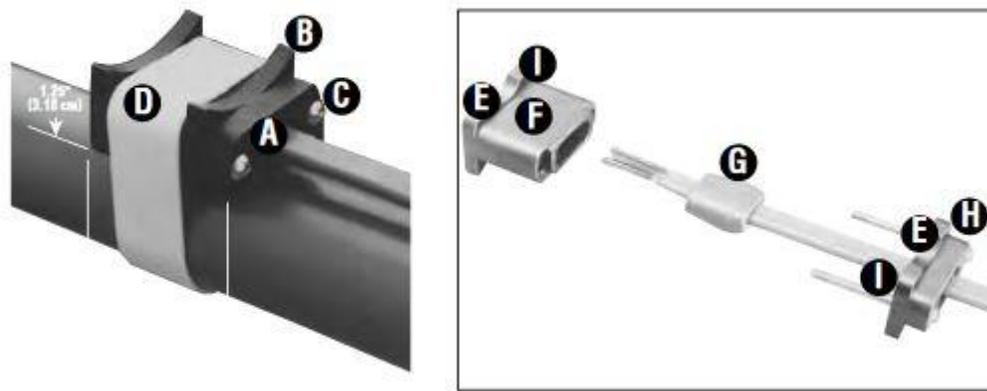


Figura 1-12: Fin de Cinta RTES (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Su construcción cuenta con las siguientes especificaciones:

- A. Entrada de cable.
- B. Superficie de montaje curva de tres pulgadas de diámetro.
- C. Hardware de acero inoxidable.
- D. Canal de amarre de una pulgada de ancho para un montaje seguro.
- E. Superficie de montaje curva con un radio de media pulgada.
- F. Tapón final.
- G. Pasacable que sella herméticamente contra el agua entre el tapón final y la placa de presión.
- H. Placa de presión.

- I. Patas de montaje para la instalación sobre superficies planas. [5]

#### 1.4.4 Cinta de fijación FT-3.

Rollo de cinta adhesiva de tela de vidrio de 18 metros de longitud, con adhesivo de silicona termoconformada y sensible a la presión, con dimensionamiento de 3/8 pulgadas de ancho. Clasificada para 155 °C (310 °F). Se fija a intervalos aproximados de 0,3 metros (1 pie) a una temperatura mínima de aplicación de -40 °C (-40 °F). En la figura 1-13 se muestra el modelo de cinta de fijación.



Figura 1-13: Cinta de fijación FT-3 (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

#### 1.4.5 Cinta de aluminio AT-1.

Rollo de cinta adhesiva de papel de aluminio con 55 metros (180 pies) de longitud que se muestra en la figura 1-14. Contiene adhesivo acrílico sensible a la presión. Espesor de 2 mm con alta resistencia a la tensión; con 2 ½ pulgada de ancho. Clasificada para 93 °C (200 °F). Y temperatura mínima de aplicación de 4 °C (40 °F).



Figura 1-14: Cinta de Aluminio AT-1 (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

#### 1.4.6 Etiquetas de precaución CL-1.

Etiquetas de precaución impermeables, resistentes a la intemperie. Se muestran en la figura 1-15.



Figura 1-15: Etiqueta de precaución CL-1 (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Todos los artefactos nombrados y detallados anteriormente cumplen con las Revisiones y Normas por UL (Underwriters Laboratories) para ser utilizadas en áreas ordinarias. Certificadas por CSA (Canadian standard association) para áreas ordinarias. Y también certificadas por FM (FM Approvals®) para áreas ordinarias. Las cuales se detallarán en los siguientes capítulos de esta Tesis para una mayor profundización acerca de cada una de ellas.

## **2 Requerimientos de diseño para instalación de cintas calefactoras**

Este capítulo, presenta las características que se exigen y lo que deben poseer los sistemas en donde se instalarán cintas calefactoras eléctricas, realizar los adecuados cálculos para determinar y cumplir con los requerimientos que solicitan los distintos clientes de la industria de la alta montaña.

### **2.1 Consideraciones generales**

El uso de cintas calefactoras, para protección anti-congelamiento o mantención de temperaturas, deberá ser considerado en tramos de cañería sobre terreno, en exterior o en interior de edificios, y complementarios a la aislación térmica. Todos los equipos, instrumentos, materiales y accesorios componentes del sistema de cintas calefactoras deberán ser nuevos, sin uso, adecuados y garantizados para el servicio especificado.

Para la instalación requerida se deberá garantizar la existencia y disponibilidad de repuestos estándares para la totalidad de los componentes utilizados en los diseños, al menos durante la vida útil del proyecto.

Se deberán incluir memorias de cálculo (con determinación de potencia por metro de cañería y potencia en cada panel de control), planos de montaje los que detallen claramente disposición de cintas, cajas de conexión, instrumentos de control de temperatura, y accesorios en general para el diseño requerido. Planos de interconexiones eléctricas, especificaciones, etc.

### **2.2 Requerimientos de diseño**

#### **2.2.1 Consideraciones específicas**

Para la determinación del cable apropiado a usar en las distintas aplicaciones, debemos seguir los siguientes pasos.

PASO 1: Recopilar los datos requeridos de la aplicación y determinar la pérdida de calor.

PASO 2: Seleccionar el cable que mejor cumpla con los parámetros específicos de su aplicación basándose en sus características. Se debe tomar en cuenta la temperatura de aplicación, temperatura de exposición, requisitos de la aplicación y valores nominales medioambientales.

PASO 3: Seleccionar la potencia nominal del cable calefactor.

PASO 4: Determinar la cantidad total de cable requerido.

PASO 5: Determinar los circuitos y la protección de los circuitos.

PASO 6: Seleccionar los accesorios adecuados.

En cada instalación de cinta calefactora se debe tener claridad de todo el sistema instalado, es por esto, que se hace necesario y de mucha importancia los cálculos adecuados y los que deberán estar basados en los siguientes conceptos:

Requerimiento de protección por temperatura mínima, para evitar congelamiento del fluido.

- Consideración del tipo de aislación, su conductividad térmica y espesor.
- Tipo de cañería (plástica o metálica)
- Diámetro, espesor y material de la cañería.
- Propiedades térmicas del fluido en el interior de la cañería.
- Calor convectivo y radiante de la aislación y de la camisa externa.
- Velocidad del viento.

La empresa instaladora debe confirmar por sus propios cálculos la siguiente información:

- Potencia por unidad de longitud (Watt/metro) de las cintas calefactoras a utilizar, para los distintos diámetros de cañería y tipo de fluido transportado; flujo continuo o intermitente.
- Largo de cinta estándar.
- Información de la cantidad de cajas de conexiones.
- Potencia total que requiere cada circuito de cinta calefactora.
- Corriente y voltaje en cada circuito.

### **2.2.2 Consideraciones de cintas calefactoras**

La selección de la cinta calefactora deberá estar basada en la temperatura a mantener y las condiciones de sitio del proyecto. A continuación, se muestra en la figura 2-1 las características de los cables calefactores, en donde se selecciona el que mejor cumpla con los requerimientos de temperatura y vataje.

Características	Industriales			
	SRL	SRM/E	CWM	Aleación 825 MI
Temp. max. de mantenimiento °C (°F)	65 °C (150 °F)	150 °C (302 °F)	160 °C (320 °F)	482 °C (900 °F)
Temp. max. de exposición °C (°F) cable apagado	85 °C (185 °F)	215 °C (420 °F)	204 °C (400 °F)	593 °C (1,100 °F)
Max. Vatios/ft	10	20	12	50
Longitud máx. de circuito (ft)	95 - 660	150 - 600	225 - 900	330 - 1,000+
Calibre de cable de conexiones	16	14	12	N/A
Voltajes	120, 208-277	120, 208-277	120, 208-277, 480	Up to 600
Clasificación para áreas peligrosas	Si	Si	Si	Si
Para usar en tubería plástica	Si	No	No	No
Corte a longitud en el campo	Si	Si	Si	No
Empalmable en el campo	Si	Si	Si	No
Puede sobreponerse	Si	Si	No	No
Potencia varía con temperatura	Si	Si	No	No
Potencia varía a lo largo	Si	Si	No	No
Diseño de sistema	Sencillo	Sencillo	Sencillo	Involucrado
Instalación de sistema	Más fácil	Más fácil	Sencillo	Involucrado
Resistencia al fuego	Regular	Regular	Regular	Excelente
Resistencia química	Vea en la próxima página "Guía de corrosión".			
Tamaño (máx. plg)	0.435 x 0.185	0.5 x 0.2	0.435 x 0.235	0.4
Accesorios	DL/EL	DL	DL/EL	
Alambre de monitoreo disponible	Si	Contacte la fábrica	Contacte la fábrica	No
Aplicaciones	FL,PL	FL,FH,PL,PH	FL,FH,PL,PH	FL,FH,PL,PH
	FL = Protección contra congelación FH = Protección contra congelación, exposición a alta temperatura PL = Mantenimiento de proceso, baja temperatura PH = Mantenimiento de proceso, alta temperatura RG = Descongelamiento de techos y canaletas			

Figura 2-1: Características de cintas calefactoras (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

En la figura anterior podemos escoger el cable que mejor se adecue a nuestros requerimientos, fijándose en las características cada uno de estos presenta.

La cinta calefactora seleccionada y utilizada en este proyecto será del tipo auto-regulable para aplicaciones industriales. Su construcción podrá ser con cable calibre 14 o 16 AWG y su chaqueta será de fluoropolímero resistente a la corrosión y ambientes hostiles del tipo CT (o sea, que puede exponerse a productos químicos orgánicos o corrosivos fuertes). La selección de la cinta calefactora deberá estar basada en la temperatura a mantener y las condiciones de sitio del Proyecto. El suministro eléctrico para alimentar las cintas calefactoras deberá ser de 220 V monofásico, 50 Hz.

El largo de las cintas deberá ser calculado en base a la siguiente información y/o criterios a ser considerados:

Se deberán usar planos y documentos del proyecto, incluyendo planos de disposición general, planos P&ID, listado de líneas, entre otros. Ya que, si se presenta alguna contradicción en la información, la empresa instaladora deberá consultar previamente antes de realizar cualquier montaje de las cintas.

También hay que tomar en cuenta que el largo total de la cinta dependerá del largo y diámetro de las tuberías, contemplando una estalación en paralelo (lineal) o helicoidal (espiral) de la cinta, según se requiera. Luego se considerará en el diseño del trazado de la cinta que éste permita dilataciones y contracciones térmicas, como también, la holgura necesaria para separar flanges y/o desmontar válvulas y accesorios de las líneas de cañerías, sin desmontar las cintas.

Será de importancia tener un exacto conteo de todas las singularidades de las líneas (válvulas, flanges, instrumentos, entre otros), de modo que la configuración del traceado sobre el elemento en cuestión sea adecuadamente contabilizado.

En los cálculos a realizar se hace necesario considerar un largo adicional para permitir la entrega de un 10 a 15% más de calor que el calculado, utilizando éste como un factor de seguridad.

Todos los circuitos de cintas calefactoras eléctricas tendrán que contar con interruptores termomagnéticos (circuit breakers) de acuerdo a la indicación que se deben estipular en cada uno de los procedimientos de cada proyecto de instalación.

Por último, y no menos importante es determinar la máxima caída de voltaje permitida a lo largo de la cinta calefactora, de modo que se pueda asegurar la potencia unitaria (Watt/metro) y que esta se mantenga en los valores que se obtienen al realizar los cálculos.

## 2.3 Memoria de cálculo térmico

A continuación, se presentan una serie de fórmulas de las cuales se logra determinar la potencia total que requiere la cinta calefactora para ser aplicada en los distintos ambientes y materiales en los cuales se presentará. Para estos cálculos debemos tomar en cuenta el calentamiento del sólido, o sea, lo relacionado a la tubería (plástica o metálica) y luego el calentamiento del líquido transportado por esta tubería, obteniendo de la suma de estas potencias el total de potencia por metro a cubrir, expresada en Watt/metro. Siguiendo los siguientes pasos:

### 2.3.1 Datos constantes para calentamiento de sólido

En primer lugar, debemos obtener el radio y perímetro calculando las siguientes fórmulas que vienen dadas a continuación. Aplicable a la medida de cual sea la cañería.

El radio se calcula como:

$$R = D \times 0,5 \tag{2-1}$$

Donde,

R: Radio de la tubería [*pulgadas*]

D: Diámetro de la tubería [*pulgadas*]

Para el perímetro de la tubería:

$$P = 2\pi \times R \times 2,54 \quad (2-2)$$

Donde,

$P$ : Perímetro [ $cm$ ]

$R$ : Radio de la tubería [*pulgadas*] (1-1)

Luego, se debe calcular el peso aproximado de 1 metro de tubería, el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$p = \frac{L \times P \times e \times d}{1000} \quad (2-3)$$

Donde,

$p$ : Peso de un metro de tubería [ $kg$ ]

$L$ : Largo de la tubería [ $cm$ ]

$P$ : Perímetro [ $cm$ ] (1-2)

$e$ : Espesor de la tubería [ $cm$ ]

$d$ : Densidad del material de la tubería [ $\frac{g}{cm^3}$ ]

Finalmente se calcula la potencia de calentamiento, la cual se expresa en Watt/metro para un cuerpo sólido, con la siguiente expresión:

$$E_s = \frac{p \times Cp \times \Delta T}{860,4} \quad (2-4)$$

Donde,

$E_s$ : Potencia por metro del sólido [ $\frac{Watt}{metro}$ ]

$p$ : Peso de un metro de tubería [ $kg$ ] (1-3)

$Cp$ : Calor específico del sólido [ $\frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$ ]

$\Delta T$ : Diferencia entre  $T^\circ$  máxima –  $T^\circ$  mínima [ $^\circ C$ ]

Luego de obtener  $E_s$ , equivalente a potencia por metro, se deberá agregar un margen de 10 a 15% en pérdidas de calor, y posterior a esto se obtiene una potencia por metro final, la cual es requerida por el sólido.

### 2.3.2 Datos constantes para calentamiento del líquido

En segundo lugar, se deben resolver una serie de fórmulas para luego tener el resultado de la potencia por metro del líquido transportado. Estas se expresan por las siguientes ecuaciones.

El área de la tubería viene dada por:

$$A = D \times 25,4 \quad (2-5)$$

Donde,

$A$ : Área de la tubería [ $mm$ ]

$D$ : Diámetro de la tubería [ $pulgadas$ ]

El valor obtenido, se lleva a unidad de decímetros de la siguiente manera:

$$a = \frac{A}{100} \quad (2-6)$$

Donde,

$a$ : Área de la tubería [ $dm$ ]

$A$ : Área de la tubería [ $mm$ ] (1-5)

Luego de obtener lo anterior, se determina la cantidad de litros contenidos en 1 metro de tubería con la siguiente expresión:

$$K = a^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10 \quad (2-7)$$

Donde,

$K$ : Cantidad de litros en un metro de tubería [ $d^3$ ]

$a$ : Área de la tubería [ $dm$ ] (1-6)

Lo siguiente será aplicar la ecuación (1-8) que representa el peso en kilos del líquido contenido en 1 metro de tubería:

$$P_L = K \times d \quad (2-8)$$

Donde,

$P_L$ : Peso en un metro de tubería [ $kg$ ]

$K$ : Cantidad de litros en un metro de tubería [ $d^3$ ] (1-7)

$d$ : Densidad del líquido [ $\frac{g}{cm^3}$ ]

Con los cálculos realizados anteriormente, se obtiene la potencia de calentamiento expresada en Watt/metro para un líquido cualquiera, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$E_L = \frac{P_L \times Cp \times \Delta T}{860,4} \quad (2-9)$$

Donde,

$E_L$ : Potencia por metro del líquido  $\left[\frac{Watt}{metro}\right]$

$P_L$ : Peso en un metro de tubería  $[kg]$  (1-8)

$Cp$ : Calor específico del sólido  $\left[\frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}\right]$

$\Delta T$ : Diferencia entre T° máxima – T° mínima  $[^\circ C]$

A este resultado, nuevamente se debe agregar un factor de un 10 a 15% de pérdidas de calor, con eso se obtiene como resultado la potencia requerida para el calentamiento del líquido, expresada en Watt/metro.

Finalmente, con los resultados de la potencia de calentamiento del sólido ( $E_S$ ) sumado a la potencia de calentamiento del líquido ( $E_L$ ). Ambas expresadas en Watt/metro, se obtiene lo siguiente:

$$E_T = E_S + E_L \quad (2-10)$$

Donde,

$E_T$ : Potencia total por metro  $\left[\frac{Watt}{metro}\right]$

$E_S$ : Potencia por metro del sólido  $\left[\frac{Watt}{metro}\right]$  (1-4)

$E_L$ : Potencia por metro del líquido  $\left[\frac{Watt}{metro}\right]$  (1-9)

## 2.4 Selectividad del tipo de cinta calefactora

Posterior a los cálculos realizados, cumpliendo con las condiciones del cliente se debe seleccionar una cinta calefactora, la cual puede ser escogida según las características de catálogo de cada una de ellas, en consecuencia, se escoge de acuerdo a un cuadro con datos técnicos de cada cinta calefactora representada en la figura 2-2.

## 2 Requerimientos de diseño para instalación de cintas calefactoras

Chromalox	Tipo	BUSS Wire	Jacket BASE	TREN ZA	OJ	Watts/Pie	Voltios	Manten. Maximo	Expsicion Maxia (Power Off)	Certificaciones			Remplaza Raychem Part No.	Remplaza Thermon Part No.
										Area Ordinaria	Class 1 DIV 2	Class 1 DIV 1		
SRL-C	SR	16 AWG	TPE	TC	-	3,5,8,10	120, 208-277	150°F	185°F	UL, CSA, FM	CSA, FM		BTV-C	PSX-BC
SRL-CR	SR	16 AWG	TPE	TC	TPE	3,5,8,10	120, 208-277	150°F	185°F	UL, CSA, FM	CSA, FM		BTV-CR	PSX-OJ
SRL-CT	SR	16 AWG	TPE	TC	FEP	3,5,8,10	120, 208-277	150°F	185°F	UL, CSA, FM	CSA, FM	FM	BTV-CT	PSX-FOJ
SRM/E-C	SR	14 AWG	FEP	TC	-	5,8,10,15,20	120, 208-277	302°F	420°F	UL, CSA, FM	CSA, FM		QTV-C XTV-C	TSX-BC
SRM/E-CT	SR	14 AWG	FEP	TC	FEP	5,8,10,15,20	120, 208-277	302°F	420°F	UL, CSA, FM	CSA, FM	FM	QTV-C XTV-C	TSX-OJ
CWM-C	CW-P	12 AWG	FEP	TC	-	4,8,12	to 480	*	392°F	UL, CSA, FM	CSA, FM		—	FP-BC
CWM-CT	CW-P	12 AWG	FEP	TC	FEP	4,8,12	to 480	*	392°F	UL, CSA, FM	CSA, FM		—	FP-OJ
MI	CW-S	N/A	ALLOY 825	N/A	-	to 50	to 600	900°F	1100°F	UL, CSA, FM	CSA, FM	FM	RMI	MIQ

\*VARIA CON DENSIDAD DE VATIAJE

Figura 2-2: Diferencias de cintas calefactoras (Fuente: Fichas técnicas empresa Fabrestel Ltda.)

De la figura anterior, damos por observación que la potencia de salida de cada cinta calefactora está dada en Watt/pie, por lo que, llevando ese valor transformado a Watt/metro podemos comparar esos resultados con los que obtuvimos de la memoria de cálculo térmico y obtener la cinta correcta en el proyecto a realizar.

Luego presentamos dos gráficos que corresponden a la representación de las salidas térmicas de las cintas calefactoras.

En primer lugar, se tiene a la cinta autorregulable SRM/E para altas temperaturas representada por la figura 2-3 que se muestra a continuación:

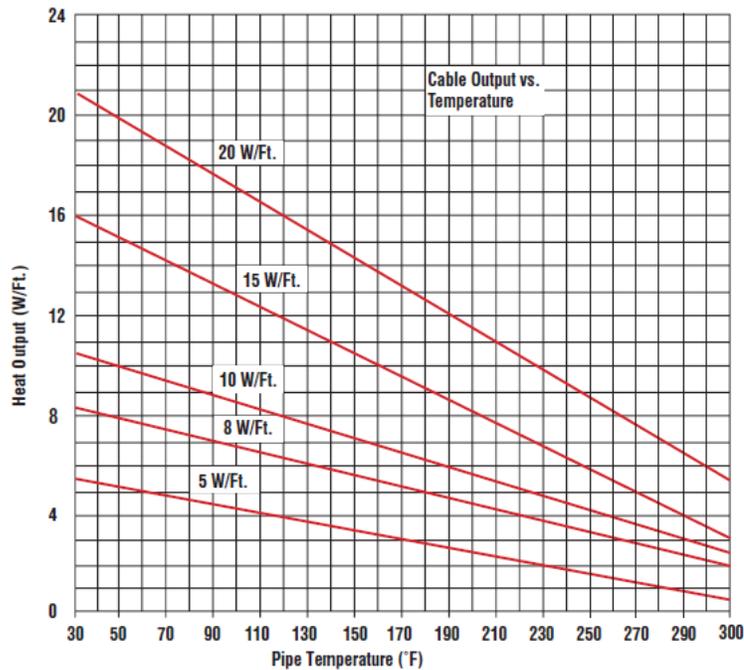


Figura 2-3: Gráfico de cinta autorregulable SRM/E (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

El gráfico anterior representa a la cinta SRM/E donde se observa el comportamiento de potencia de salida respecto a la temperatura deseada por el cliente, logrando así la elección correcta a utilizar.

Por otro lado, se muestra la gráfica de la cinta autorregulable SRL para bajas temperaturas en la figura 2-4 donde se observa el mismo comportamiento anterior.

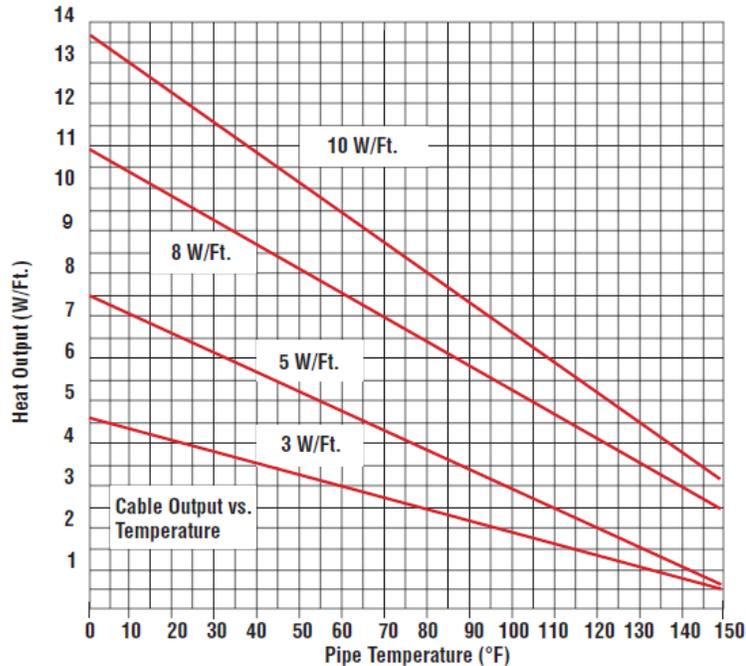


Figura 2-4: Gráfico de cinta auto-regulable SRL (Fuente: <http://www.chromalox.com>).

Nuevamente se debe considerar para la realización de nuestros cálculos, la transformación de medidas de pie a metros, y lo mismo con la temperatura, de grados Fahrenheit a grados Celsius.

Nota 1: La salida térmica se determina según el estándar IEEE 515-2004 para pruebas, diseño instalación y mantenimiento de la sección de rastreo de calor por resistencia eléctrica 4.1.11 Método C.

## 2.5 Ejercicio real de cálculo térmico para instalación lineal

Para verificar las ecuaciones planteadas en este capítulo, se realiza un ejercicio real con la condición entregada por el cliente referente a la Sub Área Lechada de Cal – Línea N°8004 del Proyecto Cintas Calefactoras – Pascua Lama, con los siguientes datos:

Datos para el sólido:

- Largo tubería: 100 [cm]
- Diámetro tubería: 3" [pulgadas]
- Espesor: 0,55 [cm] (Ref. Cañería Ø 3" Sch.40 S/Costura)
- Cp (calor específico): 0.105 [kcal/kg °C] (valor aprox. de calor esp. del acero)

- Densidad de acero:  $7,85 \text{ [g/cm}^3\text{]}$
- T° inicial:  $10 \text{ }^\circ\text{C}$
- T° final:  $12 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta T^\circ$ :  $2 \text{ }^\circ\text{C}$

A continuación, se presenta el desarrollo del cálculo térmico para el sólido representado por las ecuaciones del subcapítulo 2.3.1.

i. Radio

$$R = d \times 0,5$$

Donde,  $d = 3''$  (diámetro)

$$R = 3'' \times 0,5$$

$$R = 1,5''$$

ii. Perímetro

$$P = 2\pi \times R \times 2,54$$

$$P = 2\pi \times 1,5'' \times 2,54$$

$$P = 23,94 \text{ [cm]}$$

iii. Peso aproximado de 1 metro de cañería

$$p = \frac{L \times P \times e \times D}{1000}$$

Donde,  $L = 100 \text{ [cm]}$  (1 metro);  $e = 0,55 \text{ [cm]}$  (espesor aprox.);

$D = 7,85 \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$  (Densidad del acero)

$$p = \frac{100 \times 23,94 \times 0,55 \times 7,85}{1000}$$

$$p = 10,33 \text{ [kg]}$$

iv. Finalmente, calculamos la potencia de calentamiento para un cuerpo sólido de 3'' de diámetro.

$$E = \frac{p \times Cp \times \Delta T^\circ}{860,4}$$

Donde, E = Potencia por metro;  $Cp = 0,105 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right]$  (Calor específico);

$\Delta T^\circ = 2 \text{ }^\circ\text{C}$  (Rango de temp.)

$$E = \frac{10,33 \times 0,105 \times 2}{860,4}$$

$$E = 2,52 \times 10^{-3} \text{ [kW/m]}$$

$$E = 2,52 [W/m]$$

Sumando un 15% del total por posibles pérdidas, se obtiene

$$Es = 2,52 + 0,15 \times 2,52$$

$$Es = 2,898 [W/m]$$

Datos para el líquido:

- Tipo de líquido: Lechada de Cal (RML)
- Cp (calor específico): 1 [kcal/kg °C]
- Densidad: 1 [g/cm<sup>3</sup>]
- T° inicial: 10 °C
- T° final: 12 °C
- ΔT°: 2 °C

Luego, se presenta el desarrollo del cálculo térmico para el líquido representado por las ecuaciones del subcapítulo 2.3.2.

i. Área

$$A = d \times 25,4$$

Donde,  $d = 3''$  (diámetro)

$$A = 3'' \times 25,4$$

$$A = 76,2 [mm]$$

ii. Decímetros

$$a = \frac{A}{100}$$

$$a = \frac{76,2}{100}$$

$$a = 0,762 [dec]$$

iii. Cantidad de litros aproximados en 1 metro de cañería

$$K = a^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10$$

$$K = 0,762^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10$$

$$K = 4,56 [dec^3]$$

iv. Cantidad de kilos aproximados en 1 metro de cañería

$$P_L = K \times D$$

Donde,  $D = 1 [g/cm^3]$  (Densidad).

$$P_L = 4,56 \times 1$$

$$P_L = 4,56 [kg]$$

- v. Finalmente, se calcula la potencia de calentamiento para el líquido en un cuerpo sólido de 3" de diámetro.

$$E_L = \frac{KL \times Cp \times \Delta T^\circ}{860,4}$$

$$E_L = \frac{4,5 \times 1 \times 2}{860,4}$$

$$E_L = 10,46 \times 10^{-3} [kW/m]$$

$$E_L = 10,46 [W/m]$$

Sumando un 15% del total por posibles pérdidas, se obtiene

$$E_L = 10,46 + 0,15 \times 10,46$$

$$E_L = 12,03 [W/m]$$

Con ambos resultados, se realiza la suma de potencias para obtener la potencia total que se requiere para calentar 2 °C un metro de tubería.

Por lo tanto, sumando  $E_s$  y  $E_L$  se obtiene la potencia final a requerir por la línea.

$$E_T = E_s + E_L$$

$$E_T = 2,898 + 12,03$$

$$E_T = 14,92 [W/m]$$

En conclusión, se puede determinar y asegurar que la cinta calefactora ofertada y adjudicada corresponde a un modelo SME/M de 26,2 [W/m] que cumple cabalmente los requerimientos de mantención de temperatura en todas las cañerías del proyecto.

## **3 Sistema de montaje para cintas calefactoras eléctricas**

En este capítulo, se presentan los requisitos y consideraciones que se exigen en una instalación de cintas calefactoras eléctricas, como también, el sistema y forma de montaje que se debe aplicar, definiendo así, una serie de pasos que indican la forma explícita de instalación de todos los elementos que componen un sistema de heat tracing aplicado a tuberías y elementos que conforman líneas de transporte de líquidos o gases utilizados para diferentes procesos en las industrias.

Por lo cual, al basarse en los cálculos térmicos realizados en el capítulo números dos, se logra la selección del cable y los materiales a utilizar en cada instalación. Dando paso en este capítulo a la manera correcta de instalación y montaje de cintas calefactores aplicado a tuberías.

### **3.1 Examinación previa de cinta calefactora y accesorios**

En un inicio, comprobar que los materiales no hayan sufrido daños o golpes durante el transporte, en específico roturas en la cubierta calefactora lo cual provocaría una complicación para el dimensionamiento al momento de medir y cortar el cable.

La importancia de descubrir un daño a tiempo, es de gran ayuda para cumplir con los tiempos de trabajo adecuados y acordados para cada instalación, por lo que se debe verificar la resistencia de aislamiento con un megohmetro o multímetro a 500 Vdc entre los cables conductores y la superficie metálica, como también su conductividad eléctrica asegurándose que la cinta calefactora no está dañada.

Cualquier cinta calefactora con valor de resistencia de aislamiento menor a 10 megaohms no deberá ser instalada debido a que puede contener algún corte o piquete por lo cual la cinta no cumpliría con los requerimientos básicos.

Posterior a esto, habrá que tener conocimiento de los accesorios y familiarizarse con los productos que componen un sistema heat tracing, que se mencionaron en el capítulo uno de este proyecto.

### 3.2 Instalación de cinta calefactora

A continuación, se redactan una serie de pasos de vital importancia para poder llevar a cabo una instalación segura y fiable. En primer lugar, se debe asegurar de desconectar todas las fuentes de poder antes de comenzar con la instalación para evitar cualquier shock eléctrico. Una persona calificada y especializada debe realizar la instalación y puesta en servicio de la cinta calefactora y sus accesorios. La cinta debe ser sólidamente conectada a tierra, de acuerdo con el código eléctrico nacional. El incumplimiento de lo anterior, puede resultar en lesiones personales o daños materiales.

En segundo lugar, se debe asegurar que todas las tuberías hayan sido hidrostáticamente probadas previa a la instalación, donde se podrá conocer la fuerza o la integridad estructural de los recipientes a presión que contienen un líquido o gas. Respecto a lo anterior, la prueba se encarga de asegurar de que no presente fugas en el recipiente o tuberías, y que es estructuralmente seguro para ser operado por una persona.

Las superficies de las tuberías deberán estar limpias y libres de impurezas, como soldaduras, grasa, etc. Las tuberías de acero al carbono deberán tener aplicadas y aceptadas sus pinturas de protección anticorrosiva.

Por lo tanto, el montaje de las cintas calefactoras debe seguir la siguiente secuencia:

- Verificar que la cinta calefactora corresponde a la línea en que se va a instalar.
- Instalar la cinta calefactora.
- Colocar los componentes del sistema de potencia.
- Efectuar las pruebas de aislación y continuidad eléctrica.
- Conectar los cables al sistema eléctrico y verificar el funcionamiento.
- Instalar la aislación térmica de acuerdo a la especificación del fabricante.
- Repetir las pruebas de aislación y continuidad eléctrica.

Con lo anterior, se da inicio a la especificación de la instalación de la cinta calefactora.

Esta cinta siempre debe ser instalada a 45° bajo de la horizontal de la tubería, como se logra apreciar en la figura 3-1, ya que por efectos de conducción el calor subirá, traspasando así, la temperatura necesaria a la cinta.

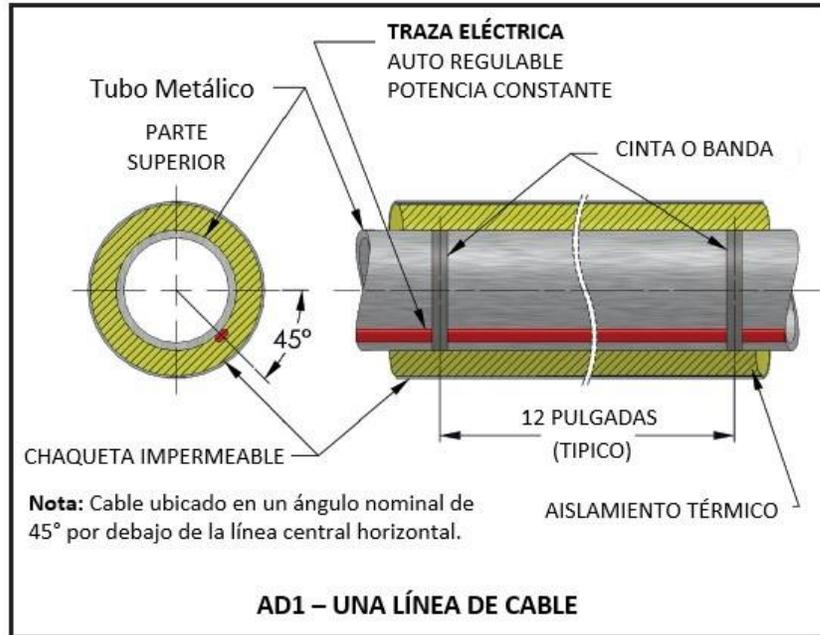


Figura 3-1: Detalle de instalación de una línea de cable.

En el caso de que la tubería necesite dos líneas de cable, estos se instalarán en paralelo, cada uno a 45° por debajo de la línea central horizontal de cada lado, como se muestra en la figura 3-2.

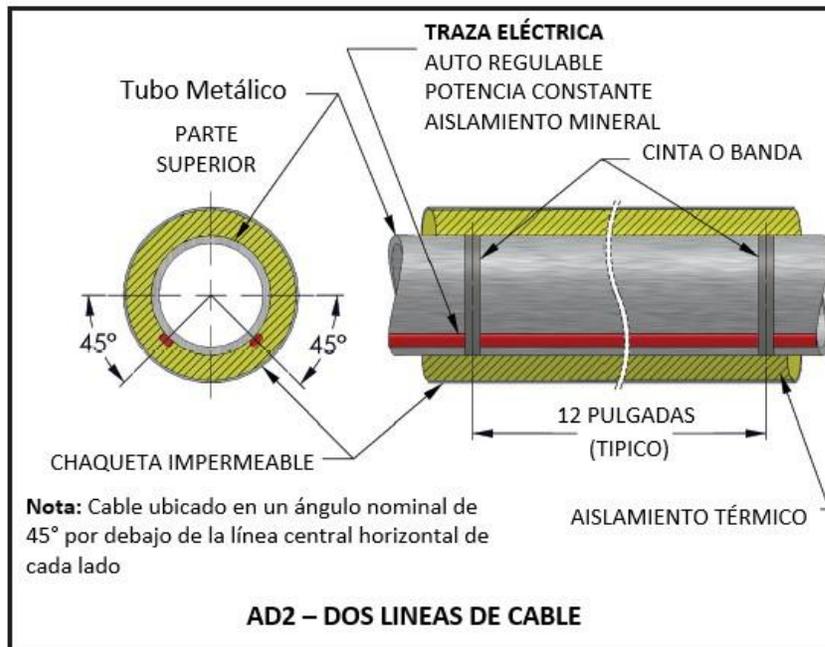


Figura 3-2: Detalle de instalación de dos líneas de cables.

Al momento de obtener como resultado del cálculo térmico, una potencia por metro mucho mayor que no logra cubrir el requerimiento necesario, se indica que su instalación debe ser en forma helicoidal o espiral logrando así suplir las pérdidas de calor a lo largo de la tubería. En la figura 3-3 se aprecia la forma de montaje cuando requiere ser en espiral.

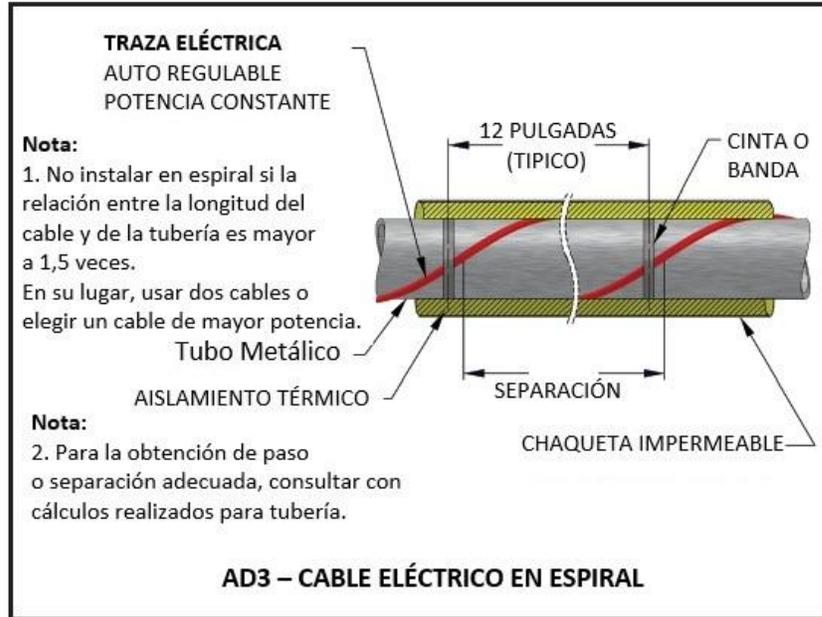


Figura 3-3: Detalle de instalación para cable en espiral.

En cada instalación de cinta calefactora se deben considerar tramos de 12 pulgadas (30 cm) para asegurar la cinta a la tubería por medio de la cinta autoadhesiva de fibra de vidrio hasta el final del recorrido.

En la figura 3-4 se muestra la instalación de la cinta aplicada a los codos que componen cada sistema de tuberías.

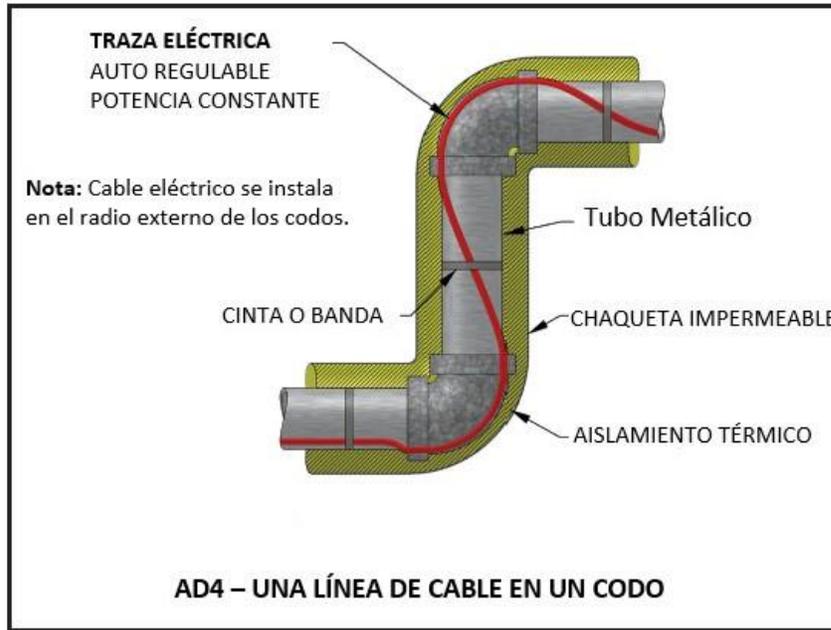


Figura 3-4: Detalle de instalación para cable en codos.

Deberá emplearse una longitud adecuada de cinta calefactora adicional para cubrir aquellos elementos que producen mayores pérdidas de calor, tales como válvulas, flanges, arranques, instrumentos, puntos de apoyo, uniones victaulic, soporte de cañerías, etc. Las cantidades de cinta extra para estos efectos estará de acuerdo a lo indicado en los planos típicos tomando en cuenta cada uno de los elementos.

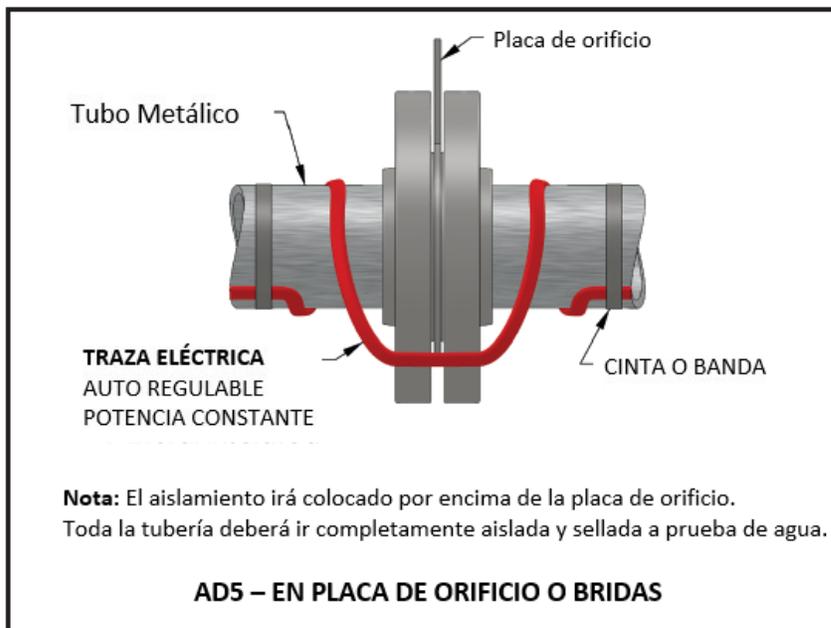


Figura 3-5: Detalle de instalación para Bridas.

La importancia de las bridas en la unión de tuberías, es que permite ser desmontado sin operaciones que causen daños destructivos a la tubería.

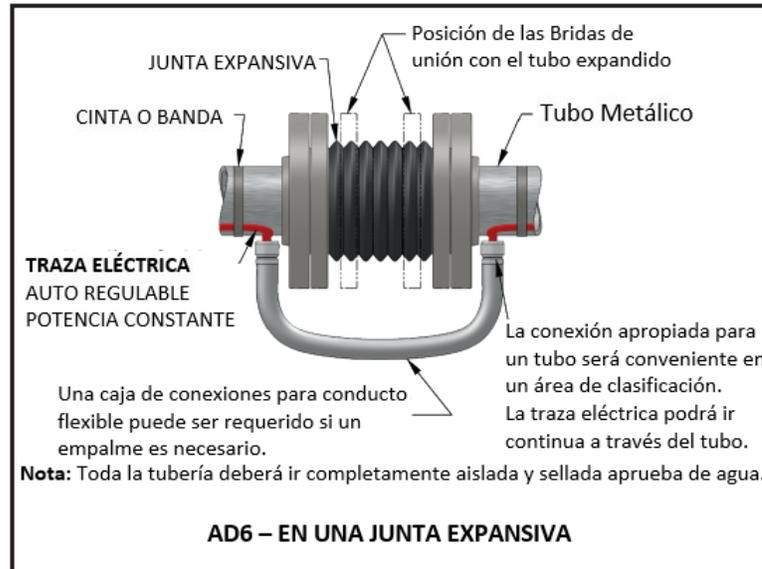


Figura 3-6: Detalle de instalación en una junta expansiva.

Las juntas de expansión reforzadas son elementos flexibles tubulares que se instalan en tuberías y/o equipos donde se producen movimientos mecánicos generados por la dilatación térmica y vibraciones producidas por fluidos a altas velocidades o por otras causas.

Los soportes de las tuberías, en su mayoría son de acero y por ende se roban calor de la tubería. Es por esto, que también se deberá contar con una longitud adicional para esos componentes.



Figura 3-7: Esquema en soporte de tubo soldado.

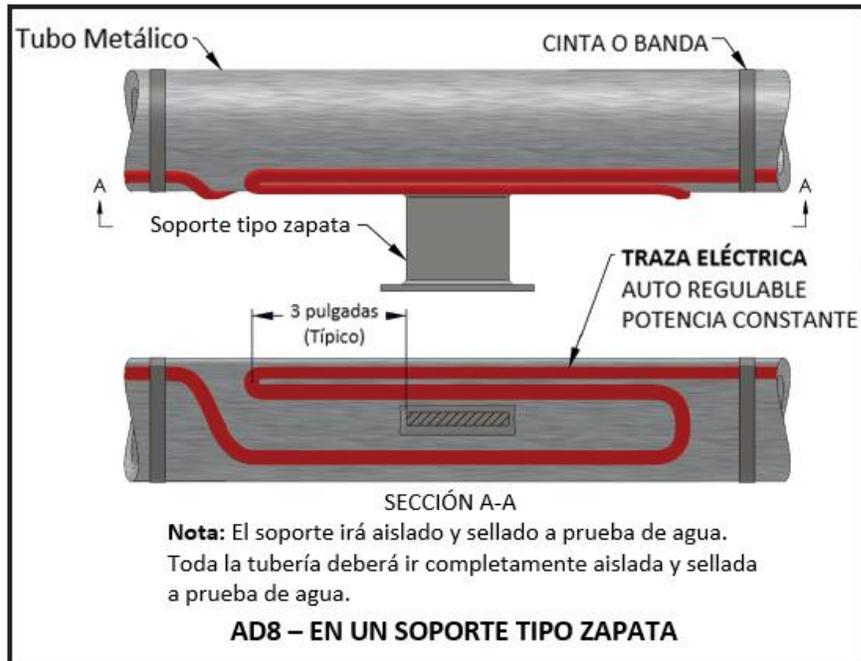


Figura 3-8: Esquema en soporte tipo zapata.

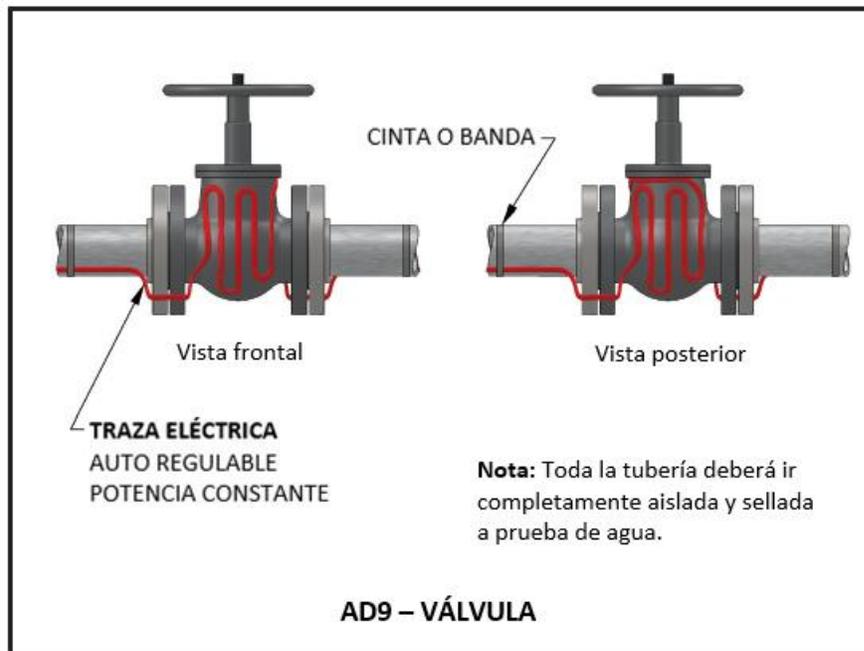


Figura 3-9: Esquema en válvula.

Las válvulas en cada sistema de tuberías permiten iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye el paso de los conductos. Por lo que se debe manejar la temperatura de este elemento para que éste no sufra congelamiento y pueda afectar el proceso de transporte de líquidos o gases.

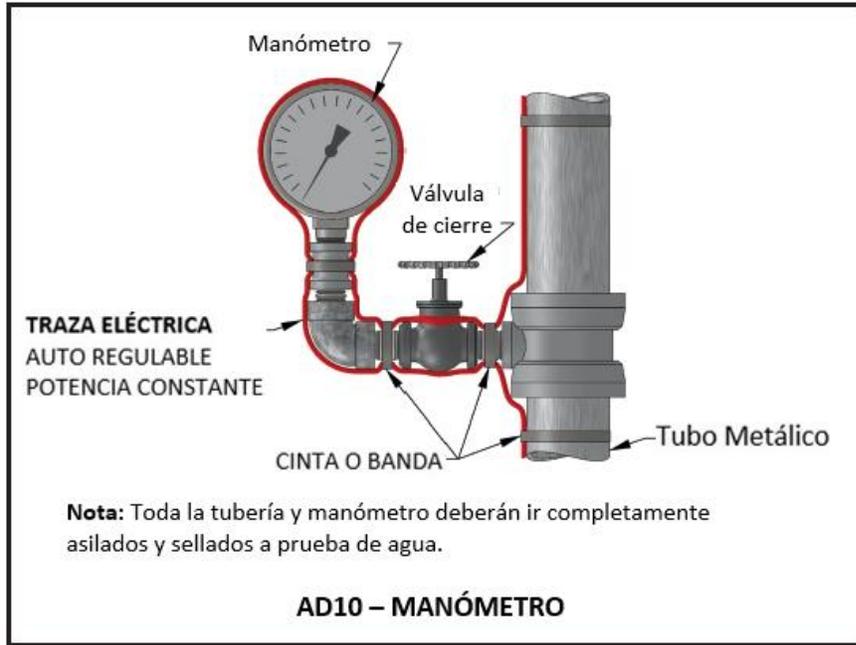


Figura 3-10: Esquema en un manómetro.

Mantener la temperatura deseada en el manómetro es esencial para que no sufra congelamiento y así poder medir de forma correcta la presión del líquido o gas transportado.

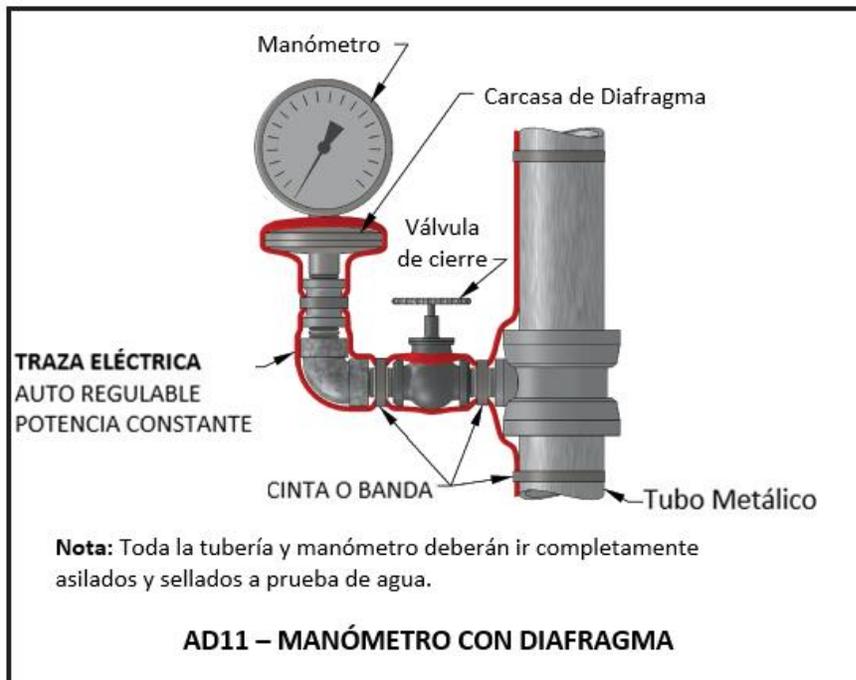


Figura 3-11: Esquema en un manómetro con diafragma.

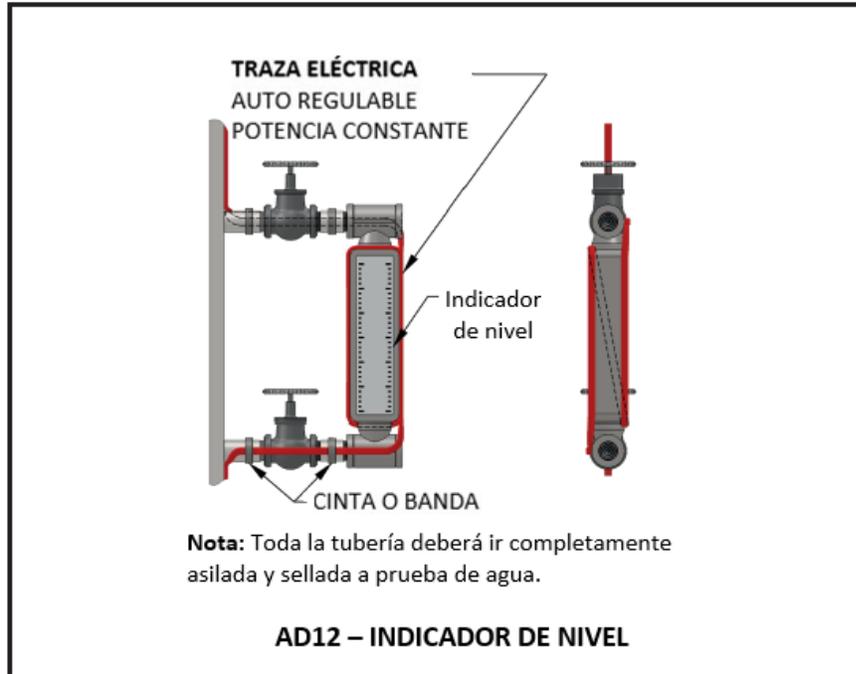


Figura 3-12: Esquema en un indicador de nivel.

### 3.3 Instalación de accesorios

Los accesorios para la instalación deben estar claramente identificados y deberán ser utilizados para los fines que estos están diseñados. Las instrucciones se deberán seguir de acuerdo a la aprobación correspondiente de los códigos y estándares internacionales (UL, FM, CSA, etc).

Estos accesorios, ya sean; cajas de conexión, cajas de derivación o empalme, fin de cinta, etc. Deben ser los apropiados cumpliendo los requerimientos de la clasificación del área. Y conectar todo equipo apropiadamente a tierra.

#### 3.3.1 Sello final

El accesorio de sello final RTES como se describió en el Capítulo 1, es clasificado como NEMA 4X, diseñado para terminar todas las cintas calefactoras. Este modelo proporciona una entrada impermeable para un cable, accesorio además anticorrosivo. Tiene dos diferentes superficies curvas de montaje. Un lado tiene una superficie curva con un radio de 1 ½ pulgadas (3,8 cm) que brinda un soporte estable a tuberías con un diámetro de 3 pulgadas (7,6 cm) o mayor. El otro lado tiene una superficie curva con un radio de ½ pulgada (1,27 cm), el cual permite un ajuste en tuberías menores. Este lado tiene además cuatro “patas” para la instalación sobre superficies planas.

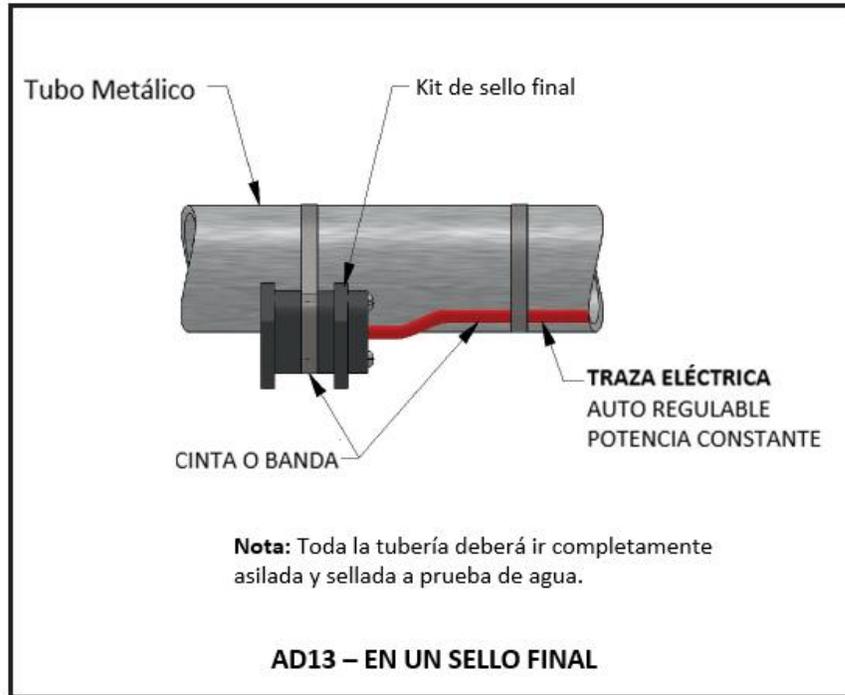


Figura 3-13: Esquema en un fin de cinta.

Los siguientes pasos nos indican la manera correcta de instalar:

- A. Usando alicate eléctrico, haga un corte perpendicular a través del cable, alrededor 4 pulgadas desde el último punto del módulo. Al cortar el cable entre los puntos de módulos (muesca en el cable) crea una corriente sin calor, como se muestra en la Figura 1-14.

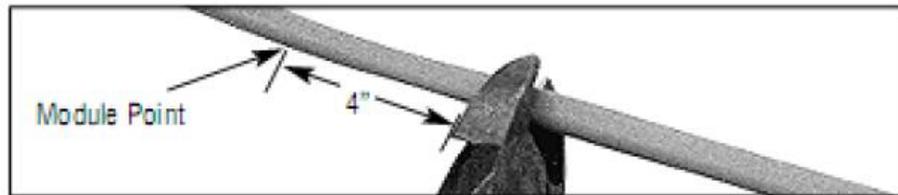


Figura 3-14: Corte con alicate.

- B. Deslizar el plato de presión y el grometo sobre el final del cable mostrado en la Figura 1-15. Como tiene diferentes superficies por lado, se instalará dependiendo de las medidas de la tubería, sobre 3 pulgadas o menos a 3 pulgadas.



Figura 3-15: Plato de presión y grometo.

- C. Cortar el forro exterior 1 pulgada desde el final del cable. Remueva el forro para exponer el trenzado, desenrollar y arreglar el trenzado con el forro exterior.



Figura 3-16: Corte de forro exterior.

- D. Usando el alicate, cortar el final la muesca en "V" entre los cables conductores.



Figura 3-17: Corte forma en V.

- E. Deslizar el plato de presión y el anillo hacia el final del cable dejando 5/8 pulgada (1,58 cm) del cable sobre el final del anillo como se muestra en la Figura 1-18.



Figura 3-18: Plato y anillo final.

- F. Deslizar el recipiente sobre el anillo. Usar un destornillador y conectar el plato de presión al recipiente.

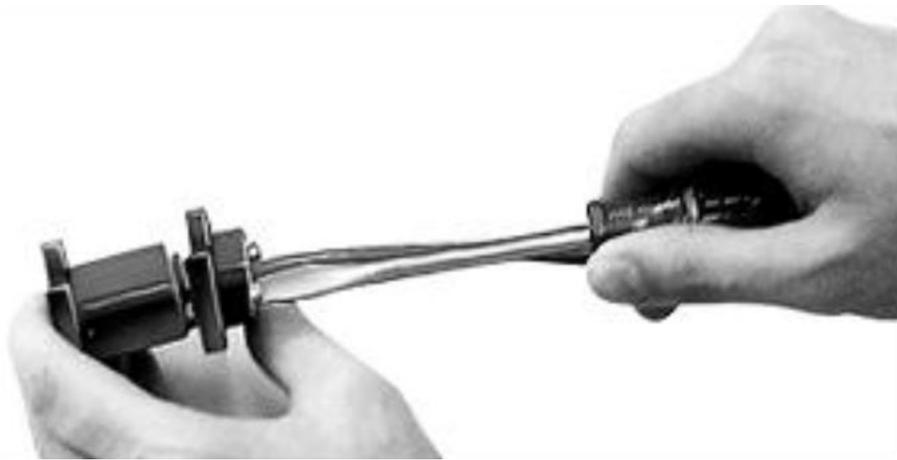


Figura 3-19: Plato de presión y tornillos.

- G. Usando la cinta de fibra reforzada, asegurar el ensamblaje a la tubería. Envolver la cinta alrededor del ensamblaje entre las patas.



Figura 3-20: Cinta para asegurar.

### 3.3.2 Caja de conexión de poder serie DL

La caja de conexiones RTPC se clasifica como NEMA 4X, la cual está diseñada para conectar todas las cintas calefactoras al cableado de alimentación eléctrica. Este juego proporciona una entrada impermeable que admite hasta tres cables, soporte de caja, regleta de conexiones y una caja impermeable y anticorrosiva con un orificio de  $\frac{3}{4}$  pulgada para roscar una prensa estopa. Necesitando abrazadera para fijar este modelo a la tubería.

A continuación, en la figura 3-21 se muestra el esquema de una caja de conexiones RTPC.

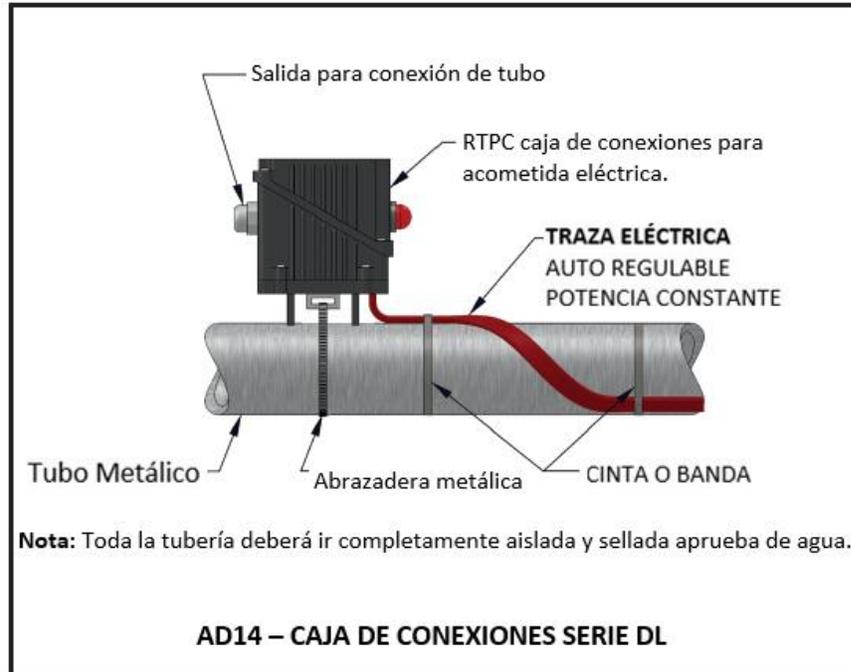


Figura 3-21: Esquema de caja de conexiones RTPC.

Los siguientes pasos dan detalle de su instalación:

- A. Cortar el cable a 12 pulgadas (30 cm) del último punto del módulo (muesca del cable).



Figura 3-22: Corte de cable.

- B. Empujar el trenzado hacia atrás, las 12 pulgadas descubiertas en el cable.



Figura 3-23: Distancia de trenzado.

- C. Insertar el extremo del cable a través del agujero apropiado en la base de la caja. Dejar 8 pulgadas (20 cm) de cable extendiéndose por encima de la parte superior de la base. Como se muestra en la figura 3-24.



Figura 3-24: Cable insertado en la base de la caja.

- D. Deslizar el anillo aislante del cable (gromet) sobre el extremo e insertarlo en la abertura de la base. Asegurar la base a la tubería pasando una abrazadera de sujeción apropiada a través de la ranura en la placa de soporte. Tensar la abrazadera hasta que la base quede bien fija a la tubería.



Figura 3-25: Fijación de placa de soporte.

- E. Cortar el forro exterior unas 7 pulgadas (18 cm) desde el final del cable y remover el forro para exponer el trenzado.

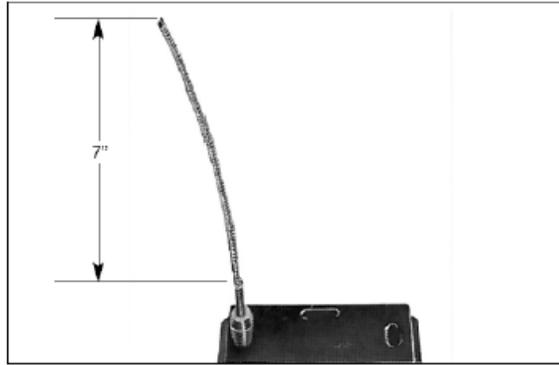


Figura 3-26: Trenzado descubierto.

- F. Presionar las perforaciones en el fondo de la caja para abrir y pasar la cinta calefactora a través de ellas. Tener en consideración abrir sólo las perforaciones que se utilizarán. Pero si por error se hace una perforación, se puede insertar un gromet para restablecer el sello hermético.



Figura 3-27: Perforaciones de la caja.

- G. Insertar la cinta calefactora a través de los orificios de la caja. Asegurar en la base usando los cuatro tornillos correspondientes.



Figura 3-28: Montaje de parte inferior de la caja.

- H. A partir del extremo del cable, desarmar 2 ½ pulgadas de la trenza. Retorcer las hebras para formar una coleta como se aprecia a continuación.

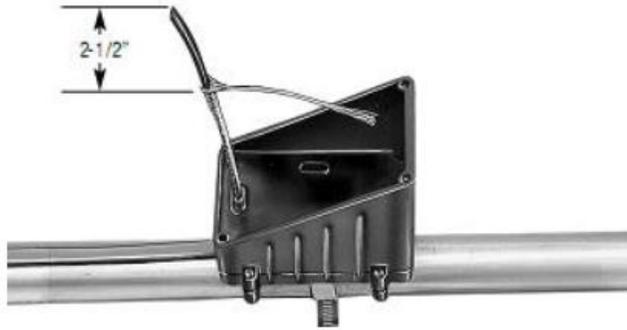


Figura 3-29: Desarme de trenza.

- I. Usar alicate y cortar una muesca a ¾ pulgada (2 cm) del término de los cables conductores. Descubrir 3/8 pulgadas (1 cm) de longitud de cada conductor, quitando el aislante exterior y el material de aislación negro del centro.



Figura 3-30: Corte de punta de cable.

- J. Insertar el extremo descubierto de los conductores en las aberturas de la regleta de conexión. Y apretar tornillos firmemente para sujetar los conductores en el lugar.



Figura 3-31: Conexión en regleta.

- K. Insertar el trenzado de la coleta en la abertura restante de la regleta de conexión. Y apretar los tornillos firmemente para sujetar en el lugar.



Figura 3-32: Trenzado inserto.

- L. Conectar la prensa estopa de  $\frac{3}{4}$  pulgada al centro de la caja y asegurar ya que se deben insertar los cables de alimentación a la cinta calefactora.
- M. Preparar despejando  $\frac{3}{8}$  pulgadas de los cables alimentadores e insertar en las correspondientes aberturas del otro lado de la regleta. Recordar el cable a tierra conectarlo con la trenza de metal.



Figura 3-33: Conexión de cables de alimentación.

- N. Montar la regleta de conexiones al fondo de la caja, usando el tornillo autorroscante de  $\frac{6}{32}$  pulgadas (0,5 cm) dentro del agujero de montaje.



Figura 3-34: Regleta acomodada.

- O. Finalmente, meter los cables dentro de la caja y asegurar la tapa de la caja.



Figura 3-35: Montaje de tapa superior.

### 3.3.3 Caja de empalme y derivación en T

La caja de empalme y derivación en T, también es una caja clasificada como NEMA 4X, diseñada para hacer empalmes rectos o en forma de T para la cinta calefactora. Proporciona una entrada de cables impermeables, soporte de caja, regleta de conexiones y una caja impermeable y anticorrosiva para el cableado. Necesitando nuevamente una abrazadera para fijar la caja a la tubería.

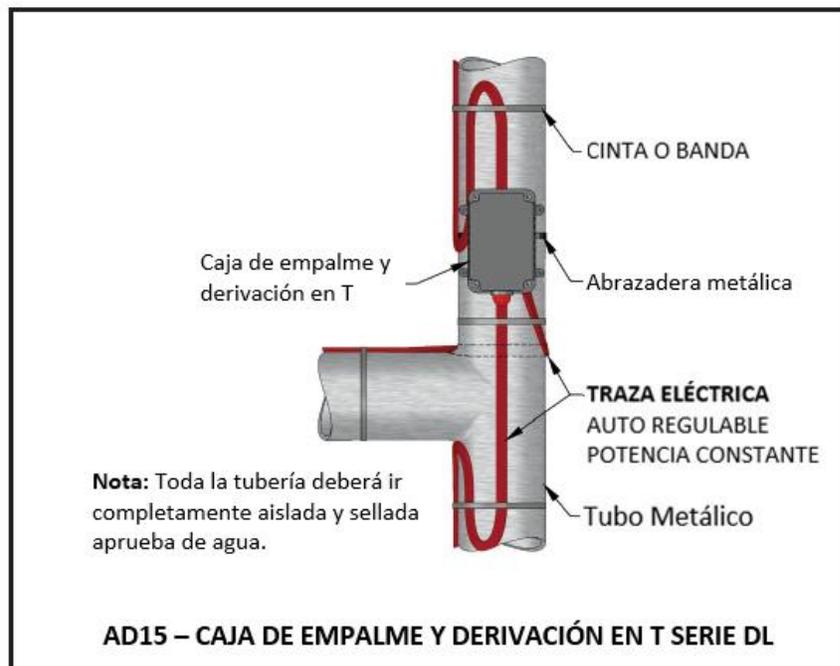


Figura 3-36: Esquema de empalme y derivación en T.

Los siguientes pasos dan detalle de su instalación:

- A. Insertar el cable a través del agujero apropiado en la base de la caja. Dejar 8 pulgadas (20 cm) de cable extendidos por encima de la parte superior de la base como apreciamos en la figura 3-37.

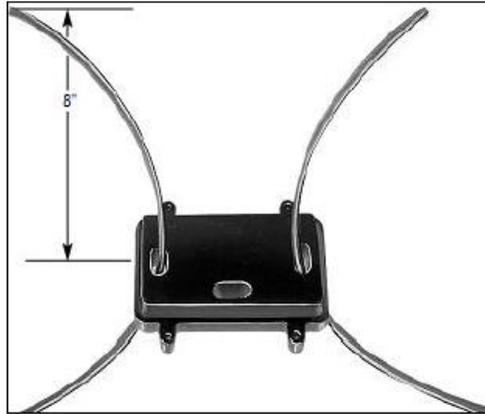


Figura 3-37: Cables insertados en la base de la caja.

- B. Deslizar los gromet sobre el final de los cables e insertarlos en las aberturas de la base. Con la abrazadera asegurar la base apretando firmemente a la tubería.



Figura 3-38: Base montada en tubería.

- C. Cortar la aislación exterior del cable alrededor de 7 pulgadas desde el final del cable. Remover la cobertura para exponer la trenza metálica.

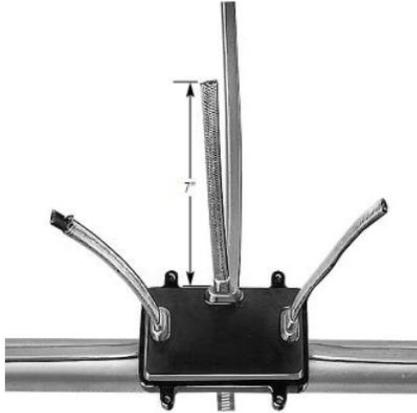


Figura 3-39: Trenza metálica descubierta.

- D. Abrir las perforaciones en el fondo de la caja las cuales corresponden a las aberturas donde pasa el cable calefactor.
- E. Insertar los cables a través de los orificios realizados en la caja y asegurar esta parte con 4 tornillos, como se muestra en la figura 3-40.

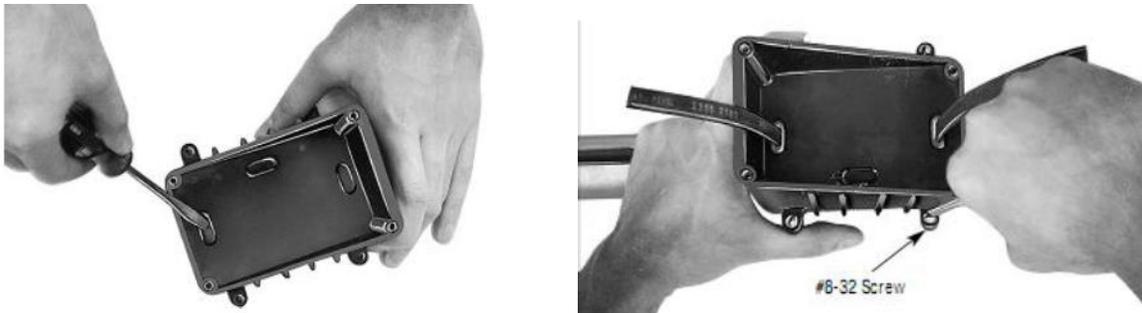


Figura 3-40: Perforaciones para pasar cable y montaje de base de la caja.

- F. En el extremo del cable, desarmar 2 ½ pulgadas de la trenza y reforzar las hebras para formar una coleta.

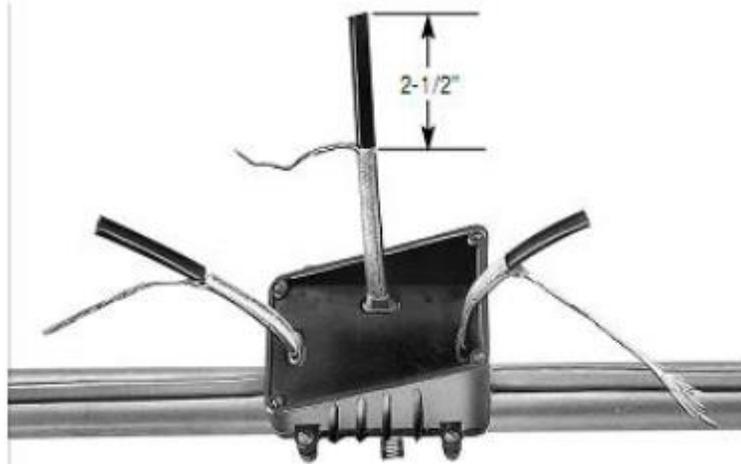


Figura 3-41: Refuerzo de hebras de conexión a tierra.

- G. Usar el alicate para realizar corte de muesca unos  $\frac{3}{4}$  pulgadas (2 cm) en cada cable conductor. Descubrir  $\frac{3}{8}$  pulgada de cada cable quitando el aislante exterior y el material de aislación negro del centro como se muestra en la figura 3-42.



Figura 3-42: Conductores descubiertos.

- H. Alinear y encintar dos cables juntos  $1\frac{1}{2}$  pulgada desde el final de los cables. Torcer los conductores correspondientes junto con la trenza. **Solo se aplica en empalmes triples.**

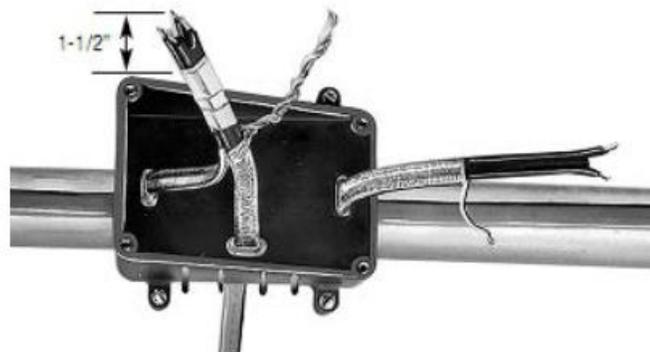


Figura 3-43: Empalme de tres cables conductores.

- I. Montar los terminales de los cables en las correspondientes aberturas de la regleta de conexiones y apretar los tornillos firmemente.
- J. Montar la regleta de conexiones en el fondo de la caja con tornillo correspondiente dentro del agujero como se aprecia en la figura 3-44.

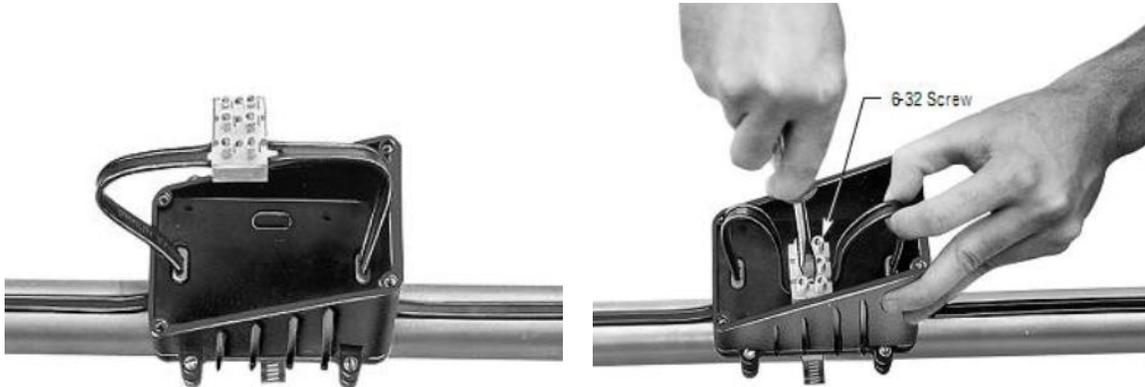


Figura 3-44: Montaje de regleta de conexiones.

- K. Asegurar la tapa de la caja de derivación.



Figura 3-45: Tapa de caja de derivación.

### 3.3.4 Caja con termostato bulbo y capilar 0° a 90°C

Al igual que la caja de conexiones RTPC, la caja con termostato también se clasifica como NEMA 4X, diseñada para sensar y controlar todas las cintas calefactoras al cableado de alimentación. El termostato está montado dentro de la caja y el capilar se saca a través de uno de los orificios que encuentra en el fondo de la caja. Este diseño protege de forma adicional el capilar, sobre todo cuando el control está montado en una tubería.

Los siguientes pasos dan detalle de su instalación:

- A. Insertar el cable a través del agujero apropiado en la base de la caja. Dejar 8 pulgadas (20 cm) de cable extendidos por encima de la parte superior de la base.

- B. Deslizar el anillo aislante del cable (gromet) sobre el extremo e insertarlo en la abertura de la base. Asegurar la base a la tubería pasando una abrazadera de sujeción apropiada a través de la ranura en la placa de soporte. Tensar la abrazadera hasta que la base quede bien fija a la tubería.
- C. Cortar el forro exterior unas 1 ½ pulgadas (4 cm) desde el final del cable y remover el forro para exponer el trenzado.
- D. Presionar las perforaciones en el fondo de la caja para abrir y pasar la cinta calefactora a través de ellas. Tener en consideración abrir sólo las perforaciones que se utilizarán. Pero si por error se hace una perforación, se puede insertar un gromet para restablecer el sello hermético.
- E. Insertar el capilar del termostato a través de las aberturas laterales y deslizar la arandela sobre el capilar entre la caja y la base como se muestra en la figura 3-46.

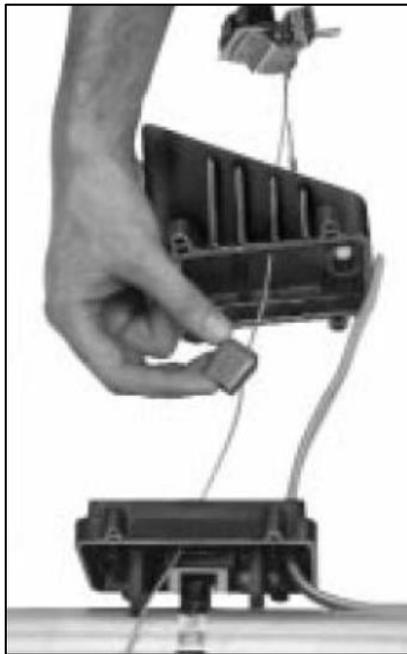


Figura 3-46: Traspaso de capilar del termostato por las perforaciones de la base.

- F. Insertar la cinta calefactora a través de los orificios de la caja. Asegurar en la base usando los cuatro tornillos correspondientes.
- G. A partir del extremo del cable, desarmar 1 ½ pulgadas de la trenza. Retorcer las hebras para formar una coleta como se aprecia a continuación.

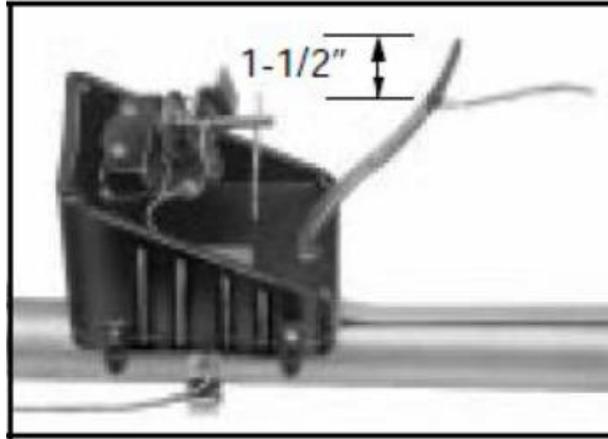


Figura 3-47: Desarme de trenza para conectar.

- H. Usar alicate y cortar una muesca a  $\frac{3}{4}$  pulgada (2 cm) del término de los cables conductores. Descubrir  $\frac{3}{8}$  pulgadas (1 cm) de longitud de cada conductor, quitando el aislante exterior y el material de aislación negro del centro.

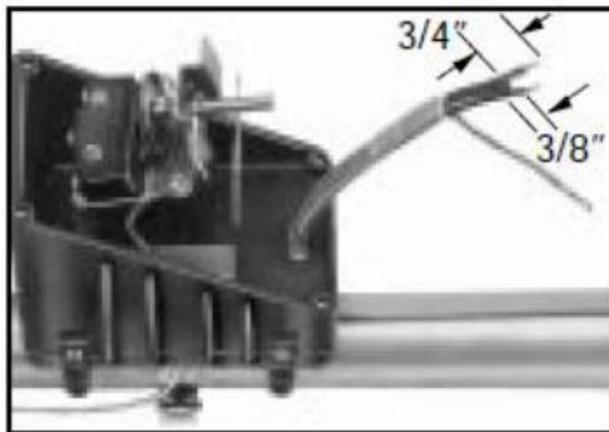


Figura 3-48: Cables conductores descubiertos.

- I. Insertar el extremo descubierto de los conductores en las aberturas de la regleta de conexión. Y apretar tornillos firmemente para sujetar los conductores en el lugar.
- J. Insertar el trenzado de la coleta en la abertura restante de la regleta de conexión. Y apretar los tornillos firmemente para sujetar en el lugar.

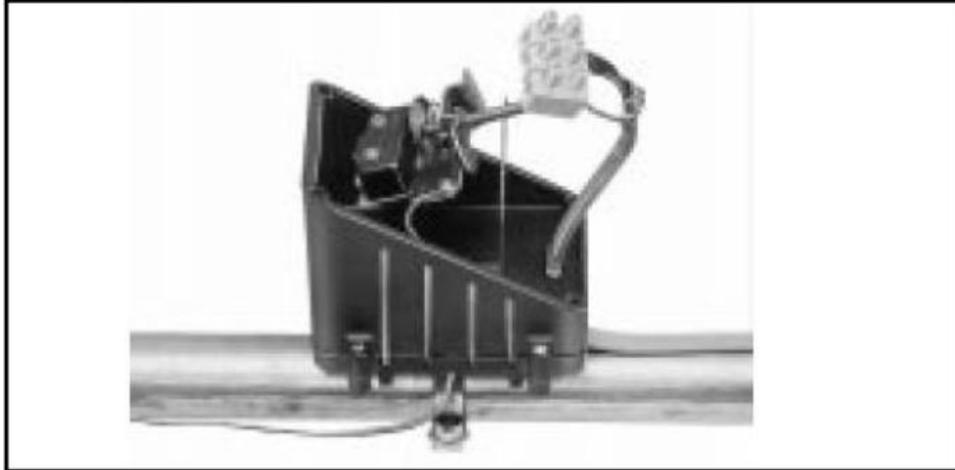


Figura 3-49: Fijación de cables y trenza en la regleta de conexiones.

- K. Retirar tornillo y el cuello desde el terminal normalmente cerrado del termostato e introducir el tornillo a través de la abertura del conector fijado al alambre asilado y atornillarlo al terminal, normalmente cerrado.
- L. Conectar y fijar la prensa estopa a la caja, luego introducir 8 pulgadas de cable en la caja de conexiones.

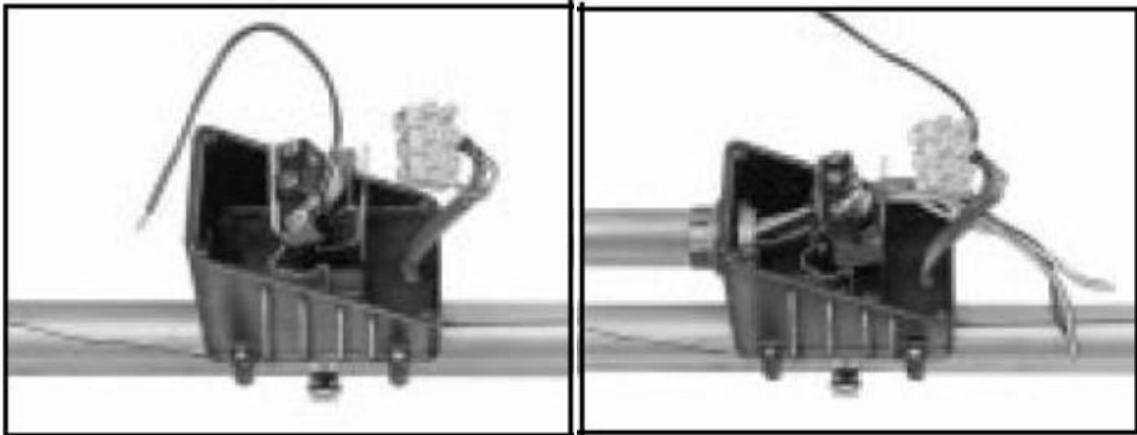


Figura 3-50: Montaje de prensa estopa.

- M. Retirar un largo de 3/8 pulgada de cada conductor de cable de fuerza.
- N. Enrollar el conector circular al extremo del conductor neutro. Retirar el tornillo y el cuello desde el terminal común y volver a atornillar.

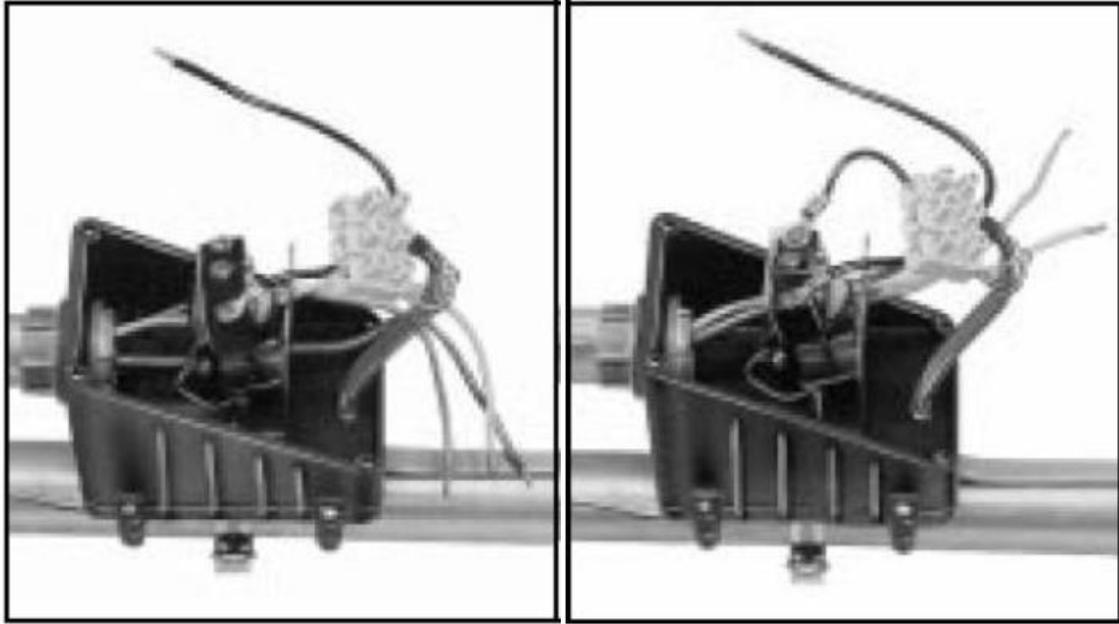


Figura 3-51: Conexión de cables en regleta junto al termostato.

- O. Insertar los terminales pelados del cable a tierra en la abertura de la regleta de conexiones que está en sentido contrario del trenzado de la cinta calefactora. Insertar los extremos del terminal neutro y el cable de 8 pulgadas de longitud en las aberturas disponibles de la regleta. Apretar los tornillos firmemente asegurando los conductores en su lugar.

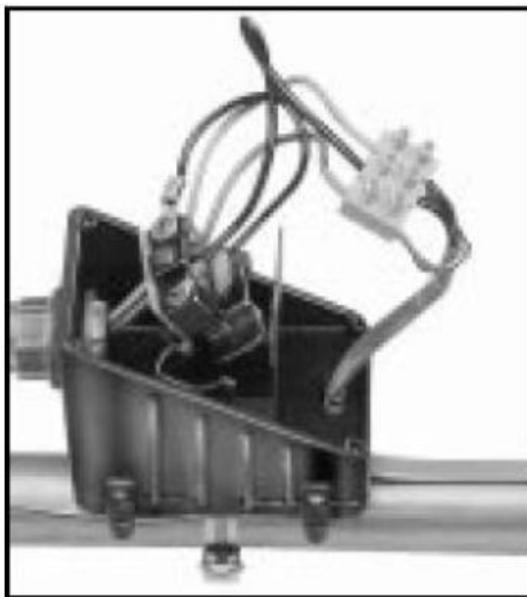


Figura 3-52: Conexión de cables de fuerza en la regleta.

- P. Armar la regleta de conexiones en la parte inferior de la caja instalando el tornillo autorroscante de 6/32 pulgada en el orificio indicado en la Figura 3-53.

- Q. Atornillar los tornillos en el exterior de las perforaciones de montaje del termostato, dejando aproximadamente 1/8 pulgada de hilo. Luego deslizar los tornillos en las ranuras del soporte de montaje y asegurar lo más posible el termostato a la base de la caja.

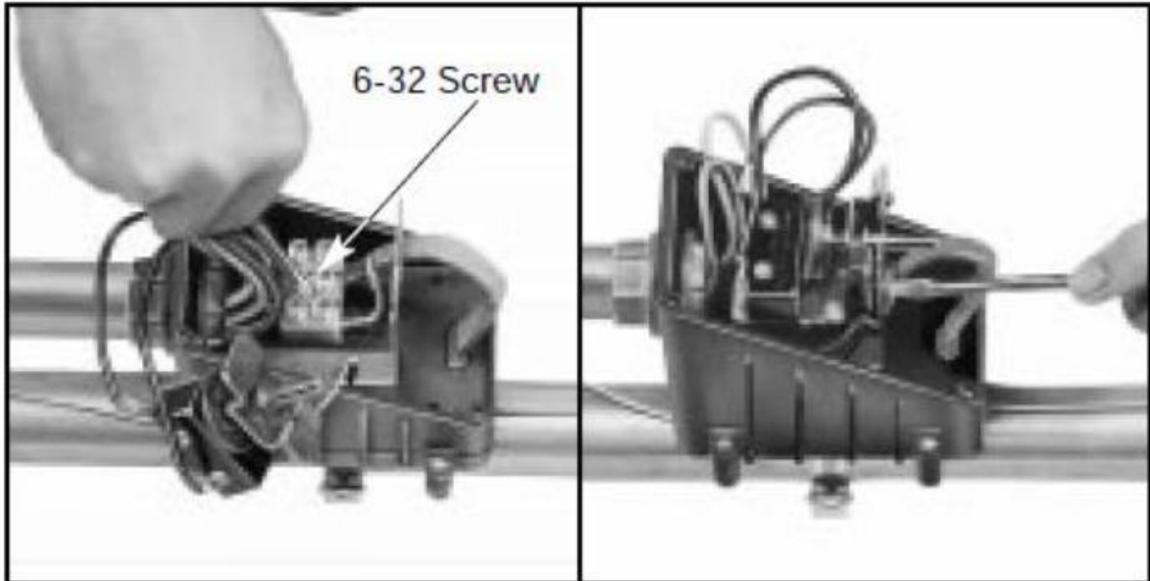


Figura 3-53: Fijación de regleta y termostato a la base de la caja.

- R. Ajustar el termostato a la temperatura deseada, moviendo la arandela central.  
S. Insertar los cables cuidadosamente en la caja y tapar instalando la tapa.

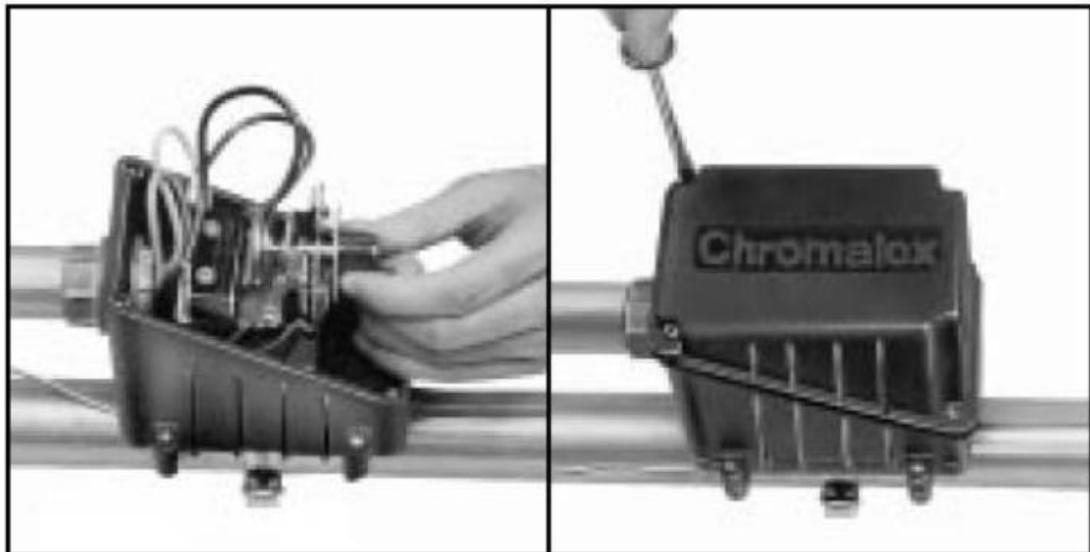


Figura 3-54: Ajuste de termostato y montaje de tapa final.

- T. Finalmente, extender el capital para permitir que el bulbo sea colocado en la ubicación deseada; con un máximo de 100 centímetros de largo. El bulbo se deberá instalar en la mitad inferior de la tubería, separada 90° desde la cinta calefactora más cercana.

La última consideración es que la caja con termostato soporta una corriente máxima permitida de 16 A, a una tensión de 220 V. Si se sobrepasa este rango, el termostato podría sufrir falla por sobreconsumo. [6]

### 3.3.5 Controlador de temperatura

En cada instalación de cintas calefactoras se hace necesario el control de temperatura, es por ello que el calor de la tubería debe estar regulada según los requerimientos de cada proceso. Este control será obtenido desde el tablero eléctrico de fuerza y control que se deberá instalaren cada sistema.

Si nos vemos sobrepasados o excedido de la capacidad de los contactos del termostato, se utilizará un contactor si esto sucediera. Y de igual importancia, el control de temperatura deberá ser montado en una posición donde no se exponga a golpes o a vibraciones excesivas. El sensor de temperatura utilizado deberá ser montado en la tubería de acuerdo al detalle especificado en la figura 3-55.

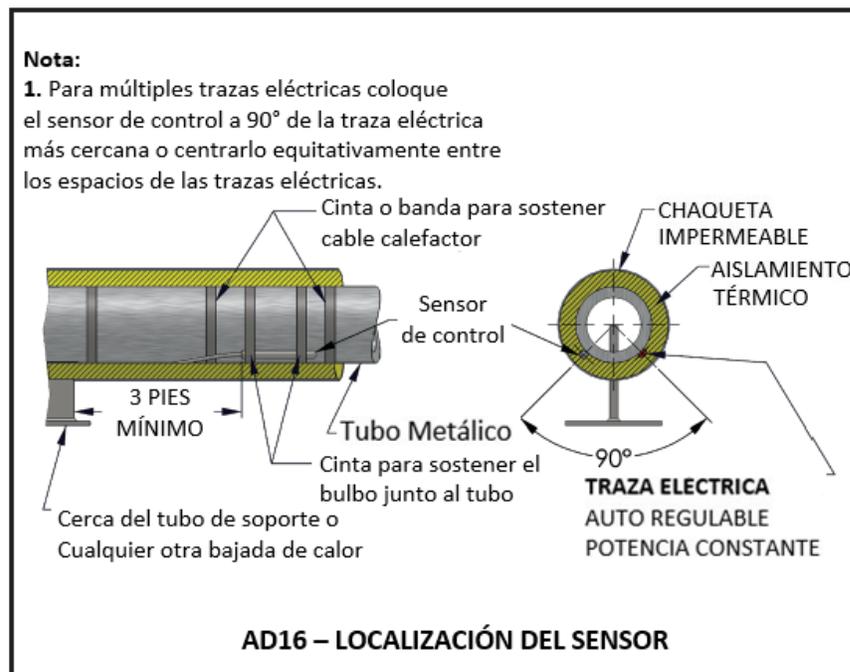


Figura 3-55: Esquema de localización de sensor.

La alimentación eléctrica y su respectivo control de temperatura se muestra esquematizado en la siguiente figura, donde se aprecia la conexión de cintas calefactoras, ya sea; solo con termostato o utilizando contactor para soportar más energía en el sistema.

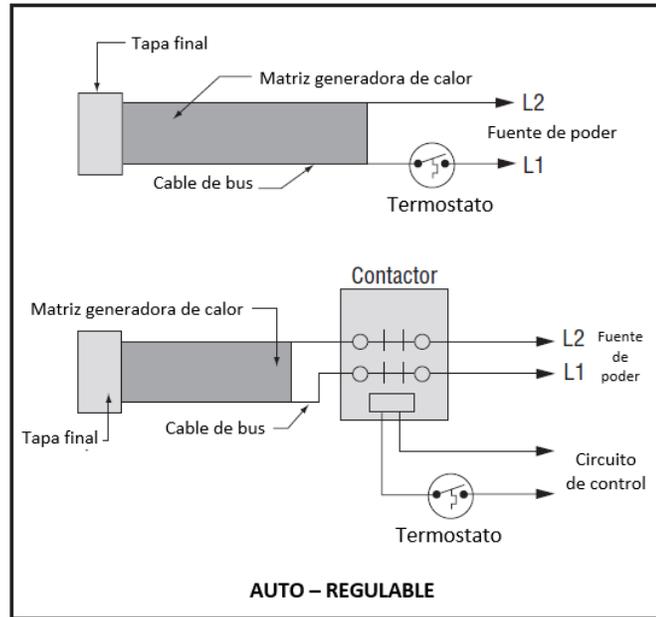


Figura 3-56: Esquema de conexión de control.

### 3.4 Comprobación de instalación

Una vez completadas las conexiones se deben comprobar inmediatamente los siguientes puntos:

- A. Inspeccionar visualmente la cinta calefactora y los controles de temperatura para verificar si sufren de algún posible daño mecánico. En caso de observar un daño, se definen dos opciones; la primera es reemplazar el cable completo, y la segunda es cortar la sección dañada y reemplazarla utilizando el empalme apropiado.
- B. Inspeccionar todas las conexiones, asegurándose que estén correctamente ensambladas. Todas las entradas a las cajas deben contener el sello de hule y su placa de compresión debidamente sellada.
- C. Verificar la resistencia de aislación del circuito, utilizando un megohmetro de 500 Vdc. Si obtenemos una resistencia menor a 10 MΩ, deberá ser quitada y reemplazada por una nueva.
- D. Verificar el voltaje en el extremo del circuito, corroborando que no existe deterioro en los cables de conexión.
- E. Instalar de inmediato el aislamiento térmico correspondiente, para proporcionar una protección a la cinta.

### 3.5 Aislación térmica

La instalación de cinta calefactora deberá ser técnicamente protegida para evitar algún daño de trabajo.

- A. Se deberá aislar la tubería tan pronto como sea posible después que la cinta calefactora se haya instalado.

- B. El material y espesor de la protección térmica será especificado en el diseño y los requerimientos del sistema. En el caso de instalarse otro material o espesor, el tipo de cinta y/o potencia pueden variar.
- C. Antes de toda aislación se debe verificar que la tubería y protección deberán estar secar, ya que un asilamiento húmedo puede causar problemas de arranque del sistema.
- D. Todos los lugares donde se encuentren válvulas, soporte de tuberías, caja de conexión, termostatos los cuales han sido instalados fuera de la chaqueta de protección deberán ser sellados con un compuesto adecuado para evitar entrada de humedad.
- E. Aislar las válvulas completamente incluyendo los flanges de soporte.
- F. Aislar completamente la cinta calefactora y las caras de todas las partes de los instrumentos de presión, excepto los diafragmas.
- G. En el caso de utilizar una chaqueta metálica atornillada, se debe asegurar que los tornillos o remaches no posean el largo suficiente para penetrar la protección térmica y dañar la cinta calefactora.
- H. Nuevamente realizar la medición de resistencia de aislamiento del circuito para verificar si la cinta ha sufrido algún daño.
- I. Finalmente instalar las Etiquetas de Precaución en la parte exterior de la protección térmica. Deberán ser visibles a todo operador del sistema. Generalmente instalada cada 3 metros.

### **3.6 Pruebas para puesta en servicio y mantenimiento**

Las pruebas para poner en marcha el sistema están especificadas a continuación:

- A. Nuevamente se deberá llevar a cabo la inspección visual de la tubería aislada y todas las conexiones de la cinta calefactora para asegurar que no existan daños físicos.
- B. Medir con un megohmetro el sistema para verificar algún daño que no sea visible.
- C. Poner en “apagado” el switch de alimentación de corriente (breakers) en el Tablero de Fuerza y Control.
- D. Permitir al sistema “correr” en forma ordenada por 4 horas hasta que la temperatura de la tubería se estabilice.
- E. Medir la corriente y la temperatura existente en las tuberías para cada circuito.
- F. Cuando el sistema esté perfectamente verificado, ajustar nuevamente el controlador de temperatura hasta la temperatura de diseño y/o control que necesitará cada proceso.

Se definen los siguientes pasos para el mantenimiento del sistema:

- A. El mantenimiento recomendado para un sistema de cintas calefactoras consiste en verificar los pasos indicados en pruebas para puesta en servicio.
- B. Para aquellos sistemas controlados por termostatos análogos. Este proyecto recomienda verificar el sistema por lo menos dos veces al año.
- C. Repare o reemplace la cinta calefactora dañada, conexiones y accesorios, utilizando únicamente conexiones y métodos definidos en este proyecto.
- D. Verifique todas las reparaciones y las medidas tomadas en el sistema y regístrelas en una bitácora de mantenimiento.

## **4 Tablero de fuerza y control para cintas calefactoras eléctricas**

El siguiente capítulo contiene las especificaciones técnicas que cubre los requerimientos generales de diseño, fabricación y manejo de los tableros de fuerza y control utilizados para la protección de los circuitos contra congelamiento de tuberías y equipos en las industrias.

Otra parte importante para destacar en este capítulo, es dar a conocer lo principal del tablero eléctrico en cuanto a su operación, mantención y otras áreas relevantes que contribuyen a su diseño, como la instalación de sensores que se encargan de enviar las señales a nuestro tablero para el sistema de calefacción mediante cintas calefactoras eléctricas.

### **4.1 Tablero eléctrico de fuerza y control**

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, protección, señalización y medición, para la realización de una tarea específica dentro de un sistema eléctrico. Para este caso en específico, un tablero de sistema heat tracing permite controlar la temperatura de manera eficiente de acuerdo a las necesidades de cada cliente, proteger del congelamiento los equipos y cañerías que son instaladas en industrias que comparten con climas extremos en zonas con mucha altura geográfica, además, se agrega la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, medir las corrientes, voltajes y la operación rápida de la parada de emergencia.

La fabricación o ensamblaje de un tablero de fuerza y control para un sistema heat tracing, es importante cumplir con criterios de diseño y normativas existentes vigentes, que permiten su funcionamiento correcto una vez energizado, para poder garantizar la seguridad de los operarios y de las instalaciones y equipos en los cuales se encuentran ubicados.

### **4.2 Estándares aplicables**

Las normas y estándares que se exigen tanto para el diseño, fabricación, pruebas, instalación, funcionamiento y especificación de los equipos, corresponden a las actuales ediciones vigentes de las siguientes instituciones:

### 4.2.1 Estándares Internacionales

- NEMA: National Electrical Manufacturers Association.
  - PB 1 Panelboards
  - AB 3 Molded Case Circuit Breakers and Their Application
  - 250 Enclosures for Electrical Equipment (1000 V maximum)
- ANSI: American National Standards Institute.
- UL: Underwriters Laboratories.
  - 50 Enclosures for Electrical Equipment, Non-Environmental Considerations
  - 67 Standard for Panelboards
  - 489 Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit Breakers Enclosures
  - 1066 Standard for Low-Voltage AC and DC Power Circuit Breakers Used in Enclosures
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
  - IEEE Standard for General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers
  - C37.13 Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures.
  - C37.2 Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms and Contact Designations.
- NEC: National Electrical Code.
- ASTM: American Society for Testing Materials.
- NFPA: National Fire Protection Association.
- IPCEA: Insulated Power Cable Engineers Association.
- ISA: Instrument Society of America.
- DIN: Deutsches Institut für Normung.
- ISO: International Organization for Standardization.
- IEC: International Electrotechnical Commission.
  - IEC 60439 Low-Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies
  - IEC 60076-11 (2004-05) Power Transformers Part 11 Dry-Type Transformers

### 4.2.2 Normas Nacionales

- INN Instituto Nacional de Normalización.
- NCh Elec 4/2003 Instalaciones de Consumo en Baja Tensión.

## 4.3 Condiciones de instalación

### 4.3.1 Condiciones ambientales

Los tableros eléctricos de fuerza y control son diseñados para operar en condiciones ambientales extremas, soportando temperaturas de hasta -40°C en industrias ubicadas a más de 3000 m.s.n.m., por lo tanto, cumplir con las normas y estándares aplicados es de plena importancia para el procedimiento.

### **4.3.2 Condiciones sísmicas**

Los tableros deberán soportar condiciones sísmicas en caso de ocurrir estos los cuales se deben detallar respecto al área geográfica de la industria, manteniendo su capacidad de funcionar y operar normalmente durante eventuales sismos, sin mostrar deformaciones permanentes o incluso falla producto de los esfuerzos mecánicos provocados. Por lo que, anclajes y fundaciones asegurar su fijación bajo estas condiciones.

### **4.3.3 Condición del sistema eléctrico de conexión**

Las características del sistema eléctrico a la que se conectan los tableros de fuerza, se deben indicar en hojas de datos respectivas de cada proyecto de la industria o faena. Tomando en cuenta niveles de tensión y potencia instalada en nuestro circuito.

## **4.4 Requerimientos técnicos**

### **4.4.1 Aspectos generales**

Los tableros de distribución están diseñados, construidos y probados de acuerdo a la última edición de las normas y estándares señalados en la sección 1.2 de este capítulo. En particular referirse al estándar NEMA PB 1-2011 Panelboards, que se encarga de normalizar la instalación asegurándose que los materiales utilizados son los correctos para cada tablero; contra altas temperaturas, protección de corrosivos, polvos, vapores, goteo, etc.

Los gabinetes, componentes y materiales suministrados deben ser nuevos, de tipo industrial, de calidades óptimas y adecuadas para servicio pesado, que cumplen o sobrepasan los requerimientos de esta especificación, y así lograr ser aptos para operar en forma continua las 24 horas del día todos los días del año. Estos deben incorporar en su interior un diagrama unilineal y cuadro de cargas en material irrompible, en donde se indican los consumos respectivos de cada circuito.

### **4.4.2 Aspectos técnicos**

Un tablero de fuerza y control para sistemas heat tracing están compuestos principalmente por un gabinete equipado con puerta, placa base de fijación del equipo, puerta cubre-equipos, equipos de control de temperatura digital, interruptores automáticos termomagnéticos trifásicos y monofásicos, contactores, relés de control, bornes de fuerza, bornes de control, barra de fase, barra de neutro, barra de puesta a tierra, cableado interno y luces piloto para indicación de presencia de tensión.

### **4.4.3 Aspectos constructivos**

#### **1.- Materiales**

Todos los materiales empleados en la construcción y ensamblaje de los tableros deben estar libres de elementos halógenos, ser resistentes al fuego, autoextinguentes, no higroscópicos, resistentes a la corrosión o estar adecuadamente protegidos contra ella.

## **2.- Caja o Gabinete**

Cada caja tablero eléctrico es prefabricados y construidos por fábricas de reconocido prestigio en el área industrial. Se especifica que el gabinete del tablero debe ser metálico, fabricados con perfiles y planchas de acero de 2,0 mm de espesor como mínimo, plegadas y soldadas formando un conjunto rígido con terminaciones sin bordes cortantes. El gabinete será del tipo auto soportado para montaje a piso o a muro, según las especificaciones de terreno y del cliente.

El grado de protección del gabinete se exige como mínimo, NEMA 12 para instalación interior sala eléctrica que protege contra caída de suciedad, acumulación de polvo del ambiente, así como contra goteo de líquidos no corrosivos y NEMA 4 para una instalación exterior especialmente para proteger del viento y la lluvia; además contra daños ocasionados por la formación del hielo exterior sobre el gabinete.

Los tableros se dimensionan considerando espacios interiores accesibles de forma que el cableado interno se efectúe mediante canaletas que permitan el paso fácil y seguro de los conductores. Esta dimensión nos permite una operación cómoda de los dispositivos que requieran accionamiento.

Debe quedar un espacio suficiente entre las paredes y las canaletas; al menos 30 mm. De forma que permita un fácil mantenimiento a futuro. También se considera como mínimo de 20% de espacios libre para futuras ampliaciones que pueden sufrir los tableros.

## **3.- Puerta**

La puerta del tablero debe ser abisagrada, fabricada en plancha de acero de 2,0 mm de espesor como mínimo, completamente plana y sin ondulaciones, provista de chapa monedero y empaquetadura de neopreno, lo que garantiza el grado de protección requerido. También se debe incluir en la puerta una aldaba portacandado.

## **4.- Placa base**

La placa base es metálica y lisa, lo que la hace removible y adecuada para montar sobre ella todos los elementos, equipos eléctricos y accesorios necesarios que sean utilizados dentro del tablero.

## **5.- Puerta cubre equipos**

Tras la puerta, se exige una cubierta cubre-equipos fijada al tablero mediante bisagras en posición vertical fabricada en plancha de acero, también de 2,0 mm de espesor, incluyendo chapa monedero.

La puerta cubre-equipos queda a la vista al abrir la puerta frontal del tablero y sobresalen mediante ranuras solamente los equipos que requieren ser operados, ya sea, interruptores,

switches y elementos de control, los cuales deben estar claramente identificados mediante una placa de acrílico negro y letras blancas de 4,5 cm x 2,0 cm de tamaño, grabadas con las identificaciones de los circuitos o la que corresponda según se especifique en los respectivos diagramas unilineales.

#### **6.- Ingreso de cableado**

El ingreso de los cables debe ser por debajo del gabinete, por lo cual se tendrá que disponer de terminales tipo presas para flexible metálico de 3/4" ya instalados en el respectivo tablero. Se deja un espacio suficiente para ejecutar con comodidad la entrada y salida de cables.

#### **7.- Soporte de sujeción de las barras**

Son de material aislante, incombustible y resistente a la humedad. Están debidamente calculados para resistir los esfuerzos mecánicos provocados por cortocircuitos que pueda sufrir el tablero, sin deformaciones permanentes de ningún tipo. La clase de aislación es de 0,6 kV como mínimo.

#### **8.- Tratamientos de planchas y pinturas**

Todos las partes y componentes del tablero, ya sea, estructura, cubiertas, placas, tapas y soportes que pasan por el proceso de corte, estampado, plegado, soldadura y pulido, son sometidos a tratamientos de granallado metálico fino a metal blanco, donde luego se aplica un decapado químico y limpieza por aspiración de polvos finos.

Inmediatamente de efectuado el granallado, se aplican capas antióxido y de esmalte, según el procedimiento de la empresa que fabrica, donde se cumplen las normas y procedimientos aplicados a tableros eléctricos.

### **4.5 Características eléctricas**

#### **1.- Barras**

Las barras conductoras son fabricadas en cobre de alta conductividad y de sección transversal rectangular y aristas redondeadas. Las capacidades de corriente de las barras están en concordancia con los datos respectivos del proyecto y con la Tabla 6.4 Capacidad de Corrientes para Barras de Cobre de Sección Rectangular, Corriente Permanente en Ampares, de la Normativa Chilena NCh 4/2003. Estas se identifican de acuerdo al código de colores dispuestos por la misma normativa.

- Para la fase: Negro, Azul y Rojo.
- Para el neutro: Blanco.
- Para la tierra: Verde.
- Para polo positivo (Vcc +): Rojo.
- Para polo negativo (Vcc -): Azul.

Soportan la corriente nominal y los esfuerzos mecánicos debido a corrientes de cortocircuitos que pueda presentar el sistema que son debidamente especificadas en el proyecto. Las barras de fases, neutro, polo positivo y polo negativo están cubiertas por una barrera plástica transparente marcada con una indicación de peligro.

Los tableros son previstos con una barra de cobre para conexión a tierra, de características similares a las indicadas anteriormente, provistas con terminales adecuados para cables de conexión a tierra de calibres #2/0 AWG a #4/0 AWG y se conecta al chasis del tablero.

## **2.- Barras de distribución**

El sistema de barras de distribución considera 3 barras de cobre principales ubicadas de forma horizontal desde donde se deriva, mediante cables, a cada uno de los interruptores de salida.

## **3.- Transformador para instrumentación**

El transformador para instrumentación corresponde a uno monofásico, tipo seco, autoventilado con enrollados de cobre, voltaje nominal primario 231 V y 380 V según corresponda, y voltaje nominal secundario de 120 V y potencia de acuerdo a los equipos que serán instalados en el tablero. Este transformador de monta en el interior del gabinete del tablero.

## **4.- Interruptores**

Todos los interruptores que sean sobre 50 A, serán del tipo caja moldeada para montaje fijo, clase 600 V, 50 Hz, con mecanismo de disparo termomagnético y capacidad de ruptura según se especificaciones del proyecto y Diagramas Unilineales. Para valores bajo 50 A se instalarán interruptores termomagnéticos bipolares con corte de neutro.

Los interruptores cuentan con capacidad de maniobra a carga nominal mayor que 20.000 operaciones, disponen de un mecanismo de operación rápido, de manera que los contactos de los polos cierren o abran simultáneamente de la palanca de cierre y apertura. Todos estos interruptores instalados en el tablero eléctrico incluyen dispositivo de bloqueo, que permite la instalación de un candado o similar.

## **5.- Contactores**

Los contactares utilizados son adecuados especialmente para servicio pesado, con categoría AC-1, según norma IEC 60947-1, aplicada para protecciones eléctricas. La capacidad de corriente debe ser la adecuada al consumo alimentado en el circuito.

La bobina de los contactores concuerda para el voltaje de control de 120 V, según se debe indicar en los respectivos Diagramas Unilineales de cada tablero.

## **6.- Luces indicadoras de presencia de tensión**

Sobre la puerta de los tableros de distribución, en la parte superior de éste se ubican montadas luces indicadoras de presencia de tensión; las luces piloto son de 120 V, color rojo, con

transformador integrado, para los tableros que no poseen neutro, se considera una luz piloto por fase energizada, conectadas aguas abajo del interruptor principal. Para la protección de las luces se deben considerar bases porta-fusibles modulares, seccionables, de material auto-extinguible para fusibles cilíndricos con certificación UL, del tipo cartucho y de tecnología led.

### **7.- Conexión interno**

El alambreado interno de los tableros debe estar marcado de acuerdo al código de colores exigidos por la Normativa Chilena, además se marca cada conductor en ambos extremos con marcas termocontraíbles de alta calidad.

- Colores de los cables en un tablero de fuerza
  - Fase 1, A o R: Azul.
  - Fase 2, B o S: Negro.
  - Fase 3, C o T: Rojo.
  - Neutro: Blanco.
  - Tierra: Verde.
- Colores de cables internos al gabinete
  - Fase 120 Vac: Negro.
  - Neutro 120 Vac: Blanco.
  - Tierra: Verde.
  - +24 Vdc: Rojo.
  - 0 Vdc: Azul.

En general, los tableros de fuerza y control para sistemas de cintas calefactoras de contener propiedad de seguridad para proteger en especial a los operarios, se exige estándares y normativas para soportar todo tipo de eventos a su alrededor, en especial soportando temperaturas elevadas, normal de 90°C, máxima sobrecarga emergencia de 130°C y máxima cortocircuito de 250°C.

Los circuitos externos se conectan a una regleta de conexión con bornes apilables aptos para recibir la sección transversal de los cables requeridos, y con capacidad de acuerdo al interruptor del circuito correspondiente.

Para la conexión de los conductores, tanto en los bornes apilables, como en los terminales de conexión de los componentes, se usan terminales de compresión aislados, del tipo adecuado a cada prensa, anillo u horquilla, de las dimensiones que corresponde a la sección transversal del conductor y al diámetro del perno de apriete, por lo que no se acepta que no posean terminales de compresión aislados para todo tipo de seguridad.

Los tableros incluyen regletas de terminales de capacidad adecuada al circuito respectivo, donde cada circuito queda alambreado a una regleta. También se dispone en su diseño un espacio para incorporar regletas para un crecimiento futuro.

### 8.- Placas de identificación

Deben ser ubicadas en todos los dispositivos instalados en la parte de las puertas de los tableros, se incluye una leyenda indicada para cada uno de los interruptores representados en un diagrama unilineal, las placas deben ser de plástico blanco grabado con letras negras.

La placa de identificación del tablero debe tener 100 x 30 mm y un tamaño de letras grabadas de 45 x 20 mm, con el número del circuito y la leyenda correspondiente según los cuadros de carga del proyecto. En caso de tener “Reserva” o “Libre”, se incluye una placa en blanco si grabar.

### 9.- Señalética de seguridad

Para la indicación de advertencia de peligro por presencia de tensión y corriente, se considera una placa con letras blancas en fondo rojo, como se muestra en la figura 4-1.

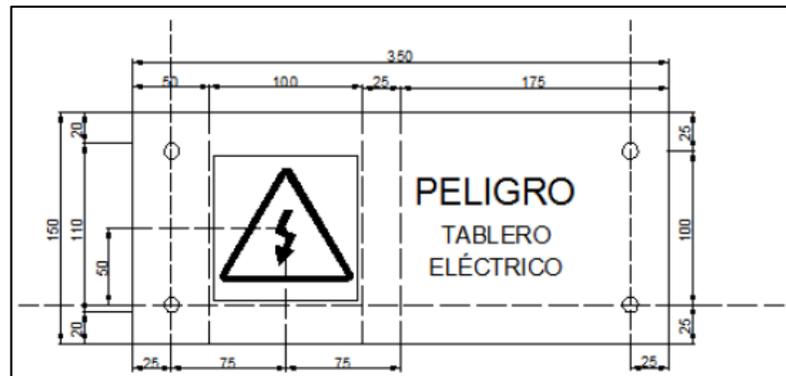


Figura 4-1: Señalética de seguridad de tablero eléctrico.

## 4.6 Pruebas

Las pruebas consideradas para el suministro de los equipos utilizados en estos tableros son aquellas específicas en los estándares considerados para su fabricación. En particular para las pruebas en fábrica de los tableros se considera el estándar NEMA PB 1-2011 Panelboards.

El fabricante debe ejecutar, a lo menos, las siguientes pruebas emitiendo los protocolos correspondientes.

- Verificación visual de los tableros, comprobar calidad de fabricación, dimensiones y pintura.
- Verificación de la composición de cada tablero, en concordancia con las especificaciones técnicas y planos correspondientes.
- Pruebas de aislamiento o dieléctricas.
- Revisión de alambrado y continuidad.
- Pruebas de control.
- Verificación de operación correcta de todos los componentes (interruptores, diferenciales, dispositivos de medida y señalización) y elementos de control.

## 4.7 Instalación de tablero eléctrico

Para comenzar una instalación, en primer lugar, se desembala y verifica que se encuentre en perfecto estado el tablero. Se fija en un lugar firme y seguro. Se alimenta el tablero con 380 Vac trifásico R-S-T más neutro y tierra, o con 220 Vac fase-neutro y tierra según corresponda. Y se realiza el interconexión entre el tablero y las cintas calefactoras utilizadas para la protección contra congelamiento según corresponda el proyecto.

La PT-100 debe ser instalada en un punto de medición de temperatura tomado como referencia, puede ser el punto más cercano al tablero desde la cañería a calefaccionar. El sensor debe encontrarse en el mismo ambiente que la cinta calefactora, asegurando que éste reciba la misma perturbación que la cinta, obteniendo así, una medida representativa real. En la Figura 4-2 se aprecia un modelo de referencia.

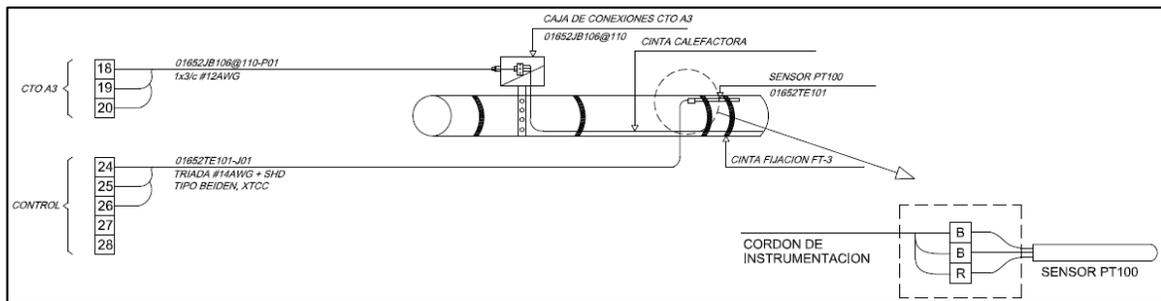


Figura 4-2: Modelo referencia instalación sensor PT-100 en tubería.

En la Figura 4-3, se muestra un diagrama típico de alimentación a la cinta calefactora. Instalada una caja de alimentación de 220 Vac y el sensor PT-100 a una distancia prudente entre el sensor y tablero, alrededor de 80 metros como máximo.

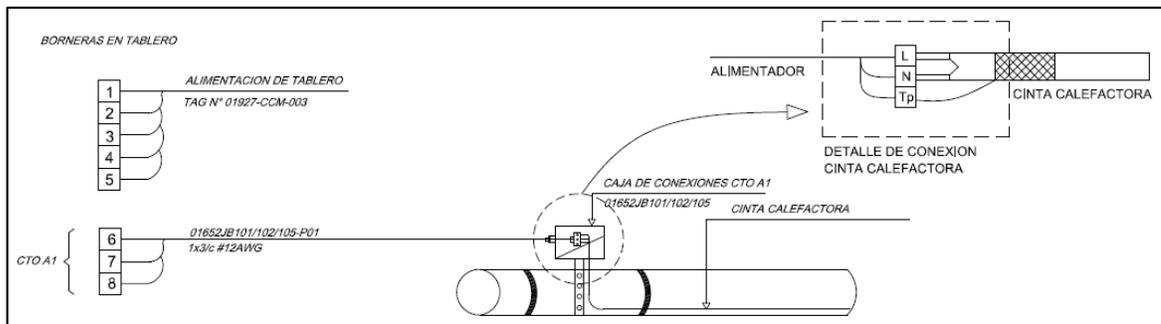


Figura 4-3: Diagrama modelo de alimentación a cinta calefactora.

### 4.7.1 Diagrama unilineal típico de tablero de fuerza y control

A continuación, se representan diagramas unilineales típicos correspondientes al diagrama de fuerza y de control en la Figura 4-4 y Figura 4-5 respectivamente.

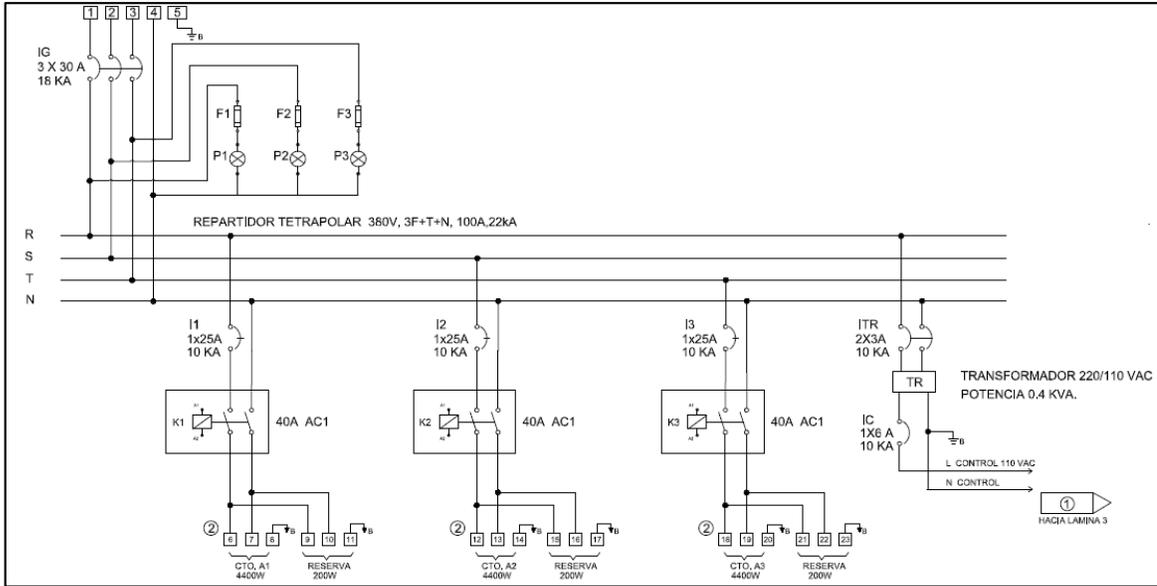


Figura 4-4: Diagrama unilineal modelo de fuerza.

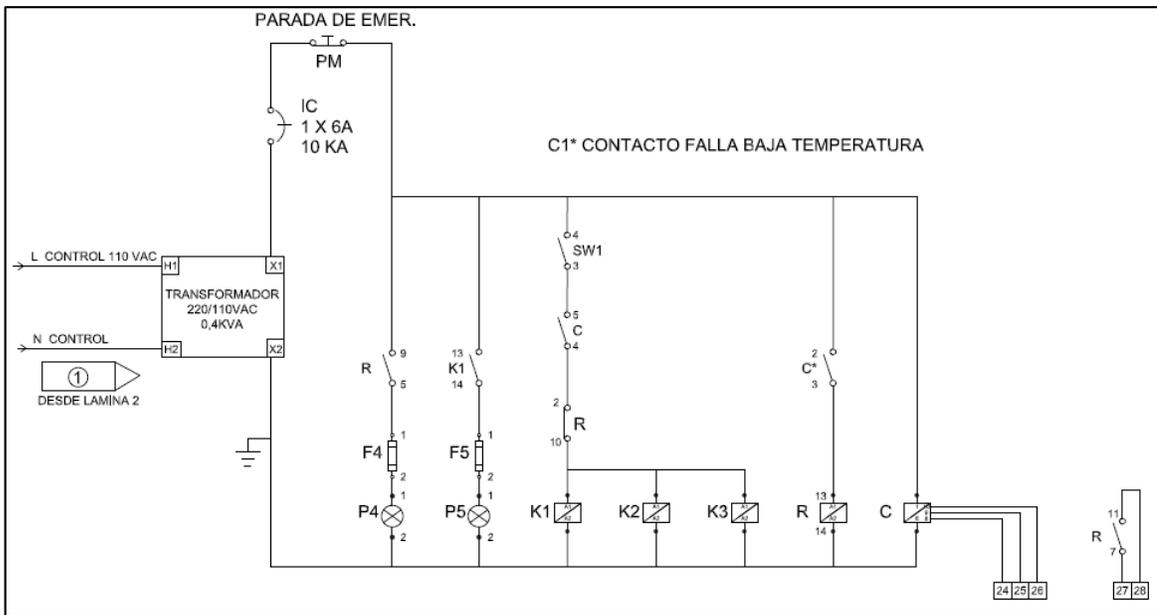


Figura 4-5: Diagrama unilineal modelo de control.

## 4.7.2 Descripción del sistema

Para entender el control se tiene que; en cada cañería a calefaccionar se encuentra instalada una caja de alimentación a la cinta calefactora con 220 Vac que viene desde el tablero de fuerza y control; cercano a esta caja llega la señal analógica de rango mV tomada desde el sensor PT-100 que está en contacto directo con la cañería y la transforma en señal analógica, obteniendo un valor de referencia para realizar el control en el tablero de fuerza.

El tablero de fuerza y control contiene controladores de temperatura, una para cada circuito. Estos tienen por objetivo realizar el control al set-point ingresado, indicando un parámetro anterior en cada una de las líneas que se ponen en funcionamiento, siendo C\* controlador de temperatura.

### **4.7.3 Puesta en marcha**

1. Ingresar set-point al controlador de temperatura.
2. Subir todas las protecciones eléctricas asociadas a cada circuito del tablero.
3. Si contiene tres fases, deben encender las tres luces piloto instaladas en la parte superior de la puerta P1-P2-P3. En caso contrario, verificar fusibles F1-F2-F3, si la falla persiste verificar la energía a las tres fases.
4. Los controles de temperaturas indican la temperatura de las superficies de las cañerías por medio del sensor PT-100.
5. El selector SW de cada circuito debe estar en “ON” para activar la cinta, de lo contrario esta no se activa.
6. En caso de que la temperatura baje más del parámetro programado con temperatura baja, se encenderá la luz piloto ámbar Falla en Sistema.
7. Cuando la temperatura programada es alcanzada se desactiva la cinta calefactora automáticamente.

### **4.7.4 Fallas**

Se definen tres posibles causas de fallas, las cuales son alertadas por la luz ámbar “Falla en Sistema” en la puerta del tablero:

- A. Sobre temperatura (C\*): Si la temperatura llega más alto que lo programado (C\*) se activará la alarma.
- B. Baja temperatura (C\*): Si la temperatura alcanza un valor más bajo de lo programado se activará la alarma.
- C. Parada de emergencia: Se encuentra instalada en la puerta del tablero, si se activa, apaga todo el sistema de control y alimentación del sistema.

## **5 Diseño y suministro para caso real de sistema Heat Tracing**

Este último capítulo, se enmarca en el estudio de la aplicación real para un sistema de cintas calefactoras eléctricas, el cual se desarrolla en base a los requerimientos del cliente. Éste corresponde al proyecto minero Pascua-Lama. Donde se busca la forma de solucionar el problema de congelamiento y bajas temperaturas en sus procesos industriales, específicamente en el transporte de aceites lubricantes a través de tuberías y equipos que componen el caso de este proyecto.

Se presenta un listado de tuberías (o también llamadas líneas) con 4 líquidos diferentes, principalmente aceites lubricantes de viscosidades distintas, a los cuales, se busca la manera de mantener la temperatura de proceso y evitar el congelamiento mediante la aplicación de cintas calefactoras eléctricas, manteniendo temperaturas de alrededor de los 30 °C en el transporte. Por lo cual, se analiza el listado de las líneas y se toma la decisión en base al cálculo térmico correspondiente la obtención de la potencia de cinta calefactora que se necesita para nuestro sistema y para que su funcionamiento sea eficiente.

A continuación, se presenta el desarrollo completo de un sistema heat tracing, con los respectivos factores ambientales y técnicos que se deben tomar en cuenta.

### **5.1 Condiciones de sitio del proyecto**

Pascua-Lama se trata de una mina de oro y plata a rajo abierto, ubicada a más de 4.000 m.s.n.m. en la frontera de Chile con Argentina. En Chile, Pascua se ubica en la provincia del Huasco, región de Atacama; mientras que Lama se sitúa en la provincia de San Juan, por el lado argentino. [7]

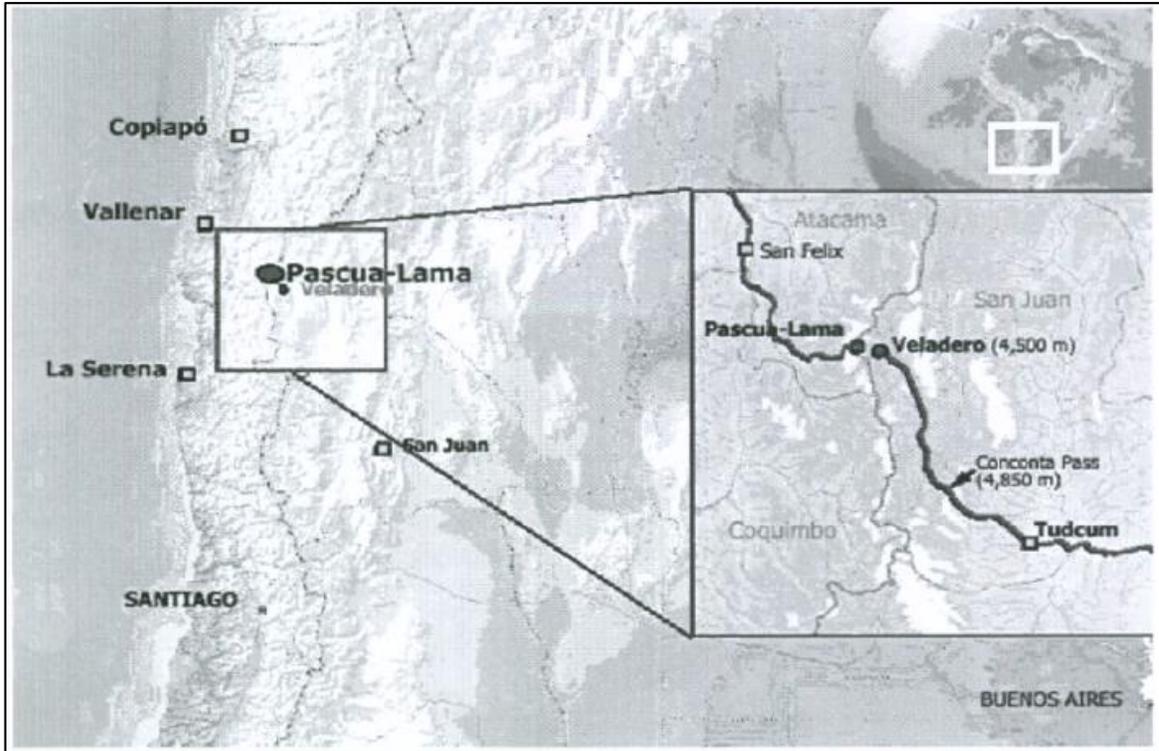


Figura 5-1: Ubicación geográfica de proyecto Pascua-Lama.

### 5.1.1 Altitud

La Tabla 5-1 muestra las elevaciones de las diferentes áreas del proyecto.

Tabla 5-1: Alturas geográficas de la zona del proyecto.

Instalación	Altitud Chile (m.s.n.m.)	Altitud Argentina (m.s.n.m.)
Campamento	3720	3915
Rajo Mina	5000	-
Servicios mineros y taller de camiones	4832	-
Chancador primario	4750	-
Planta de procesos	3980	3999 - 4048
Embalse de relave	-	3791 - 3851

### 5.1.2 Temperatura

La Tabla 5-2 resume las condiciones climáticas generales de la zona del proyecto.

Tabla 5-2: Temperaturas de la zona del proyecto.

Descripción	VERANO				INVIERNO	
	PASCUA		LAMA		PASCUA	LAMA
	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
Extrema	+29	-	+29	-	-30	-30
1% verano / 99% invierno	+15,9	30	-	-	-14,4	-
2,5% verano / 97,5% invierno	+14,6	35	-	-	-12,5	-
5% verano / 95% invierno	13,5	40	-	-	-10,9	-

### 5.1.3 Precipitaciones

En la Tabla 5-3 se detalla las precipitaciones de la zona del proyecto.

Tabla 5-3: Precipitaciones de la zona del proyecto.

Descripción	Pascua	Lama
Media anual	-	200 (mm/año)
Promedio anual de nieve	-	4000 a 5000 (mm/año)
Caída de nieve	1000 (kg/m <sup>2</sup> )	840 (kg/m <sup>2</sup> )

### 5.1.4 Vientos

La Tabla 5-4, muestra en general el registro de vientos de la zona.

Tabla 5-4: Vientos de la zona del proyecto.

Descripción	Pascua	Lama
Velocidad básica del viento	270 (km/h)	220 (km/h)
Densidad de masa	0,758 (kg/m <sup>3</sup> )	0,822 (kg/m <sup>3</sup> )
Dirección predominante	NW --> SE	-

## 5.2 Potencia eléctrica

Dentro de los servicios generales, interesa conocer la alimentación eléctrica del proyecto, teniendo en cuenta todas sus áreas.

En la Tabla 5-5 se muestra el listado de voltajes, fases y frecuencias del suministro eléctrico que estará disponible para el estudio.

Tabla 5-5: Detalle de suministro eléctrico

<b>Servicio</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Fases</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
Suministro eléctrico alimentación	220 kV	3	50
Suministro eléctrico Distribución M.T. Principal	23 kV	3	50
Suministro eléctrico Distribución secundaria motriz	4,1 kV	3	50
Suministro eléctrico Distribución interna área Mina	6,9 kV	3	50
Suministro eléctrico Distribución B.T.	380 Vac	3	50
Voltaje motores mayores a 18 kW	4,0 kV	3	50
Voltaje motores hasta 18 kW	380 V	3	50

Para la aplicación de cintas calefactoras, se necesita conectar a través de un tablero de fuerza y control que se alimentará por medio del suministro eléctrico de baja tensión a 380 Vac, red trifásica.

### 5.3 Tuberías y líquidos del caso

Debemos conocer el detalle completo de las tuberías que requieren el mantenimiento de su temperatura, es por ello, que el estudio se debe basar en las especificaciones de la instalación, apoyándose de los datos de a continuación.

Tabla 5-6: Detalle general de requerimientos.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Detalles</b>
Tuberías		De Alimentación/Recepción
Diámetros cañería	pulgadas	Recepción 3" /Alimentación 2"
Temperatura de operación	°C	30
Ubicación		Exterior

El cliente entrega en detalle la ficha con las especificaciones de las líneas de transporte, correspondiente a cuatro líquidos, aceites lubricantes de diferentes viscosidades. La Figura 5-2 muestra las medidas y largos de las líneas que requieren mantención de temperatura.

	Descripcion	Unidad	Requerido	Ofertado
<b>2.</b>	<b>LINEA ACEITE SAE 10</b>			
2.1	N° de TAG	-	5200-HT012-C04	
2.2	Longitud Recepción con Cinta (3")	m	18	
2.3	Longitud Sistema de Filtrado (2")	m	15	
2.4	Longitud Alimentación con Cinta (2")	m	68	
2.5	Aislación	-	Caños de Lana Mineral 160 Kg/m3 / 40mm	
2.6	Temperatura Requerida	°C	30	
	Descripcion	Unidad	Requerido	Ofertado
<b>3.</b>	<b>LINEA ACEITE SAE 30</b>			
3.1	N° de TAG		5200-HT011-C04	
3.2	Longitud Recepción con Cinta (3")	m	18	
3.3	Longitud Sistema de Filtrado (2")	m	15	
3.4	Longitud Alimentación con Cinta (2")	m	68	
3.5	Aislación		Caños de Lana Mineral 160 Kg/m3 / 40mm	
3.6	Temperatura Requerida	°C	30	
	Descripcion	Unidad	Requerido	Ofertado
<b>4.</b>	<b>LINEA ACEITE SAE 60</b>			
4.1	N° de TAG		5200-HT010-C04	
4.2	Longitud Recepción con Cinta (3")	m	18	
4.3	Longitud Sistema de Filtrado (2")	m	15	
4.4	Longitud Alimentación con Cinta (2")	m	68	
4.5	Aislación		Caños de Lana Mineral 160 Kg/m3 / 40mm	
4.6	Temperatura Requerida	°C	30	
	Descripcion	Unidad	Requerido	Ofertado
<b>5.</b>	<b>LINEA ACEITE 15W-40</b>			
5.1	N° de TAG		5200-HT009-C04	
5.2	Longitud Recepción con Cinta (3")	m	18	
5.3	Longitud Sistema de Filtrado (2")	m	15	
5.4	Longitud Alimentación con Cinta (2")	m	68	
5.5	Aislación		Caños de Lana Mineral 160 Kg/m3 / 40mm	
5.6	Temperatura Requerida	°C	30	

Figura 5-2: Detalle de diámetros y largos de las líneas a proteger.

Estos 4 tipos de aceites lubricantes se diferencian principalmente por su grado de viscosidad.

La viscosidad de un lubricante se representa con el grado SAE. Técnicamente es la resistencia al movimiento que ofrece el fluido lubricante. Se debe considerar que la viscosidad varía con la temperatura y es diferente según el tipo de aceite.

## 5.4 Cálculo térmico para cinta calefactora

Dada las condiciones por el cliente, se realiza el cálculo térmico para determinar la potencia en Watt que necesita 1 metro de cañería para mantener la temperatura en el rango requerido por el proceso.

Para este análisis, se debe tomar en cuenta que los 4 líquidos cuentan con líneas de 3" y 2". Debido a esto, el cálculo realizado será en base a la tubería de 3", ya que, se debe analizar el peor de los casos, y en este será calentar la tubería más grande. Es por esto que, los cálculos en cuanto a la potencia serán similares debido a que los tipos de líneas corresponden al mismo material de acero al carbono. Y en cuanto a los datos de calor específico y densidad de los aceites no hay diferencias que alteren los resultados propuestos.

El cálculo térmico se debe realizar tanto al sólido como al líquido transportado.

### 5.4.1 Cálculo térmico del sólido 3"

Datos:

- Largo tubería: 100 [cm]
- Diámetro tubería: 3" [pulgadas]
- Espesor: 0,6 [cm] (valor aprox. dado como referencia)
- Cp (calor específico): 0,12 [kcal/kg °C] (valor aprox. de calor esp. del acero)
- Densidad de acero: 7,85 [g/cm<sup>3</sup>]
- T° inicial: 28 °C
- T° final: 30 °C
- ΔT°: 2 °C

La diferencia de temperatura debe ser considerada como máximo un rango de 2 °C, debido a que la cinta calefactora es para mantener temperatura, por lo tanto, en ningún caso elevará sobre 3 °C o más, porque su calentamiento es de reacción lenta.

Los resultados son en base a los cálculos por las ecuaciones presentadas a continuación las cuales fueron descritas en el Capítulo 2 de este informe. Y se logra obtener la potencia necesaria de la cinta.

vi. Radio

$$R = d \times 0,5$$

Donde,  $d = 3''$  (diámetro)

$$R = 3'' \times 0,5$$

$$R = 1,5''$$

vii. Perímetro

$$P = 2\pi \times R \times 2,54$$

$$P = 2\pi \times 1,5'' \times 2,54$$

$$P = 23,94 [cm]$$

viii. Peso aproximado de 1 metro de cañería

$$p = \frac{L \times P \times e \times D}{1000}$$

Donde,  $L = 100 [cm]$  (1 metro);  $e = 0,6 [cm]$  (espesor aprox.);

$D = 7,85 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$  (Densidad del acero)

$$p = \frac{100 \times 23,94 \times 0,6 \times 7,85}{1000}$$

$$p = 11,275 [kg]$$

- ix. Finalmente, se calcula la potencia de calentamiento para un cuerpo sólido de 3" de diámetro.

$$E = \frac{p \times Cp \times \Delta T^\circ}{860,4}$$

Donde, E = Potencia por metro; Cp = 0,12  $\left[\frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}\right]$  (Calor específico);  
 $\Delta T^\circ = 2 \text{ } ^\circ C$  (Rango de temp.)

$$E = \frac{11,275 \times 0,12 \times 2}{860,4}$$

$$E = 3,14 \times 10^{-3} [kW/m]$$

$$E = 3,14 [W/m]$$

Sumando un 15% del total por posibles pérdidas, se obtiene

$$Es = 3,14 + 0,15 \times 3,14$$

$$Es = 3,611 [W/m]$$

En la Tabla 5-7, se muestran resultados obtenidos por el cálculo térmico a la tubería de 3".

Tabla 5-7: Resultados del cálculo térmico para tubería.

Acero		
	Unidad	Solido 3"
Cp acero (Calor específico)	(kcal/kg °C)	0,12
Densidad acero	(g/cm3)	7,85
Espesor	(cm)	0,6
Diámetro	(pulgadas)	3
Radio	(pulgadas)	1,5
Perímetro	(cm)	23,94
Peso	(kg)	11,27
Potencia	(W/metro)	3,145
15% adicional por perdidas	(W/metro)	0,472
<b>Potencia total</b>	<b>(W/metro)</b>	<b>3,62</b>

#### 5.4.2 Cálculo térmico del líquido (aceite lubricante)

Datos:

- Tipo de líquido: Aceite lubricante (SAE 10,SAE 30,SAE 60,SAE 15W-40)
- Cp (calor específico): 0.51 [kcal/kg °C]

- Densidad del aceite: 0,95 [g/cm<sup>3</sup>]
- T° inicial: 28 °C
- T° final: 30 °C
- ΔT°: 2 °C

Se mantiene la diferencia de temperaturas.

Los resultados son en base a los cálculos por las ecuaciones presentadas a continuación las cuales fueron descritas en el Capítulo 2 de este informe, Y se logra obtener la potencia necesaria de la cinta.

v. Área

$$A = d \times 25,4$$

Donde,  $d = 3''$  (diámetro)

$$A = 3'' \times 25,4$$

$$A = 76,2 [mm]$$

vi. Decímetros

$$a = \frac{A}{100}$$

$$a = \frac{76,4}{100}$$

$$a = 0,762 [dec]$$

vii. Cantidad de litros aproximados en 1 metro de cañería

$$K = a^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10$$

$$K = 0,762^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10$$

$$K = 4,56 [dec^3]$$

viii. Cantidad de kilos aproximados en 1 metro de cañería

$$P_L = K \times D$$

Donde,  $D = 0,95 [g/cm^3]$  (Densidad del aceite).

$$P_L = 4,56 \times 0,95$$

$$P_L = 4,332 [kg]$$

x. Finalmente, se calcula la potencia de calentamiento para el líquido en un cuerpo sólido de 3" de diámetro.

$$E_L = \frac{KL \times Cp \times \Delta T^\circ}{860,4}$$

$$E_L = \frac{4,332 \times 0,51 \times 2}{860,4}$$

$$E_L = 5,1355 \times 10^{-3} [kW/m]$$

$$E_L = 5,135 [W/m]$$

Sumando un 15% del total por posibles pérdidas, se obtiene

$$E_L = 5,135 + 0,15 \times 5,135$$

$$E_L = 5,905 [W/m]$$

La Tabla 5-8, muestra los resultados obtenidos por el cálculo térmico para el líquido del proceso, en este caso, aceites lubricantes.

Tabla 5-8: Resultados del cálculo térmico para líquido.

Aceite		
	Unidad	Solido 3"
Cp aceite	(Kcal/Kg °C)	0,51
Densidad aceite	(g/cm3)	0,95
Área	[mm]	76,2
Decímetros	[dec]	0,762
K litros en 1 metro	[dec3]	4,560
K kilos en 1 metro	[Kg]	4,332
Potencia	(W/metro)	5,136
15% adicional por perdidas	(W/metro)	0,770
<b>Potencia total para líquido</b>	<b>(W/metro)</b>	<b>5,906</b>

Con ambos resultados, se realiza la suma de potencias para obtener la potencia total que se requiere para calentar 2 °C un metro de tubería.

Tabla 5-9: Resultado final de la potencia requerida.

Potencia total para sólido	(W/metro)	3,62
Potencia total para líquido	(W/metro)	5,906
<b>Total</b>	<b>(W/metro)</b>	<b>9,525</b>

Por lo tanto, se necesita un total 9,525 [W] de potencia para calentar 2 °C una tubería de acero de carbono de 3" con aceite lubricante, como se especifica en la Tabla 5-9.



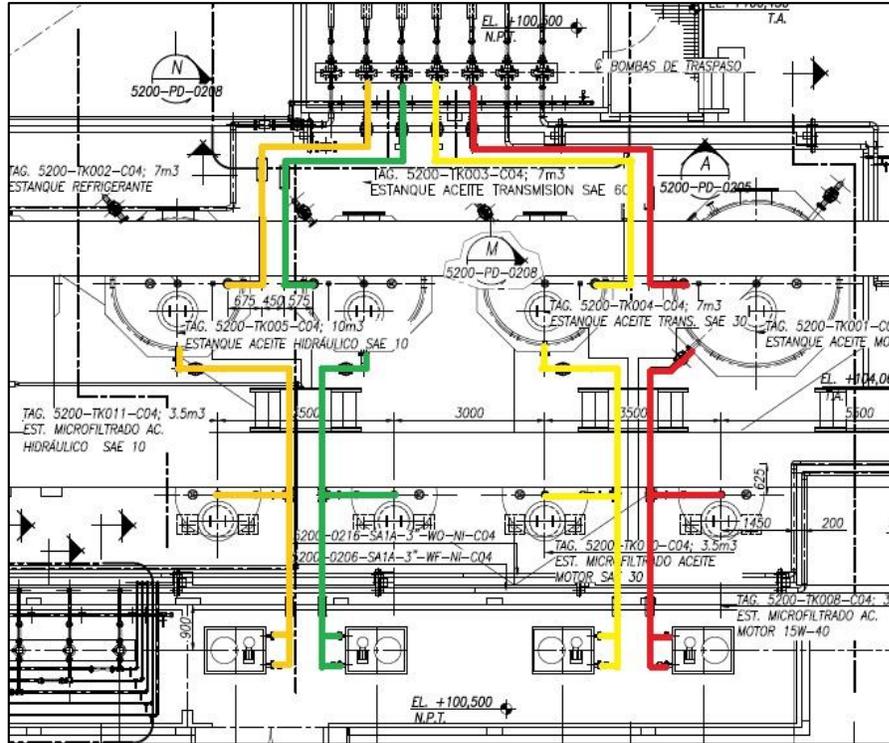


Figura 5-4: Plano de instalación con identificación de tuberías por color.

Cada tubería se distribuye en tramos de diferentes cantidades de metros, es por eso, que posterior a la identificación de las tuberías, se revisa la nomenclatura para conocer el N° de TAG y la clase de líquido por transporta cada una de las tuberías.

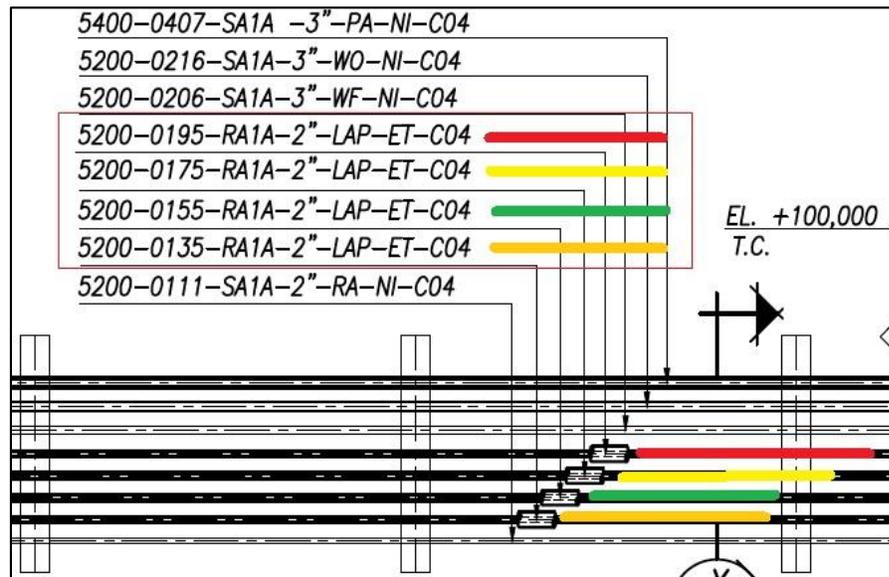


Figura 5-5: Identificación de tuberías por tipo de líquido.

Según las fichas de plano, las líneas se identifican de acuerdo a lo que muestra la Figura 5-5.

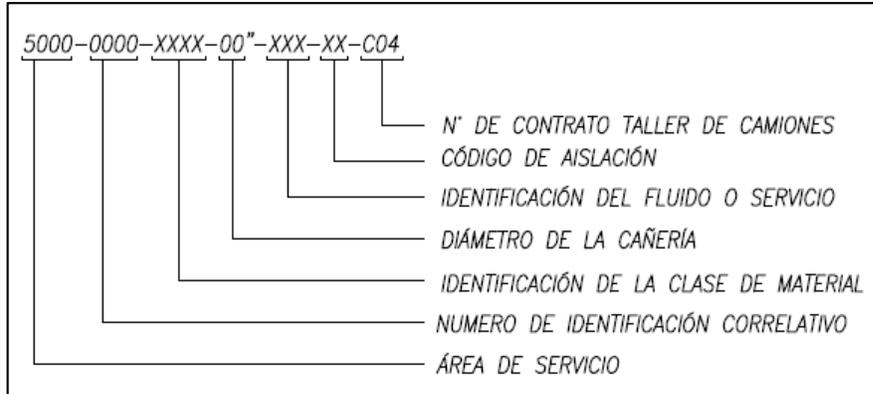


Figura 5-6: Nomenclatura de número de líneas.

Detalle de líneas identificadas:

Tabla 5-10: Detalle de líneas identificadas.

5200-0135-RA1A-2"-LAP-ET-C04
5200-0155-RA1A-2"-LAP-ET-C04
5200-0175-RA1A-2"-LAP-ET-C04
5200-0195-RA1A-2"-LAP-ET-C04

Área de servicio

- 5200: Estación de Lubricación

N° de Tag de tubería

- 0135: Aceite SAE 10
- 0155: Aceite SAE 60
- 0175: Aceite SAE 30
- 0195: Aceite 15W-40

Clase de material

- RA1A: Acero al carbono SCH.

Diámetro cañería

- 2" y 3"

Identificación del fluido

- LAP: Aceite lubricante alta presión
- LBP: Aceite lubricante baja presión

### 5.5.2 Determinación del largo total por línea de cinta calefactora

Con lo anterior, damos paso la identificación por N° de TAG de los tramos que componen cada línea de tubería con su respectivo producto. La Tabla 5-10 nos detalla el largo de cada tramo de tubería y los elementos que conllevan, ya sea, válvulas y flanges para este caso. Por lo que, debemos considerar una cantidad adicional de cinta y con eso poder se determina el largo total que se utilizará para el montaje.

Tabla 5-11: Listado de tuberías por tramo con la cantidad de cinta calefactora a utilizar.

	N° de Tag por tramo	Largo cañería (metros)	QTY Válvulas	QTY Flanges	QTY Adicional (metros)	Largo total cinta calefactora (metros)	Potencia de cinta por tamaño (W/metro)
SAE 10	5200-0121-SA1A-3"-LBP-ET-C04	1,5	1	1	2,2	3,7	16,4
SAE 10	5200-0122-SA1A-3"-LBP-ET-C04	11	2	0	2,2	13,2	16,4
SAE 10	5200-0127-SA1A-2"-LBP-ET-C04	6	3	0	3,3	9,3	16,4
SAE 10	5200-0131-SA1A-2"-LBP-ET-C04	2	1	1	2,2	4,2	16,4
SAE 10	5200-0129-SA1A-2"-LBP-ET-C04	6	2	1	3,3	9,3	16,4
SAE 10	5200-0130-SA1A-2"-LBP-ET-C04	15	0	1	1,1	16,1	16,4
SAE 10	5200-0135-RA1A-2"-LAP-ET-C04	60	15	8	25,3	85,3	16,4
	sub total	101,5				141,1	
SAE 60	5200-0141-SA1A-3"-LBP-ET-C04	1,5	1	1	2,2	3,7	16,4
SAE 60	5200-0142-SA1A-3"-LBP-ET-C04	12	2	0	2,2	14,2	16,4
SAE 60	5200-0147-SA1A-2"-LBP-ET-C04	5,5	3	0	3,3	8,8	16,4
SAE 60	5200-0151-SA1A-2"-LBP-ET-C04	2	1	1	2,2	4,2	16,4
SAE 60	5200-0149-SA1A-2"-LBP-ET-C04	6	2	1	3,3	9,3	16,4
SAE 60	5200-0150-SA1A-2"-LBP-ET-C04	16	0	1	1,1	17,1	16,4
SAE 60	5200-0155-RA1A-2"-LAP-ET-C04	60	15	8	25,3	85,3	16,4
	sub total	103				142,6	
SAE 30	5200-0161-SA1A-3"-LBP-ET-C04	1,5	1	1	2,2	3,7	16,4
SAE 30	5200-0162-SA1A-3"-LBP-ET-C04	11	2	0	2,2	13,2	16,4
SAE 30	5200-0167-SA1A-2"-LBP-ET-C04	6	3	0	3,3	9,3	16,4
SAE 30	5200-0161-SA1A-2"-LBP-ET-C04	2	1	1	2,2	4,2	16,4
SAE 30	5200-0169-SA1A-2"-LBP-ET-C04	5,5	2	1	3,3	8,8	16,4
SAE 30	5200-0170-SA1A-2"-LBP-ET-C04	17	0	1	1,1	18,1	16,4
SAE 30	5200-0175-RA1A-2"-LAP-ET-C04	60	15	8	25,3	85,3	16,4
	sub total	103				142,6	
15w - 40	5200-0181-SA1A-3"-LBP-ET-C04	1,5	1	1	2,2	3,7	16,4
15w - 40	5200-0182-SA1A-3"-LBP-ET-C04	12,5	2	0	2,2	14,7	16,4
15w - 40	5200-0187-SA1A-2"-LBP-ET-C04	3,5	3	0	3,3	6,8	16,4
15w - 40	5200-0181-SA1A-2"-LBP-ET-C04	2	1	1	2,2	4,2	16,4
15w - 40	5200-0189-SA1A-2"-LBP-ET-C04	5,5	2	1	3,3	8,8	16,4
15w - 40	5200-0190-SA1A-2"-LBP-ET-C04	18	0	1	1,1	19,1	16,4
15w - 40	5200-0195-RA1A-2"-LAP-ET-C04	62	15	8	25,3	87,3	16,4
	sub total	105				144,6	
						570,9 metros	

En la Tabla 5-10, se muestra en detalle la cantidad total por tramo de cinta calefactora, y la respectiva potencia de esta. Se considera un QTY adicional por cada válvula y flanges de unos 1,1 metros de largo. Y se observa en detalle que el largo de cinta calefactora es alrededor de los 140

metros por cada grupo, obteniendo un total de 570 metros de cinta calefactora, para cubrir todo el paño. La cinta calefactora utilizada en el cálculo es de una potencia de 16,4 [W/metro], por lo tanto, junto con la cantidad total de metros de cinta podemos obtener la potencia total por tramo y en conjunto.

### 5.5.3 Potencia y corriente total del sistema

De acuerdo a la Tabla 5-11 se obtiene la potencia y corriente por cada uno de nuestros tramos, ya que, se cuenta con el largo de cinta que se utilizará en cada uno de ellos. Estos resultados se muestran en la Tabla 5-12.

Tabla 5-12: Detalle de potencia y corriente por tramo y general.

	N° de Tag por tramo	Largo cañería (metros)	QTY Adicional (metros)	Largo total cinta calefactora (metros)	Potencia de cinta por tamaño (W/metro)	Potencia consumida (Watts)	Corriente por tramo (en 220V) (A)	Total corriente (A)
SAE 10	5200-0121	1,5	2,2	3,7	16,4	60,68	0,28	
SAE 10	5200-0122	11	2,2	13,2	16,4	216,48	0,98	
SAE 10	5200-0127	6	3,3	9,3	16,4	152,52	0,69	
SAE 10	5200-0131	2	2,2	4,2	16,4	68,88	0,31	
SAE 10	5200-0129	6	3,3	9,3	16,4	152,52	0,69	
SAE 10	5200-0130	15	1,1	16,1	16,4	264,04	1,20	
SAE 10	5200-0135	60	25,3	85,3	16,4	1398,92	6,36	10,52
	sub total	101,5		141,1		2314,04	2,31 Kwatts	
SAE 60	5200-0141	1,5	2,2	3,7	16,4	60,68	0,28	
SAE 60	5200-0142	12	2,2	14,2	16,4	232,88	1,06	
SAE 60	5200-0147	5,5	3,3	8,8	16,4	144,32	0,66	
SAE 60	5200-0151	2	2,2	4,2	16,4	68,88	0,31	
SAE 60	5200-0149	6	3,3	9,3	16,4	152,52	0,69	
SAE 60	5200-0150	16	1,1	17,1	16,4	280,44	1,27	
SAE 60	5200-0155	60	25,3	85,3	16,4	1398,92	6,36	10,63
	sub total	103		142,6		2338,64	2,34 Kwatts	
SAE 30	5200-0161	1,5	2,2	3,7	16,4	60,68	0,28	
SAE 30	5200-0162	11	2,2	13,2	16,4	216,48	0,98	
SAE 30	5200-0167	6	3,3	9,3	16,4	152,52	0,69	
SAE 30	5200-0161	2	2,2	4,2	16,4	68,88	0,31	
SAE 30	5200-0169	5,5	3,3	8,8	16,4	144,32	0,66	
SAE 30	5200-0170	17	1,1	18,1	16,4	296,84	1,35	
SAE 30	5200-0175	60	25,3	85,3	16,4	1398,92	6,36	10,63
	sub total	103		142,6		2338,64	2,34 Kwatts	
15w - 40	5200-0181	1,5	2,2	3,7	16,4	60,68	0,28	
15w - 40	5200-0182	12,5	2,2	14,7	16,4	241,08	1,10	
15w - 40	5200-0187	3,5	3,3	6,8	16,4	111,52	0,51	
15w - 40	5200-0181	2	2,2	4,2	16,4	68,88	0,31	
15w - 40	5200-0189	5,5	3,3	8,8	16,4	144,32	0,66	
15w - 40	5200-0190	18	1,1	19,1	16,4	313,24	1,42	
15w - 40	5200-0195	62	25,3	87,3	16,4	1431,72	6,51	10,78
	sub total	105		144,6		2371,44	2,37 Kwatts	
				570,9 metros				
	Total Kwatts del sistema					9362,76	9,4 Kwatts	
	Voltaje sistema (V)					220		
	Frecuencia (Hz)					50		

La cinta calefactora utilizada en el cálculo es de una potencia de 16,4 [W/metro], por lo tanto, junto con la cantidad total de metros de cada tramo obtenemos la potencia del sistema que da como resultado un total 9,4 [kW] instalados aproximadamente.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, la instalación de las cintas calefactoras se dispondrá en 4 circuitos independientes, como se aprecia en la Tabla 11, los cuales serán alimentados y controlados a través del tablero eléctrico de Fuerza y Control que deberá incluir el sistema.

Además, se debe determinar la cantidad de accesorios que conllevan las cintas calefactoras, ya sea, la caja de conexiones para cada circuito, caja de derivaciones, fin de cinta, etc.

## 5.6 Determinación de la cantidad de accesorios

Considerando el plano de la instalación Figura 2 y Figura 3, se toma la decisión de la cantidad de accesorios de conexión para las cintas calefactoras, entre ellos, la caja de conexiones para alimentar las cintas, las cajas de derivación tomando en cuenta la disposición de las tuberías, y con ello también los fines de cinta necesarios para cerrar cada circuito.

En la Tabla 12 se especifican la cantidad de cada uno de ellos, agregando la información de requerimiento para el tablero eléctrico.

ITEM	DESCRIPCION	UN	QTY.	MODELO
<b>CINTAS CALEFACTORAS Y ACCESORIOS</b>				
1	Cinta Calefactora Chromalox	mts	570	5 [W/Ft] (16,4 W/Metro)
2	Caja de Conexión	un	4	
3	Caja Derivacion Chromalox	un	24	
4	Fin de Cinta RTES Chromalox	un	16	
5	Cinta de Fijacion FT-3	un	-	
6	Cinta de Aluminio AT	un	-	
7	Kit Etiquetas Precaucion CL	un	16	
8	Prensa Estopa	un	12	
9	Abrazaderas Sujecion	un	28	

ITEM	DESCRIPCION	UN	QTY.
<b>TABLERO ELECTRICO</b>			
1	Tablero FyC	un	1
2	Potencia	kW	9,40
3	Voltaje Alimentacion	Vac	380
4	Voltaje de Salida hacia Cintas	Vac	220
5	Voltaje Control	V	120
6	Sensores PT-100	un	4
7	Tipo de Instalacion Cinta (Espiral o Lineal)	tipo	Lineal

Tabla 12. Detalle de la cantidad de accesorios y requerimientos del tablero de fuerza y control.

Los accesorios se distribuirán al momento del montaje, tomando en consideración la disposición de las tuberías, y una visualización previa de cada tramo a proteger.

Luego de determinar la cantidad de accesorios para nuestro sistema, se da paso al estudio de diseño para el Tablero eléctrico de Fuerza y Control utilizado para energizar las cintas calefactoras.

## 5.7 Tablero de fuerza y control

Para el diseño del tablero eléctrico del sistema, debemos tomar en consideración que nuestro sistema corresponde a un proyecto eléctrico en Baja Tensión, por ende, debemos desarrollar el dimensionamiento respecto a la Normativa Chilena NCh. Elec. 4/2003.

En primer lugar, debemos determinar las corrientes y potencias por cada circuito, las que ya están calculadas y se especifican en la Tabla 11. Con estos valores se podrán dimensionar y elegir los conductores que alimentarán cada circuito de cintas calefactoras y con ello, las protecciones eléctricas para cada uno, ya que, todos los circuitos deben llevar interruptores termomagnéticos (Circuit Breakers) para la protección de sobrecarga y también de corto circuito.

### 5.7.1 Dimensionamiento de conductores

Para este dimensionamiento, debemos conocer en detalle el lugar en que se instalará el tablero eléctrico, ya que, desde ahí saldrán los arranques para alimentar las cajas de conexión para las cintas calefactoras. Se recomienda al cliente que el tablero eléctrico quede instalado en terreno, relativamente cerca de las cajas de conexión, una distancia como máxima de 60 metros debido a que con una mayor distancia el sensor de temperatura se puede ver afectado por este problema, lo que llevaría a tener un mal control de cada circuito.

La selección de conductores para alimentadores, se realizará bajo los criterios de diseño indicados a continuación:

- a) El dimensionamiento de los conductores estará definido por las corrientes de carga calculadas según los resultados de la Tabla 11, más un factor de sobrecarga del 25% sobre dichas corrientes, de acuerdo a las normas NCh Elec. 4/2003 (12.2.2) y considerando los datos de capacidad de corriente de los conductores, según catálogos de los fabricantes de éstos.

Es decir,

$$I_{COND} = I_{CARGA} \times 1,25 \quad (5-1)$$

Donde:

$I_{COND}$ : valor mínimo de Ampacity del conductor a seleccionar.

- b) La caída de potencial del circuito (Regulación), se calculará considerando los valores máximos admisibles, en función de la corriente de carga incrementada en 15% de la sección y longitud del conductor, y de los parámetros establecidos por las normas para los cálculos de regulación de los circuitos eléctricos de fuerza, donde la máxima pérdida de voltaje sea de 3,0%, conforme a la norma NCh Elec. 4/2003 (7.1.1.3).

Es decir,

$$I_{T,REG} = I_{CARGA} \times 1,15 \quad (5-2)$$

Donde:

$I_{T,REG}$ : corriente de carga total del circuito.

$I_{CARGA}$ : corriente nominal del circuito.

c) La caída de tensión se calcula por la siguiente expresión:

$$Vp = L \times In \times \sqrt{R^2 + X^2} \quad (5-3)$$

Donde:

$Vp$  : Caída de tensión.

$L$  : Largo del conductor.

$In$  : Intensidad de corriente nominal por conductor.

$R$  : Resistencia por unidad de longitud del conductor.

$X$  : Reactancia por unidad de longitud del conductor.

Por otra parte, se debe considerar que la caja de conexión para las cintas calefactoras permite un conduit para alimentación de un diámetro de  $\frac{3}{4}$ " , el cual acepta hasta un conductor de 12 AWG (sección 3,31 mm<sup>2</sup>). Por lo que se utiliza en la ecuación (5-3) para obtener la caída de tensión y poder encontrarse dentro de la norma.

Para el cálculo se considera como distancia prudente de 60 metros de longitud, y por catálogo de conductores obtenemos su impedancia equivalente. Éste cálculo se realiza solamente a uno de los circuitos debido a la semejanza de todos ellos.

Por lo tanto, la corriente del circuito uno viene dada por la ecuación (5-1):

$$I_{n1} = I_{CARGA1} \times 1,25 \text{ (factor de doblecarga)}$$

$$I_{n1} = 10,52 \times 1,25$$

$$I_{n1} = 13,15 \text{ [A]}$$

Luego con la ecuación (5-3) se tiene,

$$I_{n1} = 13,15 \text{ [A]}$$

$$L = 60 \text{ metros}$$

Impedancia de conductor 12 AWG (3,31 mm<sup>2</sup>) = 0.00541 [ $\Omega$ /metro] (valor obtenido de catálogo de conductores del subcapítulo 5.10 Tabla valor de impedancia)

$$Vp = 60 \times 13,15 \times \sqrt{(0,00541)^2}$$

$$V_p = 4,26 [V]$$

Por lo tanto,

$$\%final = \frac{4,26 \times 100}{220}$$

$$\%final = 1,93\%$$

El resultado se encuentra dentro de la normativa eléctrica, y el valor de longitud es prudente para la instalación del tablero. El conductor de calibre 12 AWG (3,31 mm<sup>2</sup>) es el adecuado para la alimentación de las cintas calefactoras.

### 5.7.2 Capacidad de protecciones

Una vez extraídas las corrientes de consumo de cada circuito, debemos determinar la capacidad de la protección correspondiente a cada uno. Ya que por normativa NCh 4/2003 (13.0.2.6.) para sistemas de calefacción con potencia superior a 1 kW debe contar con un interruptor de protección incorporado a él. Por ello, se elige de acuerdo a las capacidades que se encuentran comercialmente y teniendo en cuenta que siempre la capacidad del aparato debe ser superior a las corrientes calculadas.

Tabla 5-13: Corrientes por circuito.

	Corriente [A]
Circuito N°1	10,52
Circuito N°2	10,63
Circuito N°3	10,63
Circuito N°4	10,78

Tomando en cuenta las corrientes de la Tabla 5-13, donde los resultados son cercanos a los 11 A. La protección para cada circuito deberá ser un interruptor termomagnético bipolares de 2x16 A de corriente nominal, como se indica en la Tabla 5-14.

Tabla 5-14: Protección eléctrica por circuito.

	Corriente [A]	Protección
Circuito N°1	10,52	Protección 2x16 A 10kA
Circuito N°2	10,63	Protección 2x16 A 10kA
Circuito N°3	10,63	Protección 2x16 A 10kA
Circuito N°4	10,78	Protección 2x16 A 10kA

Debido a que cada circuito corresponde a una carga monofásica, estará conectado a la red trifásica del sistema de 380 Vac. Por esto, se debe equilibrar las cargas para cada una de las líneas de la red trifásica, pero para nuestro caso, al tener 4 cargas de semejante potencia, una de las

líneas deberá soportar a dos circuitos, es decir, en la Fase R se conectará el circuito N°1 y N°2 por lo que la barra deberá soportar la suma de sus corrientes, a la Fase S el circuito N°3 y a la Fase T el N°4 respectivamente. A esto se debe agregar el circuito de control monofásico de las cintas calefactoras que también debe ir conectado a la red trifásica, en este caso a la Fase S junto con el circuito N°3. También se debe recomendar al cliente, dejar un circuito de reserva en caso de futuras ampliaciones de la instalación, sólo si él lo requiere.

Con esto se puede dimensionar la protección general del sistema trifásico en caso de sobrecargas y cortocircuitos, que corresponde a un interruptor de caja moldeada de 3x63A, 18kA. Todo esto, se observa en el diagrama unilineal del circuito de fuerza.

### 5.8 Diagrama unilineal del circuito de fuerza

La interconexión entre el tablero y las cintas calefactoras se detalla en el diagrama de la Figura 6. En el circuito eléctrico de fuerza se indica cada uno de los componentes que debe constar esta instalación, sus protecciones, control, luces de señalización, entre otros.

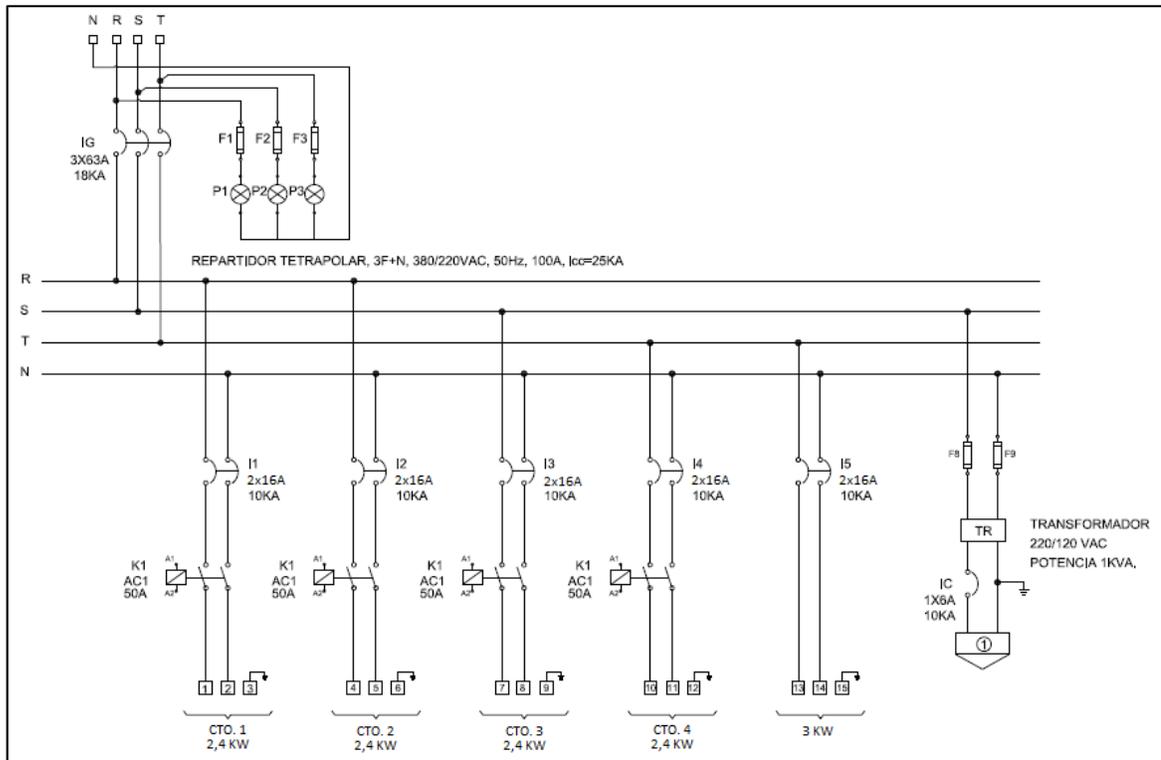


Figura 5-7: Diagrama Unilineal del circuito de fuerza.

Junto al diagrama se muestra el cuadro de cargas que viene dado por la Tabla 5-14. Donde se especifican las protecciones para cada circuito.

Tabla 5-15: Cuadro de cargas para circuito de fuerzas.

TAF TDFyC	CTO.	ENCH.	CONSUMOS			Fases	CONDUCTORES DESDE TFC A CARGAS		PROTECCIONES		KCC	DESCRIPCIÓN
			LUMIN.	OTROS	POTENCIA (kW)		CALIBRE AWG	TIPO	DISY	ID		
5200-DP001-C04	1	-	-	1	2,4	R-N	12	XTMU	2X16A	I1	10KA	ALIMENTACIÓN HEAT CAÑERÍA N° TAG 0121;0122;0127;0131;0129;0130;0135
	2	-	-	1	2,4	R-N	12	XTMU	2X16A	I2	10KA	ALIMENTACIÓN HEAT CAÑERÍA N° TAG 0141;0142;0147;0151;0149;0150;0155
	3	-	-	1	2,4	S-N	12	XTMU	2X16A	I3	10KA	ALIMENTACIÓN HEAT CAÑERÍA N° TAG 0161;0162;0167;0161;0169;0170;0175
	4	-	-	1	2,4	T-N	12	XTMU	2X16A	I4	10KA	ALIMENTACIÓN HEAT CAÑERÍA N° TAG 0181;0182;0187;0181;0189;0190;0195
	RESERVA	-	-	1	3	T-N	12	XTMU	2X16A	I5	10KA	RESERVA PARA 180 METROS DE CINTA CALEFACTORA

En la descripción se indica el N° de TAG de cada tramo que compone cada circuito, junto con su conductor y la fase a la que se encuentra conectado.

### 5.9 Diagrama de control

Como se aprecia en el diagrama de la Figura 5-7 se tienen cuatro contactores, uno para cada circuito. Las bobinas de estos, estarán conectadas al circuito de control de nuestro sistema, los cuales serán accionados por la señal un controlador de temperatura on/off que se encargará de medir el rango propuesto mediante un sensor PT-100, y así lograr un control eficaz de cada circuito.

El circuito de control será alimentado mediante un transformador con una tensión de 120 Vac. Cada circuito de carga será activado por un selector de dos posiciones (SW); apagado o encendido. El cual se encargará de poner en marcha la calefacción de las tuberías. La Figura 5-8 muestra el Diagrama de control de nuestro sistema.

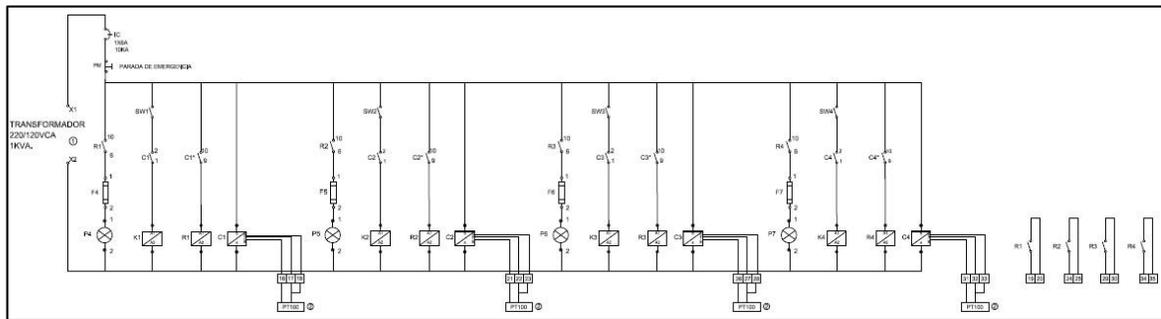


Figura 5-8: Diagrama de control.

#### 5.9.1 Filosofía de control

La lógica de control es la siguiente:

En cada tubería a calefaccionar se encuentra instalada una caja de alimentación que llega a las cintas calefactoras con 220 Vac que viene desde el tablero de fuerza y control. Al control llega la señal tomada desde un PT-100 que toca la cañería y la transforma en señal analógica, este será el valor de referencia para realizar el control en el tablero.

El tablero de fuerza y control tiene instalado un controlador de temperatura, uno para cada circuito, este controlador tiene por finalidad realizar el control de acuerdo al set-point ingresado (parámetro en base a los requerimientos del cliente) en cada una de las líneas que se desea poner en funcionamiento, siendo C\* controlador de temperatura, el cual enclavará el contactor cuando sea requerido por el control.

## 5.10 Tabla Valor de impedancia

### Características eléctricas y mecánicas

CALIBRES	ESPESOR AISLACIÓN mm	ESPESOR CUBIERTA mm	DIÁMETRO TOTAL APROXIMADO mm	RESISTENCIA NOMINAL Ohm/Km	PESO APROXIMADO Kg/Km	CAPACIDAD DE CARGA (AMP)	
						EN AIRE 30°C (1)	ENTERRADO 30°C (2)
14	0,7	0,9	5,18	8,59	41,94	35	25
12			5,77	5,41	57,41	40	25
10			6,6	3,41	82,49	55	40
8		1	7,39	2,18	116,1	80	55
6			8,73	1,37	174,7	105	75
4		0,9	1,1	10,91	0,862	247,1	140
3	11,72			0,692	333,7	165	110
2	12,59			0,547	407,03	190	130
1	1	1,2	14,5	0,436	520,97	220	150
1/0			15,6	0,344	637,14	260	170
2/0	1,1	1,3	16,7	0,276	780,39	300	195
3/0			18,7	0,219	978,72	350	225
4/0	1,2	1,4	20,8	0,173	1226,19	405	260
250			22,5	0,146	1444,3	455	290
300	1,4	1,5	24,5	0,122	1723,3	505	320
350			26,5	0,105	2005,3	570	350
400	1,7	1,7	27,4	0,0982	2254,2	615	380
500			28,9	0,0741	2815,66	700	430

Figura 5-9: Características de conductores por sección. (Fuente: Covisa – Cables Coviflex XCS (RV-K)).

## Discusión y conclusiones

En base al estudio realizado se concluye que la utilización de cintas calefactoras eléctricas es de vital importancia para las industrias, junto a ello, se logra proporcionar el conocimiento de los parámetros y requerimientos que son necesarios para un correcto diseño en una instalación de cintas calefactoras. Tomando en consideración los factores claves relacionados al proyecto, condiciones climáticas, características de tuberías y equipos, etc. Tener conocimiento de aquellos factores no dará el poder escoger los materiales adecuados en cada instalación

Presentar una memoria de cálculo para cualquier proyecto, da credibilidad y confianza de parte de la empresa instaladora, el cual proporcionará seguridad y claridad del trabajo que está llevando a cabo. Siendo lo más importante de este segmento, que corresponde el tener conocimiento de los datos técnicos de las instalaciones, ya sea, material de las tuberías y medición de sus segmentos, en conjunto con información del líquido que se transporta a través de éstas, ya sea, agua, lechada de cal, soda caustica, entre otras.

Las conclusiones que se derivan del trabajo de esta aplicación, nos ayuda de tal manera de determinar con los resultados obtenidos, aplicar más factores que luego determinarán el sistema de montaje de las cintas calefactoras, ya sean, los distintos métodos de montaje que estos presentan. Para luego diseñar el sistema de fuerza y control que da energía al proyecto aplicado.

Por otra parte, es de plena importancia realizar una instalación de cintas calefactoras y accesorios de la manera que sea segura desde un principio, ya que luego de la instalación de cintas se monta la aislación térmica donde los cables quedan totalmente tapados siendo de mucha complejidad o incluso imposible lograr localizar el lugar exacto de alguna supuesta falla del sistema. Es por esto, que se debe ser cuidadoso en el montaje de una aislación y control de temperatura profesional, consiguiendo efectividad con la descripción de este capítulo.

Definitivamente, se logra observar que al seguir cada uno de los pasos requeridos, el objetivo de lograr controlar cada proceso se hace permanente a lo largo del tiempo, requiriendo así, cada vez menos inspección y logre una autonomía prolongada.

El capítulo cuatro se describe completamente un tablero de fuerza y control utilizado para circuitos de cintas calefactoras eléctricas, el cual abarca los parámetros establecidos por los reglamentos técnicos, nacionales e internacionales. Debido a que las industrias están en

crecimiento y evolución día a día, sobre todo en el área minera, química, industrial en general, donde se utilizan mecanismos de protección contra congelamiento, como las cintas calefactoras eléctricas. Es indispensable para los nuevos ingenieros conocer los conceptos básicos relacionados al área, sus componentes, funcionamiento y principales normativas asociadas; de manera de ser elementos activos en el desarrollo de las industrias.

Al diseñar un diagrama unilíneal, deben unirse los diferentes elementos de protección; para garantizar la integridad de los operarios, instalaciones, equipos y componentes del tablero de fuerza y control. Estas protecciones deben estar debidamente escogidas para cubrir las corrientes a plena carga, siempre con un rango agregado, para no sufrir percances y posibles fallas.

También se debe señalar lo importante que es la toma de decisión al momento de realizar cualquier tipo de proyecto. Se debe contar con todas las bases para la selección de cada uno de los elementos y accesorios para la instalación de un sistema heat tracing, de modo de obtener un control eficiente de los circuitos que mantendrán las temperaturas en las tuberías que se requiere protección.

La supervisión es trascendental al momento del montaje, se recomienda la inspección constante en cada proceso; antes, durante y después de la instalación. Ya que, al montajista sólo le interesa terminar el trabajo, por lo tanto, se deben realizar pruebas en el proceso para no encontrarse con problemas al final y sea más difícil poder solucionarlo.

En cuanto a las protecciones eléctricas y conductores de cada circuito, debemos tener claro que el modelo a seguir se repite independiente del proceso de cada tubería, sólo variarán las potencias y corrientes dependiendo del largo y tipo de cinta calefactora. Lo importante, es saber que la caja de conexiones cuenta con un orificio de fábrica de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro que acepta hasta un conductor de 12 AWG, por lo que se limita la caja a una potencia a 3.500 Watt independiente de la cinta calefactora, nos aseguramos de que el conductor entre a la caja. En caso de sobrepasar la potencia, se deberán agregar más cajas de paso, para repartir la potencia de los circuitos.

En cuanto al tablero eléctrico, si se tiene un desequilibrio de las fases, se debe dejar constancia al cliente para que lo considere al momento de alimentar el tablero de fuerza y control para las cintas.

Por último, el conocimiento crecerá al realizar montajes de cintas calefactoras e inspeccionar su instalación, ya que, estar en terreno ayudará a poner en práctica las habilidades y así poder lograr sistemas eficientes para la protección contra congelamiento.

# Bibliografía

- [1] P. R. Smith, «Facilities engineering and management handbook : commercial, industrial, and institutional buildings,» McGraw Hill, 2001, pp. 5-198 5-201.
- [2] C. R. Técnicos, «Chromalox Advanced Thermal Technologies,» [En línea]. Available: <http://www.chromalox.com/es-mx/catalog/heat-trace/heat-trace-cables/constant-wattage-heat-trace/-/media/files/catalog/resources/en-us/mod-cwm.pdf>.
- [3] C. R. Técnicos, «Chromalox Advanced Thermal Technologies,» [En línea]. Available: <http://www.chromalox.com/-/media/files/catalog/resources/en-us/mod-mi.pdf>.
- [4] C. R. Técnicos, «Chromalox Advanced Thermal Technologies,» [En línea]. Available: <http://www.chromalox.com/-/media/files/catalog/resources/en-us/mod-srl.pdf>.
- [5] C. R. Técnicos, «Chormalox Advanced Thermal Technologies,» [En línea]. Available: <http://www.chromalox.com/-/media/files/catalog/resources/en-us/mod-dl-el-accessories.pdf>.
- [6] L. Fabrestel., «Informes de montaje de cintas calefactoras, cajas de alimentación, derivación y control.».
- [7] P. L. Project, «Technical Specification General Site Conditions.».