



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

**IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO APLICADO PARA
LA PLANTA COQUIZADORA DE LA REFINERIA "ING.
HÉCTOR R. LARA SOSA" DE CADEREYTA, N. L.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA ELECTRONICA)**

**P R E S E N T A :
LEOPOLDO ABRAHAM TORRES AGUILAR**



FES Aragón

**ASESOR DE TESIS:
ING. RODRIGO OCÓN VALDEZ**

MÉXICO

2005

0349808



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

LEOPOLDO ABRAHAM TORRES AGUILAR
Presente

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Leopoldo Abraham Torres Aguilar

FECHA: 14 / Nov / 2005

FIRMA: [Firma manuscrita]

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

Implementación y Diseño de un sistema de Trazado de Calor Eléctrico aplicado para la planta coquizadora de la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" de Cadereyta, N. L..

ASESOR: Ing. RODRIGO OCON VALDEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 14 de junio de 2005.

LA DIRECTORA

[Firma manuscrita]

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ

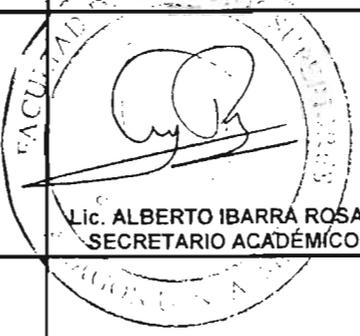
[Firma manuscrita]

C p Secretaria Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/M



SEGUIMIENTO DE REGISTRO DE TESIS

FECHA	CVE.	DESCRIPCIÓN DEL TRÁMITE	AUTORIZACIÓN Y SELLO
25/10/2005	IMP.	Implementación y Diseño de un sistema de Trazado de Calor Eléctrico aplicado para la planta coquizadora de la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" de Cadereyta, N. L.	 Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO

TRÁMITE	CLAVE
PRÓRROGA	PR.
CAM. TÍTULO	C. T.
CAM. ASESOR	C. A.
CAM SEM.	C. S.
VIGENCIA	VIG.
IMPRESIÓN	IMP.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIO SUPERIORES
ARAGÓN UNAM

JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

OFICIO: FESAR/JAME/822/05.

ASUNTO: **Sínodo.**

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
PRESENTE.

Por este conducto me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional del alumno: **LEOPOLDO ABRAHAM TORRES AGUILAR**, con Número Cuenta 09417727-7 con el tema de tesis: **"IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO APLICADO PARA LA PLANTA COQUIZADORA DE LA REFINERÍA ING. HÉCTOR R. LARA SOSA DE CADEREYTA, N.L."**

PRESIDENTE:	ING. BENITO ZÚÑIGA VILLEGAS	OCTUBRE	81
VOCAL:	ING. JOSÉ JUAN RAMÓN MEJÍA ROLDÁN	MARZO	85
SECRETARIO:	ING. ALEJANDRO RODRÍGUEZ LORENZANA	MAYO	91
SUPLENTE:	ING. RODRIGO OCÓN VALDEZ	ABRIL	92
SUPLENTE:	ING. JOSÉ LUIS GARCÍA ESPINOSA	AGOSTO	98

Quiero subrayar que el Director de Tesis es el Ing. Rodrigo Ocón Valdez , quien está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Bosques de Aragón, Estado de México 27 de octubre del 2005.
EL JEFE DE CARRERA

M. en I. ULISES MERCADO VALENZUELA

c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Depto. de Servicios Escolares.
c.c.p Ing. Rodrigo Ocón Valdez . Asesor.
c.c.p. alumno

UMV/scd.

A MIS PADRES.**Cristina A. y Leopoldo T.**

Por darme la vida, por su cariño y apoyo en todos los momentos; y porque fueron parte de la motivación que necesite para empezar y terminar este trabajo. Esperando se sientan partícipes y satisfechos por este logro. Gracias.

A MI ESPOSA.**Ángela B.**

Por la comprensión en momentos difíciles que hemos pasado, y por el tiempo que he dejado de compartir a tu lado por cuestiones laborales, pero sobre todo por ser la mujer que necesitaba para darme fuerza para lograr mi objetivo.

A MIS HERMANOS.**Oscar, Julio y Ernesto.**

Por todos los momentos que hemos compartido juntos y por la ayuda que me han brindado cuando la he necesitado, pero ante todo gracias por ser mis hermanos. También gracias Mauricio y Daniel B.P.

A MIS AMIGOS

Con los cuales aprendí y disfruté todo lo que la escuela nos ofreció; por haberme brindado su amistad, y que nunca olvidare esos momentos agradables.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Y A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

Por todo el apoyo brindado a lo largo de mi formación profesional y dejarme ser parte de ella, abriéndome las puertas para los conocimientos y satisfacciones que ahora poseo. Es un orgullo haber estudiado en esta institución.

A MIS COMPAÑEROS DE PEMEX

Por dejarme formar y ser parte de su equipo, así como al apoyo que me han brindado. En especial al Ing. José Luis Arias Ortiz. Al Ing. Mario E. Galindo G. por la propuesta de realizar este trabajo, así como las aportaciones y comentarios a este trabajo.

**En verdad...
Gracias a todos.**

**IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO APLICADO
PARA LA PLANTA COQUIZADORA DE LA
REFINERÍA “ING. HÉCTOR R. LARA SOSA” DE
CADEREYTA N.L.**

IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO APLICADO PARA LA PLANTA COQUIZADORA DE LA REFINERÍA “ING. HÉCTOR R. LARA SOSA” DE CADEREYTA N.L.

CONTENIDO GENERAL

	Pág.
OBJETIVO	4
INTRODUCCIÓN	4
CAPITULO I CONCEPTOS BÁSICOS	7
I.1 Calentamiento eléctrico	8
I.1.1 Calentamiento directo con resistencias	8
I.1.2 Calentamiento indirecto con resistencias	9
I.2 Resistencia	9
I.3 Resistividad	10
I.4 Efecto Joule	11
I.5 Disipación de Potencia	11
I.6 Variación de la resistencia con la temperatura	11
I.7 Coeficiente de temperatura	12
I.8 Efecto Pelicular	12
I.9 Dispositivos especiales de resistencia	12
CAPITULO II CABLES CALEFACTORES (TRAZAS)	14
II.1 Cables Calefactores (trazas)	15
II.1.1 Funcionamiento	16
II.1.2 Clasificación	18
II.2 Tipos	18
II.2.1 Cables Calefactores Autorregulables	18
II.2.1.1 Cables Calefactores Autorregulables hasta 65°C con trenza metálica	18
II.2.1.2 Cables Calefactores Autorregulables hasta 65°C con trenza metálica y cubierta exterior	19
II.2.1.3 Cables Calefactores Autorregulables hasta 110°C con trenza metálica y cubierta exterior	19
II.2.1.4 Cables Calefactores Autorregulables hasta 120°C con trenza metálica y cubierta exterior	19
II.2.1.5 Cables Calefactores Autorregulables de Potencia Limitante	19
II.2.1.6 Ventajas de los Cables Calefactores Autorregulables	20
II.2.2 Cables Calefactores de Potencia Constante	20
II.2.3 Cables Calefactores en Serie ó Resistencias Flexibles	20
II.2.3.1 Cables Calefactores tipo Serie hasta 350°C con Aislamiento Mineral	21
II.2.3.2 Cables Calefactores tipo Serie hasta 800°C con Aislamiento de Fibra de Cuarzo	21
II.3 Comparación de Cables de Trazado Eléctrico	22
II.4 Formas Típicas de Colocación	23
CAPITULO III SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO	26
III.1 Sistema de Trazado de Calor Eléctrico (STCE)	27
III.1.1 Aplicaciones	27
III.1.2 Instalación	27

III.2	Sistema de Trazado de Calor Eléctrico Completo	28
III.2.1	Información acerca de la Instalación	29
III.2.1.1	Acerca de la recepción del Cable Calefactor	29
III.2.1.2	Antes de la Instalación del Cable Calefactor	29
III.2.1.3	Instalación Inicial	30
III.2.2	Completando la instalación	30
III.2.3	Recomendaciones	32
III.3	Control y monitoreo	32
III.3.1	Controladores mecánicos	34
III.3.2	Controladores electrónicos	35
III.3.3	Monitoreo	36
III.4	Software para el sistema de comunicaciones	36
III.4.1	Sistemas integrados	37
III.5	Diseño y funcionamiento del sistema de monitoreo en cables calefactores	37
III.6	Alarmas	38
III.6.1	Alarma del circuito eléctrico	38
III.6.2	Alarma de temperatura	38
III.7	Requerimientos de Pemex para el control, monitoreo y alarmas.	39
III.7.1	Panel de fuerza y control	39
III.7.2	Control de temperatura y alarmas	39
III.8	Aislamiento térmico	41
III.8.1	Selección del aislamiento	42
III.8.2	Tipos de material aislante	42
III.8.3	Protección del material aislante	42
III.9	Accesorios	44
III.10	Comparación del STCE sobre el Sistema de trazado de vapor (STV)	45
III.10.1	Sistema de trazado de calor eléctrico	45
III.10.2	Sistema de trazado de vapor	46
III.10.3	Ventajas y desventajas	47
III.11	Normas, especificaciones y referencias	48
III.12	Clasificación de áreas peligrosas	48
III.12.1	Consideración para áreas peligrosas	50
 CAPITULO IV CRITERIOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CIRCUITO PARA EL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO		51
IV.1	Diseño para el Sistema de Trazado de Calor Eléctrico	52
IV.2	Parámetros de diseño	52
IV.3	Ejemplo de diseño	52
IV.3.1	Determinar el nivel de temperatura	53
IV.3.2	Determinar el tipo de cable calefactor	54
IV.3.3	Requisitos de la clasificación de temperatura	54
IV.4	Diseño térmico	54
IV.4.1	Cálculo de las pérdidas de calor	54
IV.5	Selección del cable calefactor	56
IV.6	Diseño eléctrico	57
IV.7	Software de diseño	60
 CAPITULO V ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO		61
V.1	Suministro de energía	62
V.2	Conexión de energía eléctrica	62
V.3	Distribución de la energía eléctrica y control de líneas	63
V.3.1	Transformador de distribución	64
V.3.2	Tablero de fuerza y control	65
V.4	Conexión al sistema de tierra	65

V.4.1	Protección contra fallas a tierra	66
V.4.2	Seguridad eléctrica	66
V.5	Cálculo y selección de equipo para la alimentación eléctrica en los circuitos del STCE	67
V.5.1	Características de los circuitos de trazado de calor eléctrico	67
V.5.2	Memoria de Cálculo	67
V.5.2.1	Selección y determinación de la capacidad del Transformador (TR-1)	68
V.5.2.2	Selección y determinación del Tablero (HTP-14)	69
V.5.2.3	Cálculo para conductores alimentadores, canalización y protección de los circuitos eléctricos del STCE	69
V.6	Cuadro de cargas	89
V.7	Alambrado del tablero	90
V.8	Resultados de la memoria de cálculo	91
CONCLUSIONES		92
ANEXO		94
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS		102

OBJETIVO GENERAL

Establecer las características principales y los elementos que constituyen los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico para el mantenimiento de temperatura, por requerimientos del proceso ó por razones de mantenimiento, en plantas de procesos, tuberías, bombas tanques, tolvas válvulas, bridas, instrumentos, recipientes y equipo de plantas e instalaciones de PEMEX.

INTRODUCCIÓN

Los procesos dentro de la industria petrolera demanda la utilización de equipo de mayor eficiencia, ya que en su mayor parte todos estos procesos son de operación continua. Las plantas actuales se están automatizando con lo que se pretende reducir los costos de mantenimiento, mejorar la productividad e incrementar la seguridad del personal.

Para el desarrollo de la industria petrolera en sus ramas de perforación, extracción, transformación, transporte y distribución, ha sido necesario contar con una fuente de energía confiable, segura de alto rendimiento y bajo costo, que pueda transformarse para aprovecharla como energía mecánica, térmica ó luminosa.

Dentro de las principales actividades que se llevan a cabo en Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, se encuentra el diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones para la extracción, recolección, separación, transformación, refinación, almacenamiento, medición y transporte de hidrocarburos, así como la adquisición de materiales y equipos requeridos para cumplir con eficiencia y eficacia los objetivos de la empresa. Por lo anterior, es necesario contar en estas instalaciones con un servicio confiable y de calidad de energía eléctrica. Como la energía que se produce en algunas zonas del país en ciertas ocasiones no puede proporcionar satisfactoriamente estas condiciones, se ha autorizado a PEMEX para proyectar, construir, operar y mantener plantas generadoras a partir de gas o vapor producido en sus instalaciones, así como líneas de transmisión y/o distribución, instalar y mantener subestaciones, además de realizar una extensa red para proporcionar energía a las diferentes cargas de los centros de consumo de sus instalaciones.

En los inicios el calentamiento eléctrico de tuberías y superficies se utilizaba muy poco por falta de materiales y diseños adecuados. Es por eso que hay que entenderlo como un sistema, en el que es fundamental un buen diseño y una adecuada instalación incluyendo la puesta en marcha.

Desde las aplicaciones originales de Cables Calefactores (trazas) del tipo resistencia serie con aislamiento mineral ó aislamiento de asbesto, más y más atención se ha prestado al funcionamiento de los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico. El incremento a la atención de estos sistemas se debe a la gran ventaja que tienen estos en procesos donde históricamente se usaron Sistemas de Trazado de Vapor. El Trazado de Calor Eléctrico se ha convertido en el preferido en las industrias de procesos sobre el Trazado de Vapor, por tener este un alto costo en la operación y el mantenimiento, con limitaciones en el control de temperaturas y preocupaciones crecientes para el ambiente.

Uno de los temas fundamentales que envuelven a la aplicación del Trazado de Calor Eléctrico es la cantidad de disciplinas de la ingeniería que son involucradas directamente ó pueden influir, en su diseño, selección, operación y configuración del circuito. Como un ejemplo, hay que entender la dependencia crítica del Sistema de Trazado en la integración del sistema de aislamiento térmico, esto talvez es fácil de entender para el *ingeniero mecánico*, aislamiento y/o transferencia de calor para un *especialista de impactos* y así nos podríamos seguir hasta completar el diseño y funcionamiento del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico.

Millones de circuitos de Trazado de Calor Eléctrico son instalados alrededor del mundo ahora. La seguridad registrada y experiencia en la confiabilidad de estos sistemas son muy altas. Sin embargo, algunos casos aislados han proporcionado conocimiento de las experiencias y oportunidades de mejorar la seguridad global del sistema y su fiabilidad.

La función de una refinería, es transformar el petróleo en productos derivados que satisfagan la demanda en calidad y cantidad. El petróleo crudo no tiene uso; es por eso que se somete a un proceso de conversión de energía primaria a secundaria llamado refinación. Se conoce como refinación del petróleo, al conjunto de procesos que se aplican al petróleo crudo con la finalidad de separar sus componentes útiles y además, adecuar sus características a las necesidades de una sociedad en cuanto a productos terminados.

El procesamiento del petróleo crudo y del gas asociado se ha incrementado a nivel mundial en los últimos años como un resultado del crecimiento de la población que demanda mayor cantidad de combustibles y lubricantes, y del desarrollo de tecnologías que permiten el procesamiento de los hidrocarburos para la generación de productos de alto valor agregado de origen petroquímico. La transformación y aprovechamiento de los recursos naturales contribuye en gran medida al progreso y desarrollo de un país.

La planta coquizadora es una parte de la refinería. Tiene la función de reciclar los residuos que quedaron de la primera refinación del crudo, para aumentar la producción de gasolinas. En el caso de la refinería de Cadereyta, la coquizadora inició su construcción antes que las otras plantas, con la finalidad de que estuviera antes concluida, puesto que sin esta planta el resto de los nuevos procesos de refinación no pueden ponerse en operación. El proyecto consiste en la construcción de un tren de coquización para la refinación de crudos y producir combustóleo, diesel, turbosina, gasolina y gases.

Este trabajo de tesis aplica para el proyecto de la planta Coquizadora, en la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" de Cadereyta, N. L., y en proyectos de instalaciones nuevas ó ampliaciones en donde el cuarto de control eléctrico donde se ubique el panel de fuerza y control, se proyecte para llevar al exterior los circuitos de fuerza y control hacia los equipos que requieren del sistema de trazado eléctrico.

El Coque (Petcoke)

El Petcoke o Coque de Petróleo es un residuo industrial proveniente de la refinación del petróleo, compuesto fundamentalmente por carbón y metales pesados como níquel y vanadio, un porcentaje de azufre cercano al 6% y un elevado poder calorífico. Este residuo tiene una estructura característica, resultante de la descomposición y polimerización de masas fundidas o semilíquidas.

Durante la formación del coque se obtienen varios productos de valor comercial. Si la planta es lo suficientemente grande como para recuperar estos productos, su valor es de casi el 35% del costo del carbón mineral. Los productos mas valiosos son el *gas combustible*, con un poder calorífico de 550 BTU/pie³ (20 500 kJ/m³), el *alquitrán* y los *aceites ligeros*, contienen benceno, tolueno, xileno, naftaleno, amoniaco, fenoles, etc.

El Capítulo I, nos da una introducción al calentamiento eléctrico y los diferentes tipos que existen, así también se definen algunos conceptos básicos eléctricos y físicos que se relacionan para comprender algunos fenómenos, se muestran algunas fórmulas y leyes que debemos conocer para entender mejor el funcionamiento y operación de los cables calefactores que se utilizan en los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico.

El Capítulo II, nos presenta a los cables calefactores, su definición, el funcionamiento, clasificación y tipos: se proporcionan las características más generales de los diferentes cables calefactores, y se realiza una comparación de los mismos, donde se muestran las diferencias más importantes y la manera en que se utilizan de acuerdo al lugar o a la aplicación que se les quiera dar dentro de la industria del trazado eléctrico. También se presentan algunas ilustraciones con las formas típicas de colocación de los cables calefactores sobre ciertos equipos de proceso.

En el Capítulo III, se muestra lo que es un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico (STCE), sus diferentes aplicaciones, así como todos los elementos que lo constituyen; se da énfasis a los requerimientos que en este caso Pemex nos marca para la instalación y la seguridad, tanto del personal como de las instalaciones, así que se proporcionan algunas recomendaciones prácticas. Se habla también de los tipos básicos para el control y el monitoreo, alarmas, etc. Una parte esencial del STCE es el Aislamiento Térmico que se detalla en este capítulo, así que también se habla de los diferentes tipos y materiales usados en la instalación del aislamiento. Se realiza una comparación entre los sistemas de Trazado de Vapor y el STCE, las ventajas y desventajas de cada uno. Un tema importante en este capítulo, es lo concerniente a la seguridad, así que se proporciona todo lo referente a las zonas y áreas peligrosas así como la seguridad dentro de la industria.

En el Capítulo IV, se elabora el diseño de un STCE aplicado a una parte de la tubería de la unidad de gas, y que debe mantener cierta temperatura de proceso y mantenimiento. En este caso el diseño considera la selección del material para el aislamiento térmico, la selección del cable calefactor, y un diseño eléctrico a partir del tipo de cable calefactor seleccionado.

El Capítulo V y último, se expone lo referente al suministro de energía eléctrica que debe proporcionarse para alimentar el STCE, su conexión y distribución, así como también la selección de equipo eléctrico y sus requerimientos. Se realiza un ejemplo práctico para el cálculo y selección de equipo y material eléctrico, esto es aplicado en una sección de la refinería conocida como "zona de tratamiento de butanos", y que utiliza un STCE que consta de 6 circuitos calefactores y que son alimentados eléctricamente desde un cuarto eléctrico. Se da mucha importancia en la selección del calibre del conductor por caída de tensión, ya que hacemos uso de diferentes fórmulas y métodos para la selección de este, ya que alimentara a nuestros circuitos calefactores. Al final de este capítulo, se muestra un cuadro de cargas, un diagrama con el alambrado de nuestro tablero y una tabla que muestra la memoria de cálculo final para cada uno de los circuitos eléctricos.

CAPITULO I

CONCEPTOS BÁSICOS

I.1 Calentamiento eléctrico

En la actualidad, el calentamiento eléctrico surge como una alternativa al calentamiento directo o indirecto, debido principalmente a cuestiones de tipo ambiental, económicos y de seguridad al personal e instalaciones.

Una de las mayores ventajas del calentamiento eléctrico es su alta eficiencia, esto es cierto para la eficiencia eléctrica, que es el porcentaje de energía eléctrica convertida en calor útil, lo que significa que hay menos calor desperdiciado en la planta. Sin embargo, la generación de energía eléctrica a partir de un combustible fósil sólo proporciona una eficiencia del 30%; por ello las eficiencias globales del calentamiento eléctrico varían desde el 15% en una aplicación de calentamiento dieléctrico hasta el 30% para aplicaciones de calentamiento directo con resistencias.

El calentamiento eléctrico industrial puede dividirse en tres categorías básicas:

- Calentamiento con resistencias, directo e indirecto
- Calentamiento por inducción
- Calentamiento dieléctrico

El calentamiento con resistencias se refiere a la generación de calor de acuerdo con la Ley de Joule, es decir, a las pérdidas, I^2R (I = corriente eléctrica en amperes y R = resistencia eléctrica en ohms) en materiales conductores de electricidad cuando pasa una corriente eléctrica a través de ellos por contacto directo. El calentamiento por inducción se rige también por I^2R , pero la corriente es inducida en el conductor mediante un campo magnético alternativo. El calentamiento dieléctrico es la generación de calor en un material no conductor colocándolo en el campo eléctrico alternativo con los mecanismos de calentamiento basados en las pérdidas ocasionadas por la rotación del dipolo.

En general, el calentamiento directo con resistencias es el que se emplea más a menudo para el calentamiento de barras de lingotes antes de rolar o forjar el material, para la fundición de vidrio en combinación con otra fuente de calor, en hervidores para agua caliente, y en baños salinos para el tratamiento térmico de metales. El calentamiento indirecto con resistencias en estufas y hornos tiene muchas aplicaciones, desde el secado hasta la fundición. El calentamiento por inducción se utiliza para calentar metales que serán sometidos a fundición o forjado, soldadura y endurecimiento, así como en diversas aplicaciones menos frecuentes. El calentamiento dieléctrico y por microondas se aplica en el secado de muchos materiales, desde madera hasta alimentos, para el procesamiento de materiales plásticos y para gran cantidad de aplicaciones en el calentamiento de alimentos a nivel residencial y comercial, en donde las microondas son muy adecuadas.

La técnica para efectuar los cálculos de los calentadores eléctricos ha sido desarrollada por la *industria eléctrica* y no es idéntica con los métodos empleados ya sea en las *industrias químicas o mecánicas*. Esto se debe sin duda, a la gran estandarización del equipo eléctrico.

I.1.1 Calentamiento directo con resistencias

Los calentadores eléctricos consisten de alambres de resistencias embebidos en un material refractario que luego se protege por una cubierta metálica.

En el calentamiento por resistencia eléctrica el elemento es capaz de alcanzar muy altas temperaturas, la temperatura más alta alcanzada por este tipo de calentador es aquella que causa que la energía en forma de calor se disipe a la misma velocidad que se produce. Para evitar que el elemento se queme, el flujo frío o sólido debe ser capaz de recibir calor a una velocidad tal que mantenga a la envoltura metálica por debajo de la máxima temperatura permisible, es decir, el diseño de elementos eléctricos esta condicionado por el flujo térmico que puede disiparse en el material frío.

El flujo térmico es la energía cedida en BTU por hora por pie cuadrado de superficie, y en unidades eléctricas se expresa en watts por pulgada cuadrada de la superficie del elemento. La razón a la que la energía eléctrica se convierte en calor esta dada por I^2R , estas pérdidas por resistencia en conductores son por lo general indeseables, aunque pueden llegar a ser convenientes cuando el conductor debe someterse a calentamiento. La razón de la energía cedida es watt o kilowatt, y es equivalente a BTU por hora. Similarmente, la cantidad total de energía es el kilowatt-hora o watt-hora, y es equivalente a BTU sin unidad de tiempo.

La energía suministrada para el calentamiento directo por resistencias puede ser trifásica o monofásica, proviene básicamente de transformadores de reducción y contactores con capacitores para corrección del factor de potencia.

Los contactos a través de los que se transfiere la corriente son los que presentan más problemas para su diseño, las grandes áreas de contacto y por consiguiente de baja resistencia, son buenas liberadoras de calor y producen terminales frías. Las pequeñas áreas de contacto con poco escape de calor tienen una resistencia alta y ocasionan pérdidas de potencia y sobrecalentamiento local, los contactos deben soportar con frecuencia esta carga. Hay innumerables aplicaciones en las que el calentamiento por resistencia eléctrica puede hacerse operar más efectivamente que la transferencia de calor por un fluido, particularmente en operaciones por lote. Existen otras ventajas que pueden derivarse del tamaño compacto de los tipos estándar de elementos eléctricos calefactores: la facilidad con la que se generan altas temperaturas, eliminación de riesgos de combustión, y su fácil aplicación y adaptación para control y regulación automática.

1.1.2 Calentamiento indirecto con resistencias

Este tipo de calentadores incluye calentadores de resistencia superficial, calentadores por inmersión, elementos de calentamiento no aislados en hornos y estufas y calentadores infrarrojos. Entre los factores que afectan la selección de calentamiento indirecto con resistencias, se incluyen el coeficiente de resistencia a la temperatura, resistencia a la deformación, condiciones atmosféricas, resistencia al choque térmico y necesidad de alta resistividad.

El calentamiento infrarrojo (IR) o calentamiento radiante, tiene muchas ventajas, ya que el material que se está trabajando no necesita estar en contacto con los elementos de calentamiento o con el aire circulante. Aunque la generación de calor y liberación hacia el material es más eficiente que en otros métodos que emplean hornos y estufas, el calentamiento infrarrojo tiene una menor eficiencia global ya que la parte de energía útil depende de la capacidad de absorción del material que se calienta.

1.2 Resistencia

La resistencia (R) se define como la oposición al flujo de carga eléctrica. Aunque la mayor parte de los metales son buenos conductores de la electricidad, todos ofrecen alguna oposición al flujo de carga eléctrica que pasa a través de ellos.

Las leyes que gobiernan al calentamiento de las resistencias eléctricas, despreciando el efecto de la resistencia en el circuito son:

$$\text{Ley de Ohm} \quad I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

$$\text{Ley de Joule} \quad P = I V, \quad P = I^2 R \quad (2)$$

donde:

I = Corriente (amperes)

V = Voltaje (volts)

R = Resistencia (ohms)

P = Potencia (watts)

En casi todos los casos de conducción de corriente en algún elemento, la corriente si es un flujo de electrones que pasa por el material. De hecho, la diferencia entre un buen conductor, un semiconductor y un aislante, es el número de electrones libres en el material que transportan corriente. En los metales hay gran número de electrones de este tipo, en los semiconductores hay menos, y en los aislantes prácticamente ninguno.

Ley Poulliett. Esta ley experimental nos establece que: "La resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su área de sección transversal".

A determinada temperatura la resistencia de cierto conductor puede calcularse a partir de:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

donde: R = resistencia (ohms)
 l = longitud (metro)
 A = área (m^2)
 ρ = resistividad del material (ohm-metro)

1.3 Resistividad

La *resistividad* de un material es una constante que describe la resistencia inherente del material al flujo de corriente. Este valor expresa la resistencia por un área unitaria por unidad de longitud del material. La resistividad varía marcadamente para diferentes materiales y también se ve afectada por cambios en la temperatura.

La constante de proporcionalidad ρ *resistividad*, es una propiedad del material expresada por:

$$\rho = \frac{R A}{l} \quad (4)$$

Cuando R se expresa en ohms, A en metros cuadrados y l en metro, la unidad de resistividad es el ohm-metro (Ω -m).

$$\frac{(\Omega)(m^2)}{m} = \Omega m \quad (5)$$

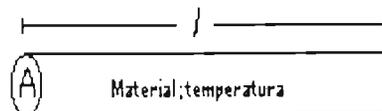
En la siguiente tabla se mencionan las resistividades de diversos materiales.

Material	Resistividad (Ω -m)
Plata	1.6×10^{-8}
Cobre	1.7×10^{-8}
Oro	2.4×10^{-8}
Cromo	2.7×10^{-8}
Aluminio	2.8×10^{-8}
Tungsteno	6×10^{-8}
Latón	7×10^{-8}
Hierro	9×10^{-8}

Tabla 1. Resistividades eléctricas (ρ) a 20°C

La resistencia de un alambre de área de sección transversal uniforme, como en el mostrado en la siguiente figura, se determina a partir de los cuatro factores siguientes:

1. Tipo de material
2. Longitud
3. Área de la sección transversal
4. Temperatura



1.4 Efecto Joule

Al circular una corriente eléctrica por un conductor parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo; se producen pérdidas por efecto Joule (calor), en el material aislante sometido a tensión se producen pérdidas dieléctricas, en la pantalla y armadura (según este puesta a tierra) también se pueden presentar pérdidas Joule.

Todo el calor producido debe ser disipado al ambiente, para ello debe atravesar las distintas capas de materiales (aislantes y conductores), alcanzándose así el equilibrio térmico.

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía térmica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t = V \cdot i \cdot t = \frac{V^2}{R} \cdot t \quad (6)$$

donde:

W = energía producida por la corriente expresada en Joules

I = intensidad de la corriente que circula

R = resistencia eléctrica del conductor

t = tiempo

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como los hornos, las tostadoras, los calefactores eléctricos, y algunos aparatos empleados industrialmente como soldadoras, etc. en los que el efecto útil buscado es precisamente el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente

1.5 Disipación de Potencia.

El hecho de que la corriente y la caída de voltaje de una resistencia estén en fase indica que esta tome energía del circuito a un valor constante. Ésta se conoce como potencia eléctrica disipada y se mide en watts (W) o Joules/segundo (J/s). En el caso de una resistencia pura, la energía se disipa en forma de calor. Esta potencia produce calentamiento en la resistencia porque disipa energía a los alrededores. La cantidad de potencia se obtiene mediante la relación fundamental

$$P = I V = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (7)$$

donde:

P = potencia disipada en watts (W)

I = corriente que pasa por la resistencia (A)

V = voltaje a través de la resistencia (V)

1.6 Variación de la Resistencia con la Temperatura

La resistencia de un resistor varía con la temperatura. Al aumentar la temperatura de un conductor se incrementa su agitación electrónica, aumentando por consiguiente la dificultad en el transporte de la corriente eléctrica, y por lo tanto un aumento de su resistencia eléctrica.

Para comprender la importancia del incremento de la resistencia eléctrica que ocasiona la temperatura, basta observar que un alambre de cobre de 1 Km. de longitud y de 1 mm² de sección que a 20°C presenta una resistencia de 1.6 ohms; a 90°C, que es la temperatura admisible en la mayoría de los cables de energía, presentará una resistencia de 22.4 ohms. Esto es importante a la hora de determinar la caída de tensión y las pérdidas por efecto Joule en una instalación, puesto que, a plena carga, éstos valores llegarían a ser un 27% mayores, que en el caso de considerar la resistividad dada en los textos para corriente continua y 20°C.

Cuando un cable aislado trabaja a temperaturas por encima de las normales, su vida útil se reduce sustancialmente. Se estima que por cada diez grados de exceso sobre la temperatura máxima admisible en servicio permanente, la vida útil de un cable se reduce a la mitad. Esto es, un cable trabajando permanentemente 30°C por encima de su temperatura máxima de servicio, reduce su vida útil a poco más del 10 % de la prevista por el fabricante.

Así entonces, concluimos que la resistencia depende directamente de la temperatura de trabajo.

1.7 Coeficiente de temperatura

Esta dependencia se expresa mediante el *coeficiente de temperatura* (CT), que puede expresarse como el cambio porcentual de resistencia por grado de temperatura. La especificación más común es el cambio porcentual de resistencia por grado Celsius ($\%/^{\circ}\text{C}$) con respecto a la resistencia a 25°C. La resistencia puede aumentar con la temperatura (coeficiente positivo) o disminuir con la temperatura (coeficiente negativo).

1.8 Efecto Pelicular ó Efecto Skin

La distribución uniforme de la densidad de corriente en la sección de un conductor, solamente se presenta en corriente continua. En corriente alterna, a medida que aumenta la frecuencia, la densidad de corriente varía en las distintas zonas de una sección transversal del conductor. Éste efecto, hace que la densidad de corriente aumente desde el interior hacia el exterior del conductor. La corriente fluye mayormente por la periferia del conductor debido al campo electromagnético generado. Éste hecho produce un aumento de la resistencia y una disminución de la reactancia interna del conductor.

Este fenómeno denominado *efecto pelicular o efecto Skin*, restringe el flujo de corriente eléctrica, ya que solo utiliza un porcentaje del material conductor y genera un aumento de la temperatura como consecuencia del efecto Joule.

El efecto pelicular o efecto skin depende de la frecuencia, la resistividad del conductor, la geometría de este, su permeabilidad y la longitud perimetral de este en relación a su superficie transversal. En términos eléctricos este efecto está relacionado con la impedancia mutua del conductor.

El efecto pelicular, para frecuencias de 50 ó 60 Hz es despreciable en los conductores de bajas secciones, sin embargo, para secciones grandes de conductores, el efecto pelicular se hace apreciable.

La distribución de la densidad de corriente en la sección de un conductor, también resulta afectada por los campos magnéticos debidos a la presencia de otros conductores vecinos. Éste fenómeno se conoce con el nombre de *efecto de proximidad*.

1.9 Dispositivos Especiales de Resistencia

Termistores y RTD

Los termistores y los RTD's (Sensor de Temperatura por Resistencia ó Detector Resistivo de Temperatura), son componentes cuya resistencia varía con la temperatura. Se emplean para medir y detectar la variación de temperatura. En el caso de las resistencias, la variación de la resistencia con la temperatura es una característica no ideal. En estos dispositivos esa variación se emplea para medir la temperatura.

El termistor se fabrica con material semiconductor. Su resistencia disminuye de manera no lineal con la temperatura. Puede tener una sensibilidad muy grande, hasta de $-10\%/^{\circ}\text{C}$.

El RTD se fabrica con alambre metálico. Su resistencia aumenta casi linealmente con la temperatura. Tiene sensibilidad baja, del orden de $0.4\%/^{\circ}\text{C}$.

Ambos dispositivos tienen un valor nominal de disipación máxima de potencia y una constante de disipación (P_D). Esta constante indica la cantidad de autocalentamiento por cada watt de potencia disipada. Así, una constante de disipación de $20 \text{ mW/}^\circ\text{C}$ significa que si se hace pasar corriente por el dispositivo y se disipan 20 mW , se autocalentará 1°C .

CAPITULO II CABLES CALEFACTORES

II.1 CABLES CALEFACTORES (TRAZAS)

Los cables calefactores ó trazas son cintas calefactoras formadas por conductores de cobre cubiertos con un elemento calefactor de polímero conductivo así como también una cubierta aislante interior, una malla de cobre estañada y finalmente una capa exterior (opcional), todo esto con la capacidad de proporcionar calor y protección al sistema. Su forma física es similar a un cable eléctrico. Es delgado y flexible.

Los cables calefactores son usados para contrarrestar las pérdidas de calor a través del aislante. Se pueden conseguir en una gran variedad de potencia y construcciones. Estos cables pueden instalarse en locaciones ordinarias (de no-riesgo) y de riesgo (clasificadas), dependiendo de las especificaciones y aprobaciones se selecciona el cable.

El diseño del cable varía en función de la temperatura, esto de acuerdo a las variaciones de temperaturas en la superficie de la tubería debido a montajes y soportes. Esta variable en la temperatura debe aplicarse por parte del diseñador del sistema.

A continuación, se muestra la construcción de algunos cables calefactores del tipo autorregulables.

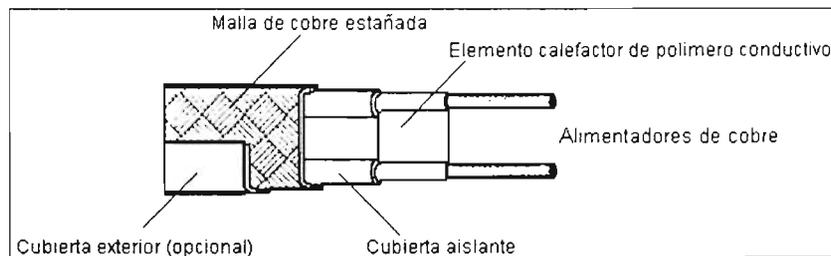


Figura 1. Cable calefactor autorregulable con núcleo sólido

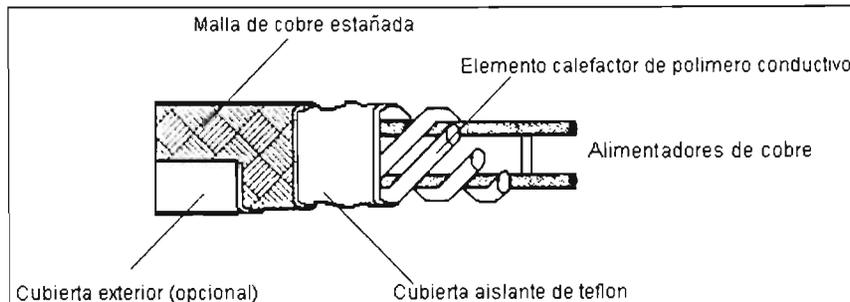


Figura 2. Cable calefactor autorregulable de fibras

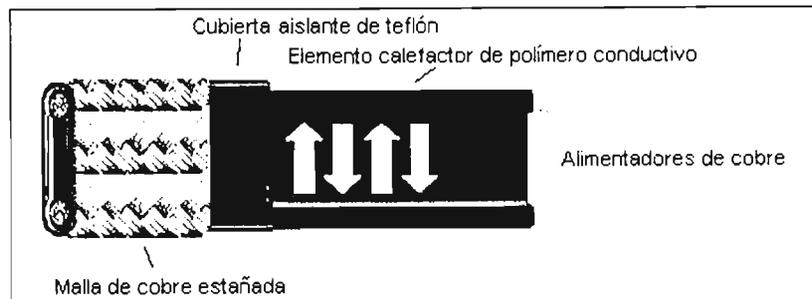


Figura 3. Cable calefactor autorregulable sin cubierta exterior

Sus propiedades permiten la instalación del cable calefactor sobre cualquier tamaño y configuración de tuberías y tanques. Una característica de los cables calefactores es que proporcionan gran versatilidad en el diseño e instalación del sistema. Los detalles para su instalación determinarán el tipo de cable que se debe seleccionar.

II.1.1 Funcionamiento

El cable calefactor regula su disipación de energía respondiendo a cambios de temperatura de su ambiente, manteniendo constante en todo lo largo de la tubería la temperatura deseada. Las propiedades del núcleo semiconductor del cable calefactor automáticamente modificarán el flujo de la corriente, respondiendo a las diferentes temperaturas alrededor de él. Este núcleo polimérico conductor es energizado a través de los dos conductores de cobre. Debido a su diseño de circuito paralelo es posible realizar cortes y derivaciones según se requiera durante la instalación.

Tomando la tecnología de los polímeros conductivos, se han desarrollado los cables calefactores, que contienen cierta carga de carbón conductor que forma pasos conductores entre los cables. Esta característica única hace que se formen conexiones eléctricas entre los cables.

La corriente eléctrica pasa por el núcleo semiconductor entre dos conductores y forma un circuito eléctrico y térmico continuamente paralelo. Cuando el cable calefactor se calienta, el número de sendas semiconductoras dentro del polímero cambian. Memoria molecular es la habilidad dentro de este núcleo polimérico de disminuir ó aumentar el número de estas sendas microscópicas y eléctricamente conductoras en función a cambios de temperatura en el ambiente del cable calefactor.

Mientras continúe la expansión térmica, más sendas se interrumpen, cortando el flujo de la corriente y por lo tanto la disipación de energía del cable, hasta lograr una estabilidad térmica. Este proceso se invierte cuando la temperatura ambiental o superficial baja. El núcleo reacciona creando o conectando de nuevo sendas conductoras adicionales. Cuando el número de estas sendas conductoras aumenta, la resistencia disminuye y el cable calefactor compensa produciendo más calor. Este es el fenómeno autorregulador de la memoria molecular del cable calefactor autorregulable. Ya que es una propiedad inherente del núcleo polimérico este fenómeno reacciona a los cambios de temperatura independientemente en cualquier punto a lo largo del cable. A continuación, se muestra en la figura 4, el funcionamiento y en la figura 5, la respuesta del cable autorregulable.

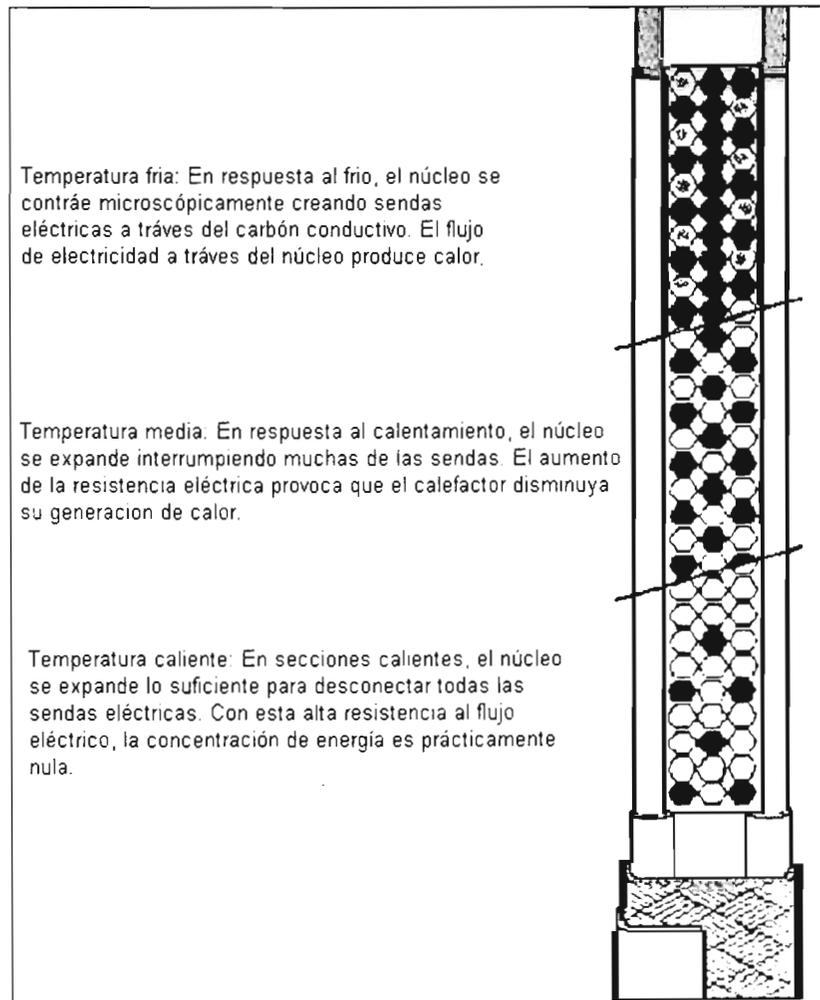


Figura 4. Respuesta del núcleo autorregulador a las temperaturas

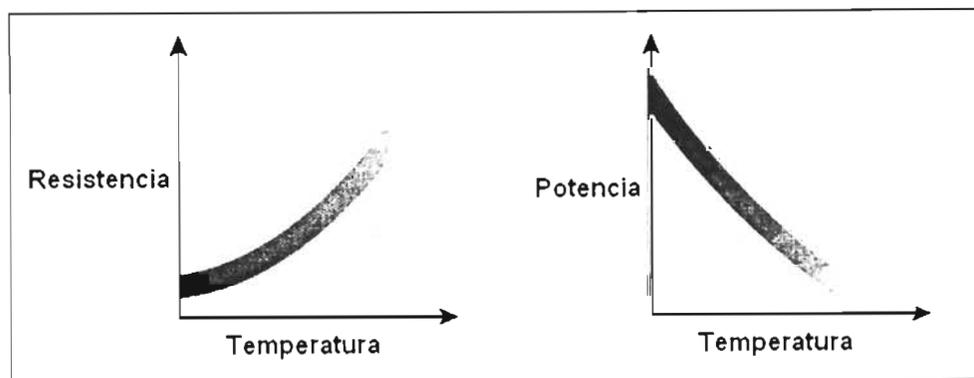
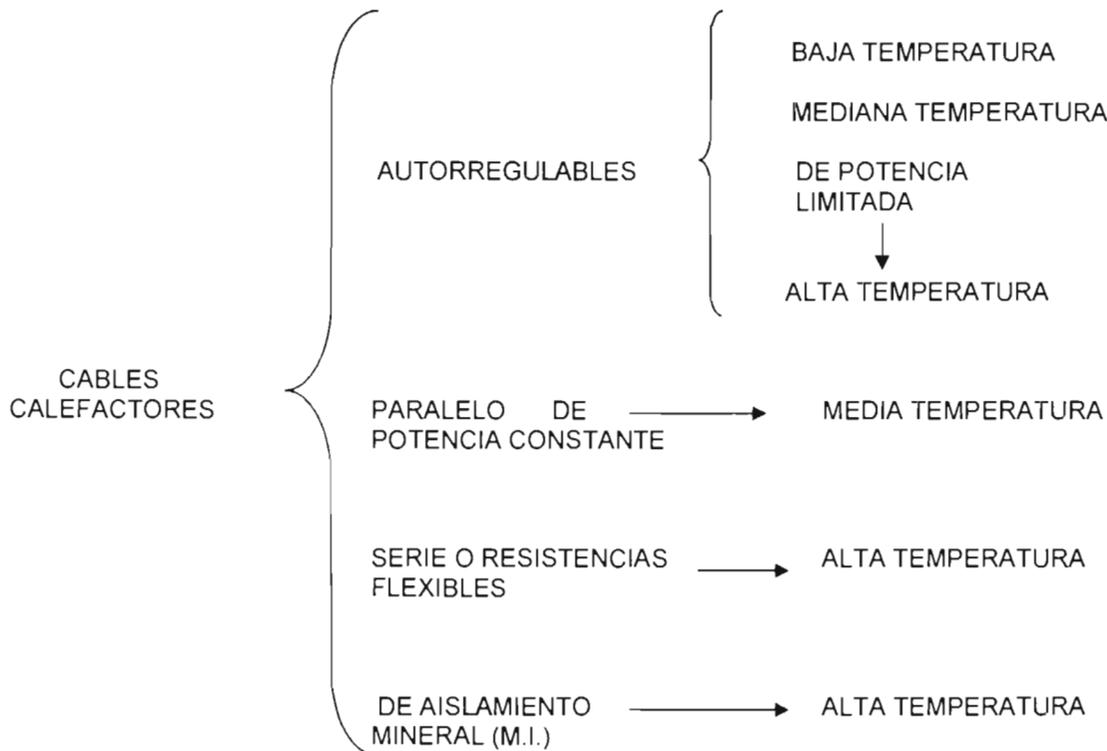


Figura 5. Gráficas: Resistencia vs. Temperatura; y Potencia vs. Temperatura

II.1.2 CLASIFICACIÓN



En este trabajo se proporciona información más completa de los materiales y equipos utilizados en un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico con cables Autorregulables, ya que estos son los de mayor utilización y han demostrado gran eficiencia por sus características de operación. Debemos recordar que existen más tipos de cables calefactores, y estos dependen de la variedad de diseños y capacidades no mencionadas en este trabajo. Pero su principio de funcionamiento y operación es similar. A continuación, se darán algunos datos acerca de los diferentes tipos de cables calefactores.

II.2 TIPOS

II.2.1 Cables calefactores autorregulables. Están diseñados y construidos para regular su propia producción, si la temperatura del proceso disminuye, la producción del cable se incrementa y viceversa.

Estos cables deben ser capaces de ser cortados de acuerdo a la longitud deseada para satisfacer las condiciones de instalación y debiendo formar un circuito continuo de calefacción, para proporcionar la cantidad de calor requerida a los cambios de temperatura.

II.2.1.1 Cables calefactores autorregulables hasta 65°C con trenza metálica (baja temperatura).

Este cable calefactor de circuito paralelo y tipo autorregulable se utiliza principalmente para la protección contra el hielo en tuberías y depósitos. Se puede utilizar también para mantener temperaturas de proceso hasta de 65°C (150°F) y soportar la exposición a la temperatura de la tubería hasta de 85°C (185°F).

II.2.1.2 Cables calefactores autorregulables hasta 65°C con trenza metálica y cubierta exterior (baja temperatura).

Para aplicaciones con exposición a soluciones corrosivas, el cable debe ser adicionalmente cubierto con un enchaquetado de poliolefina (para aplicaciones a soluciones inorgánicas acuosas) o enchaquetados de fluoropolímeros (para exposición a hidrocarburos basados en soluciones orgánicas).

Estos cables calefactores de circuito paralelo y tipo autorregulable se utilizan principalmente para la protección contra la helada de tuberías y depósitos. Se pueden utilizar también para mantener temperaturas de proceso de hasta 65°C. Tienen una configuración que les hace adecuados para trabajar en zonas con riesgo de explosión y ambientes donde pueden estar expuestos a productos químicos corrosivos.

II.2.1.3 Cables calefactores autorregulables hasta 110°C con trenza metálica y cubierta exterior (mediana temperatura)

Cables calefactores de circuito paralelo y tipo autorregulable utilizados principalmente para mantener la temperatura de proceso en tuberías y depósitos. Se pueden utilizar también para protección contra heladas de tuberías de gran diámetro y para aplicaciones donde se requiera soportar temperaturas medias de exposición. Tienen una configuración que les hace adecuados para trabajar en zonas con riesgos de explosión y en ambientes donde pueden estar expuestos a productos químicos corrosivos.

Estos cables deben tener la capacidad de mantener temperaturas hasta de 121°C (250°F) y soportar la exposición a la temperatura de la tubería de hasta 187.8°C (370°F) con el cable desenergizado.

Para aplicaciones con exposición a soluciones corrosivas, el cable debe ser adicionalmente cubierto con un enchaquetado de fluoropolímeros (para exposición a hidrocarburos basados en soluciones inorgánicas).

II.2.1.4 Cables calefactores autorregulables hasta 120°C con trenza metálica y cubierta exterior (alta temperatura)

Cables calefactores de circuito paralelo y tipo autorregulable utilizados principalmente para mantener la temperatura de proceso en tuberías y depósitos. Se pueden utilizar también para protección contra heladas de tuberías de gran diámetro y para aplicaciones donde se requiera soportar altas temperaturas de exposición. Tienen una configuración que les hace adecuados para trabajar en zonas con riesgos de explosión y en ambientes donde pueden estar expuestos a productos químicos corrosivos.

Estos cables calefactores deben ser capaces de mantener temperaturas hasta de 148.9 °C (300°F) y soportar la exposición intermitente a la temperatura de la tubería de hasta 232°C (450°F) cuando el cable esta desenergizado.

Para aplicaciones con exposición a soluciones corrosivas, el cable debe ser adicionalmente cubierto con un enchaquetado de fluoropolímeros (para exposición a hidrocarburos basados en soluciones inorgánicas).

II.2.1.5 Cables calefactores autorregulables de potencia limitante – alta temperatura

Los cables calefactores de potencia limitante serán usados para mantener temperaturas de 148.9°C (300°F) y soportar la exposición continua a la temperatura de la tubería hasta de 260°C (500°F) con el cable desenergizado.

El cable calefactor limitador de potencia se utiliza para prevenir la ebullición de los líquidos de procesos. El uso de estos elementos debe ser restringido para aplicaciones en las cuales la máxima temperatura del proceso no exceda el límite de temperatura del calefactor de limitador de potencia.

Este cable debe ser capaz de ser cortado de acuerdo a la longitud deseada para satisfacer las condiciones de instalación y debiendo formar un circuito continuo de calefacción. Proporcionando la cantidad de calor requerida a los cambios de temperatura.

Para aplicaciones con exposición a soluciones corrosivas, el cable debe ser adicionalmente cubierto con un enchaquetado de fluoropolímeros (para exposición a hidrocarburos basados en soluciones orgánicas).

III.2.1.6 Ventajas de los cables autorregulables.

Gracias al diseño de circuito en paralelo, la diversidad del cable calefactor autorregulable significa que uno puede aplicarlo para varios diámetros y longitudes de tuberías en el campo, ayudando a eliminar así muchos costos de diseño, e instalación. Hay que tomar en cuenta todas las ventajas de diseño, instalación y la maleabilidad que nos da el trabajar con el cable autorregulable para así poder adaptarse a sus especificaciones antes de determinar el diseño final de la planta o también después de su construcción.

A continuación se dan algunas de las ventajas principales del cable calefactor autorregulable:

- **Fácil instalación:** Estos cables autorregulables (trazas) pueden ser cortados y empalmados según se requiera durante la instalación. Se pueden hacer empalmes en forma longitudinal o helicoidalmente. Se cuenta con accesorios de conexión.
- **Fácil mantenimiento:** Sin fugas de vapor, sin rupturas de alambres de nicromo, los termostatos no son indispensables.
- **Temperatura uniforme:** La capacidad de censar automáticamente las condiciones a lo largo de la tubería de proceso le permiten a las trazas acoplarse a diferentes niveles de potencia a todo lo largo del circuito.
- **Arranque rápido:** proporciona gran potencia cuando las superficies están muy frías.
- **Estabilidad de potencia:** El mantener la potencia de salida bajo ciclo térmico es una cualidad de los cables calefactores autorregulables (trazas). Esto les asegura el buen contacto entre el polímero conductor y los cables de alimentación, así la integridad física del conjunto.
- **Índice de Autorregulación:** para un rápido arranque y un ahorro de energía, la potencia térmica varía de acuerdo a la temperatura.
- **Costo de operación bajo:** Por su característica autorregulable proporciona energía térmica solo y donde se requiere.

II.2.2 Cables calefactores de potencia constante.

Combinan características de cables de calentamiento con resistencias en serie y en paralelo. Estos cables utilizan materiales de alta calidad a un precio modesto. Algunas de sus aplicaciones en la industria son las siguientes:

- Mantiene la temperatura del proceso
- Protección contra el congelamiento

Los cables calefactores paralelos de potencia constante deben ser diseñados para tener una densidad constante en watt (w/ft) dentro del rango de longitudes recomendadas por el fabricante.

Cuando son usados para mantener la temperatura a 65.5°C (150°F) o menor, o cuando los cables desenergizados son expuestos a temperaturas de 204.5°C (400°F), se deben de recubrir con aislamiento a base de fluoropolímeros.

Para aplicaciones con exposición a soluciones corrosivas, el cable debe ser adicionalmente cubierto con un enchaquetado de fluoropolímeros (para exposición a hidrocarburos basados en soluciones orgánicas).

II.2.3 Cables calefactores en serie ó resistencias flexibles

Cable para el Sistema de Trazado de Calor Eléctrico que contiene elementos calefactores que son eléctricamente conectados en serie, con un solo camino de corriente, tienen una resistencia específica a una temperatura dada para una longitud dada, suministrando calor independientemente de la temperatura de la tubería y de la temperatura ambiente. Aplica en tuberías largas de proceso.

El aislamiento eléctrico debe ser de un fluoropolímero para 600 VCA, con capacidad para resistir la exposición continua a temperaturas de hasta 204.4/287.8°C (400°F/550°F).

II.2.3.1 Cables calefactores tipo serie hasta 350°C con Aislamiento Mineral (M.I.)

Este tipo de cables se utilizan para el calentamiento de tuberías, depósitos, tolvas y otros equipos de proceso hasta 350°C y en aquellos casos en que los cables deban soportar hasta 450°C de temperatura estando los cables desconectados. Con un diseño adecuado, pueden utilizarse en zonas con riesgo de explosión. Entre los cables de calentamiento, son los más durables. Debido a su construcción, pueden tener un alto rendimiento de vatios (watts), los cuales pueden ser usados en algunas aplicaciones de calentamiento de procesos especiales.

Están constituidos por un elemento calefactor recubierto con aislamiento mineral de óxido de magnesio y una cubierta exterior metálica de protección. Son de diámetro reducido (3.2 y 3.4 mm.) y lo suficientemente flexibles, para permitir su adaptación a las superficies a calentar. En sus extremos disponen de unos tramos fríos (no activos) que se utilizan para conectarlos a la alimentación eléctrica.

Los cables con aislamiento mineral deben ser capaces de soportar la exposición continua a temperaturas de 537.8°C (1000°F), cuando el cable esta desenergizado.

Cada cable calefactor de aislamiento mineral debe ser fabricado para la longitud que se le requiera con empalmes fríos para conectar a la fuente o donde se requiera una conexión. Las secciones frías deben tener un conector tipo glándula a la llegada a las cajas de conexiones. Los cables deben ser terminados y sellados en fábrica. La cubierta del cable M.I. debe ser sin costura.

Cada cable M.I. tendrá un tag de acero inoxidable conectado a las secciones frías con alambre de acero inoxidable. El tag debe mostrar el número de circuito para el cual es conectado, características eléctricas, físicas y térmicas tales como voltaje, watts/ft, calor, resistencia y diámetro del conductor.

II.2.3.2 Cables calefactores tipo serie hasta 800°C con Aislamiento de Fibra de Cuarzo

Este tipo de cables calefactores son adecuados para calentar tuberías y superficies hasta una temperatura máxima de 800°C.

Debido a que el aislamiento es de tejido de fibra de cuarzo deben instalarse únicamente en lugares completamente secos, sin riesgo de humedad y con las protecciones eléctricas correspondientes.

Están constituidos por una zona calefactora con un conductor de calentamiento espiralado, sobre el cual se aplica tejido de fibra de cuarzo. En cada extremo de la zona calefactora disponen de unos extremos fríos conductores que permiten efectuar la alimentación de los mismos.

Nota. Todos los cables calefactores deben llevar una malla metálica para usarla como conductor a tierra, (excepto los cables calefactores de aislamiento mineral, los cuales por su diseño no lo requieren).

II.3 Comparación de Cables de Trazado Eléctrico

Tipo de cable	Aplicación	Ventajas	Desventajas
De potencia limitada (auto-limitado)	Protección contra congelamiento en invierno. Mantiene la temperatura de proceso (con cables para 300°F/150°C) en instrumentos de tubería, tubos y tanques. Protección para eliminar la escarcha en el fondo de los tanques.	Fácil diseño, flexible, corte a la longitud requerida, fácil instalación. No sufre sobrecalentamiento, Evaluación T incondicional.	Sensibilidad a altas temperaturas (<400°F/204.4°C), dificultad en el monitoreo, alta corriente de arranque.
Paralelo de potencia constante	Protección contra congelamiento en invierno. Mantiene la temperatura de proceso (con cables para 400°F/190°C) en instrumentos de tubería, tubos y tanques. Protección para eliminar la escarcha en el fondo de los tanques.	Fácil diseño, flexible, corte a la longitud requerida, construido con plomo en frío. Alta temperatura de exposición (500°F/260°C)	Pueden existir fugas a altas temperaturas, se debe tener mucho cuidado en la instalación.
Serie o resistencia flexible	Protección contra congelamiento en invierno. Mantiene la temperatura de proceso (con cables para 300°F/150°C) en instrumentos de tubería, tubos y tanques. Protección para eliminar la escarcha en el fondo de los tanques. Tuberías medianas a largas.	Flexible, facilidad en el monitoreo del sistema. Puede ser fabricado en el lugar de la instalación. Alta capacidad de temperatura (500°F/260°C), para instalarse en circuitos largos (5000 ft. / 1524 mts.)	Dificultad en el diseño, se debe tener cuidado en la instalación. En tramos cortos también necesita transformador de poder.
De Aislamiento Mineral (M.I.)	Protección contra congelamiento en invierno, con alta exposición a la temperatura. Mantiene la temperatura de proceso (con cables para 800°F/428°C). Aplicando gran calor a instrumentos de tuberías y tubos calentados.	Facilidad en el monitoreo del sistema. Pueden utilizarse en zonas con riesgo de explosión Para altas temperaturas (1100°F/593°C), construcción robusta en la cubierta exterior (acero inoxidable)	Dificultad de instalación, Dificultad en el diseño, dieléctrico susceptible a daños por humedad. En tramos cortos también necesita transformador de poder. Requiere mediciones en campo y en la fabricación.

Los cables de trazado eléctrico como ya hemos visto caen dentro de cuatro categorías básicas: autorregulables (o autolimitados), paralelo (de potencia constante), resistencia en serie (aislamiento termoplástico) y aislamiento mineral (M.I.); también son resistencia en serie. Todos los tipos son seguros y fiables, cuando se instalan y diseñan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

II.4 Formas típicas de colocación

A continuación, se mostraran algunos de los montajes y colocaciones más utilizados en la industria de los cables calefactores.

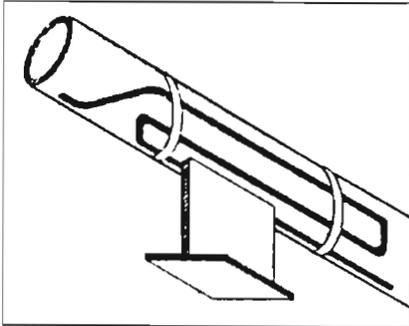


Figura 6

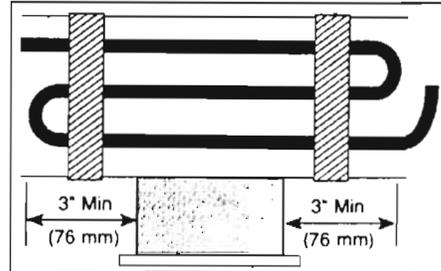


Figura 7

Colocación en tubería sobre soporte tipo zapata

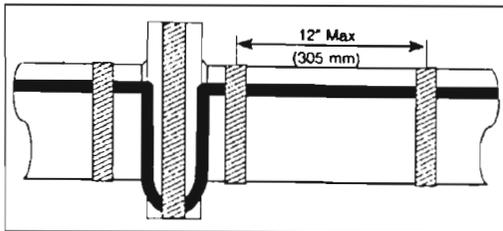


Figura 8

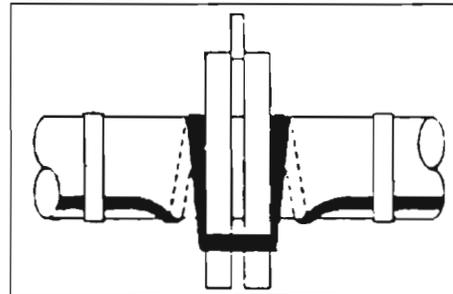


Figura 9

Colocación sobre bridas.

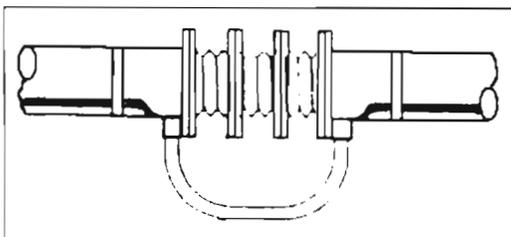


Figura 10. Colocación sobre juntas de expansión.

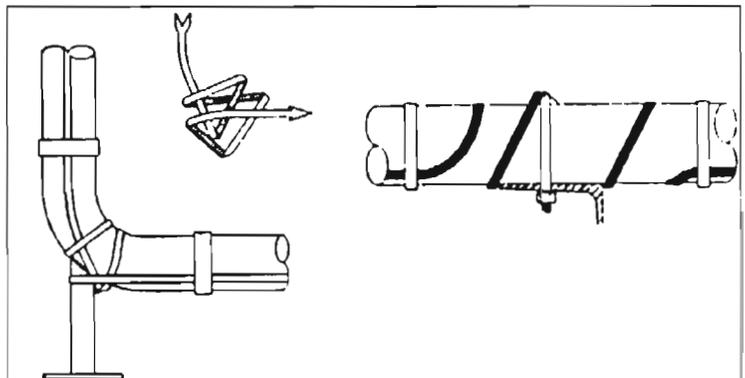


Figura 11. Colocación sobre soporte tipo columna y soporte tipo mensula.

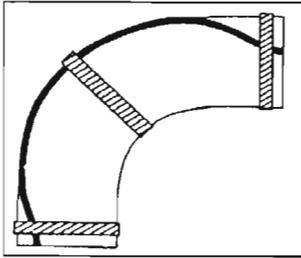


Figura 12. Colocación sobre curva en un tubo, sujetado con cintas.

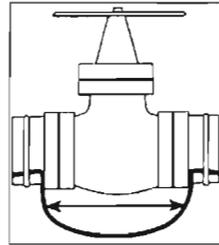


Figura 13

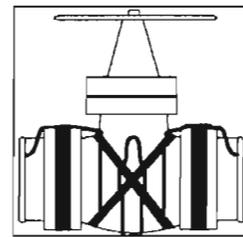


Figura 14

Colocación sobre válvulas

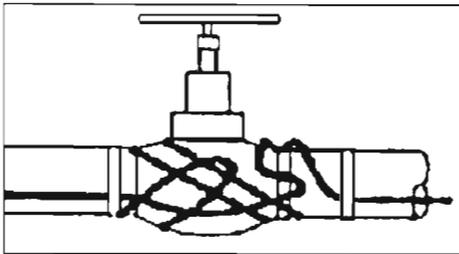


Figura 15

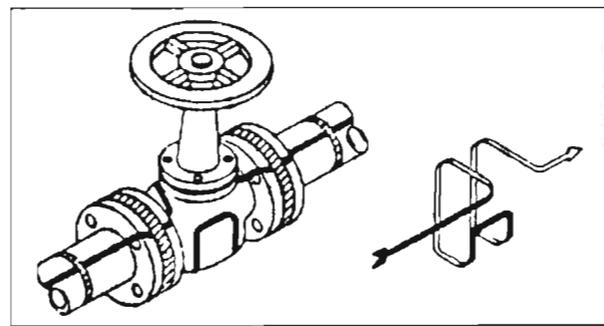


Figura 16

Colocación sobre válvulas

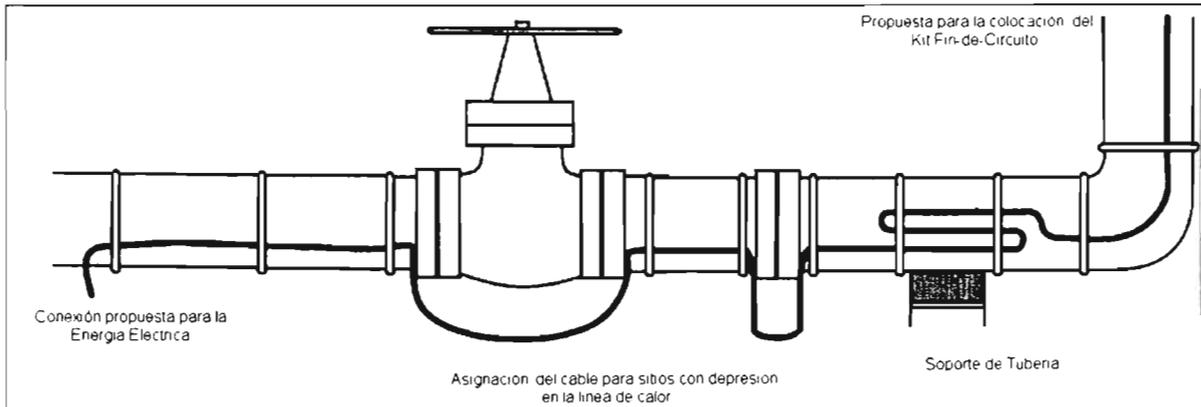


Figura 17. Propuesta de colocación sobre las diferentes partes de una instalación final.

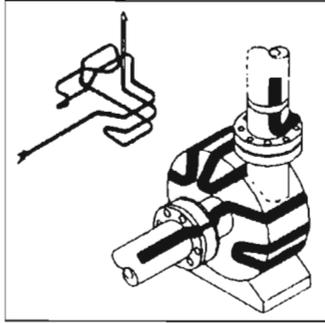


Figura 18

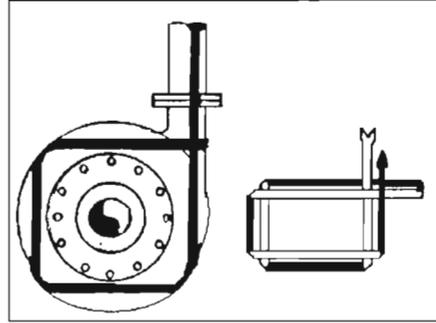


Figura 19

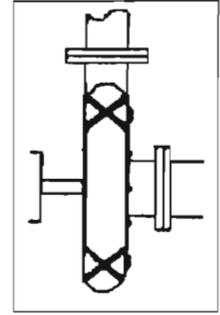


Figura 20

Colocación sobre bombas.

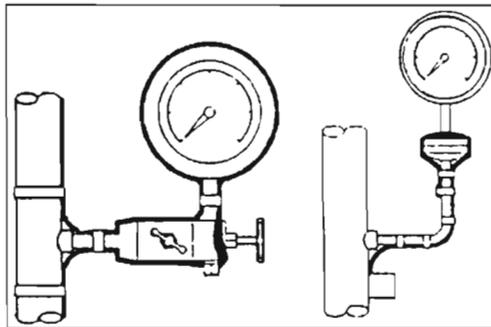


Figura 21. Colocación sobre instrumentos de medición de presión

CAPITULO III

SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO

III.1 SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO (STCE)

Un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico, es el conjunto de dispositivos destinados a proporcionar un calentamiento y mantener la temperatura adecuada para los diferentes procesos industriales, tomando en cuenta el tipo del material (líquido o gaseoso) a proteger. La finalidad del trazado eléctrico es la de contrarrestar las pérdidas de calor, sufridas en las tuberías de proceso, tanques industriales, válvulas, tolvas, etc. las cuales son una característica de la temperatura ambiental. Este sistema protege contra temperaturas de congelamiento en las zonas geográficas que así lo requieran.

Un sistema de líneas de calentamiento es un grupo de equipos de proceso y tuberías, los cuales son calentados con cables y controlados de una manera lógica, segura y económica. Hay muchas razones para recuperar el calor perdido de un sistema; con cualquier pérdida de calor, hay una correspondiente caída de temperatura, ya que en muchos casos trae consecuencias inaceptables, como por ejemplo, el congelamiento del agua en líneas de agua de enfriamiento. Deben ser diseñados y térmicamente controlados para prevenir sobrecalentamientos.

III.1.1 Aplicaciones

Dentro de las aplicaciones más usuales de los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico en la industria, los siguientes son algunos ejemplos:

- Mantenimiento de la temperatura para evitar que se enfrién los fluidos y las superficies
- Protección contra el congelamiento en líneas de agua
- Calentamiento en un tiempo determinado.
- Evitar los efectos de las heladas.
- Evitar condensaciones de gases y vapores.
- Procesos de bajas temperaturas
- Protección mecánica
- Aplicaciones para trabajos pesados
- Ambientes corrosivos

En Tuberías, válvulas, bombas. Evitan obstrucciones y roturas, evitan el aumento de viscosidad del fluido, evitan la condensación del vapor de agua de los gases. En Tuberías de larga longitud, proyectos con el mínimo de puntos de alimentación eléctrica para optimizar la instalación.

En Depósitos, tanques. Mantienen siempre la fluidez y calidad de los fluidos.

En Tolvas. Evitan el apelmazamiento de los áridos y obstrucción de la tolva debido a la condensación de agua.

En Tanques criogénicos de almacenaje. Evitan que se hiele el subsuelo y se agriete la base, debido a las bajas temperaturas de almacenamiento.

III.1.2 Instalación

Este capítulo se dirige a como instalar un STCE terminado, y es algo independiente del tipo de cable calefactor que se utiliza. En este caso, PEMEX solicita el tipo de cable calefactor autorregulable por las características y ventajas ya mencionadas, también de acuerdo a los requerimientos del sistema. Del mismo modo PEMEX tiene sus propios requerimientos y normas de referencia que los fabricantes de estos sistemas deben cumplir.

El sistema debe cumplir con los requerimientos del artículo 427 de la NOM-001-SEDE, debe ser el adecuado para la clasificación de área de acuerdo con la NOM-001-SEDE-1999 Capítulo 500. Las Normas NRF-036-PEMEX y NRF-048-PEMEX, así como con los requerimientos del IEEE Std. 515 ó equivalente.

El Sistema de Trazado de Calor Eléctrico debe incluir el diseño, suministro, instalación, pruebas, puesta en operación y capacitación, y debe suministrarse completo incluyendo:

Cable calefactor, tableros de fuerza y control, transformadores, controles electrónicos, terminales sin calentamiento, avisos de seguridad, interruptor termomagnético del secundario del transformador, cable eléctrico, canalización y accesorios para la alimentación de fuerza y control al tablero del suministrador del sistema, así como cableado y canalización de fuerza y control desde este tablero al cable calefactor y los sensores de temperatura en campo. El aislamiento térmico de la tubería y/o recipientes debe ser de acuerdo con el área de Ingeniería de Proceso y Mecánica.

El diseño debe ser basado en un servicio continuo y confiable, asegurando al personal y equipo; fácil de mantenimiento ó intercambio/sustitución de equipo.

Se debe analizar el proceso de la planta y sus requerimientos, para que de esta manera se seleccione y proponga a PEMEX el cable calefactor adecuado de acuerdo a las necesidades del sistema, para lo cual se hace la indicación de los tipos de cables calefactores que se pueden utilizar, dando preferencia a los cables calefactores autorregulables.

El sistema debe ser adecuado para operar en las condiciones ambientales donde se va a instalar, tomando en cuenta la temperatura ambiente mínima, máxima y promedio, vientos, tipo de zona corrosiva.

Para todo tipo de trabajo que se quiera desarrollar en la instalación de los cables calefactores autorregulables, es necesario realizar una inspección general a manera de confirmar que todo el equipo ha sido entregado correctamente. Los circuitos ensamblados por el fabricante deben ser chequeados para determinar que el circuito esta correcto, nivel de potencia, nivel de voltaje y longitud.

La instalación del STCE, necesita ser coordinado con las disciplinas de *gasoductos, aislamiento térmico e instrumentación*, esto es, para asegurar una buena instalación. La instalación del STCE comenzara a realizarse solo después de que se haya realizado la mayor parte de la construcción mecánica. Esto no incluye la instalación del suministro de energía, ductos eléctricos, cajas de conexión, transformadores y soportería. La instalación del cable calefactor y sus componentes deberá realizarse después de la prueba de presión del gasoducto y la completa instalación de todos los instrumentos. El aislamiento térmico sera instalado hasta que esté completamente realizada la instalación eléctrica.

III.2 Sistema de Trazado de Calor Eléctrico completo

Un STCE, debe consistir básicamente de los siguientes componentes:

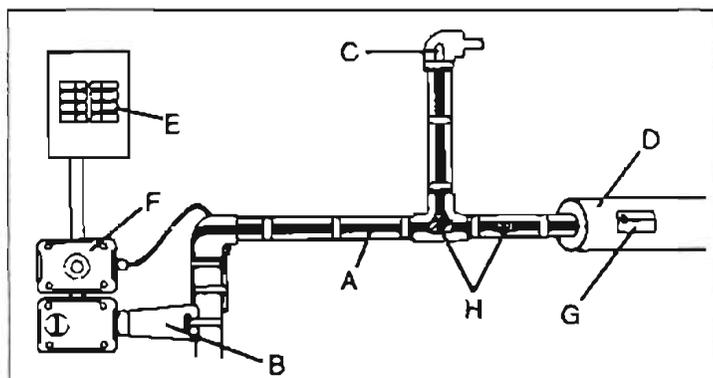


Figura 22

- A. Cable calefactor (Traza).
- B. Kit¹ de conexión de energía para conectar al suministro de voltaje (terminal fría)². Esto debe incluir una caja de conexión adecuada para la unión eléctrica, firmemente montada, para mantener la conexión en la canalización, y alojar el cable calefactor cuando termina la tubería aislada.
- C. Terminación Fin-de-Circuito (tapafin).

D. Aislamiento térmico y barrera protectora para la intemperie.

¹ Los kits y cajas de conexión son disponibles metálicas ó no metálicas

² Terminal Fria. Conductor eléctricamente aislado usado para conectar un cable calefactor a los conductores del circuito derivado diseñado para que no se produzca un calentamiento apreciable.

- E. Dispositivo de protección³ circuito-rama con desconexión manual; estos dispositivos pueden estar separados, con un fusible desconector.
- F. Dispositivo de Control (termostato); puede detectar el aire del ambiente ó detectar la temperatura en la pared de la tubería.
- G. Etiqueta⁴ de Advertencia que indica la presencia de un cable calefactor eléctrico bajo el aislamiento.
- H. En-línea y "tee" donde pueden hacerse empalmes bajo el aislamiento (como el mostrado) o unión sobre el aislamiento.

III.2.1 Información acerca de la Instalación

La siguiente información proporciona una apreciación general de los procedimientos que se involucran en la instalación de un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico.

III.2.1.1 Acerca de la recepción del cable calefactor:

1. Verificar los datos impresos en alguna etiqueta sobre la cubierta, para asegurarse que el cable que se ha recibido es el apropiado y el que se solicitó. El número del producto debe ser visible en la chaqueta exterior de los cables calefactores, la fábrica que construyó el producto debe poner una etiqueta impresa con un número de identificación (ID) con los datos pertinentes.
2. Realizar una inspección visual del producto para verificar que éste, no tenga algún daño físico ocasionado durante el embarque.
3. Guardar en un lugar seco.

III.2.1.2 Antes de la instalación del cable calefactor:

1. Antes de quitar el cable de la bobina, se realizara una prueba de resistencia del dieléctrico con un megometro (megger), entre los conductores del cable calefactor y tierra (malla metálica) La resistencia mínima debe ser 20 megohms.
2. Debe estar completamente colocada y fija toda la tubería y el equipo necesario que se va utilizar.
3. Las superficies de todo equipo deben estar bastante limpias. Deben quitarse cualquier incrustación suelta de aceite u óxido.
4. Los circuitos calentadores no deben ser instalados hasta que todas las tuberías y equipamientos se encuentren con todas las pruebas requeridas.

¡CUIDADO! No conecte la energía al cable calefactor mientras esta en la bobina o en algún empaque.

³ El Artículo 427-22. The 1996 National Electrical Code (NEC), nos indica: "se debe usar equipo con protección de falla a tierra y se mantendrá para el equipo suministrador de los circuitos de rama el equipo de calor eléctrico".

⁴ El Artículo 427-13. The 1996 NEC, indica: requerimientos de identificación "a intervalos frecuentes" Etiquetas de Advertencia son recomendadas ir fijadas en el aislamiento de barrera de intemperie cada 10 pies (3 metros) en el lado de la línea. Ver figuras 37 y 38

III.2.1.3 Instalación inicial:

Se debe comenzar la instalación temporal en el extremo donde se encontrara el fin-de-circuito de la tubería a calentar; se permite la colocación de cable calefactor extra para conexión de la energía y para cualquier situación de empalme. También se puede tener concesiones para el cable calefactor que se va utilizar para las válvulas, bridas, codos y apoyos.

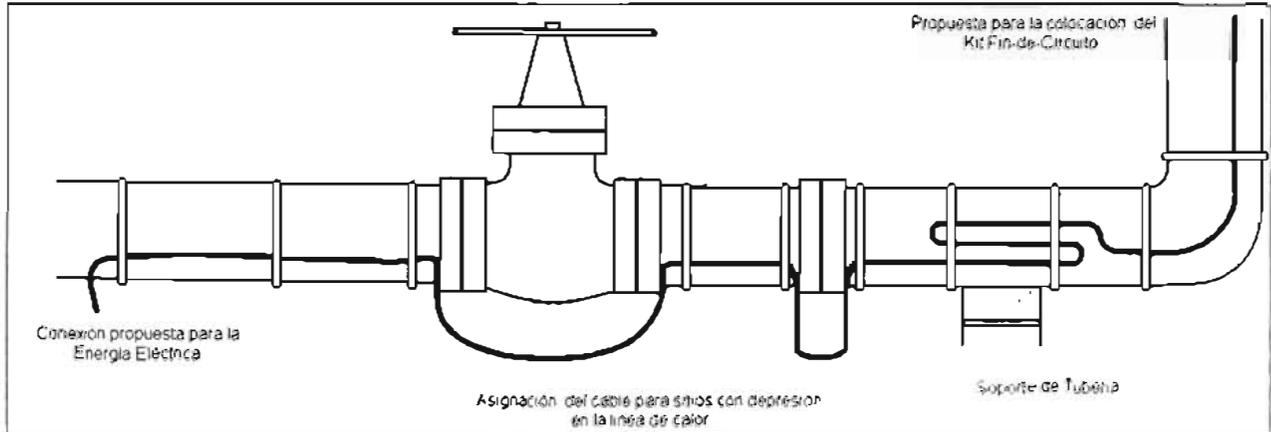


Figura 23. Propuesta de Instalación

III.2.2 Completando la Instalación

1. Empiece la atadura del cable calefactor afianzando la terminación del fin-de-circuito, y trabajando hacia atrás hasta el punto de suministro de energía, para esto hay que hacer uso de cinta adecuada, que por lo regular se utiliza cinta fabricada de fibra de poliéster. Algunas instalaciones pueden requerir un revestimiento continuo de cinta encima del cable calefactor, además de los requerimientos de la cinta que se encuentra en la circunferencia. Los STCE con trazas tipo Aislamiento Mineral (M.I.), utilizan bandas sujetadoras hechas de acero inoxidable
2. Puede completar cualquier conexión de empalme entre cintas sujetadoras (si se requiere) de acuerdo con las instrucciones proporcionadas con el equipo adecuado de empalme

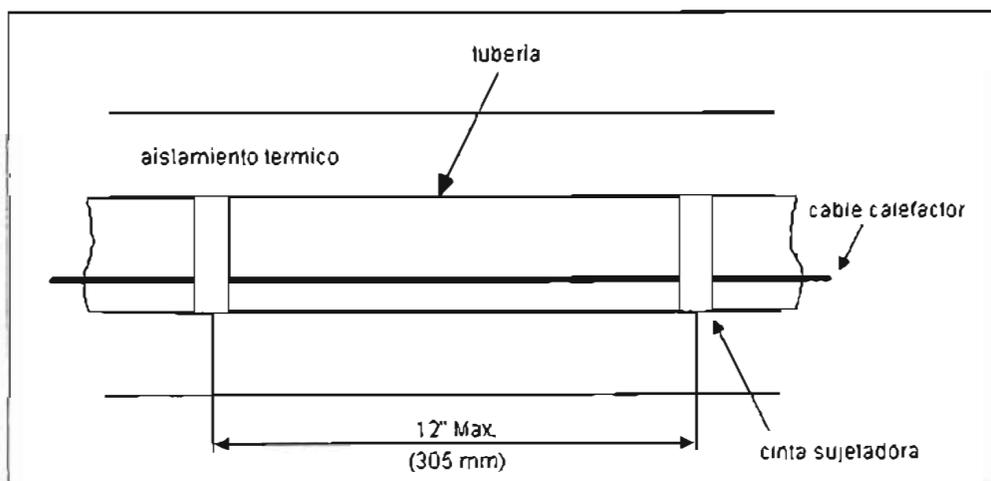


Figura 24 Separación entre cintas sujetadoras para colocar el cable calefactor (traza).

3. Antes de realizar las conexiones de alimentación eléctrica, se tiene que repetir la prueba de aislamiento con el megger, entre todos los conductores con referencia a tierra (figura 25). Se debe obtener una lectura mínima aceptable de resistencia de 20 megohms.

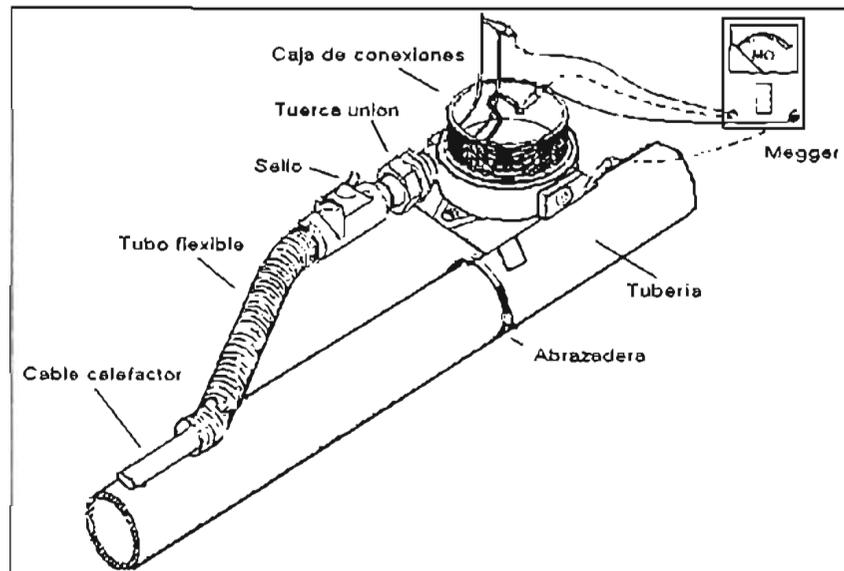


Figura 25. Prueba de Aislamiento.

4. Instalado y montado todo el STCE sobre la tubería, se procede a realizar la conexión de alimentación eléctrica para el circuito; verificando en las instrucciones que todo el equipo para esta conexión sea el adecuado. (Nota: los circuitos para los cables calefactores tipo resistencia serie y de Aislamiento Mineral (M.I), son típicamente prefabricados en la fábrica, y no se requiere hacer el montaje de cajas de conexiones para el circuito que energiza el sistema).
5. Colocar el sensor de temperatura (si se requiere) con una cinta sobre las tuberías. El sensor de temperatura debe ser instalado en un punto donde la lectura a ser obtenida es representativa de la temperatura que se desea mantener. Este se colocara a 90° transversales del cable calefactor tomando como referencia el diámetro de la tubería; esto puede ser para el caso de un solo cable calefactor, dos o tres (ver figura 26).

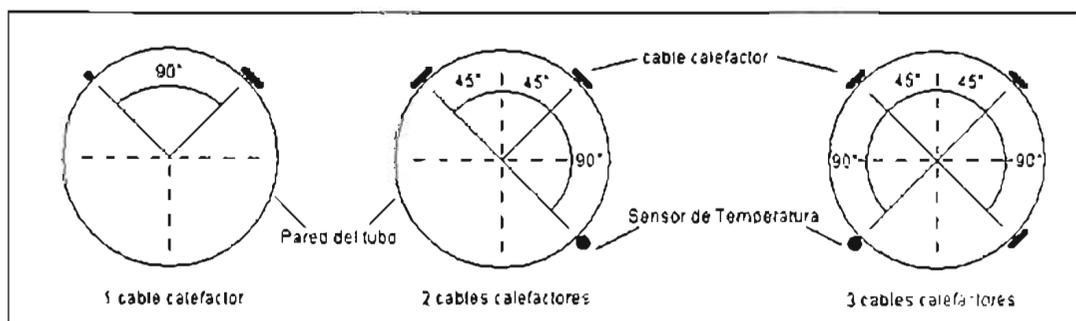


Figura 26 Localización del sensor de temperatura respecto al cable calefactor (Cuando se requiera sensor de temperatura).

El suministro de potencia del cable calefactor debe ser por lo menos 120% de la pérdida de calor de la tubería o equipo.

El recubrimiento del cable calefactor, conductores eléctricos, materiales terminales, y abrazaderas para soporte de cables deben resistir la máxima temperatura de operación, temperatura cíclica y expansión térmica de la tubería o equipo al cual es aplicado.

III.2.3 Recomendaciones

- I. Los cables calefactores y equipo en general deberán ser almacenados en áreas limpias y secas. Los materiales no deben ser sacados al campo hasta que sean necesitados para su instalación, esto es para minimizar daños en los mismos.
- II. Los cables calefactores deben ser colocados sobre los equipos en un lugar que se encuentre limpio y suave, evitando hacer dobleces extremos o que se coloque sobre aristas cortadas irregularmente. Los cables calefactores deben ser colocados de tal forma que se eviten daños por impacto, vibración o abrasión.
- III. Los cables calefactores deben ser unidos al tubo de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Los materiales para sujetar o amarrar los cables calefactores, no deben dañar los conductores y deben ser apropiados para la temperatura máxima de exposición.
- IV. Los cables calefactores deben ser colocados de manera que facilite el movimiento de las válvulas, dispositivos pequeños de entrada e instrumentos; sin que se provoque movimiento en los cables calefactores, aislamiento térmico o recorte del cable.
- V. Para prevenir el daño del cable, el aislamiento térmico externo debe ser aplicado inmediatamente después de que los cables han sido propiamente instalados, inspeccionados y probados.
- VI. Algunas válvulas y dispositivos complicados en su línea de entrada pueden necesitar que sus superficies irregulares sean cubiertas con una lámina fina de metal o un medio transfusor de calor.
- VII. La superposición de los cables calefactores puede provocar temperaturas excesivas en el punto sobrepuesto y únicamente debe ser hecho por instrucciones del fabricante.

III.3 Control y Monitoreo

Muchos de los controles y sistemas de monitoreo desarrollados durante las últimas décadas, se diseñaron en el campo donde no se usa equipo para el STCE. La fiabilidad era cuestionable y el mantenimiento a menudo era difícil. Durante los recientes años, la aplicación de más y nuevas tecnologías ha hecho un gran avance para aumentar el nivel de ingenieros y personal operativo en el área.

Los requerimientos para control y monitoreo para cualquier STCE son determinados finalmente por el usuario. Afortunadamente algunas pautas se han desarrollado a través de los documentos como ANSI/IEEE 515 Recommended Practices for the Testing, Design, Installation, and Maintenance of Electrical Resistance Heat Tracing for Industrial Applications (Prácticas Recomendadas para las Pruebas, Diseño, Instalación, y Mantenimiento de Trazado de Calor por Resistencia Eléctrica Aplicados en la Industria). En este documento, se describen los tres tipos básicos de necesidades para el control y monitoreo en los procesos.

De acuerdo a necesidades del proceso para el control de temperatura del STCE, se pueden incluir requerimientos para mayor flexibilidad de operación y mantenimiento, eficiencia de energía, duración de la temperatura; tomando en cuenta el personal disponible para corregir fallas en el sistema y costos por pérdida de producción.

Por conveniencia se identifican tres tipos de "Necesidades del proceso", aún cuando las aplicaciones específicas pueden tener combinaciones de elementos.

Tipo I, Necesidades básicas. Cuando la temperatura solo debe mantenerse arriba de un punto mínimo, se acepta utilizar termostatos como sensores de temperatura, hay pocos requerimientos de alarmas, y grandes bloques de energía se controlan por un solo termostato, contactor y tablero, control del tiempo de temperatura aplicada es manual. Con lo anterior la eficiencia de energía no es la mejor, aunque existen métodos para mejorarla.

Tipo II, Necesidades Intermedias. Cuando la temperatura del proceso debe ser controlada en un margen moderado con algunas facilidades para monitoreo y alarma, la redundancia en el equipo normalmente no se requiere, y el Sistema de Trazado puede permitir mantenimientos y reparaciones anuales.

Tipo III, Necesidades intensivas. Cuando la temperatura del proceso debe ser controlada en un margen estrecho. Se pueden utilizar RTD's ó termocoples como sensores de temperatura (en forma práctica por su mejor precisión PEMEX utiliza RTD's), para facilitar calibraciones de campo y proveer máxima flexibilidad en la selección de las funciones de alarma y monitoreo. La redundancia en el equipo puede justificarse cuando se requiera ejecutar alguna reparación y mantenimiento sin paro del proceso. La capacidad de suministro de calor puede aplicarse para diluir o elevar la temperatura del fluido, o ambos, dentro de rangos especificados en intervalos definidos de tiempo. Consideraciones del tipo III requieren apego estricto a las condiciones del fluido y mantener los sistemas de aislamiento térmico con un alto grado de integridad.

En PEMEX, los requerimientos del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico se ubican normalmente en el Tipo I y II, con preferencia en el uso de RTD's como sensores de temperatura por su mayor exactitud, alarmas y monitoreo por circuito, no redundancia en el equipo, y el Panel de Control del STCE con puerto de comunicación para enlace con el sistema de control de la planta. La aplicación específica de PC para el control y monitoreo, es requerimiento expreso de PEMEX, ya que las señales normalmente se envían desde el panel de Control al Sistema de Control del Proceso de la planta.

En la hoja de datos se debe definir para cada proyecto, los requerimientos del proceso para el STCE, en cuanto a tipo de sensor, alarma y monitoreo, redundancia en el equipo, requerimiento de Computadora Personal (PC) para monitoreo y control de los circuitos, y enlace con el Sistema de Control de la planta

Un sistema de control generalmente monitorea únicamente un solo punto sobre el sistema de tuberías, por lo tanto, el desempeño total es altamente dependiente sobre la integridad del sistema, diseño de trazado e instalación. Existe un gran número de sistemas de control, desde el más simple que es aquel donde se encuentra un interruptor manual que actúa a través de un termostato, hasta los más sofisticados como los controladores electrónicos, para monitorear continuidad, temperatura y operación del sistema.

La mayoría de los dispositivos de control usados en los Trazados de Calor son diseñados con un sencillo control "ON-OFF". En este modo de operación, la función del control es independiente del tipo de Sistema de Trazado al cual este conectado. Algunos sistemas de control utilizados en la actualidad son los siguientes:

- A. Control por Relevadores.
- B. Sensor de Temperatura.
- C. Control Sensor de Ambiente.
- D. Control sensor de línea.

A continuación, se muestra algunos diagramas donde se hace uso de estos sistemas:

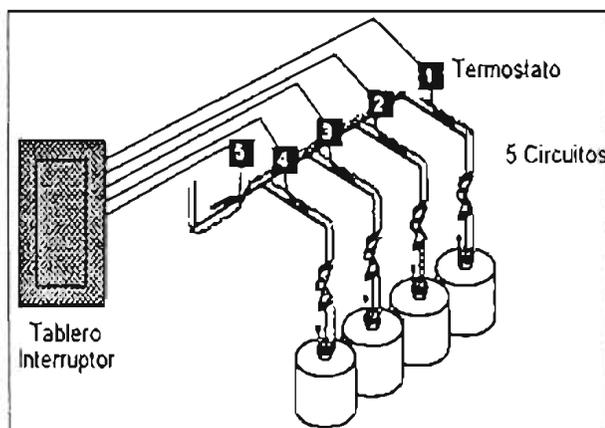


Figura 27 Control por sensor de línea individual

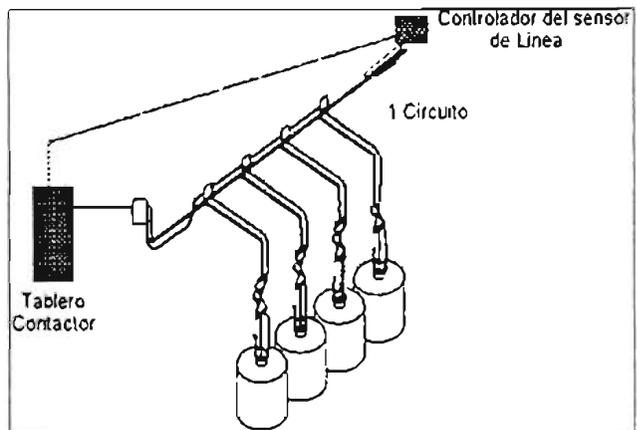


Figura 28 Control por sensor de línea

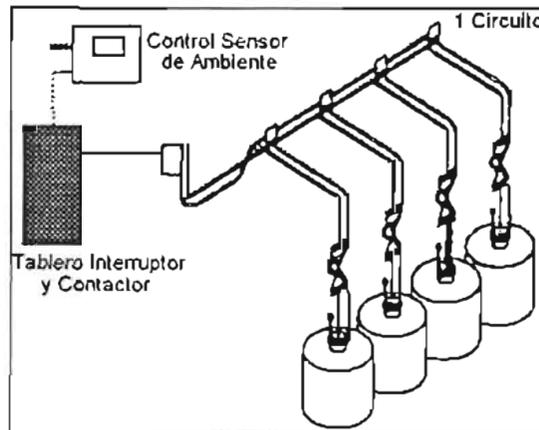


Figura 29. Control por sensor de ambiente en grupo

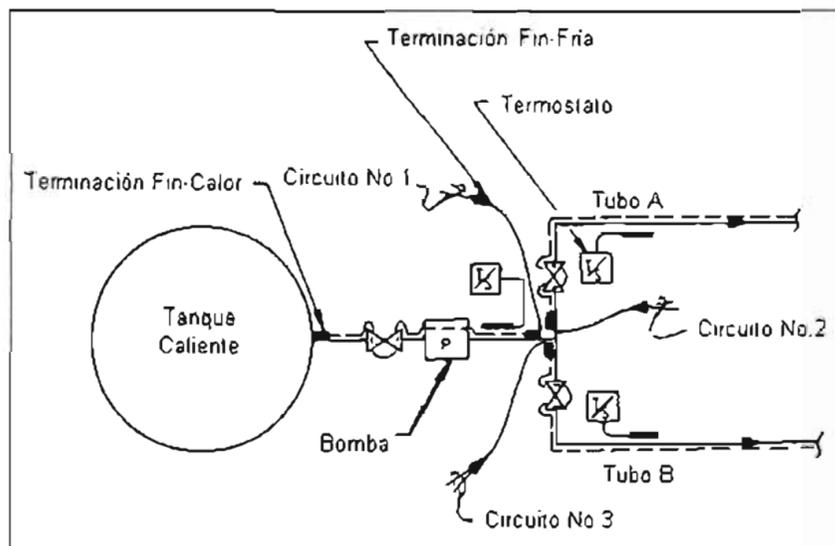


Figura 30. Esquema de los circuitos individualmente controlados

III.3.1 Controladores mecánicos

Cualquier controlador mecánico, es semejante a un termostato, utiliza un elemento bimetalico, ó la expansión de un fluido dentro de un bulbo, ó bulbo capilar, para obtener contactos eléctricos a través de un fuelle ó un dispositivo de acoplamiento similar. El bulbo y el capilar deben ser de materiales compatibles para la atmósfera en la cual serán utilizados. Se recomienda una armadura flexible que ofrezca protección mecánica al capilar. Los controladores mecánicos son robustos, de cualquier forma, el elemento sensible no es fácilmente agrupado ó montado en el panel y su calibración de campo es muy incomoda.

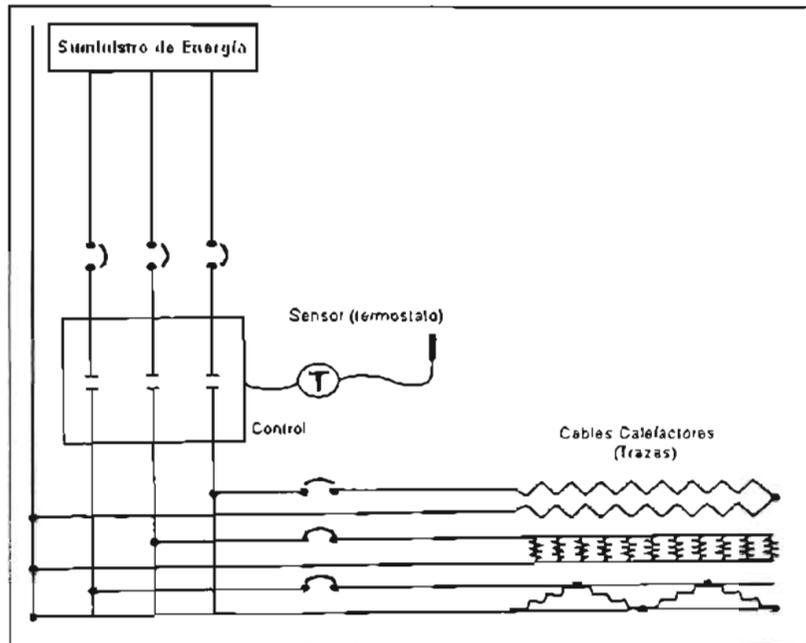


Figura 31. Típico sensor de ambiente montado en Tablero de Distribución.

III.3.2 Controladores Electrónicos

Estos controladores electrónicos utilizan RTD's, termistores, termopares, ó algún otro dispositivo sensor similar, son capaces de ser localizados a grandes distancias de la tubería de proceso, son montados en paneles y localizados para fácil operación y acceso de mantenimiento. Los RTD's serán conectados desde las tuberías con el panel central de control y monitoreo. Para el control de temperatura, el sistema utiliza métodos "ON-OFF" con contactores controlados a través del panel central de control y monitoreo.

Estos controladores llevan una señal sensora a través de un proceso electrónico para interrumpir un relevador electromecánico ó dispositivos de estado sólido en sus posiciones "ON-OFF". Los límites de las señales de alarma y el ajuste de la temperatura de mantenimiento son programados desde el panel central de control y monitoreo. El sistema es capaz de aceptar programación agrupada de los parámetros del circuito e incluye una pantalla numérica con un código de protección para prevenir accesos no autorizados al sistema.

A continuación, se muestra un módulo programable de control y monitoreo con microprocesador que se basa en la temperatura para el control y monitoreo, este módulo es desarrollado específicamente para Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico (figura 32). Este módulo multi-circuito proporciona control, display digital de información y alarmas para alta temperatura, baja temperatura, alta corriente, baja corriente, alta corriente de fuga a tierra y sensor de temperatura para mas de dieciocho circuitos.



Figura 32. Módulo de Control y Monitoreo

III.3.3 Monitoreo

Los circuitos de monitoreo de un STCE pueden ser una de las funciones más importantes del sistema, particularmente esta considerado como un servicio crítico. Una advertencia a tiempo de una posible helada, nos ayuda a prevenir daño al equipo y puede ayudar a asegurar continuidad en los funcionamientos del proceso. Para entender los diferentes métodos de monitoreo, es importante también saber distinguir los diferentes tipos de Trazado de Calor Eléctrico.

Algunos de los parámetros más importantes a monitorear son los siguientes:

- A. Continuidad de Voltaje
- B. Monitoreo de la Corriente
- C. Monitoreo de la Temperatura.

A continuación se presenta una Unidad de Control y Monitoreo (figura 33), debido a su construcción modular esta unidad de control, puede construirse con gran variedad de configuraciones. El control y monitoreo HeatCheck (Marca Thermon), utiliza módulos programables (como el de la figura 32), módulos con relevadores de estado sólido para la salida de fuerza, módulos para sensor de entrada; encapsulados en gabinetes NEMA 4 o 4X son certificados y aprobados para usarse áreas Clase I División 2 peligrosas (clasificada) también en locaciones ordinarias (no-clasificadas).

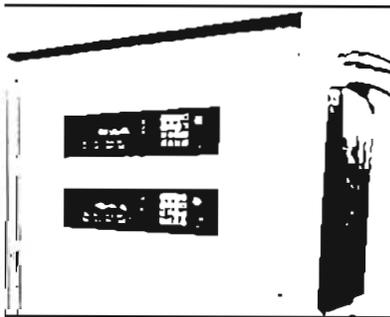
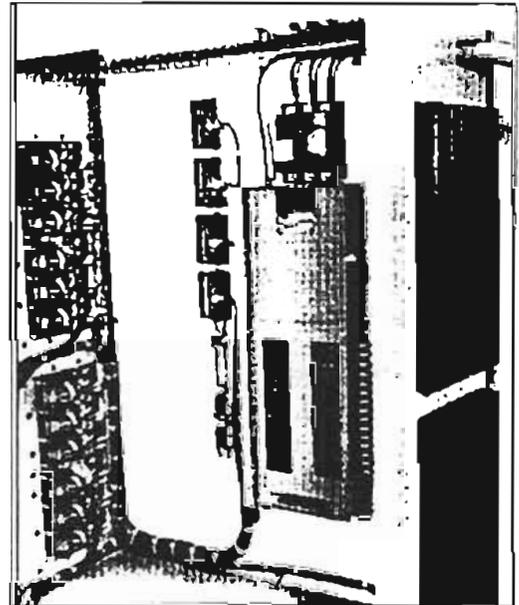


Figura 33. Unidad de Monitoreo y Control



III.4 Software para el sistema de comunicaciones.

Aplicación

Este tipo de software de comunicaciones es desarrollado específicamente para centralizar el control y monitoreo de un módulo controlador electrónico montado en campo. Un sistema de cable ó cable de fibra óptica, conocido como la carretera de los datos, se conecta en los puertos RS485 de los controladores HeatChek, y del otro lado a un de los puertos serie de la PC.

A través de una interfase gráfica del usuario, se pueden realizar cambios de control y de alarma, controla, opera, reconoce parámetros y puede activar alarmas. Un usuario puede ver dibujos isométricos para ayudar a localizar los circuitos, continuamente hay informe del sistema de trazado de calor operaciones/alarmas, y la tendencia en los datos del circuito. Todos desde una zona central.

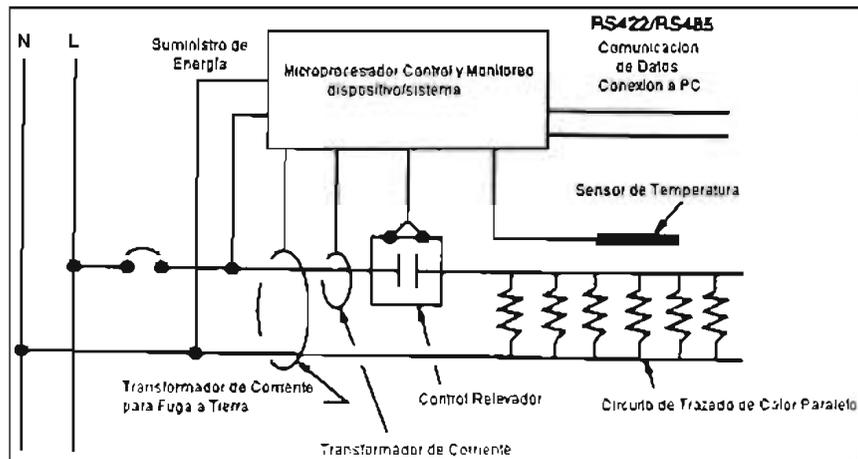


Figura 34. Diagrama del Controlador típico multifunciones

III.4.1 Sistemas Integrados

Este sistema combina el control y el monitoreo para el Trazado de Calor Eléctrico, y son muy comunes hoy en día. Independiente del control, las tres áreas que deben monitorearse para proporcionar un STCE seguro y completo, deben de incluir:

- 1) La integridad del circuito,
- 2) la temperatura de las tuberías (para cuando el aislamiento térmico falla pueda detectarse), y
- 3) la integridad del elemento sensor de temperatura

El termostato mecánico y alarma relevador, cada vez está volviéndose menos aceptable para el proceso del tipo II y se excluye de muchas aplicaciones del tipo III. En una planta, el porcentaje de reemplazo de los termostatos mecánicos exceda el 50% por año. Esto según el usuario, excede mucho los costos por rutina de inspección y mantenimiento por termostato ya sea para reparar ó reemplazar.

Algunas de las prestaciones que nos proporcionan estos Sistemas Integrados son:

- a. Comunicación y accesibilidad.
- b. Anotación de las actividades (bitácora) de la operación y mantenimiento.

III.5 Diseño y Funcionamiento del Sistema de Monitoreo en Cables Calefactores.

Para entender el impacto que lleva la selección del cable calefactor y la selección de funciones del sistema de control y monitoreo, es importante entender algunas de las diferencias básicas en los dos tipos más populares de cables calefactores (trazas): paralelo autorregulable y paralelo de potencia constante ("Zone-type" cables calefactores de resistencia).

De estos dos cables calefactores, el paralelo autorregulable ha sido probado con grandes resultados en algunos sistemas de control y monitoreo mejorando las características de operación. Un elemento calefactor sensible a la temperatura reduce su potencia (medida en watts por pie ó watts por metro), con los incrementos de temperatura en la tubería y contenedores.

Dos detalles importantes a considerar en los cables autorregulables:

- 1) Así como el rendimiento de la potencia y la corriente eléctrica disminuyen con las altas temperaturas en las tuberías, así entonces estos parámetros aumentan con la caída de temperaturas.

- 2) Se espera que los cables calefactores autorregulables operen adecuadamente en el momento que se presentan fluctuaciones de la corriente, para que así algunos operadores puedan supervisar la integridad de un circuito ó sistema monitoreando su corriente. Sólo haciendo una correlación con la temperatura de la tubería conocida, y aceptando las medidas de corriente se podrá proporcionar información definitiva.

III.6 Alarmas

La función principal de un sistema de alarma es la de alertar al personal de operación de que el STCE ó el sistema de proceso esta operando fuera de su rango de diseño y deben ser checados por alguna acción correctiva. El tipo y complejidad del sistema de alarma dependerá de la naturaleza del sistema de trazado de calor eléctrico y los requerimientos del proceso de la planta. Los diferentes sistemas de alarmas y sus funciones se describen a continuación:

III.6.1 Alarma del circuito eléctrico.

Es usada para detectar pérdidas de voltaje, corriente ó continuidad del circuito de trazado. La alarma es diseñada en una gran variedad de estilos e incluye los siguientes dispositivos.

1. *Dispositivo sensor de corriente.* Este monitorea la corriente del cable calefactor y manda una señal a una alarma si la corriente que se registra cae por debajo de la nominal.
2. *Dispositivo sensor de voltaje.* El cual monitorea el voltaje al final del cable calefactor

III.6.2 Alarma de Temperatura.

1. *Alarma por baja temperatura.* Indica que la temperatura del sistema ha caido por debajo de la temperatura de proceso y subsecuentemente puede ocurrir un enfriamiento.
2. *Alarma por alta temperatura.* Esta alarma indica que la temperatura del sistema ha excedido el nivel de temperatura de proceso y subsecuentemente puede ocurrir un sobrecalentamiento.

Para tuberías que requieran control para el termostato (sensor), este debe ser conectado al circuito calefactor en Serie con los contactos de control. (Ver figura 35).

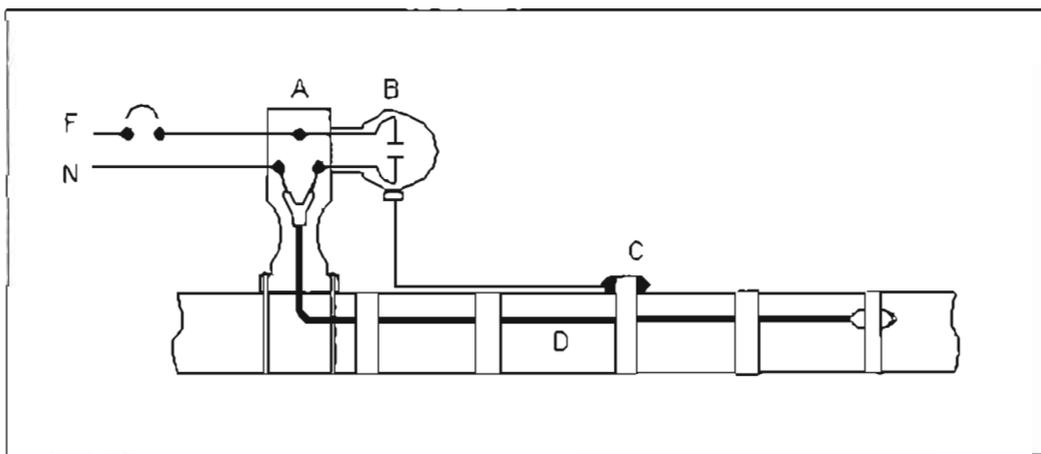


Figura 35. Conexión sobre pared del tubo con control y una fase de alimentación eléctrica al circuito calefactor.

- A. Caja de empalme para la conexión eléctrica, montada sobre la tubería. Verificar el sello alrededor de la caja de empalme, para evitar cualquier penetración de partículas ó líquidos a través del aislamiento térmico. Así también, hay que asegurar con la caja de empalme la trenza de cobre del cable calefactor para la tierra del sistema.

- B. Termostato del sensor que se encuentra sobre la pared de la tubería y que puede requerir más de un punto de apoyo.
- C. Sensor de temperatura, que debe ir asegurado de forma similar al circuito calefactor.
- D. Cable calefactor del Sistema de Trazado Eléctrico.

III.7 Requerimientos de PEMEX para el Control, Monitoreo y Alarmas.

III.7.1 Panel de Fuerza y Control

La ubicación del Panel de Fuerza y Control debe ser en el interior del cuarto de control eléctrico gabinete tipo interior NEMA 1.

El tablero de control debe operar en modo automático y debe tener capacidad para un aumento a futuro de 20% (mínimo) de circuitos. Cada panel de fuerza y control debe tener al menos los siguientes elementos:

- Interruptor termomagnético principal
- Tablero de distribución multicircuito con 100 Amp. como mínimo en el bus principal
- Protección de falla a tierra. al menos 30 mA
- Microprocesador controlador de temperatura controlado con sensores RTD's, con comunicación a PC
- Relevadores mecánicos o de estado sólido
- Indicadores de operación.
- Botón de reconocimiento de alarmas.
- Tablillas terminales.
- Calefactor de espacio con termostato.
- Relevador de pérdida de alimentación principal
- Relevador y luz piloto por pérdida de voltaje.

III.7.2 Control de temperatura y alarmas

El controlador de temperatura del proceso debe tener al menos las siguientes características:

- Voltaje de 120/240 VCA, 60 HZ.
- Microprocesador multicanal o individual basado en control proporcional.
- Sensor tipo RTD platino 100 ohms de 3 hilos
- La temperatura del proceso e indicador de punto de ajuste de temperatura debe desplegarse en display tipo LCD/LED.

El módulo de control debe proveer al menos la siguiente información por circuito:

- Temperatura.
- Corriente del cable calefactor.
- Corriente de Fuga a tierra.
- Memoria de la más alta temperatura
- Memoria de la más baja temperatura
- Circuito abierto.
- Detección del lugar y tipo de falla

El módulo de control debe alarmar por al menos la siguiente información por circuito:

- Alarma por baja temperatura
- Alarma por alta temperatura
- Alarma por baja corriente del calefactor.

- Alarma por alta corriente del cable calefactor.
- Alarma por corriente de fuga a tierra.
- Alarma por sensor RTD dañado.
- Autoprueba.
- Programable localmente.
- Memoria no volátil.
- Puertos de comunicación RS-232 y RS-485.
- Relevadores mecánicos ó de estado sólido.

Cada circuito calefactor debe ser controlado individualmente mediante un controlador electrónico, individual ó multicanal, accionado por un sensor de temperatura (RTD's), instalado sobre la pared externa de la tubería ó equipo.

El alambrado de señales de RTD's y de fuerza deben ser canalizadas independientemente.

El controlador electrónico debe tener la característica de autoprueba mediante la cual la unidad energiza y apaga cada uno de los circuitos y verifica la operación normal de cada uno de ellos. La integridad calefactora de cada circuito debe ser monitoreada usando dispositivos de detección de falla a tierra, actuando el circuito interruptor a 30 mA con contactos de alarma ó dispositivos similares con alarma y apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

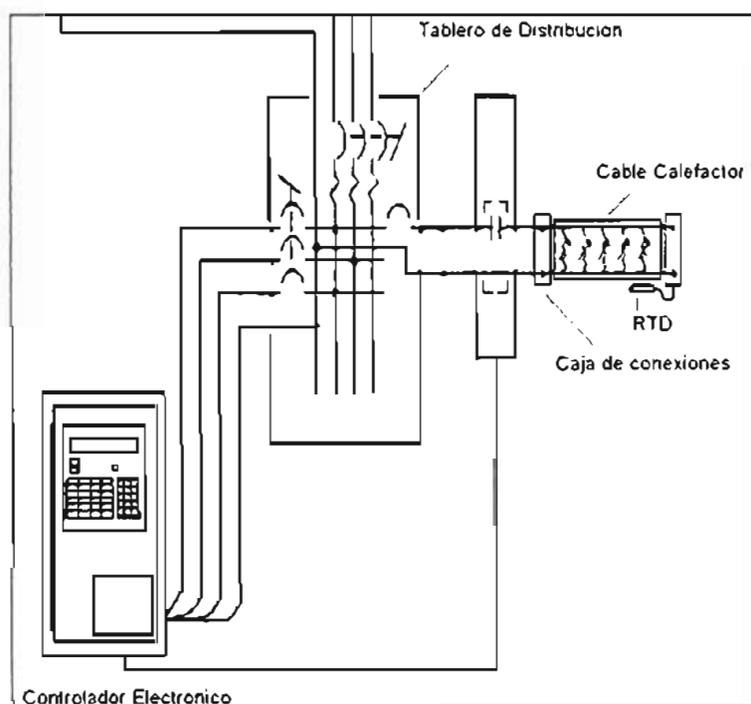


Figura 36. Ubicación controlador electrónico

III.7.3 Placas de Advertencia, Identificación y Etiquetado

Las señales deben ser permanentemente fijas a la parte externa del aislamiento térmico para visibilidad desde un nivel de piso. La señal debe decir "TRAZADO ELÉCTRICO" y debe ser espaciado a un máximo de 3 metros (10 pies) sobre lados opuestos de la tubería. La presencia de energía eléctrica en el trazado de calor, hace necesario la instalación de placas para la identificación del sistema; estas se localizarán sobre la superficie del aislamiento térmico externo. Esto es un intento por reducir los riesgos de quemaduras por choque eléctrico esto cuando se requiera realizar trabajos en los procesos del sistema.

Todos los componentes del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico serán convenientemente marcados con referencia a documentos del fabricante, modelo ó número de catalogo, aprobaciones y requisitos. Esto también incluye el dispositivo protector del circuito rama, algún instrumento de monitoreo y controladores de temperatura con sus correspondientes puntos de ubicación.

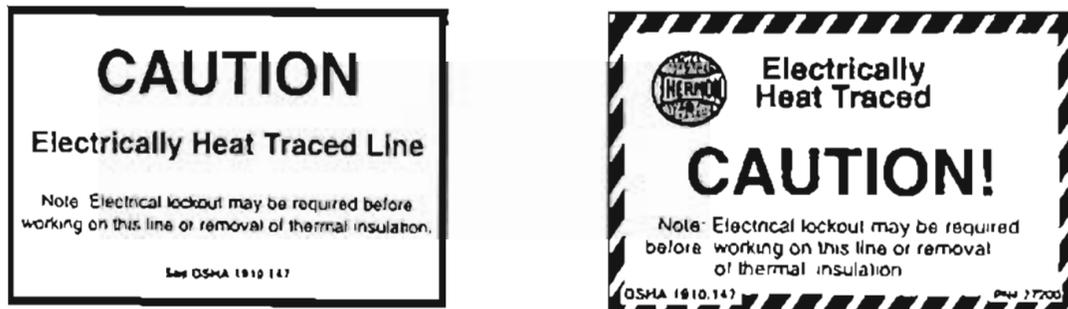


Figura 37 Etiquetas de advertencia para identificar la línea de trazado de calor eléctrico

Una identificación ó etiqueta debe ser anexado a cada dispositivo conteniendo los datos del mismo

○ CIRCUITO DE TRAZADO ELECTRICO ○			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
No. CATALOGO	AMPS	Circuito No	SERIE
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Longitud W/m-Volts	Clase	Divis	Grupo
<input type="text"/>			
Temp. Max. del Forro °C / °F			

Figura 38. Placa de identificación para Circuitos de Trazado de Calor Eléctrico

III.8 Aislamiento térmico

El funcionamiento del STCE, depende críticamente del aislamiento térmico, ya que sirve para mantener el nivel de calor que se debe tomar en cuenta a la hora del diseño de la temperatura del proceso y su mantenimiento. Puesto que se pretende que los circuitos de Trazado de Calor sean balanceados, y la pérdida de calor sea calculada para una tubería aislada bajo equilibrio térmico, puede verse que cualquier cambio en las características del aislamiento puede afectar directamente el funcionamiento del STCE. Por esta razón, el aislamiento térmico debe considerarse un componente crítico en el sistema.

La función principal del aislamiento térmico es reducir el nivel de transferencia de calor de una superficie que este operando a una temperatura diferente a la temperatura ambiente. Esta reducción de pérdida de calor puede traer beneficios como son:

1. Reducir gastos de operación.
2. Mejorar el funcionamiento del sistema.
3. Incrementar la capacidad de rendimiento del sistema.

III.8.1 Selección del Aislamiento

Antes de realizar cualquier análisis de pérdida de calor en una tubería, recipiente ó equipo mecánico trazado eléctricamente, se recomienda realizar una revisión en la selección del sistema de aislamiento. Las principales consideraciones son las siguientes:

- a. Selección del diámetro apropiado.
- b. Selección del tipo de material aislante.
- c. Selección de la cubierta ó protección contra el medio ambiente.
- d. Una selección económica del espesor del aislamiento.

Los siguientes aspectos son importantes a considerar cuando se selecciona un material aislante:

1. Características térmicas
2. Propiedades mecánicas.
3. Capacidad química.
4. Resistencia a la humedad
5. Características de seguridad personal.
6. Resistencia al fuego.
7. Costo

La confiabilidad del aislamiento térmico puede afectar satisfactoriamente a la operación del STCE. Esto puede ser pobre debido a las características aislantes del sistema instalado. Hay problemas asociados con la envoltura que existe en el cable calefactor por parte del aislamiento causando circunstancias de operación anormal. Si cualquiera de éstos crea una preocupación de seguridad, deben tomarse medidas apropiadas.

III.8.2 Tipos de Material Aislante⁵

1. Cristal celular.
2. Elastómero espumoso.
3. Fibra de vidrio.
4. Manta de fibra mineral.
5. Perlita dilatada.
6. Poli-isocianuro.
7. Sílice dilatado.
8. Silicato de calcio
9. Uretano Celular rígido.

III.8.3 Protección del material aislante.

La operación apropiada de un sistema que se encuentra trazado eléctricamente depende sobretodo de que el sistema se encuentre completamente seco. El trazado de calor eléctrico normalmente tiene rendimiento de calor insuficiente para secar el aislamiento que se encuentra húmedo, aun cuando hayan sido removidos de la tubería y forzados a un secado, nunca regresan a su estado original. Por esta razón es necesario hacer uso de una barrera protectora contra el medio ambiente.

La protección puede ser una cubierta de metal, polímero, ó un sistema impermeabilizante. Cuando es usada una protección de metal, esta debe ser lisa con las juntas longitudinales en forma en "S" modificada. Las juntas en su extremo circunferencial deben ser selladas con cintas sujetadoras y provistas de un sellante donde coinciden.

⁵ Hay normalmente muchos y diferentes materiales para el aislamiento térmico usados en las plantas industriales. Más información acerca del aislamiento térmico es tratada adecuadamente en las Prácticas Recomendadas IEEE 515

Una protección que es sobrepuesta ó de una forma unida sin sellante no es efectiva contra la humedad. Un simple mal sellado en la unión puede permitir que se fugue una cantidad considerable de agua al interior del aislamiento durante una tormenta.

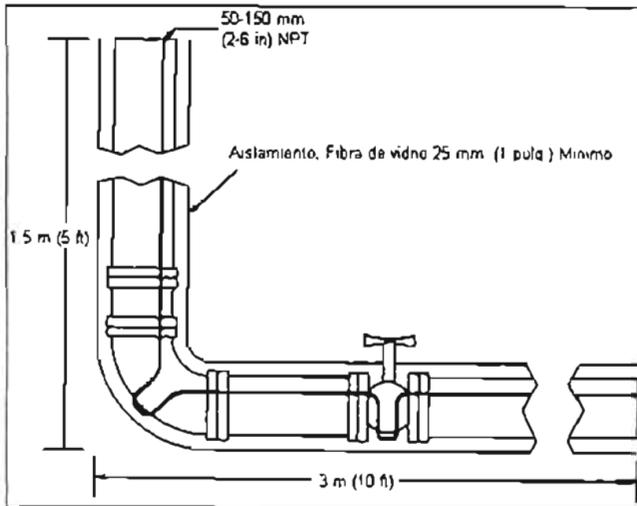


Figura 39. Colocación del aislante térmico

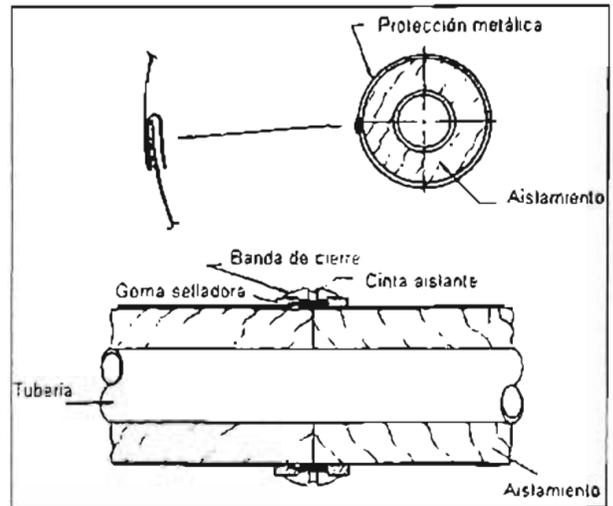


Figura 40. Colocación de protección del aislante

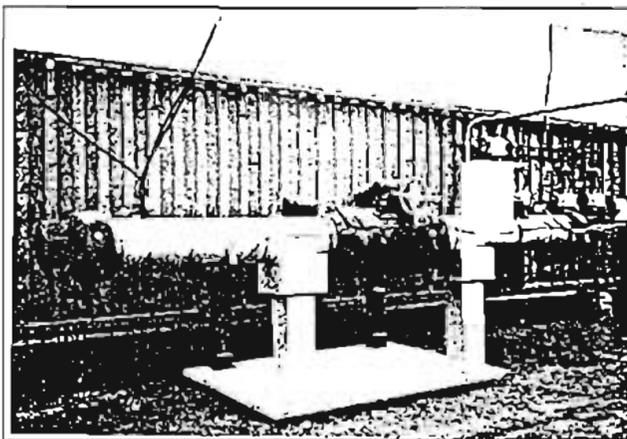


Figura 41. Aislamiento térmico normal.

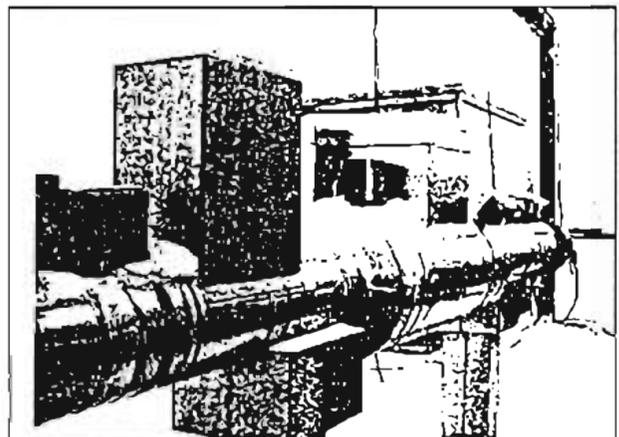


Figura 42. Sistema con aislamiento completo

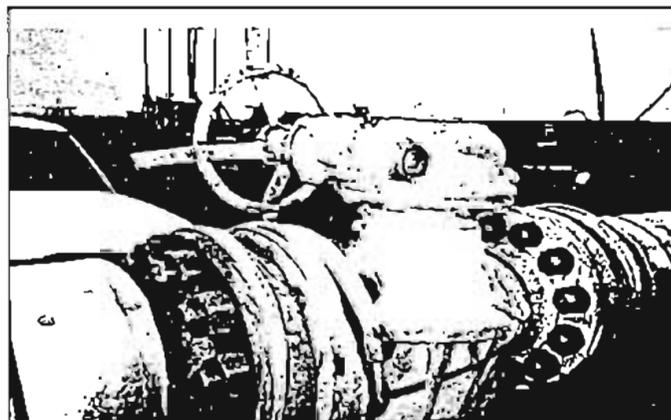


Figura 43. Tubería con válvula completamente no-aislada

Antes de ser instalado el aislamiento térmico encima del circuito de Trazado de calor eléctrico, se debe repetir la prueba de resistencia dieléctrica de aislamiento con un megometro. Esto nos asegura que el cable no haya sufrido algún daño durante la instalación ó mientras que se deja al descubierto en la tubería no-aislada. (La lectura mínima aceptable es de 20 megohms).

La necesidad para instalar correctamente y mantener de forma adecuada el aislamiento térmico es algo que debe quedar sobremarcado.

III.9 Accesorios

Caja de Conexiones

Todas las interconexiones, empalmes, tee's y sellados en los extremos finales de los circuitos del Trazado de Calor Eléctrico para áreas clasificadas, deben utilizar una caja de conexiones a prueba de explosión. Esta caja simplifica la instalación en campo y proporciona protección contra el medio ambiente a todas las conexiones del STCE.

Este equipo provee una rígida protección, un gran sellado, y una union ó empalme perfecto. el fácil manejo de la placa hace que las conexiones sean realizadas fácilmente, además se encuentran en una gran variedad de tamaños y diseños dependiendo de las necesidades del sistema.

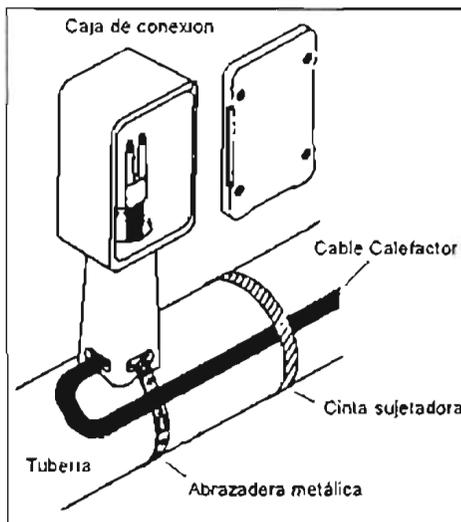


Figura 44. Tipo cuadrada.

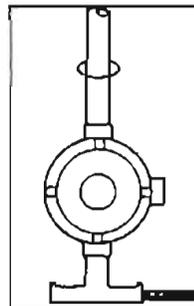


Figura 45

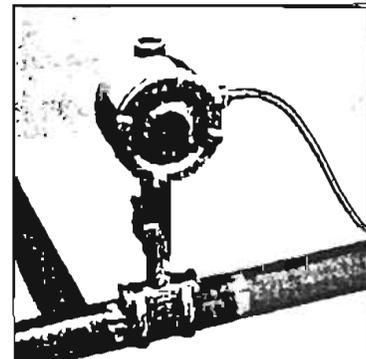


Figura 46

Tipo redonda.

Cintas Sujetadoras

Para sujetar el cable calefactor a todo lo largo de la tubería se requiere de cintas sujetadoras, las cuales deben ser de un material lo suficientemente resistente para las condiciones a las que será sometido. esto es, la temperatura a la cual será expuesta, el tipo de tubería en la cual será utilizada, diámetro de la tubería y temperatura máxima de exposición, además deben ser apropiados para no dañar el cable calefactor (figura 24) Se cuenta también con abrazaderas metálicas para sujetar las cajas de conexiones.

III.10 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO SOBRE EL SISTEMA DE ACOMPAÑAMIENTO CON VAPOR.

III.10.1 SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO

Un Sistema de trazado de Calor Eléctrico (STCE), es pequeño, flexible y de fácil instalación. Puede ser controlado para proveer el calor requerido en las tuberías de proceso. Además se puede colocar cualquier nivel de monitoreo. La energía eléctrica se encuentra disponible en todas las plantas y en una forma fácil de ser utilizada en el sistema de tuberías. El cable calefactor paralelo se puede cortar a medida en obra sin que varíe la potencia lineal del cable.

En el pasado los circuitos de calentamiento eléctrico estaban sujetos a quemarse, pero el uso del cable calefactor autorregulable ha resuelto este problema. El calor disponible del trazado eléctrico está limitado, así que en todas las instalaciones, los sistemas de aislamiento térmico deberán ser instalados correctamente y con un mantenimiento adecuado. Esta limitación de calor también significa que las líneas congeladas podrían tomar un tiempo considerable en descongelarse.

Los costos de la energía eléctrica generalmente son mayores que los costos de vapor por unidad de calor, así que ello deberá de ser controlado para minimizar su uso. Los costos de instalación de los STCE son menores que los costos de instalación de los Sistemas de Trazado de Vapor (STV) incluyendo también los costos de mantenimiento. En los STCE es posible controlar la temperatura de las tuberías con gran precisión. Se debe considerar las restricciones de circuitos en la etapa de diseño, esto para evitar problemas en los circuitos cuando estén en servicio.

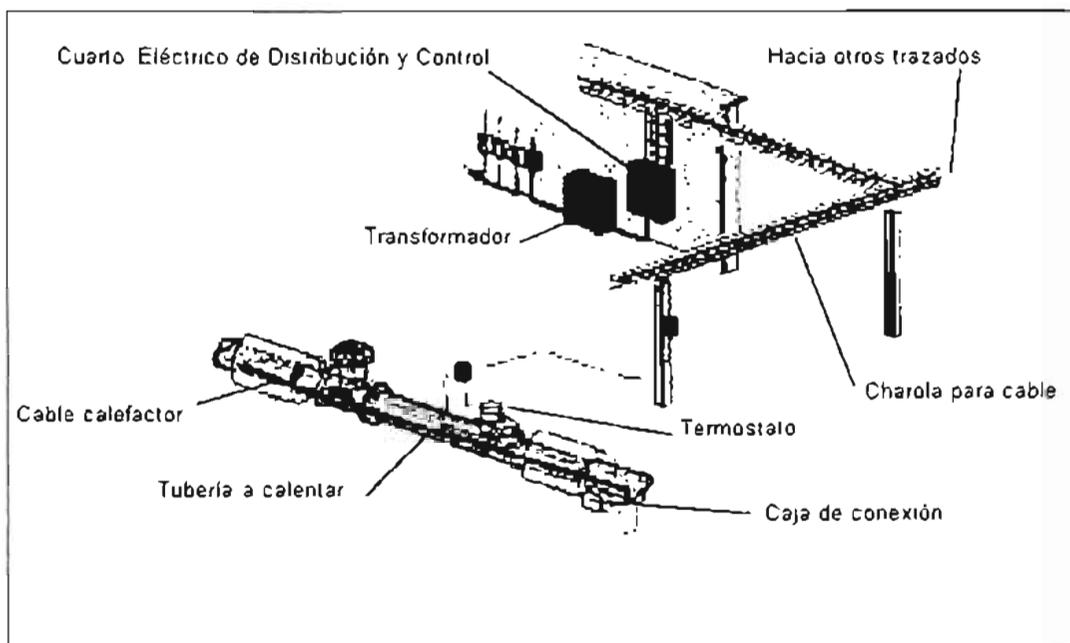


Figura 47a. Equipo requerido para la instalación de un STCE

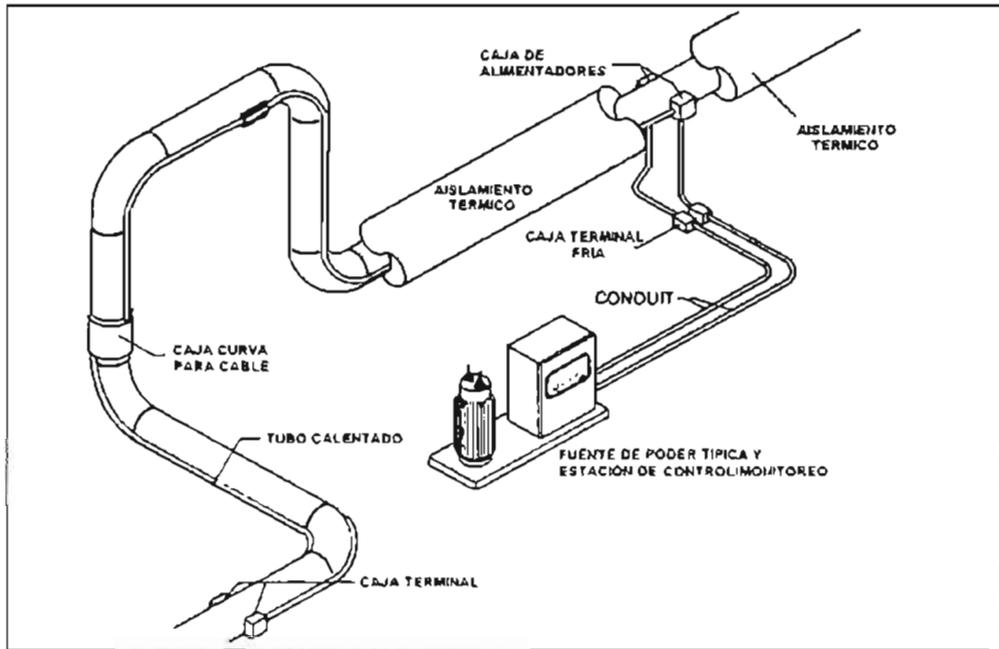


Figura 47b. Equipo requerido para la instalación de un STCE

III.10.2 SISTEMA DE TRAZADO DE VAPOR

El Sistema de Trazado de Vapor (STV), tiene la habilidad de proveer calor casi ilimitado para tuberías de proceso. Esto ha sido considerado ventajoso en el pasado, ya que en las plantas muchos de los problemas era mantener las temperaturas de proceso. Esta gran cantidad de calor permitía el rápido derretido de la nieve en las tuberías congeladas. El vapor es esencialmente un suministro constante de temperatura, lo cual es útil en algunos casos. En muchos lugares el vapor se necesita para aplicaciones de proceso, así que el vapor para trazado de tuberías es visto como un comienzo esencialmente económico.

El vapor puede correr directamente través de la tubería del sistema de trazado, pero en tanto fluye se condensa y enfría, así que se provoca una variación de la temperatura. Para controlar esta caída de temperatura, se requiere de la instalación de trampas de vapor al final para descargar la parte que se encuentra condensada y proveer una temperatura más uniforme, esto se agrega a la complejidad del sistema, ya que en las trampas se ha tenido un problema continuo de mantenimiento, además en las trampas se presentan fugas y goteos que han sido por mucho tiempo grandes consumidores de energía. Los bancos de trampas de vapor requieren de grandes espacios para su colocación y un acceso de mantenimiento para la tubería y equipo de proceso.

La longitud del acompañamiento con vapor, está limitada por: Baja presión, pequeño diámetro y cambios de altura.

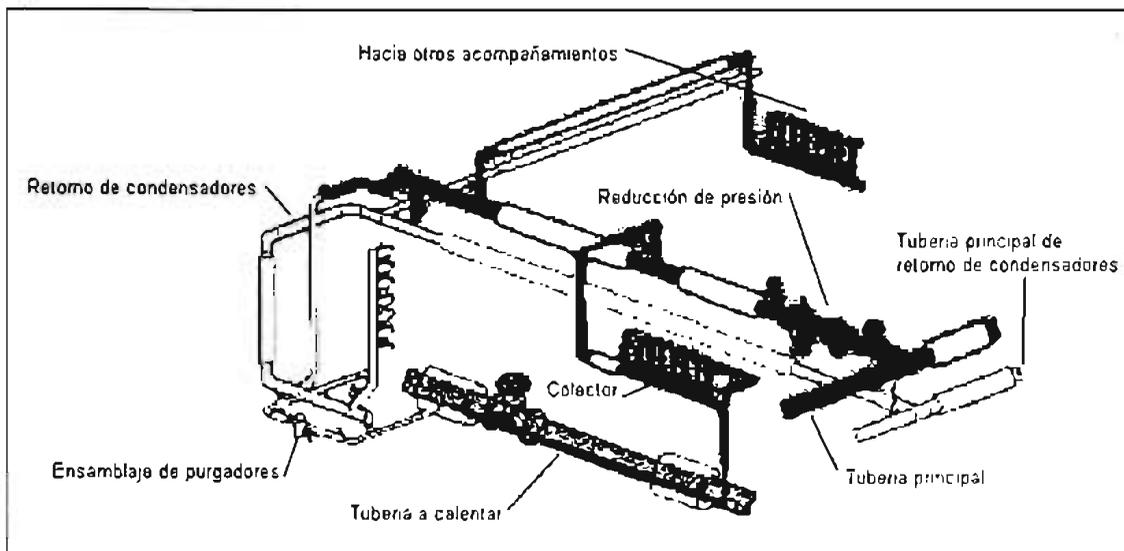


Figura 48. Ejemplo de equipos requeridos para la instalación de un STV

III.10.3 Ventajas y desventajas.

Sistema de Trazado de Calor Eléctrico.

- La disponibilidad de calor es limitada; es importante la condición del aislamiento térmico.
- El cable calefactor autorregulable resolvió el problema de degradación del cual eran objeto los calefactores eléctricos en el pasado
- Requiere de poco espacio para su colocación.
- El mantenimiento consiste principalmente en revisar los equipos de control y monitoreo.
- Los costos de operación son más bajos (menos mantenimiento, mucho menos energía).
- Los STCE pueden controlar con exactitud la temperatura de mantenimiento.
- Los costos de instalación son más bajos (aun con malla protectora, cubierta del cable y cada circuito controlado individualmente).
- Es posible casi cualquier tipo de monitoreo.
- Hasta 440 metros de trazado desde un solo punto de alimentación eléctrica.

Sistema de Trazado de Vapor.

- Puede proveer temperaturas casi ilimitadas.
- Las trampas son un problema continuo de mantenimiento.
- Los STV desperdician grandes cantidades de energía.
- El suministro y condensado del vapor son costosos.
- No existe un camino práctico para monitorear.
- Las longitudes de los circuitos son limitadas debido a la caída de presión.
- Los costos de instalación y los costos de operación para un STV, son mucho más altos debido a los costos de mantenimiento asociado con las trampas y la gran cantidad de energía utilizada.

III.11 Normas, Especificaciones y Referencias

El Sistema de Trazado de Calor Eléctrico tiene que cumplir y ajustarse con los diferentes documentos que avalan y certifican los materiales y servicios que ofrezca el fabricante. Estas normas abarcan la construcción de los equipos y dispositivos, como también los requerimientos de seguridad, clasificación de zonas, suministro de energía, especificaciones técnicas PEMEX, etc. Todo el equipo e instalaciones proporcionadas deben cumplir con las normas siguientes:

IEEE 515	Standards for the Testing, Design, Installation, and Maintenance of Electrical Resistance Heat Tracing for Industrial Applications. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
NOM-001-SEDE-1999	Norma Oficial Mexicana. Instalaciones Eléctricas (utilización).
NRF-036-PEMEX-2003	Clasificación de Áreas Peligrosas y Selección de Equipo Eléctrico.
NRF-048-PEMEX-2003	Diseño de Instalaciones Eléctricas en Plantas Industriales.
NEC	U.S National Electric Code (NFPA 70).
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NESC	National Electrical Safety Code.
NFPA325	National Fire Protection Association.
UL	Underwriter's Laboratories Inc.
ANSI	American National Standards Institute.
CSA	Canadian Standard Association.
FM	Factory Mutual Research.

III.12 Clasificación de Áreas Peligrosas

Para delimitar las áreas peligrosas se debe determinar las posibles fuentes de peligro, que resultan prácticamente imposibles de evitar en forma absoluta durante la operación del equipo ó bien durante las reparaciones, mantenimiento ó trabajos de limpieza, como son las fugas por estoperos, sellos, empaques y uniones mecánicas; así como los sitios en que deliberadamente puede liberarse a la atmósfera productos inflamables, como en las llenaderas, venteos, purgas y válvulas de alivio.

Áreas peligrosas se consideran, aquéllas donde el peligro de fuego ó explosión pueda existir, debido a la presencia de gases ó vapores inflamables, líquidos inflamables, fibras ó pelusas volátiles inflamables

Áreas Clase I. Las áreas Clase I son aquellas en las cuales están ó pueden estar presentes en el aire, gases ó vapores inflamables en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas ó inflamables. Las áreas Clase I, deben incluir aquellas especificadas en los incisos (a) y (b) descritos a continuación.

a) **Clase I, División 1.** Un área Clase I División 1 es aquella (1) en donde, bajo condiciones normales de operación, existen concentraciones de gases ó vapores inflamables, (2) en donde frecuentemente, debido a labores de reparación, mantenimiento ó fugas, existen concentraciones en cantidades peligrosas de gases ó vapores, (3) en donde debido a roturas ó mal funcionamiento de equipos ó procesos, pueden liberarse concentraciones inflamables de gases ó vapores, y pueden también causar simultáneamente una falla en el equipo eléctrico

b) Clase I, División 2. Un área Clase I, División 2, es aquella: (1) en donde se manejan, procesan ó se usan líquidos volátiles inflamables ó gases inflamables, pero en donde normalmente los líquidos, vapores ó gases, están confinados dentro de recipientes cerrados ó sistemas cerrados de donde ellos pueden escapar sólo en el caso de una ruptura accidental ó avería de los recipientes ó sistemas, y en el caso de una operación anormal del equipo; (2) en áreas en donde concentraciones inflamables de gases ó vapores son normalmente prevenidas por medio de una ventilación mecánica positiva, y la cual puede convertirse en peligrosa por la falla ó por la operación anormal del equipo de ventilación; y (3) que el área se encuentra adyacente a un área Clase I División 1, hacia donde pueden llegar ocasionalmente concentraciones inflamables de gases ó vapores, a menos que la vía de comunicación se evite por medio de un adecuado sistema de ventilación de presión positiva de una fuente de aire limpio y se disponga de dispositivos adecuados para evitar las fallas del sistema de ventilación.

Clasificación por grupos Clase I. Los grupos Clase I deben ser los siguientes:

Grupo A: Atmosferas que contengan acetileno.

Grupo B: Atmosferas que contengan hidrógeno, combustibles y procesos de gases combustibles que contengan más de 30% de hidrógeno en volumen, gases ó vapores de peligrosidad equivalente, tales como butadieno, óxido de etileno, óxido de propileno y acroleína.

Grupo C: Atmosferas tales como éter etílico, etileno, gases ó vapores de peligrosidad equivalente.

Grupo D: Atmosferas tales como acetona, amoníaco, benceno, butano, ciclopropano, etanol, gasolina, hexano, metanol, metano, gas natural, nafta, propano, gases ó vapores de peligrosidad equivalente.

Áreas Clase II. Las áreas Clase II, son aquellas peligrosas debido a la presencia de polvo combustible. Las áreas Clase II deberán incluir aquellas especificadas en (a) y (b) que se enuncian a continuación:

a) Clase II, División 1. Un área Clase II, División 1 es un lugar:

1) En el cual bajo condiciones normales de operación hay polvo combustible en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas ó incendiables.

2) En el cual una falla mecánica ó un funcionamiento anormal de una maquina ó equipo puede causar explosión ó producir mezclas explosivas, y puede también proporcionar la fuente de ignición por medio de una falla simultánea del equipo eléctrico, la operación de equipo de protección, ó de otras causas

3) En donde polvos combustibles que por naturaleza son eléctricamente conductivos, pueden estar presentes en cantidades peligrosas.

b) Clase II, División 2. Un área Clase II, División 2, es aquella donde el polvo combustible no está generalmente en el aire, en suficiente cantidad para producir mezclas explosivas ó inflamables y las acumulaciones de polvo son generalmente insuficientes para interferir con la operación normal de equipo eléctrico ó de otros aparatos, pero el polvo combustible puede estar en suspensión en el aire como resultado de un ocasional mal funcionamiento del equipo de manejo ó procesos y las acumulaciones de polvo combustible sobre, dentro ó en la proximidad del equipo eléctrico, pueden ser suficientes para interferir con la disipación segura de calor del equipo eléctrico, ó pueden incendiarse por medio de operaciones anormales ó falla del equipo eléctrico.

Clasificación por grupos Clase II. Los grupos Clase II deben ser los siguientes:

1) Grupo E: Atmosferas que contengan polvos metálicos combustibles, incluyendo aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales y otros polvos combustibles, donde el número de partículas, de abrasivos y conductividad, presenten peligro similar en la utilización del equipo eléctrico.

2) Grupo F: Atmosferas que contengan polvos de carbones combustibles, incluyendo carbón negro, carbón mineral, carbón vegetal, ó polvos sensibilizados por otros materiales, de forma que aquellos presenten un peligro de explosión.

3) Grupo G: Atmosferas que contengan polvos combustibles no incluidos en los grupos E ó F, incluyendo flúor, granos, madera, plástico y químicos.

Áreas Clase III. Las áreas Clase III son aquellas peligrosas debido a la presencia de fibras ó partículas volátiles de fácil ignición, pero en las cuales es poco probable que dichas partículas permanezcan en suspensión en suficientes cantidades para producir mezclas inflamables. Las áreas Clase III deben incluir aquellas especificadas en (a) y (b) descritas a continuación:

a) Clase III, División 1. Un área Clase III División 1 es aquella donde se manejan, manufacturan ó usan fibras inflamables que producen partículas volátiles inflamables.

b) Clase III, División 2. Un área Clase III, División 2, es aquella donde se almacenan ó manejan fibras fácilmente inflamables.

III.12.1 Consideraciones para Áreas Peligrosas

Cada proceso de las plantas debe sujetarse a un proceso de revisión de riesgos, que incluye el impacto anormal de las temperaturas altas ó bajas debido a un Sistema de Trazado de calor defectuoso. En estos casos cuando las fallas pueden resultar en reacciones adversas (como en los puntos de alivio de presión), la integridad del Sistema de Trazado de Calor debe recibir una atención meticulosa. En esos casos donde la confiabilidad del Sistema de Trazado es importante para la planta ó seguridad del personal, se sugiere que cada circuito se diseñe para un proceso del Tipo III (definido en el punto III.3 de este trabajo y en la Norma IEEE 515). El trazado debe incluir un controlador de temperatura con RTD ó un sensor tipo termoacoplador y flexibilidad al máximo en la selección de alarma y monitoreo de funciones. Equipo redundante puede garantizar el funcionamiento de los procesos de planta.

Donde existan químicos muy arriesgados (como se define en el Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.119 código de regulaciones federales), que se encuentran dentro del proceso, el plan y aspectos de la instalación de los sistemas deben documentarse. Estos archivos deben ponerse al día para reflejar la existencia de condiciones regulares y deben contener información suficiente que determine las fuentes de energía e identificación del circuito.

Con lo que respecta a los cables calefactores recomendados para áreas Clase 1 División 1 (C1D1), deberán tener una gran resistencia a exposiciones químicas, impacto mecánico, flameo y cargas mecánicas. El cable calefactor será especialmente aprobado por FM (Factory Mutual Research) ó certificado por CSA (Canadian Standard Association) para uso en áreas peligrosas, además se usará un equipo de protección de falla a tierra ajustada a 30 mA, con un tiempo nominal de respuesta de 100 mseg para cada circuito. Con respecto a la instalación en general se tienen los siguientes puntos:

- Se debe determinar que la instalación propuesta utiliza un cable calefactor aprobado para su uso en áreas C1D1, revisar la documentación del fabricante para obtener los requisitos específicos de la instalación en áreas C1D1 y asegurar que el sistema calefactor es compatible con el medio ambiente.
- Donde sea posible todas las terminales de los cables calefactores y controladores, deberán ser localizados fuera del área C1D1.
- Cada un circuito de un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico deberá ser protegido individualmente por un circuito interruptor. No se permite colocar un grupo de cables calefactores con un solo circuito interruptor.
- Los dispositivos de protección de equipos contra fallas a tierra conectados a los circuitos de trazado en áreas C1D1, deberán ser marcados claramente en el panel. En el momento en que uno de estos dispositivos se dispare, no debe ser restablecido hasta que sea investigada la causa que lo provoco por personal calificado y haya sido rectificadada la condición de falla.

CAPITULO IV

CRITERIOS DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CIRCUITO PARA EL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO

IV.1 Diseño para el Trazado de Calor Eléctrico

Aplicación

Este diseño es aplicado a una línea de proceso en la integración de la planta de Coquización retardada, en la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" de Cadereyta, N.L., el cual proporciona suficiente información de diseño para poder entender la aplicación de los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico.

IV.2 Parámetros de diseño

Los datos que se deben tomar en cuenta para la definición del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico, mismos que deben ser ratificados en planos ó con información del área de ingeniería de proceso y mecánica, son básicamente los siguientes:

1	Producto que contiene la tubería	Agua, aceite, gas, etc.
2	De que es la tubería	Material
3	Diámetro de la tubería	Pulgadas
4	Cantidad de accesorios en la tubería	Válvulas, bridas, bombas, soportes, etc.
5	Aislamiento térmico	Tipo y espesor
6	T _m	Temperatura a mantener
7	T _a	Temperatura mínima ambiental (°C, °F)
8	T _M	Temperatura máxima ambiental (°C, °F)
9	T _p	Temperatura de operación del proceso (°C, °F)
10	T _L	Temperatura límite del sistema (°C, °F)
11	T _{exp.}	Temperatura de exposición de la traza (°C, °F)
12	T _A	Temperatura de arranque ó ignición del producto
13	Longitud de la tubería	Metros
14	Clasificación del área	Clase, división, etc.
15	Voltaje disponible	120 VCA, 220 VCA, 277 VCA, 440 VCA, etc.
16	Velocidad del viento	K/hr.

IV.3 Ejemplo de Diseño.

En este ejemplo, el STCE se necesita para un tramo de tubería de proceso localizado en la Unidad de Gas; que en este caso transporta Gas licuado de petróleo (LPG)⁶, es específicamente Gas Butano a 24°C (75.2°F), producto de la descomposición del coque, obtenido en la refinación del petróleo. La tubería de proceso ocasionalmente es limpiada ó purgada con vapor a 150°C (302°) y presión de 3.25 kg/cm², el área es clasificada Clase 1 División 2, grupo D ya que contiene amoniaco, etano, gas natural, propano, etc. El diámetro de la tubería es de 2" de acero al carbón y 32.7 metros de longitud. La temperatura mínima ambiente es de -5°C (23°F), contiene aislamiento térmico de fibra de vidrio de 2" de espesor (figura 49).

⁶ El termino "gas licuado de petróleo" se aplica a ciertos hidrocarburos específicos que se pueden licuar a presiones moderadas y temperaturas normales, pero que son gaseosos en condiciones atmosféricas normales. Estos gases se utilizan mucho para servicios domésticos y se proporcionan en tanques o mediante líneas de tuberías.

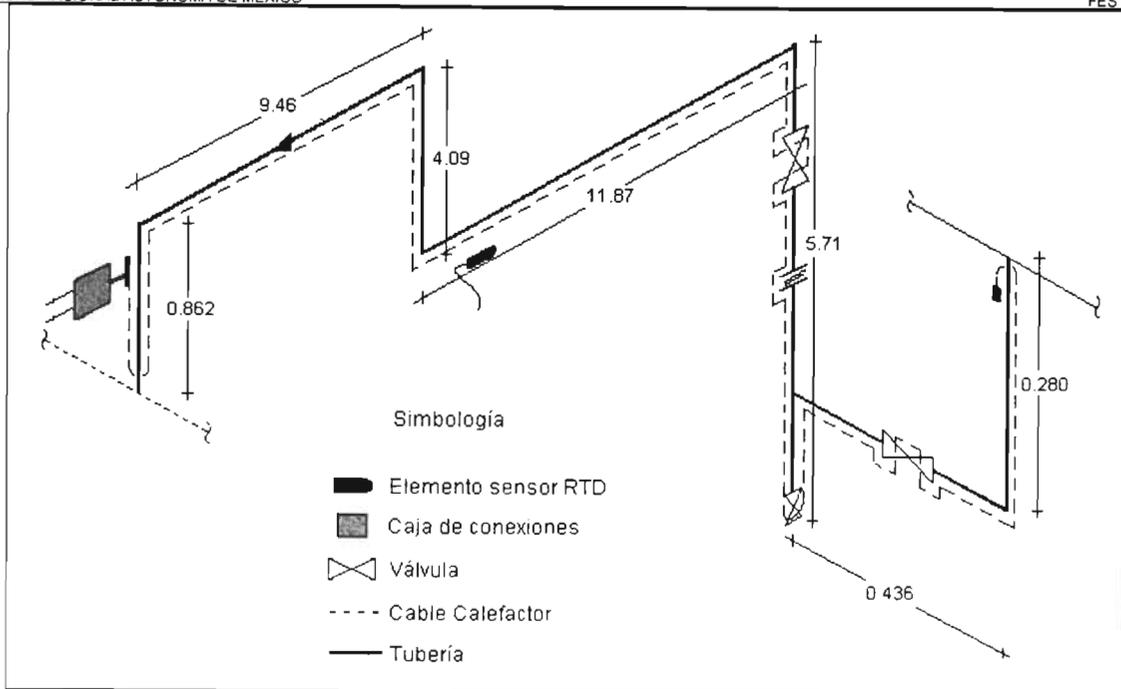


Figura 49. Instalación del STCE.

Datos

1	Producto que contiene la tubería	Gas Butano
2	De que es la tubería	Acero al carbón
3	Diámetro de la tubería	2"
4	Cantidad de accesorios en la tubería	3 Válvulas Tipo compuerta
5	Aislamiento térmico	Fibra de vidrio de 1"
6	T _m (Temperatura a mantener)	24°C (75.2°F)
7	T _a (Temperatura mínima ambiental)	-5°C (23°F)
8	T _M (Temperatura máxima ambiental)	N/A (no disponible)
9	T _p (Temperatura de operación del proceso)	49°C (120°F)
10	T _L (Temperatura límite del sistema)	75°C (167°F)
11	T _{exp.} (Temperatura de exposición de la traza)	150°C (302°F)
12	T _A (Temperatura de arranque ó ignición del producto)	24°C (75.2°F)
13	Longitud de la tubería	32.7 m
14	Clasificación del área	Clase 1 División 2 Grupo D
15	Voltaje disponible	240 VCA
16	Velocidad del viento	32 k/hr

IV.3.1 Determinar el nivel de temperatura (T-Rating)⁷ del área.

- A. Determinar la temperatura de ignición de todos los gases existentes en el área de acuerdo a la publicación NFPA 325M.

Metano:	537°C (998°F)
Gas natural:	510°C (950°F)
Etano:	472°C (882°F)
Propano:	468°C (874°F)
Butano:	410°C (770°F)

⁷ Las Asociaciones de Normas han establecido el T-rating como una manera de clasificar el equipo eléctrico basado en la temperatura máxima de exposición que una superficie puede lograr. El propósito del T-rating es garantizar que ese equipo eléctrico no exceda las temperaturas de auto-encendido en áreas peligrosas (clasificadas) flamables

- B. Seleccionar el gas con el punto de ignición mas bajo.

Butano 410°C (770°F)

- C. Multiplicar la temperatura de ignición del gas determinado por 0.8, de acuerdo a los requerimientos de la IEEE y FM, esto es para determinar la temperatura máxima permitida para el forro del cable calefactor.

$$410^{\circ}\text{C} \times 0.8 = 328^{\circ}\text{C} (622.4^{\circ}\text{F})$$

IV.3.2 Determinar el tipo de cable calefactor

- A. Determinar la temperatura de exposición continua e intermitente.

Continua: 24°C (75.2°F)
Intermitente: 150°C (302°F)

- B. Seleccionar el tipo de cable calefactor autorregulable de acuerdo a los niveles descritos a continuación y en tablas del fabricante (ver Anexo, Página 99).

Para el cable Tipo **PSX**

Máxima temperatura de exposición continua energizado: 65°C (150°C)
Máxima temperatura de exposición continua no-energizado: 85°C (185°C)

Para el cable Tipo **TSX**

Máxima temperatura de exposición continua energizado: 121°C (250°C)
Máxima temperatura de exposición continua no-energizado: 191°C (375°C)

De acuerdo a estos datos el cable calefactor seleccionado es el **TSX**

IV.3.3 Requisitos de la clasificación de temperatura (T-rating).

- A. Encuentre la máxima temperatura del forro del cable calefactor seleccionado de la tabla del fabricante.

Cable Calefactor	Temp. Máx. del Forro	T-rating
TSX	200 °C (392°F)	T-3

- B. Debe asegurarse que la temperatura máxima del forro del cable calefactor seleccionado en el punto anterior (IV.3.3 A), no sea mayor que la temperatura máxima permitida del forro calculado en el paso (IV.3.1 C). En caso de lo contrario se debe poner en contacto con el fabricante.

IV.4 Diseño térmico

IV.4.1 Cálculo de las pérdidas de calor.

Para calcular las pérdidas de calor que debe compensar el cable calefactor, se debe conocer:

- T_m: Temperatura a mantener (°F)
- T_a: Temperatura mínima ambiente registrada (°F)
- Diámetro de la tubería (pulgadas).
- Aislamiento térmico, tipo y espesor.

Sustituyendo

- T_m: 75.2 °F
- T_a: 23 °F
- Diámetro de la tubería: 2" Acero al carbón
- Aislamiento: 1" Fibra de vidrio

1. Calcular la temperatura diferencial (°F)

$$\Delta T = T_m - T_a \quad \Delta T = 75.2 - 23 = 52.2 \text{ °F temperatura diferencial}$$

2. Determinar la pérdida de calor de la tubería.

Relacionar el diámetro de la tubería y el espesor del aislamiento de acuerdo con la temperatura diferencial (ΔT), para poder obtener la pérdida de calor base de la tubería (Q_B).

De la tabla 1, para una tubería de 2" de diámetro, aislamiento de 1" y $\Delta T = 52.2^\circ\text{F}$, la pérdida de calor Q_B debe ser calculada por interpolación (se realiza este método de interpolación debido a que en la tabla 1, pérdidas de calor no existe una Temperatura diferencial de 52.2°F), así entonces tenemos que:

$$\begin{aligned} Q_B &= 2.7 \text{ W/ft} + ((2/50) \times (5.5 - 2.7)) \\ &= 2.7 \text{ W/ft} + 0.112 \\ &= 2.812 \text{ W/ft Pérdida de calor en la tubería a } T_m = 75.2 \text{ °F} \end{aligned}$$

Insulation Thickness	Temperature Difference ΔT (°F)	Pipe Size (Inches)												
		0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	3.5	4	6	8	10
.5"	50	1.9	2.2	2.7	3.2	3.6	4.4	5.1	6.1	6.9	7.6	10.9	14.0	17.2
	100	3.9	4.6	5.5	6.6	7.4	9.0	10.5	12.5	14.1	16.7	22.6	28.9	35.6
	150	6.0	7.1	8.5	10.2	11.4	13.9	16.3	19.4	21.9	24.3	35.0	44.8	55.1
1.0"	50	1.3	1.6	1.7	2.2	2.3	2.7	3.1	3.7	3.4	4.5	6.6	8.1	9.9
	100	2.7	3.3	3.5	4.6	4.7	5.5	6.4	7.6	7.1	9.2	13.7	16.8	20.5
	150	4.2	5.2	5.5	7.1	7.2	8.6	10.0	11.7	11.0	14.3	21.3	26.1	31.9
	200	5.8	7.1	7.5	9.8	10.0	11.8	13.7	16.2	15.3	19.7	29.4	36.1	44.1
	250	7.5	9.2	9.7	12.6	12.9	15.3	17.8	21.1	19.8	25.8	38.2	46.8	57.2
1.5"	50	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1	2.8	2.7	3.3	4.8	5.8	6.8
	100	2.2	2.6	2.9	3.2	3.7	4.3	4.4	5.7	5.7	6.9	9.9	12.0	14.1
	150	3.5	4.1	4.5	5.0	5.7	6.6	6.8	8.9	8.8	10.7	15.4	18.7	22.0
	200	4.7	5.6	6.2	7.0	7.9	9.1	9.4	12.2	12.2	14.9	21.3	25.9	30.4
	250	6.2	7.3	8.0	9.0	10.2	11.8	12.2	15.9	15.8	19.3	27.7	33.6	39.5
	300	7.7	9.0	10.0	11.2	12.8	14.7	15.2	19.8	19.8	24.1	34.8	42.0	49.4
2.0"	50	0.95	1.1	1.2	1.4	1.4	1.7	1.8	2.3	2.3	2.8	3.8	4.7	5.5
	100	2.0	2.3	2.5	3.0	3.0	3.6	3.8	4.7	4.8	5.7	7.8	9.6	11.3
	150	3.1	3.5	3.9	4.6	4.5	5.6	5.9	7.4	7.5	8.9	12.1	15.0	17.6
	200	4.2	4.9	5.3	6.4	6.3	7.7	8.2	10.2	10.9	12.2	16.7	20.7	24.4
	250	5.5	6.3	6.9	8.3	8.2	10.0	10.6	13.2	13.5	15.9	21.7	26.9	31.7
	300	6.8	7.9	8.6	10.3	10.1	12.5	13.2	16.5	16.8	19.8	27.1	33.7	39.6
2.5"	50	0.83	0.94	1.0	1.3	1.3	1.5	1.6	2.0	2.0	2.4	3.2	3.8	4.6
	100	1.7	2.0	2.2	2.6	2.6	3.2	3.4	4.1	4.3	4.9	6.6	7.8	9.6
	150	2.7	3.0	3.5	4.1	4.1	5.0	5.3	6.4	6.6	7.6	10.2	12.1	14.8
	200	3.7	4.2	4.8	5.7	5.7	6.9	7.3	8.9	9.2	10.5	14.2	16.8	20.6
	250	4.8	5.5	6.3	7.4	7.4	8.9	9.5	11.5	11.9	13.7	18.5	21.9	26.8
	300	6.0	6.8	7.8	9.2	9.2	11.1	11.8	14.4	14.8	17.1	23.1	27.4	33.4

Tabla 2. Pérdidas de calor en tuberías

3. Ajustar la pérdida de calor de acuerdo al tipo de aislamiento.

Multiplicar las pérdidas de calor base (Q_B) obtenidas en el paso anterior por un factor de compensación por aislamiento (f) de la tabla 3, esto para obtener las pérdidas de calor actual (Q_a).

$$Q_a = Q_B \times f$$

En este ejemplo no es necesario realizar el ajuste por aislamiento, ya que las pérdidas de calor de la tabla 1 son calculadas en base a tuberías aisladas con fibra de vidrio en acuerdo con ASTM C547, el factor de corrección es 1. Además se incluye un factor de seguridad del 10%. Entonces:

$$Q_a = Q_B = 2.812 \text{ W/ft a } T_m = 75.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Tipo de Aislamiento	Factor por aislamiento (f)	"Factor k" de Aislamiento a 50° (Btu-in/hr-ft-°F)
Espuma de Uretano	0.66	0.165
Poli-isocianuro	0.72	0.180
Fibra de vidrio	1.00	0.250
Material de lana Mineral	1.20	0.300
Silicato de calico	1.50	0.375
Cristal celular	1.60	0.400
Silice dilatado	1.88	0.470

Tabla 3. Factor de corrección por aislamiento

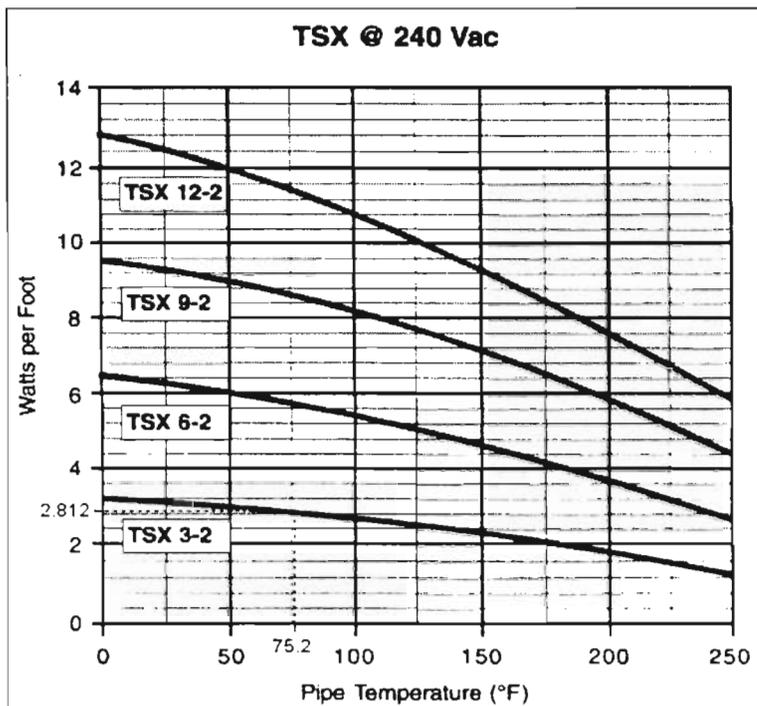
IV.5 Selección del cable calefactor

Para seleccionar el cable calefactor a utilizar, de los catálogos del fabricante (ver anexo), debemos conocer:

- T_m : Temperatura a mantener ($^\circ\text{F}$) = 75.2 $^\circ\text{F}$
- Q_a : Pérdidas de calor actual por pie de la tubería a temperatura T_m = 2.812 W/ft a 75.2 $^\circ\text{F}$
- Voltaje disponible = 240 VCA.

1. Seleccionar el cable calefactor adecuado propuesto por el fabricante de acuerdo al nivel de energía y a la Gráfica 1.

Relacionar la pérdida de calor actual por pie (Q_a) con la temperatura a mantener T_m , y obtenga el tipo de cable calefactor adecuado de tal manera que el nivel de rendimiento de energía seleccionado a la temperatura T_m , sea igual ó mayor a las pérdidas de calor actual Q_a .



Nota. $W/m = W/ft \times 3.28$
 $^{\circ}C = 5/9 (^{\circ}F - 32)$

Gráfica 1. Nivel de rendimiento de energía para los cables calefactores autorregulables tipo TSX. Watts por pie Vs. Temperatura en tubería (°F).

De la gráfica 1, observamos que el cable Tipo TSX 3-2 cae exactamente dentro de los valores de **2.812 W/ft** a **75.2 °F**; por seguridad y dejando una tolerancia de diseño tomamos el inmediato superior, que corresponde al cable **TSX 6-2**.

Si las pérdidas de calor Q_a son mayores que el cable de mayor rendimiento de energía se puede:

- Colocar un aislamiento de mayor espesor
- Poner un aislamiento con un factor "k" bajo
- Poner dos ó mas cables en paralelo
- Colocar el cable en espiral.

2. Seleccionar el nivel de voltaje

Los cables calefactores **TSX 6-2** son cables fabricados para ser usados en 240 VCA, además es posible que operen en un rango de 208 a 277 VCA con la misma eficiencia.

IV.6 Diseño Eléctrico

Para determinar la capacidad del dispositivo de interrupción del circuito se debe conocer:

- Q_a : Pérdida de calor actual por pie de la tubería a la temperatura T_m .
- Diámetro de la tubería
- Longitud de tubería
- Tipo y número de válvulas
- Tipo de cable calefactor seleccionado
- Corriente nominal (medida en campo).

Ejemplo (continuación)

1. Q_a **2.812 W/ft a T_m de 75.2 °F.**
2. Diámetro de tubería: **2"**
3. Longitud de Tubería: **32.7 m (107.28 ft)**
4. Válvulas: **tipo compuerta, 3 válvulas**
5. Cable Calefactor: **TSX 6-2**
6. Corriente nominal: **13.38 Amp.**

1. *Calcular la longitud total del cable requerido, de acuerdo a la longitud de la tubería y a la combinación de longitudes de cada componente de la tubería.*

- *Para la tubería:* Determinar la longitud de cable calefactor requerido para la tubería de acuerdo a su longitud total.

Tubería: **32.7 m. (107.28 ft)**

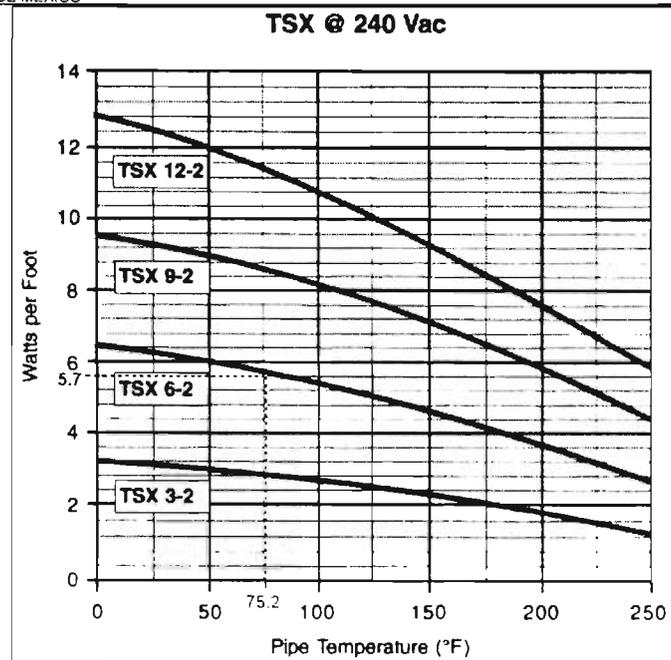
- *Para longitud de las válvulas.* Para determinar la longitud total de cable calefactor requerido para las válvulas se multiplicara el número de válvulas por la pérdida de calor actual (Q_a), por el factor de corrección de acuerdo al tipo de válvula (tabla 4), y esto será dividido entre el rendimiento máximo de energía del cable calefactor seleccionado (en este caso para un cable tipo TSX 6-2, y una temperatura a mantener T_m de 75.2°F, corresponde 5.7 W/ft, ver gráfica 2).

$$\text{Válvulas} = \frac{3 \text{ válvulas} \times (2.812 \text{ W/ft} \times 4.3 \text{ ft})}{5.7 \text{ W/ft}} = \mathbf{6.364 \text{ ft (1.94 m.)}}$$

$$\text{Cantidad total del cable calefactor: } 32.7 \text{ m} + 1.94 \text{ m} = \mathbf{34.64 \text{ m (113.65 ft)}}$$

Tipo de válvula	Factor de corrección
Mariposa	2.3
Bola	2.6
Gobo	3.9
Compuerta	4.3

Tabla 4. Factor de corrección por tipo de válvula



Gráfica 2. Rendimiento máximo de energía en W/ft, para una T_m de 75.2°F, en un cable TSX 6-2.

2. Determinar la capacidad del dispositivo de interrupción⁸.

Utilizando la tabla 5, y conociendo la corriente nominal la cual se obtiene en campo, que para este circuito es de 13.38 Amp. Se relaciona el tipo de cable calefactor seleccionado a la temperatura de arranque de 50°F (10°C) con la longitud total del cable calefactor seleccionado para determinar la capacidad del dispositivo de interrupción.

Corriente nominal = 13.38 Amp
 Longitud total = 34.64 m (113.65 ft)

De la tabla 5 se obtiene el dispositivo de interrupción de **15 Amp.**; ya que este valor de corriente del interruptor es superior a los 13.38 Amp. que tenemos de corriente en el circuito. La longitud máxima permitida del cable calefactor TSX 6-2 energizado a 240 VCA, con una temperatura de arranque de 50°F (10°C) y de acuerdo a la corriente nominal es de 315 ft (96 m). Por lo tanto, se confirma que el cable seleccionado es el adecuado.

240 Vac Service Voltage		Maximum Circuit Lengths Based on Circuit Breaker Sizing		
Catalog Number	Output @ 50°F Watts/ft (w/m)	15A	20A	30A
		ft. (m)	ft. (m)	ft. (m)
TSX 3-2	3 (10)	480 (146)	640 (146)	715 (108)
TSX 6-2	6 (20)	315 (96)	420 (128)	505 (154)
TSX 9-2	9 (30)	240 (73)	320 (98)	410 (125)
TSX 12-2	12 (39)	170 (52)	230 (70)	345 (105)

Tabla 5. Tamaño del interruptor de protección

⁸ Esta selección del dispositivo de protección es de acuerdo a tablas de fabricantes de cables calefactores, y solo nos sirve para una selección rápida de la protección, en el Capítulo 5 se verá más a detalle el procedimiento eléctrico para la selección de la protección eléctrica.

IV.7 Software de Diseño

Dentro de la industria del Trazado de Calor Eléctrico cada fabricante tiene su propio software de diseño. Este software proporciona las herramientas necesarias para diseñar y especificar un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico completo.

Estos programas son usados para simplificar el diseño y especificaciones del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico para tuberías, tanques e instrumentos. Utilizado en MS-DOS de una computadora personal, se puede aplicar para la representación de Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico para protección de congelación y temperaturas de mantenimiento.

Para Trazado de Calor Eléctrico nos proporciona:

- Calculo de pérdidas de calor
- Selección del producto
- Síntesis del Diseño del Circuito
- Síntesis de los Datos Eléctricos
- Síntesis del diseño del Sistema
- Datos de los materiales
- Graficas de carga

Incluye también un programa en el cual se pueden observar e imprimir las formas típicas de colocación los cuales se encuentran en formato DXF para poder observarse.

Requisitos de la PC

Este tipo de software para ambiente Windows esta diseñado para trabajar en PC's con las siguientes características:

- Pentium I, basado en una PC IBM, ó mayor
- 8 Mb RAM 16 Mb recomendados
- 16 Mb en disco duro
- Monitor color VGA o superior
- Windows 95, Windows NT 3.51 ó mayor
- Proyector de gráficos
- Drive de 3.5" ó CD-ROM
- Mouse

CAPÍTULO V

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO

V.1 Suministro de Energía.

La industria de refinación del petróleo encierra una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo para obtener de él por destilación y transformación química, los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos. En este caso específico, es la obtención y transportación de Gas butano, a través de diferentes sistemas de tuberías en la planta. Es en la transportación de este gas donde se requiere de un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico que nos proporcione la temperatura adecuada para su fácil transportación. Esto implica la utilización de fuentes de Suministro de Energía eléctrica para dichos sistemas de Trazado.

Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos que permiten generar, transportar, distribuir y consumir la energía eléctrica. Para un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico el suministro de energía es un factor clave en el diseño, ya que de esto depende el buen funcionamiento de los procesos dentro de la integración.

Se debe tener un diseño de ingeniería que garantice la calidad de los materiales, equipos e instalaciones, a fin de que éstas operen de manera eficiente y segura, tomando en cuenta la preservación de vidas humanas, el medio ambiente y los bienes propios y de terceros.

V.2 Conexión de Energía Eléctrica

PEMEX Refinación suministrará la alimentación de energía desde su sistema eléctrico en conexión delta a 480 VCA, 3 fases, 3 hilos, 60 Hz, previendo interruptor termomagnético en el cuarto de control eléctrico que PEMEX determine para la alimentación al transformador y/o los tableros del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico. La capacidad del interruptor termomagnético y cantidad se definirá sobre la base de la carga eléctrica que el suministrador determine. Se define como carga máxima para cada uno de los tableros de control y distribución 60 KVA.

Antes de haber considerado la conexión a una fuente de voltaje, se deben de haber seguido cuidadosamente las instrucciones de instalación del circuito para el tipo de cable calefactor seleccionado. Hay proveedores que fabrican y tienen disponibles kits para: "Conexión de Energía" y "Fin de circuito", estos kits son para cada tipo de cable calefactor y no pueden sustituirse con materiales no diseñados para este propósito.

Los cables de fuerza y control deben ser de cobre tipo RHH/RHW TIPO EP, para aislamiento de 600 volts. El calibre para el cable de control del RTD debe ser como mínimo 16 AWG y para fuerza 10 AWG como mínimo.

Los cables de fuerza y control pueden ser monopolares o multiconductores. Los cables multiconductores deben ser probados para su uso en charolas y aprobados para su uso en Clase 1 división 2 de áreas peligrosas.

El voltaje de operación del cable calefactor debe ser definido por el suministrador del sistema y puede ser en 480 V, 440 V, 240 V, 220 V, ó 120 V, según la longitud y carga del circuito, prefiriendo el voltaje mayor posible para menor caída de tensión.

Los alimentadores deben calcularse y suministrarse por el proveedor del sistema para no exceder un 5% de caída de tensión, desde el transformador del sistema en 480 volts, hasta el punto más alejado del circuito más lejano.

El neutro de los sistemas eléctricos en PEMEX es de acuerdo a lo siguiente:

220/127 VCA Sólidamente aterrizado

480 VCA Sólidamente aterrizado

480 VCA Neutro Flotante (para refinerías y Centros Procesadores de Gas)

4160 VCA Resistencia de puesta a tierra

13800 VCA Aterrizado sólidamente o mediante alta impedancia.

Para el caso de conexión de neutros a tierra, esta conexión debe ser realizada con conductores aislados que tengan el mismo nivel de aislamiento que el voltaje de fases del sistema a aterrizar.

El circuito calefactor debe estar conectado directamente a un interruptor que alimente la instalación eléctrica.

Los cables calefactores para instrumentos y tuberías de procesos pueden ser alimentados eléctricamente desde el mismo panel de interruptores automáticos, sin embargo deben de ser alimentados desde interruptores automáticos separados.

Hasta cuatro cables calefactores de instrumentos pueden ser alimentados eléctricamente del mismo interruptor, siempre y cuando cada cable calefactor tenga su propio circuito paralelo separado, de tal manera que pueda ser aislado para mantenimiento por medio de un desconectador local.

V.3 Distribución de la Energía Eléctrica y Control de líneas

El Sistema de Distribución Eléctrica debe estar sólidamente conectado a tierra. Algunos sistemas típicos de voltajes son: 240/120, 208/120Y o 480/277Y VCA. Con voltajes más altos puede aumentar el riesgo de dañar al equipo y al personal. Se recomienda a menudo el voltaje de 120 VCA para aplicaciones de trazado de calor eléctrico, pero los voltajes más altos pueden ser más convenientes para longitudes del circuito largas u otras aplicaciones específicas.

Los alimentadores, los transformadores y tableros, de distribución del Sistema de Trazado de Calor Eléctrico, se deben encontrar separados de los sistemas de alumbrado y de los sistemas de fuerza que se utilicen en el área, y deben estar claramente identificados "Trazado de Calor Eléctrico". Donde sea factible integrar o combinar la distribución de energía eléctrica y los controles del sistema de trazado tiene algunas ventajas, como el mantenimiento y la facilidad de uso, ya que se tienen todos los controles juntos y así poder maniobrar en el caso que se presente; normalmente se requiere menos espacio global de suelo que otros sistemas. Cuando es necesario e inevitable energizar un circuito calefactor de un tablero de distribución de poder o de iluminación, el interruptor automático del circuito de rama debe identificarse claramente con una señal (impresión negra en fondo amarillo) indicando: "No Apague".

Todo el alambrado de campo para el sistema del trazado de calor eléctrico debe ser instalado por separado de otros sistemas de alambrado de la planta. Se debe incluir un sistema de canalización por tubería conduit y/o por charolas para la trayectoria de fuerza, control y circuitos de instrumentos del Sistema de Trazado Eléctrico, el cual debe estar de acuerdo a los requerimientos de la NRF-048-PEMEX, NRF-036-PEMEX, GNT-SNP-G001-2003 y GNT-SNP-G200. El tipo de canalización y soportería debe estar de acuerdo a las Bases de Licitación del Proyecto, y cumplir con los requerimientos de las áreas clasificadas.

El tipo de tubo conduit, requerido para la distribución eléctrica debe ser de acero galvanizado por inmersión en caliente, pared gruesa tipo pesado fabricado de acuerdo a Norma NMX-J-534-ANCE.

El material para distribución eléctrica, como cajas de conexión, condulets, coples y demás accesorios de canalización para áreas Clase I División 2, deben ser a prueba de explosión para clase I División 1.

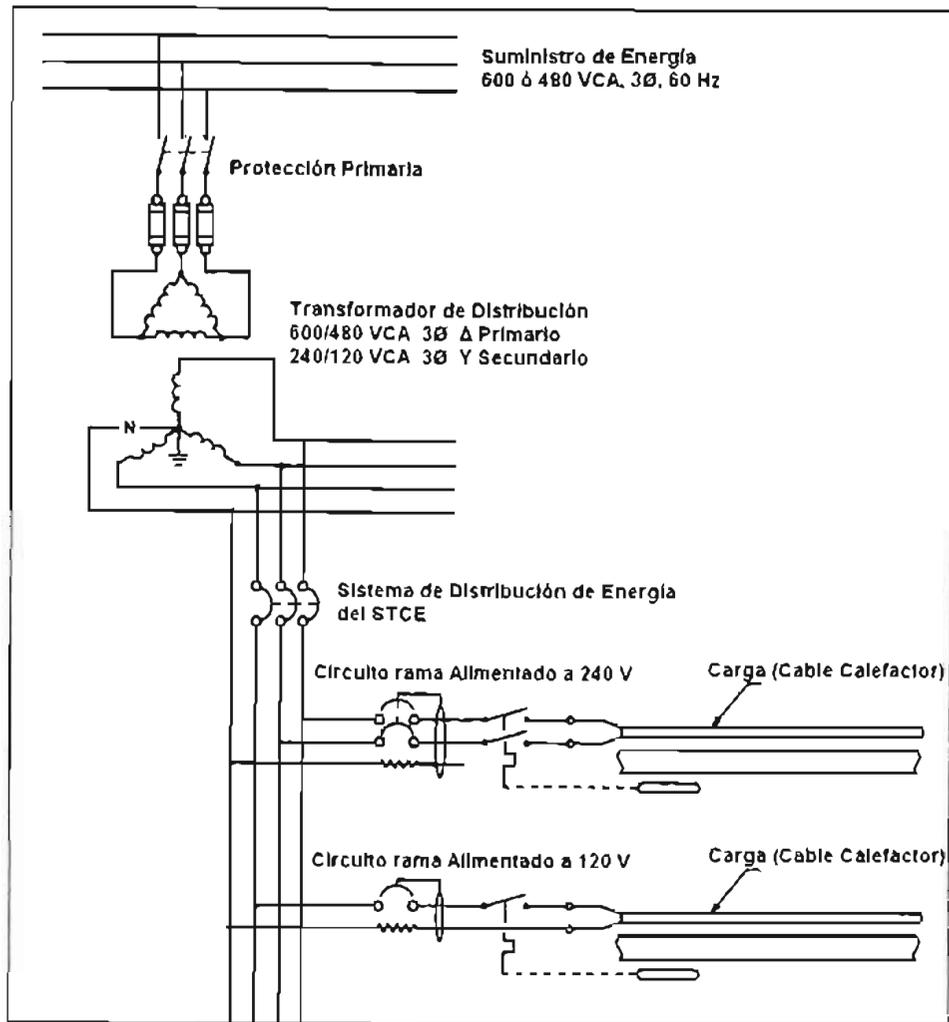


Figura 50. Sistema de Distribución de Energía típico para STCE.

V.3.1 Transformador de Distribución

Los transformadores de distribución se deben instalar en los cuartos eléctricos de las subestaciones eléctricas más cercanas. La carga conectada a cada transformador no debe exceder el 80% de la capacidad nominal.

Cada transformador de distribución debe estar asociado a un tablero de fuerza y control, el transformador debe ser tipo seco en bamiz impregnado, enfriamiento AA, adecuado para el lugar de instalación. Con capacidad de 15 a 150 KVA. Trifásico, Conexión delta-estrella aterrizado, aislamiento para 220°C, con 115°C de elevación de temperatura sobre la temperatura ambiente máxima de 40°C

El transformador debe tener las siguientes especificaciones:

Capacidad KVA:	15, 30, 45, 75 ó 150.
Voltaje de entrada:	480 V, 3 fases, 3-Hilos, 60 Hz.
Devanado primario:	480 V, 3 fases, 3-Hilos Delta, no aterrizado.
Devanado secundario:	480/277 V, 220/127 V, 3 fases, 4-hilos, aterrizado.
Derivaciones en primario:	2 de 2.5% arriba de la tensión nominal 2 de 2.5% abajo de la tensión nominal
Elevación de Temperatura.	115°C sobre ambiente máxima de 40°C
Aislamiento clase	220°C (H)
Tipo de envolvente:	Interior (NEMA 1)

Las conexiones del transformador deben ser realizadas con zapatas a compresión. Los cables del secundario del transformador deben ser llevados al tablero y ser conectados al interruptor principal. El neutro del transformador de distribución debe ser conectado al bus neutro del tablero multicircuito del tablero. El tamaño del conductor neutro debe ser del mismo tamaño que el de los conductores de fase.

El neutro del transformador en el lado secundario debe ser conectado a la red general de tierras con cable aislado, tamaño 33.62 mm² (2 AWG) mínimo. El tipo de aislamiento requerido es RHH/RHW tipo EP, el gabinete del transformador debe conectarse a tierra con cable de cobre desnudo semiduro, tamaño 33.62 mm² (2 AWG) mínimo.

V.3.2 Tablero de fuerza y control

La ubicación del Tablero de Fuerza y Control debe ser preferentemente en el interior de un cuarto de control eléctrico, con gabinete tipo interior NEMA 1. Cuando no se proyecte o no exista cerca un cuarto de control Eléctrico, PEMEX definirá la aplicación de panel de fuerza y control ubicado en exterior en gabinete apropiado para intemperie, (con gabinete Nema 4X de acero inoxidable a prueba de agua y corrosión).

Cuando sea necesario instalar los tableros en áreas clasificadas, convenientemente deben tener gabinete de acuerdo al área (a prueba de explosión), tomando en cuenta las recomendaciones que nos da la NFPA 496. Es pertinente colocar señales indicando la presencia de múltiples fuentes de energía y la localización del medio para desconectar en cualquier situación de peligro en el tablero.

La localización de los tableros que alimentaran el STCE, deben estar fácilmente accesibles y preferentemente en un ambiente limpio y seco, donde el mantenimiento pueda realizarse seguro y sin pérdidas de tiempo. La ubicación de los tableros se recomienda que sea cercana al sistema de Trazado y al punto de utilización esto con la intención de hacer más práctico nuestro sistema de distribución de energía eléctrica. Estos tableros deben identificarse claramente.

El interruptor principal debe de ser termomagnético de caja moldeada, con tamaño de marco y valor de disparo, como lo requiera el servicio para la carga del panel y la protección del transformador principal, sin embargo el marco no debe ser menor de 100 Amp. Los interruptores derivados deben ser termomagnéticos tipo atornillables y con protección de falla a tierra. Los interruptores en 480VCA deben ser para 25 KA de capacidad interruptiva, los de 240/127VCA deben ser para 10 kA de capacidad interruptiva mínima.

Para tableros con sistema de tres fases cuatro hilos, el conductor de neutro debe ser del mismo tamaño que los conductores de fase. (En algunos casos los tableros no aceptan conductores de neutro grandes, en este caso hay que hacer alguna modificación al tablero).

Un bus de tierra de cobre, debe ser instalado en la parte baja de cada tablero y debe ser sólidamente conectado a la envolvente del tablero.

El bus de tierra en el tablero debe ser como mínimo ¼" x 1" de cobre y debe extenderse a lo largo de la envolvente con zapatas en cada extremo para conectar en cada uno un cable de cobre de calibre 2/0 AWG a la red general de tierras de la planta

El bus del neutro del panel de distribución, también debe conectarse al bus de tierra, la conexión del neutro con el bus de tierra debe ser del mismo calibre del cable del neutro del transformador principal.

V.4 Conexiones al Sistema de Tierra

Todas las instalaciones de PEMEX deben contar con un Sistema de Tierras para la seguridad del personal y de las instalaciones.

Todo equipo o dispositivo eléctrico, debe ser conectado al sistema general de tierras con conductor de cobre desnudo semiduro, el calibre del conductor debe ser el indicado de acuerdo a la capacidad del dispositivo de protección (ver tabla 250.95 de la norma NOM-001-SEDE-1999, ver anexo), sin embargo el calibre mínimo aceptado es de 2 AWG.

El diseño de la red de tierras del sistema eléctrico llamado "Sistema general de tierras" debe estar de acuerdo y ser calculado con el Estándar IEEE 80-2000, IEEE Std 142-1991 ó equivalentes, con el artículo 250 de la Norma NOM-001-SEDE-1999.

El sistema general de tierras incluye la conexión a tierra del neutro del sistema eléctrico, la conexión a tierra de gabinetes de equipo eléctrico, conexión a tierra de estructuras y partes metálicas no portadoras de corriente.

El valor de la resistencia del sistema general de tierras no debe ser mayor de 10 ohms para edificios, plantas de proceso y subestaciones. En instalaciones con resistividad de terreno de 1000 a 3000 ohm/m se acepta que el valor de resistencia de la red sea hasta de 25 ohms, y para instalaciones con resistividad de terreno mayor a 3000 ohm/m el valor de resistencia de la red sea hasta de 50 ohms. Este valor debe lograrse con el calibre y longitud del conductor principal y derivado así como la cantidad y tipo de electrodos de puesta a tierra, sin adición de compuestos químicos en los registros de tierras. En el diseño de la red debe cuidarse de no exceder las tensiones de paso y de contacto permisibles por el cuerpo humano.

El sistema de tierras para la referencia del aterrizamiento de los controladores electrónicos será independiente a los diferentes sistemas de tierras existentes en las plantas.

El sistema de tierras debe tener los siguientes elementos malla a base de conductor de cobre desnudo semiduro, electrodos de puesta a tierra preferentemente de varilla Copperweld de 3 mts. de longitud, conectores de compresión o soldables, y registros de tierras para poder efectuar mediciones.

La malla principal en edificios y/o plantas de proceso, debe formarse con conductor de cobre desnudo temple semiduro con calibre de acuerdo al cálculo y no menor de 2/0 AWG.

La malla de tierras debe ser enterrada a una profundidad de 0.6 m del nivel de piso terminado.

V.4.1 Protección contra fallas a tierra

Aún cuando se apliquen adecuadamente fusibles y circuitos interruptores, estos resultan ser protecciones inadecuadas en muchos casos contra fallas a tierra. Por esta razón se recomienda utilizar dispositivos con un voltaje nominal de 120/240 VCA, y con una diferencia de corriente máxima aceptable de 30 mA. Estos dispositivos se recomiendan para sistemas de gasoductos en áreas clasificadas, áreas que requieran un alto grado de mantenimiento ó en aquellas áreas en las cuales son expuestos a abusos físicos ó atmósferas corrosivas. Estos dispositivos monitorean la corriente de fuga del circuito y dispara cuando la corriente de fuga excede los 30 mA. Los dispositivos de protección contra fallas a tierra se deben considerar en conjunción con los cables calefactores que estén provistos de una malla ó cubierta metálica para aplicaciones donde no se puede lograr un efectivo camino a tierra. Los tipos de gasoductos que no proveen un efectivo camino a tierra son: tubos de plástico, tubos de acero inoxidable, tubos pintados y tubos altamente oxidados.

Estos dispositivos son interruptores automáticos termomagnéticos que nos ofrecen la función de detectar corrientes de falla a tierra. Existen del tipo atornillables y enchufables.

V.4.2 Seguridad Eléctrica

Una de las preocupaciones más grandes en un sistema de trazado eléctrico de calor es la seguridad eléctrica. Hay dos aspectos de la seguridad eléctrica que debemos tomar en cuenta y son:

1. Peligro de electrocutarse, y
2. Riesgo de fuego eléctrico.

Estas preocupaciones no sólo relacionan a la instalación y al mantenimiento de los sistemas, sino que también se extienden en el adecuado funcionamiento.

V.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPO PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA EN LOS CIRCUITOS DEL STCE.

APLICACIÓN

En el presente trabajo se realiza el diseño eléctrico para alimentar un STCE, formado por 6 circuitos calefactores los cuales se encuentran ubicados dentro de la planta coquizadora en la sección conocida como "Área de Tratamiento de Butanos".

V.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CIRCUITOS DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO

No. Circuito	Clave del Circuito	Longitud desde Tablero a caja de conexión en metros	Tensión en volts	Corriente Nominal en Amperes	Total Watts
1	HTR-01	61	240	19.78	4272
2	HTR-02	73	240	17.10	3696
3	HTR-03	90	240	19.78	4272
4	HTR-04	95	240	16.89	3648
5	HTR-05	55	240	19.00	4104
6	HTR-06	45	240	18.44	3984

V.5.2 MEMORIA DE CÁLCULO

De acuerdo al diagrama unifilar que se muestra a continuación, se realizara la memoria de cálculo para justificar las capacidades de los equipos y circuitos, así también seleccionar los mismos de acuerdo a los resultados obtenidos a continuación:

- Transformador principal
- Tablero de distribución
- Conductores alimentadores
- Canalización de los circuito
- Protección

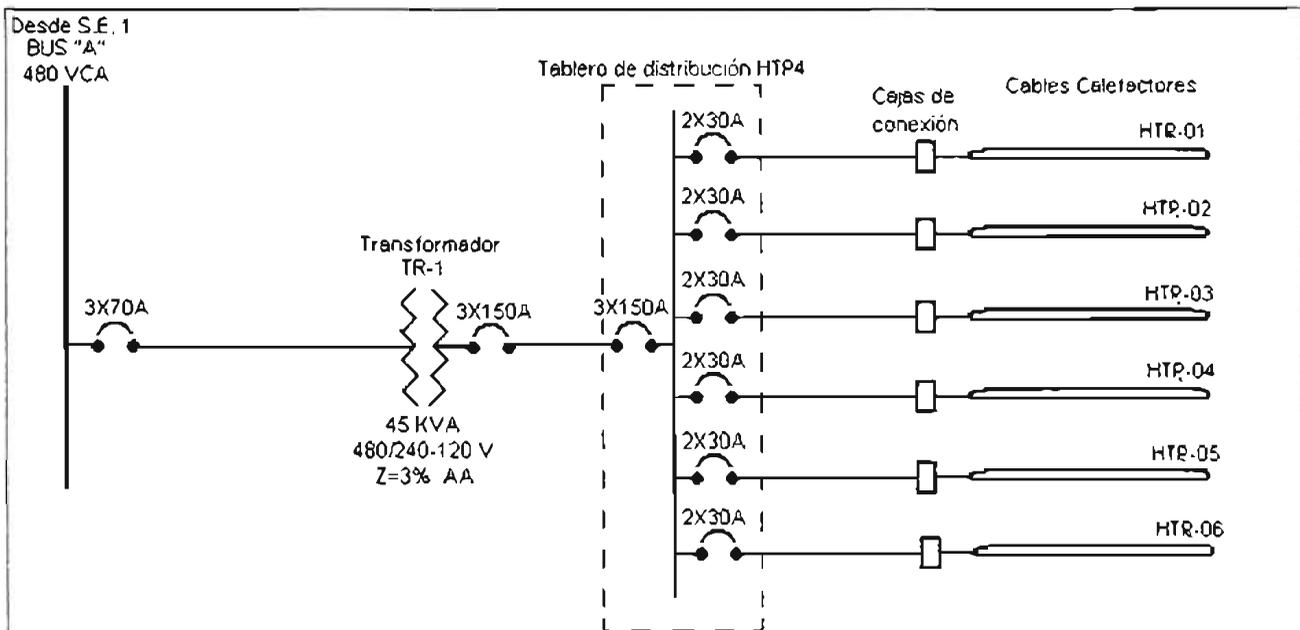


Figura 51. Diagrama unifilar simplificado

V.5.2.1 Selección y Determinación de la capacidad del transformador (TR-1).

Datos de diseño

Carga total instalada a alimentar	23.976 kW
Tensión y conexión devanado primario	480 volts Delta
Tensión y conexión devanado secundario	240 volts Estrella-aterrizada
Factor de potencia (F.P.)	0.9*
Factor de demanda (F.D.)	1
Aumento de carga a futuro (A.F.)	30%

* El valor del factor de potencia se considera de 0.9 solo para efectos de cálculo.

Criterio de cálculo.

$$kVA = \frac{kW}{F.P.} = \frac{23.976 \text{ kW}}{0.9} = 26.64 \text{ kVA}$$

$$kVA_{\text{Totales}} = kVA \times F.D \times A.F = (26.64 \text{ kVA}) (1) (1.3) = 34.632 \text{ kVA}$$

De acuerdo a estos resultados la capacidad del transformador seleccionado será:

$$45 \text{ kVA}^9$$

Porcentaje de carga del transformador:

% total de carga: 76.96

% disponible: 23.04

El transformador debe tener las siguientes especificaciones:

Capacidad KVA:	45
Voltaje de entrada:	480V, 3 fases, 3-Hilos, 60 Hz.
Devanado primario:	480V, 3 fases, 3-Hilos Delta, no aterrizado.
Devanado secundario:	240/120 V, 3 fases, 4-hilos, aterrizado.
Derivaciones en primario:	2 de 2.5% arriba de la tensión nominal 2 de 2.5% abajo de la tensión nominal
Elevación de Temperatura:	115°C sobre ambiente máxima de 40°C
Aislamiento clase:	220°C (H)
Tipo de envoltente:	Interior (NEMA 1)
Tipo	Seco en barniz impregnado
Enfriamiento	AA
Impedancia (Z%)	3

⁹ Capacidad estándar Norma IEEE 462-1973

V.5.2.2 Selección y determinación del Tablero (HTP14).

Este tablero proporciona la alimentación eléctrica y distribución a los diferentes circuitos del STCE. Es decir, este tablero tendrá a cada uno de los interruptores de protección de dichos circuitos que en este caso serán 6.

De acuerdo al número de circuitos por alimentar y al número de fases ó polos que tendrá cada uno de los circuitos, podemos determinar los espacios necesarios para nuestros interruptores automáticos. Tomaremos en cuenta la corriente total que circulara por el tablero, esta corriente la determinamos de la carga total de los circuitos de trazas. También consideraremos el voltaje y el número de fases de alimentación al tablero.

Datos

Número de circuitos	6
Número de polos por circuito	2
Carga instalada total	23.976 kW
Carga a futuro (%)	30
Voltaje de alimentación	240 VCA
Sistema	3 fases, 4 hilos
Corriente total instalada	64.09 Amp.
Corriente a futuro	83.32 Amp.
Tipo de envolvente	Nema 1

El tablero seleccionado de acuerdo a los datos aportados, es:

Tablero de distribución¹⁰ tipo NQOD 240 VCA.

Número de polos: 30

Capacidad de corriente nominal: 225 Amp.

Interruptor principal: 3 x 150 Amp. Tipo KAL36150

Interruptores derivados atornillables tipo QOB-GFI¹¹.

Sistema: 3 fases, 4 hilos

Ancho de 20" (508 mm.)

Gabinete NEMA 1 interiores

Capacidad interruptiva 480V, 25 KA, 220/127V, 10 KA

Zapatillas para cable 2 AWG

No. de catalogo NQOD30-4AB22S (sobreponer)

V.5.2.3 CÁLCULO PARA CONDUCTORES ALIMENTADORES, CANALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS DEL STCE.

Cálculo de los conductores alimentadores desde el TR-1 y hasta el tablero HPT-14. Circuito Eléctrico CE-01.

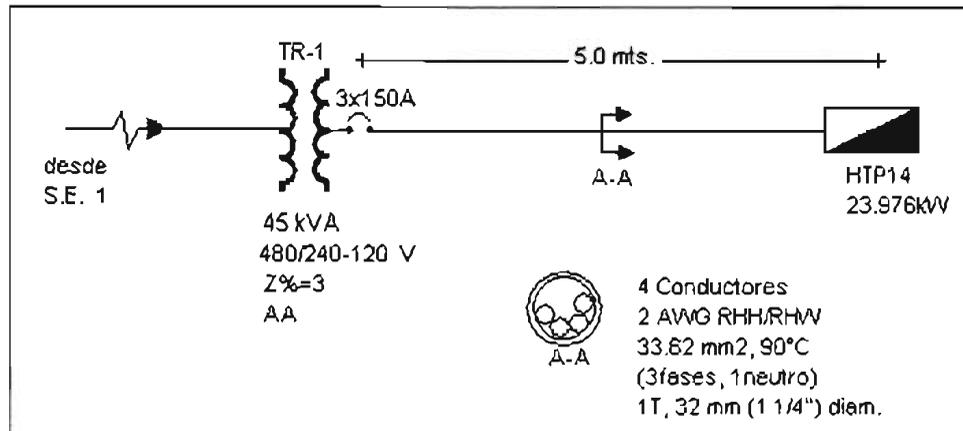
Datos de diseño

Carga total instalada	23.976 kW
Factor de potencia (F.P.)	0.9
Factor de demanda (F.D.)	1
Capacidad del transformador	45 kVA
Tensión primaria TR-1	480 VCA
Tensión secundaria TR-1	240 VCA
Longitud de conductores	5 mts.
Caída de tensión	2 %
Temperatura ambiente	35°C
Número de conductores en canalización	3 fases, 4 hilos
Frecuencia	60 Hz

¹⁰ Tablero de acuerdo a las siguientes normas: NMX-J118-1, NMX-J-235, UL50 UL67, CSA C22.2 No.29-1989, NFPA, NOM-001-SEDE-1999

¹¹ Interruptores Automáticos con protección de falla a tierra

DIAGRAMA



Conductores alimentadores

1. Cálculo de alimentador por capacidad de conducción (ampacidad)

Dado que el conductor se instalará en tubo conduit, la corriente del conductor no deberá ser mayor que la capacidad indicada en la tabla 310-16 de la norma NOM-001-SEDE-1999 (ver anexo, página 95)

a) De acuerdo a la capacidad en el secundario del transformador TR-1, se determina la corriente nominal (I_{nominal}).

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kVA}}{\sqrt{3} \times E} = \frac{(1000)(45 \text{ kVA})}{(1.732)(240 \text{ V})}$$

$$I_{\text{nominal}} = 108.26 \text{ Amperes}$$

b) De acuerdo a la carga instalada y aplicando el factor de demanda (F.D), se determina la capacidad de corriente de carga (I_{carga}).

$$I_{\text{carga}} = \frac{1000 \times \text{kW} \times \text{FD}}{\sqrt{3} \times E \times \text{FP}} = \frac{(1000)(23.976 \text{ kW})(1)}{(1.732)(240 \text{ V})(0.9)}$$

$$I_{\text{carga}} = 64.09 \text{ Amperes}$$

Por eficacia de diseño tomaremos en cuenta la corriente de mayor valor, en este caso fue la corriente nominal (I_{nominal}) inciso a), a la cual se le aplicara el factor de corrección por temperatura (FCT)¹² y el factor de corrección por agrupamiento (FCA)¹³, para determinar la capacidad de corriente nominal corregida (I_{nc}) ó corriente de diseño ($I_{\text{diseño}}$).

$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{108.26 \text{ A}}{(0.96)(1.0)}$$

¹² Valores tomados de la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-1999. Factores de corrección: para una temperatura ambiente de 35°C y temperatura nominal del conductor de 90°C.

¹³ Nota 8, de las Observaciones a las tablas de capacidad de conducción de corriente de la NOM-001-SEDE-1999 FCA = 1.0 si el número de conductores activos es 3 ó menos.

$$I_{nc} = 112.77 \text{ Amperes}$$

Por lo tanto, dado que la corriente se encuentra dentro del rango de capacidad de conducción (menor a 130 A, que corresponde al calibre 2 AWG), el calibre seleccionado por capacidad de conducción será:

$$2 \text{ AWG}, 33.62 \text{ mm}^2, \text{ tipo RHH/RHW}, 90^\circ\text{C}, 600 \text{ V.}$$

2. Cálculo de corriente por Caída de Tensión¹⁴.

A) Caída de tensión (e%). Se verifica que el calibre del conductor propuesto cumpla con los requisitos de caída de tensión menor de 2% para este circuito alimentador, una longitud (L) de 5 mts, un conductor por fase, voltaje (V) de 240 V, una corriente nominal de 108.26 Amp. y un factor de potencia 0.9 (cos ϕ); así entonces:

Considerando el artículo 3.11.1 del IEEE std 141-1993¹⁵ tenemos que:

$$e\% = \frac{[(\sqrt{3} \times L) (I_{\text{nominal}} / \text{conductor} \times \text{fase}) (R \cos \phi + X \sin \phi)]}{(V \times 10)}$$

Aplicando los valores de Resistencia y Reactancia, (de la Tabla Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para Cables de 600 V, operando a 75°C en un sistema trifásico a 60 Hz, 3 cables en un mismo ducto), y corrigiendo los valores de resistencia por temperatura a 90°C, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Para un conductor calibre 2 AWG se tiene:} \quad R_{75^\circ\text{C}} &= 0.660 \text{ } \Omega/\text{km} \\ X_{75^\circ\text{C}} &= 0.187 \text{ } \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Corrigiendo el valor de la resistencia a la máxima temperatura de operación del conductor:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_2 + T}{T_1 + T}$$

$$R_2 = R_1 \left[\frac{T_2 + T}{T_1 + T} \right]$$

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{75^\circ\text{C}} \\ R_2 &= R_{90^\circ\text{C}} \\ T &= 234.5^\circ\text{C} \\ T_1 &= 75^\circ\text{C} \\ T_2 &= 90^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$R_{90^\circ\text{C}} = 0.660 \left[\frac{90 + 234.5}{75 + 234.5} \right]$$

$$R_{90^\circ\text{C}} = 0.692 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Debido a que el valor de la reactancia no esta en función de la temperatura, sino únicamente depende del arreglo que se tenga entre los conductores, se tiene:

$$X_{75^\circ\text{C}} = X_{90^\circ\text{C}}$$

¹⁴ En cumplimiento con el artículo 215.2 en su nota 1 y con el artículo 210-19 en su nota 4 de la NOM-001-SEDE-1999

¹⁵ IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (IEEE Red Book)

Se calcula la caída de tensión en porcentaje con los valores de la resistencia corregida a la nueva temperatura.

$$e\% = \frac{[(1.732 \times 5 \text{ m}) (108.26 \text{ A}) \{ (0.692 \times 0.9) + (0.187 \times \text{sen}(\text{Arc cos} 0.9)) \}]}{(240 \text{ V} \times 10)}$$

$$e\% = 0.275$$

Como se observa en el resultado, para el calibre del conductor que se selecciono (2 AWG), la caída de tensión esta por debajo del 2%, inclusive se puede considerar que es nula para este calibre de conductor. Por lo tanto, dado que no excede el 2% de caída de tensión, el conductor de calibre 2 AWG, es adecuado.

B) **Sección transversal.** También se puede calcular la sección transversal de un conductor por caída de tensión, a partir de la siguiente formula; en este caso obtendremos el área total mínima del conductor (sección transversal del conductor en mm^2). Esto se utiliza cuando no se tiene propuesto algún calibre de conductor, pero si sabemos que caída de tensión máxima es la que pretendemos, tomando en cuenta este criterio tenemos que:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{\text{nominal}} \times \sqrt{3}}{E \times e\%} = \frac{(2) (5 \text{ m}) (108.26 \text{ A}) (1.732)}{(240 \text{ V}) (2)}$$

$$S = 3.91 \text{ mm}^2$$

Para este valor de sección transversal, le corresponde un conductor calibre:

10 AWG, 5.26 mm^2 , tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V. Con una caída real de 1.48%.

3. Cálculo por corto circuito

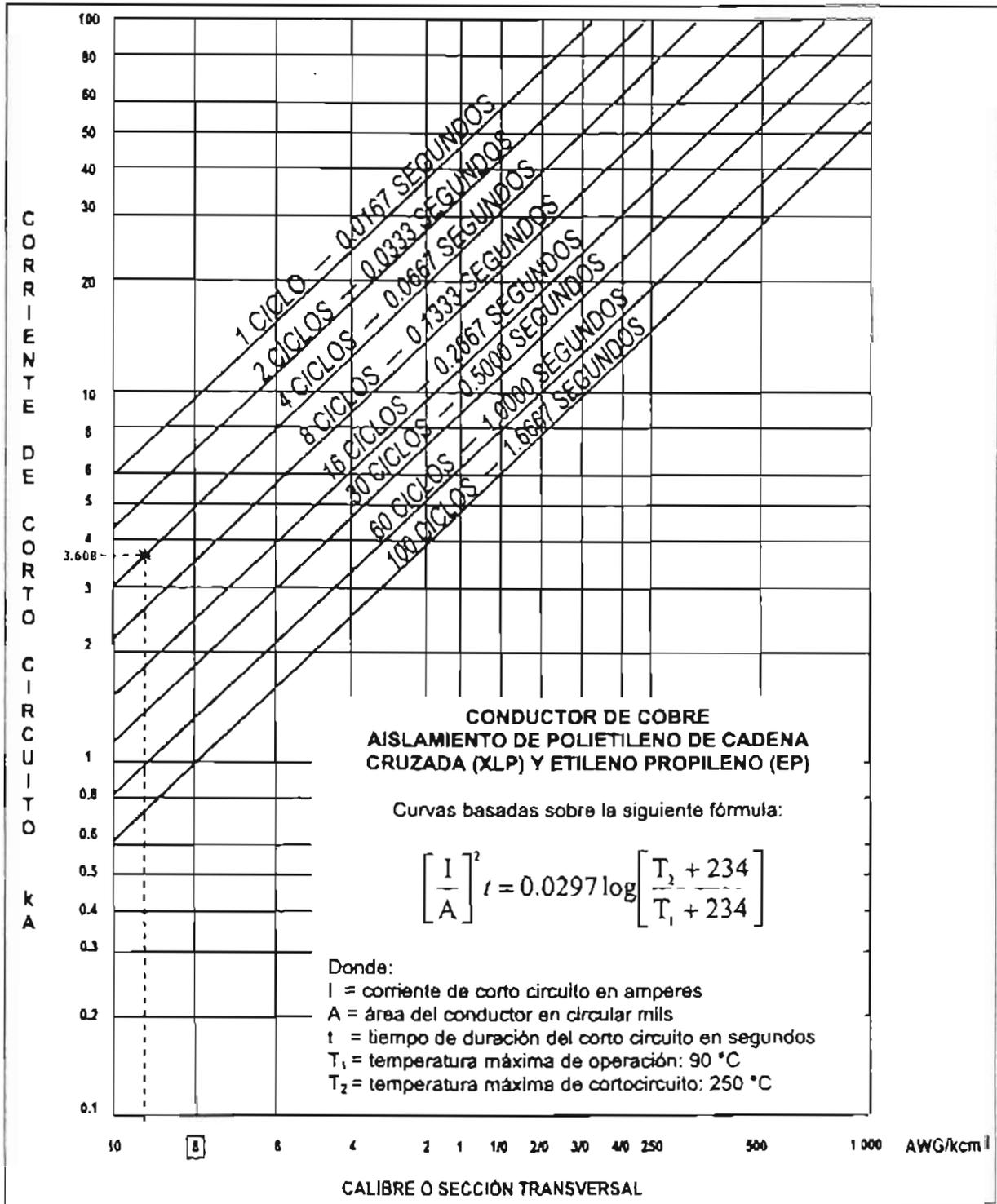
Tomando en cuenta la impedancia ($Z_T\%$) del transformador TR-1, que en este caso es de 3%, y considerando la corriente nominal (I_{nominal}) podemos calcular la corriente de corto circuito (I_{cc})

$$I_{cc} = \frac{I_{\text{nominal}}}{Z_T\%} \times 100 = \frac{108.26 \text{ A}}{3} \times 100$$

$$I_{cc} = 3608.66 \text{ Amperes}$$

Con este resultado de corriente de corto circuito (I_{cc}) y para un tiempo de 4 ciclos (0.0667 segundos), la gráfica 3. nos indica que el calibre de conductor que corresponde es:

8 AWG, 8.367 mm^2 , tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.



Gráfica 3. Corriente de corto circuito permisible para cables aislados con conductor de cobre.

Selección del conductor adecuado a partir de la comparación de los calibres de conductores obtenidos en los diferentes cálculos.

2 AWG, 33.62 mm ² , tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.	Por corriente
10 AWG, 5.26 mm ² , tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.	Por sección transversal
8 AWG, 8.367 mm ² , tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.	Por corto circuito

Después de comparar los calibres obtenidos de los diferentes métodos de cálculo, determinamos que nuestros tres conductores (fases) que alimentaran este circuito eléctrico CE-01 serán:

2 AWG, 33.62 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Con una caída real de: $e\% = 0.275$

Así también, determinamos que nuestro conductor de neutro será del mismo calibre que las fases es decir: **2 AWG, 33.62 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.**, y que estará solidamente aterrizado a nuestro sistema de tierra. Este conductor ira dentro de la misma canalización que energizara nuestro circuito eléctrico CE-01.

Selección de la canalización

Como se ha mencionado, los conductores están limitados en su capacidad de conducción de corriente por el calentamiento, debido a las limitaciones que se tienen en la disipación de calor y a que el aislamiento mismo presenta también limitaciones de tipo térmico. Debido a estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo conduit se limita de manera tal que permita un arreglo físico de conductores de acuerdo a la sección del tubo conduit o de la canalización, facilitando su alojamiento y manipulación durante la instalación

Para obtener la cantidad de aire necesario para disipar el calor, se debe establecer la relación adecuada entre la sección del tubo y la de los conductores, para esto procedemos de la siguiente forma

Si A es el área interior del tubo en mm² ó plg² y A_c es el área total de los conductores, el factor de relleno es:

$$F = \frac{A_c}{A}$$

El factor de relleno tiene algunos valores establecidos para instalaciones en tubo conduit.

Número de conductores	Uno	Dos	Mas de dos
Todos los tipos de cables	53%	30%	40%

Usaremos un factor de relleno de 40%, por tener 4 conductores en nuestra canalización, entonces

Área total de conductores: $(4) (33.62 \text{ mm}^2) = 134.48 \text{ mm}^2$
Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es.

$$A = \frac{134.48 \text{ mm}^2}{0.40} = 336.2 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 32mm de diámetro, así entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico CE-01 será

32 mm. (1 ¼") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de Protección

$$\begin{aligned} I_{\text{protección}} &= I_{\text{nominal}} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 108.26 \text{ A.} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 135.32 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

Interruptor Automático Termomagnético de 3 x 150 Amperes
Tipo KAL36150, en caja moldeada

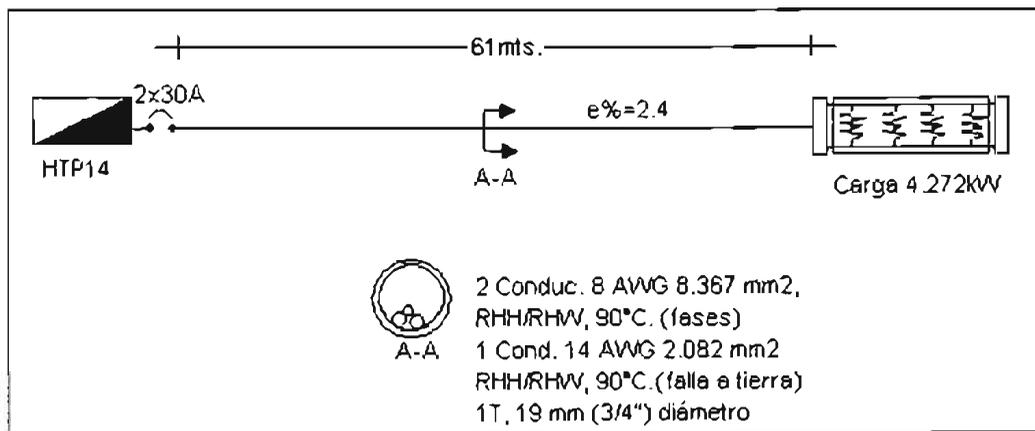
Este tipo de interruptor, va montado sobre un gabinete adecuado al tamaño del mismo, y de acuerdo al tipo de envolvente requerido

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-01

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	4.272 kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	61 mts.
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (4.272 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 19.78 \text{ Amperes}$$

b) Corriente nominal corregida

$$I_{nc} = \frac{I_{nominal}}{FCT \times FCA} = \frac{19.78 \text{ A}}{(0.96)(1.0)} = 20.6 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

2. Cálculo por Caída de Tensión

Considerando una caída de tensión menor de 2.5% y una longitud de 61 metros, tenemos que:

$$S = \frac{4 \times L \times I_{nominal}}{E \times e\%} = \frac{(4)(61\text{m})(19.78 \text{ A})}{(240 \text{ V})(2.5)} = 8.04 \text{ mm}^2$$

Este resultado de sección transversal de conductor, nos da para un calibre.

8 AWG, 8.367 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Entonces, nuestro conductor eléctrico apropiado para alimentar con dos hilos el circuito eléctrico HTR-01 será

8 AWG, 8.367 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.
Con una caída de tensión real en por ciento de: 2.4%

Llevaremos también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: 18.82 mm²
Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es:

$$A = \frac{18.82 \text{ mm}^2}{0.40} = 47.05 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 19 mm. de diámetro, así entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-01 será.

19 mm. (3/4") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$\begin{aligned} I_{protección} &= I_{nominal} \times 1.25 \\ I_{protección} &= 19.78 \text{ A} \times 1.25 \\ I_{protección} &= 24.72 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

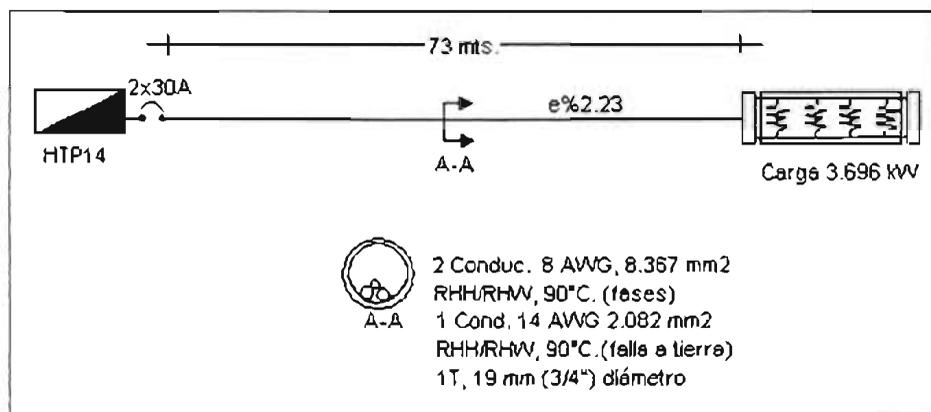
Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.
Tipo QOB230GFI, con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-02

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	3.696 kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	73 mts
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

- a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (3.696 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 17.1 \text{ Amperes}$$

- b) Corriente nominal corregida

$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{17.1 \text{ A}}{(0.96) (1.0)} = 17.8 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

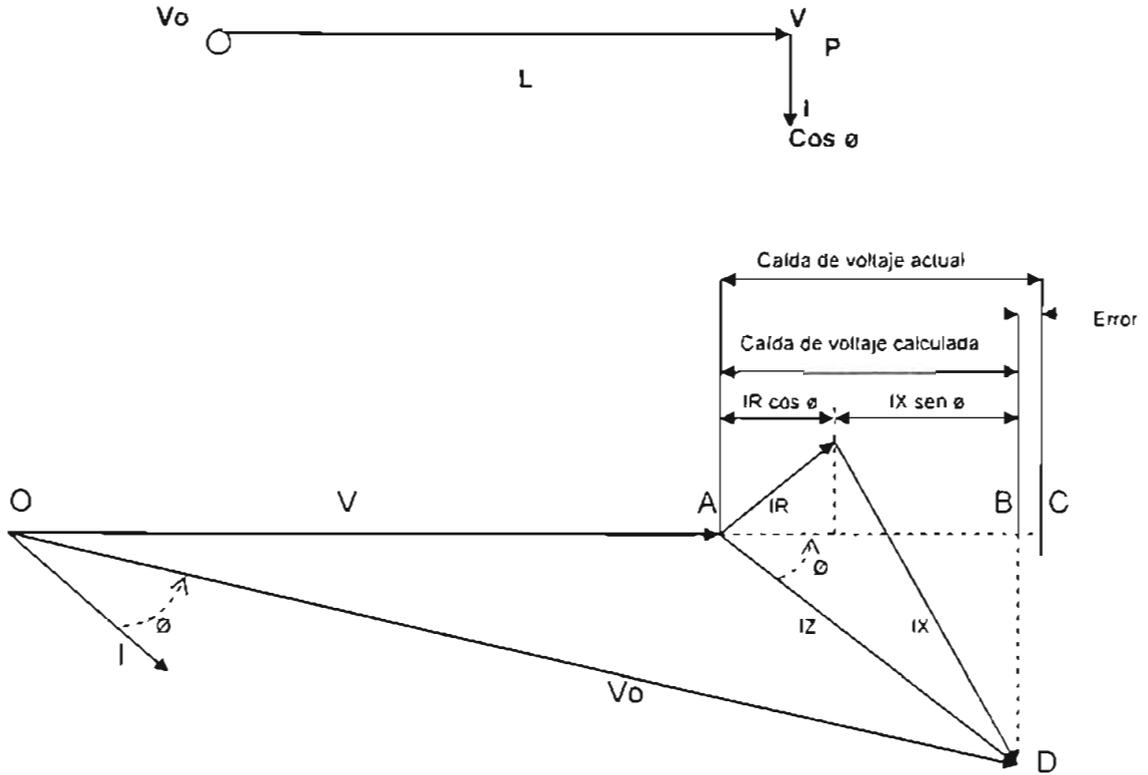
14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

2. Caída de tensión

Ahora utilizamos otro método para el cálculo de la sección transversal del conductor, solo consideraremos el efecto resistivo (pues los otros efectos, aunque muy importantes en Alta Tensión y líneas largas, no lo es tanto en Baja Tensión y líneas de corta longitud). Para el cálculo de la caída de tensión ha de tenerse en cuenta que

las magnitudes son vectoriales. De acuerdo con el desarrollo hecho en el siguiente gráfico llegamos a la fórmula para el cálculo de la sección S de un conductor, tal que la caída de tensión en volts no sea superior al valor predeterminado de e_{max} (caída de tensión en volts).

$$S = \frac{2 \rho L I_{nominal} \cos \theta}{e_{max}}$$



OD = tensión inicial de línea V_o
 I = corriente
 AD = caída de tensión Vectorial = $I \times R$

OA = tensión final de línea V
 θ = ángulo de V e I (F.P)

$$\begin{aligned} \vec{OD} &= \vec{OA} + \vec{AD} \\ OC &\approx OB \\ OB &= OA + AB \\ OB &= OA + AD \times \cos \theta \\ V_o &= V + I \times Z \times \cos \theta \end{aligned}$$

$$e_{max} = V_o - V$$

$$e_{max} = I \times Z \times \cos \theta$$

$$e_{max} = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \theta}{S}$$

Donde

ρ = resistividad del cobre $1/50 \Omega m/mm^2$ a $60^\circ C$

De acuerdo a estas relaciones y tomando en cuenta los datos de nuestro circuito y conductor seleccionado por corriente nominal corregida ($I_{\text{corregida}}$), tenemos que, para un conductor calibre 14 AWG (2.082 mm^2):

$$e_{\text{max}} = \frac{(2) (1/50) (73\text{m}) (17.1\text{A}) (0.9)}{2.082 \text{ mm}^2} = 21.58 \text{ V.}$$

Este valor de caída de tensión en volts es muy grande respecto al 2.5% que debemos de tener máximo. Con este resultado tenemos una caída de tensión en porciento de 9%, es decir que tenemos una caída de tensión en volts de muy grande, como se demuestra:

$$\begin{aligned} e_{\text{max}} &= V_0 - V \\ V &= V_0 - e_{\text{max}} \\ V &= 240 \text{ V} - 21.58 \text{ V} \\ V &= 218.42 \text{ Volts.} \end{aligned}$$

Como esta pérdida de tensión es muy grande e inaceptable en el circuito, se realizara nuevamente el cálculo pero ahora con un conductor de mayor sección transversal, en este caso será calibre 8 AWG, 8.367 mm^2 , con esto tratamos de encontrar un conductor adecuado para una caída de tensión menor de 2.5% así entonces:

$$e_{\text{max}} = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \theta}{S} = \frac{(2) (1/50) (73\text{m}) (17.1\text{A}) (0.9)}{8.367 \text{ mm}^2}$$

$$e_{\text{max}} = 5.37 \text{ V}$$

De acuerdo a este resultado de caída de tensión en volts, el conductor que corresponde es:

8 AWG, 8.367 mm^2 , tipo RHH/RHW, 90°C , 600 V.
 Con una caída de tensión real en volts de: 5.37 V,
 Con una caída de tensión real en porciento de: 2.23 %

Llevando también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre:

14 AWG 2.082 mm^2 , tipo RHH/RHW, 90°C , 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: $18\,816 \text{ mm}^2$
 Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es:

$$A = \frac{18.816 \text{ mm}^2}{0.40} = 47.04 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es 19 mm. (3/4") de diámetro, entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-02 será.

19 mm. (3/4") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$\begin{aligned} I_{\text{protección}} &= I_{\text{nominal}} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 17.1 \text{ A.} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 21.37 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

De acuerdo a esta corriente de protección el dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.

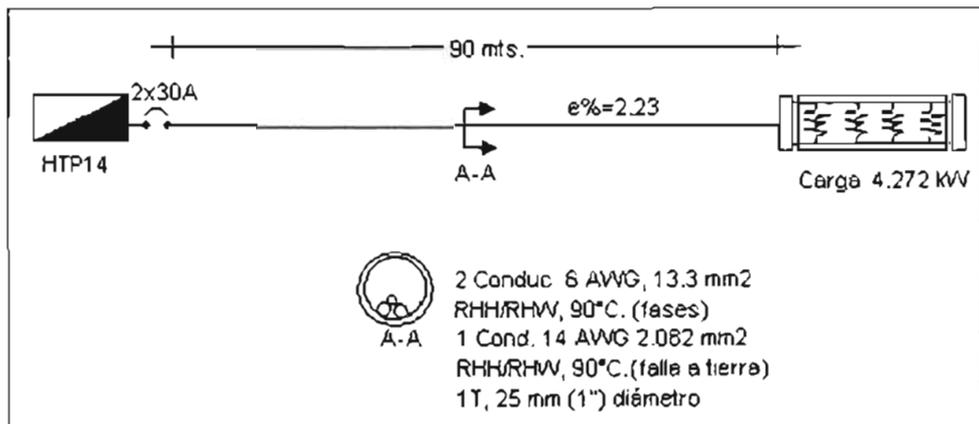
Tipo QOB230GF), con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-03

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	4.272 kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	90 mts
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (4.272 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 19.78 \text{ Amperes}$$

b) Corriente nominal corregida

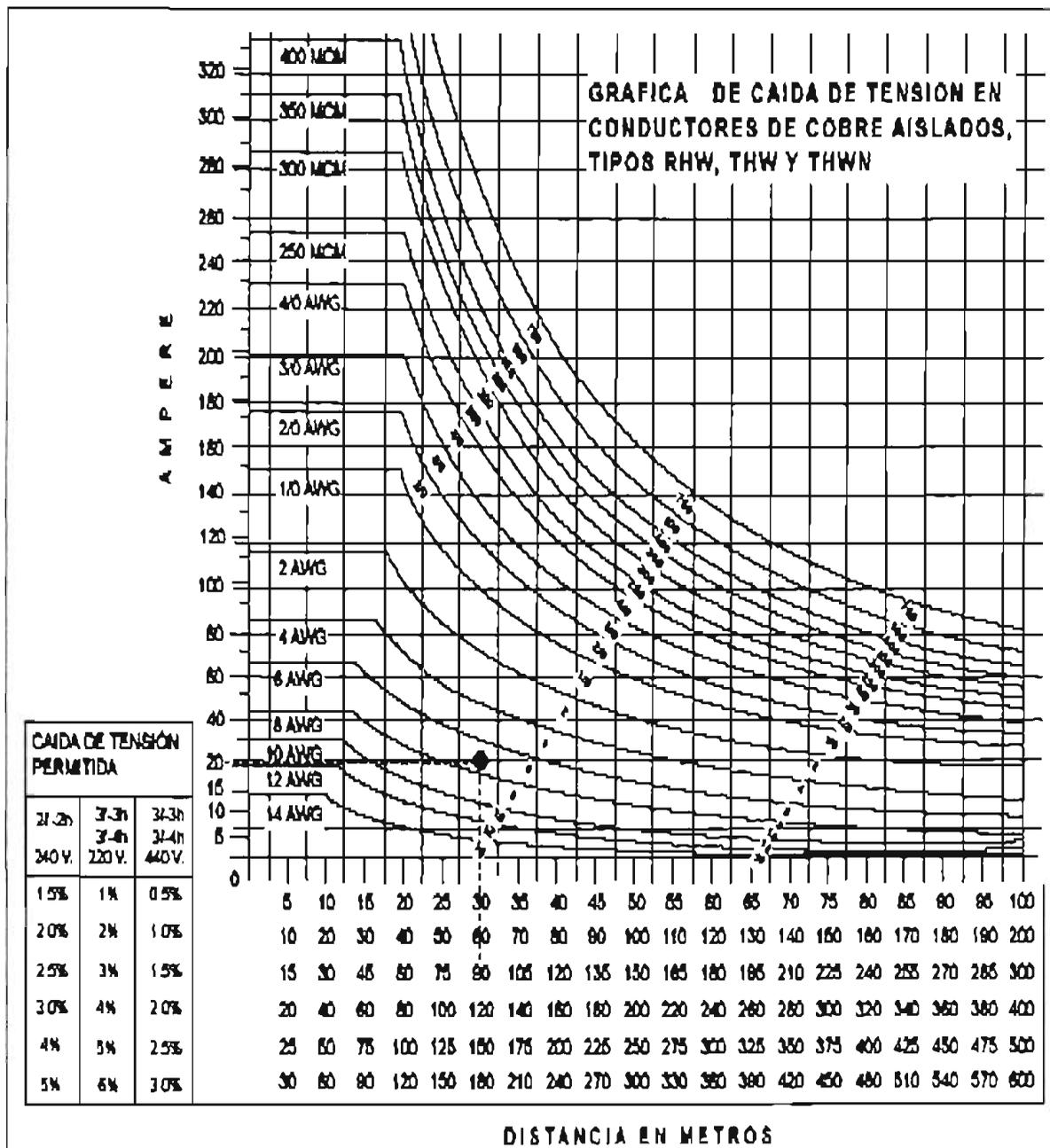
$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{19.78 \text{ A}}{(0.96) (1.0)} = 20.6 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

2. Caída de tensión

Para determinar el calibre de este conductor, utilizaremos la gráfica 4; considerando los datos de la corriente nominal ($I_{nominal}$), el voltaje de alimentación y la longitud del circuito eléctrico HTR-03.



Gráfica 4. Caída de tensión en conductores de cobre aislados tipos RHW, THW Y THWN

En la gráfica anterior podemos observar que para una caída de tensión del 2.5%, una distancia de 90 metros, un voltaje de 240 V, y una corriente nominal ($I_{nominal}$) de 19.78 Amperes, le corresponde un conductor calibre 6 AWG, 13.3 mm², tipo RHW/RHW, 90°C, 600 V.

Por lo tanto usaremos un conductor eléctrico para las dos fases que alimentan el circuito HTR-03, calibre:

6 AWG, 13.3 mm², tipo RHW/RHW, 90°C, 600 V.
 Con una caída de tensión real de: 2.23%

Llevando también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: 28.682 mm²

Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es:

$$A = \frac{28.682 \text{ mm}^2}{0.40} = 71.7 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 25 mm. de diámetro, así entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-03 será:

25 mm. (1") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$\begin{aligned} I_{\text{protección}} &= I_{\text{nominal}} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 19.78 \text{ A.} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 24.72 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.

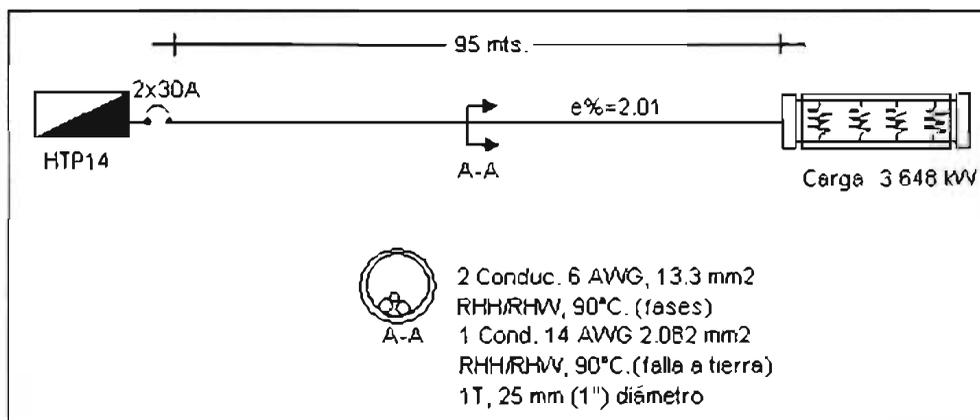
Tipo QOB230GFI, con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-04

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	3.648 kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	95 mts.
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

- a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (3.648 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 16.89 \text{ Amperes}$$

- b) Corriente nominal corregida

$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{16.89 \text{ A}}{(0.96) (1.0)} = 17.6 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

2. Cálculo por Caída de Tensión

Considerando una caída de tensión menor de 2.5% y una longitud de 61 metros, tenemos que:

$$S = \frac{4 \times L \times I_{\text{nominal}}}{E \times e\%} = \frac{(4) (95\text{m}) (16.89 \text{ A})}{(240 \text{ V}) (2.5)} = 10.70 \text{ mm}^2$$

Este resultado de sección transversal de conductor, nos da para un calibre: 8 AWG, 8.367 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V. Por lo que nuestro conductor eléctrico apropiado para alimentar con dos hilos el circuito eléctrico HTR-04 será:

6 AWG, 13.3 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.
Con una caída de tensión real de: 2.01%

Llevaremos también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: 28.682 mm²
Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es:

$$A = \frac{28.682 \text{ mm}^2}{0.40} = 71.705 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 25 mm. (1") de diámetro, así entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-04 será:

25 mm. (1") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$\begin{aligned} I_{\text{protección}} &= I_{\text{nominal}} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 16.89 \text{ A.} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 21.11 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

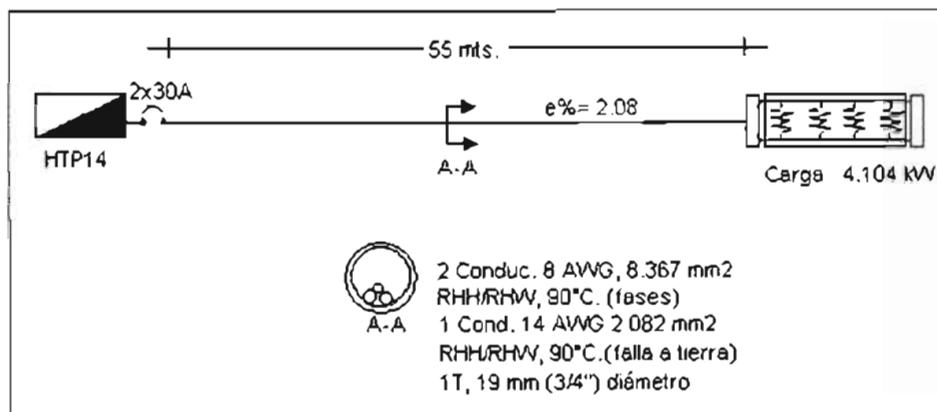
Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.
Tipo QOB230GFI, con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-05

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	4.104kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	55 mts.
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (4.104 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 19.0 \text{ Amperes}$$

b) Corriente nominal corregida

$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{19.0 \text{ A}}{(0.96) (1.0)} = 19.79 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

2. Caída de tensión

En la gráfica 4 podemos observar que para una caída de tensión del 2.5%, una distancia de 55 metros, un voltaje de 240 V, y una corriente nominal (I_{nominal}) de 19.0 Amperes, le corresponde un conductor calibre 8 AWG, 8.367 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Por lo tanto usaremos un conductor eléctrico para las dos fases que alimentan el circuito HTR-05, calibre:

8 AWG, 8.367 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.
 Con una caída de tensión real de: 2.08%

Llevaremos también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: 18.816 mm²
 Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es:

$$A = \frac{18.816 \text{ mm}^2}{0.40} = 47.04 \text{ mm}^2$$

El tamaño del tubo conduit requerido para esta área, consultando las tablas de dimensiones de tubo conduit es de 19 mm. de diámetro, entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-05 será:

19 mm. (3/4") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$\begin{aligned} I_{\text{protección}} &= I_{\text{nominal}} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 19.0 \text{ A.} \times 1.25 \\ I_{\text{protección}} &= 23.75 \text{ Amperes} \end{aligned}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

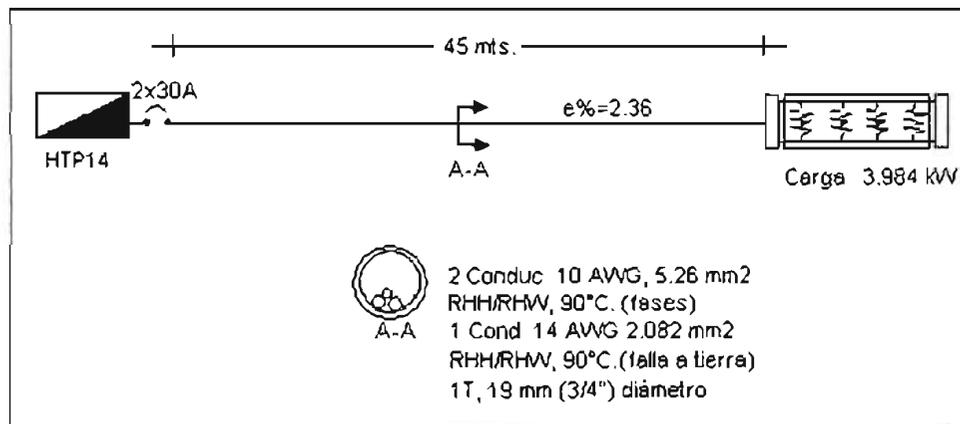
Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.
 Tipo QOB230GF1, con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

Cálculo y selección de alimentadores, canalización y protección para el circuito eléctrico HTR-06

Datos de diseño

Tipo de carga: Circuito de Trazado de Calor Eléctrico, Sistema monofásico 2 F, 2 H.	
Potencia de la carga	3.984 kW
Tensión de alimentación	240 VCA
Factor de Potencia (FP)	0.9
Longitud del circuito	45 mts.
Caída de tensión	2.5 %
Temperatura ambiente	35°C
Factor de corrección por temperatura (FCT)	0.96
Factor de corrección por agrupamiento (FCA)	1.0

Diagrama



Selección de conductores alimentadores

1. Cálculo por corriente

- a) Corriente nominal del circuito

$$I_{\text{nominal}} = \frac{1000 \times \text{kW}}{E \times \text{FP}} = \frac{(1000) (3.984 \text{ kW})}{(240 \text{ V}) (0.9)} = 18.44 \text{ Amperes}$$

- b) Corriente nominal corregida

$$I_{\text{nc}} = \frac{I_{\text{nominal}}}{\text{FCT} \times \text{FCA}} = \frac{18.44 \text{ A}}{(0.96) (1.0)} = 19.21 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a este valor de corriente el calibre de conductor es:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V

2. Cálculo por Caída de tensión

Tomando en cuenta la longitud, la corriente nominal, el factor de potencia, usaremos la fórmula para caída de tensión en volts, así encontramos el calibre adecuado para nuestro circuito eléctrico HTR-06, entonces:

$$e_{\max} = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S} = \frac{(2) (1/50) (45\text{m}) (18.44\text{A}) (0.9)}{5.26 \text{ mm}^2}$$

$$e_{\max} = 5.67 \text{ V}$$

De acuerdo a este resultado de caída de tensión en volts, el conductor que se usara para las dos fases del circuito eléctrico HTR-06, será:

10 AWG, 5.26 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.
 Con una caída de tensión real en volts de: 5.67 V,
 Con una caída de tensión real en por ciento de: 2.36%

Llevamos también, un conductor eléctrico para protección de falla a tierra calibre:

14 AWG 2.082 mm², tipo RHH/RHW, 90°C, 600 V.

Selección de canalización

Área total de conductores a alojar: 12.602 mm²
 Factor de relleno: 40 %

El área del tubo conduit necesaria es.

$$A \approx \frac{12.602 \text{ mm}^2}{0.40} = 31.505 \text{ mm}^2$$

Consultando las tablas de dimensiones para tubo conduit el tamaño requerido para estos conductores será de 13 mm. (1/2") de diámetro, pero de acuerdo a normas PEMEX¹⁶ el diámetro mínimo para tubería conduit pared gruesa a utilizarse en instalaciones eléctricas es de 19 mm. (3/4") de diámetro, así entonces nuestra canalización para este circuito eléctrico HTR-06 será:

19 mm. (3/4") de diámetro. Tubería conduit pared gruesa.

Cálculo y selección de la protección

$$I_{\text{protección}} = I_{\text{nominal}} \times 1.25$$

$$I_{\text{protección}} = 18.44 \text{ A} \times 1.25$$

$$I_{\text{protección}} = 23.05 \text{ Amperes}$$

De acuerdo a esta corriente de protección nuestro dispositivo adecuado para proteger este circuito eléctrico será:

Interruptor Automático Termomagnético atornillable de 2 x 30 Amperes.
 Tipo QOB230GFI, con protección de falla a tierra apertura a 30 mA por corrientes de fuga.

¹⁶ NRF-036-PEMEX Clasificación de áreas peligrosas y selección de equipo eléctrico NRF-048-PEMEX Diseño de instalaciones eléctricas en plantas industriales

En todos los cálculos y selección de equipo, se cumplió con lo establecido en los artículos 215, 310-15 y 427 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999. Relativa a las Instalaciones destinadas al Suministro y Uso de la Energía Eléctrica.

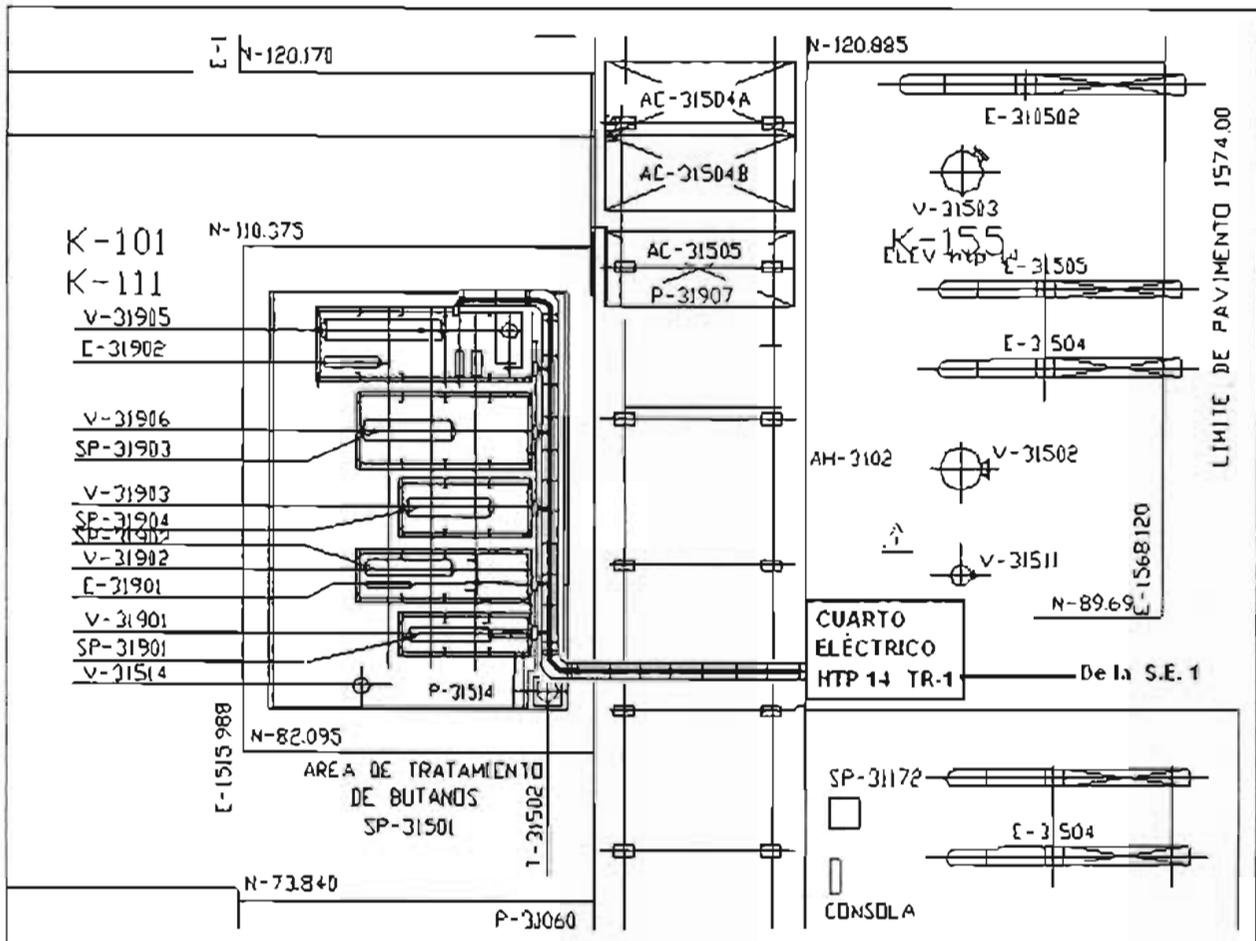
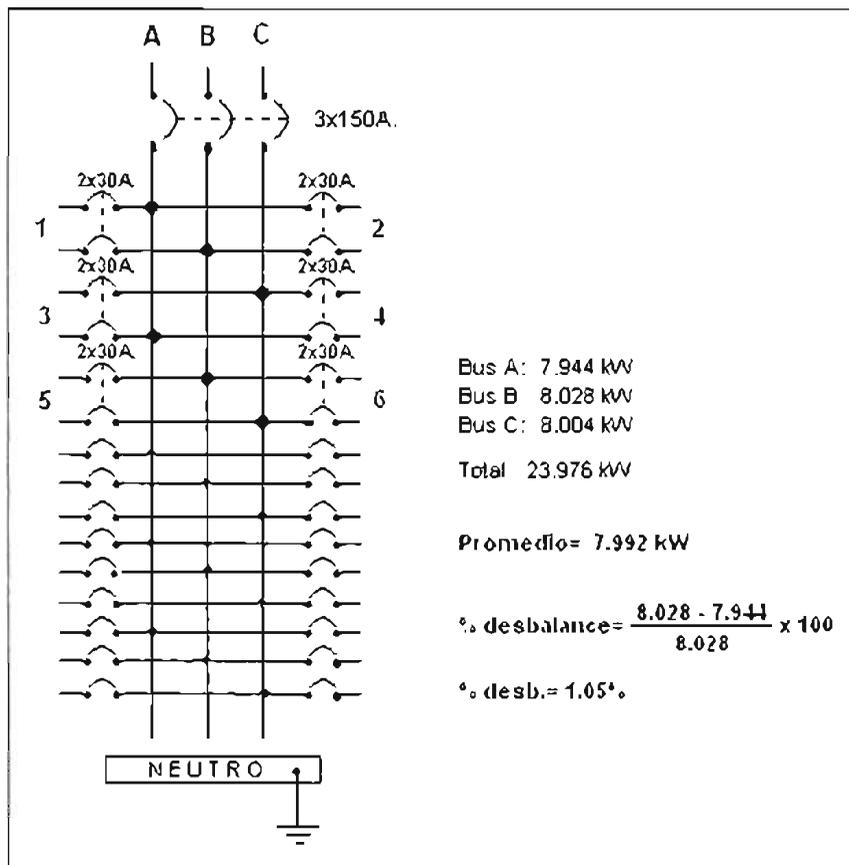


Figura 52. Trayectoria propuesta para la alimentación eléctrica de los circuitos del STCE

V.6 CUADRO DE CARGAS

Circuito No.	Clave del Circuito	Breaker		Fases (Watts)			Total Watts
		Polos	Amp	A	B	C	
1	HTR-01	2	30	2136	2136		4272
2	HTR-02	2	30	1848	1848		3696
3	HTR-03	2	30	2136		2136	4272
4	HTR-04	2	30	1824		1824	3648
5	HTR-05	2	30		2052	2052	4104
6	HTR-06	2	30		1992	1992	3984
TOTALES							
6		12		7944	8028	8004	23,976

V.7 ALAMBRADO DEL TABLERO HTP 14



V.8 Resultados de la Memoria de Cálculo.

MEMORIA DE CÁLCULO ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE TRAZADO DE CALOR ELÉCTRICO PARA LA PLANTA COQUIZADORA EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE BUTANOS											Transformador: TR-1 Tablero: HTP 14	
DATOS DE CARGA												
Clave del Circuito	Potencia Kw	Tensión (Volts)	Corriente Nominal (Amp)	Corriente Nominal Corregida (Amp)	Corriente de Protección (Amp)	Interruptor Termomagnético	Carga de Tensión (%)	CALIBRE DEL CONDUCTOR			Diámetro Tubería Conduit (Pulg/mm)	Longitud del Circuito (Mts)
								Por Ampacidad (AWG)	Por Carga de Tensión (AWG)	Calibre final Seleccionado (AWG)		
CE-01	23.976	240	108.26	112.77	135.32	3P X 150A	0.275	2	10	2	1 1/4" / 32	5
HTR-01	4.272	240	19.78	20.60	24.72	2P X 30A	2.40	14	8	8	3/4" / 19	61
HTR-02	3.696	240	17.10	17.80	21.37	2P X 30A	2.23	14	8	8	3/4" / 19	73
HTR-03	4.272	240	19.78	20.60	24.72	2P X 30A	2.23	14	6	6	1" / 25	90
HTR-04	3.648	240	16.89	17.60	21.11	2P X 30A	2.01	14	6	6	1" / 25	95
HTR-05	4.104	240	19.00	19.79	23.75	2P X 30A	2.08	14	8	8	3/4" / 19	55
HTR-06	3.984	240	18.44	19.21	23.05	2P X 30A	2.36	14	10	10	3/4" / 19	45

NOTAS.

1. Se debe considerar un conductor para protección de falla a tierra, en los circuitos eléctricos HTP, calibre 14 AWG, (incluido en la tubería).
2. El circuito eléctrico CE-01, incluirá un conductor de neutro calibre 2 AWG, (se considero en la tubería).

Conclusiones

En la elaboración del presente trabajo nos enfocamos en los principios generales de diseño para un Sistema de Trazado de Calor Eléctrico a partir de cables calefactores autorregulables, con esto se considera que los procedimientos aquí expuestos son suficientes para que el ingeniero de diseño (de estos sistemas) tenga una referencia clara del funcionamiento y características mínimas con las que deben contar estos sistemas. El ejemplo aquí mostrado, es tan solo una parte del sistema implementado en la planta coquizadora de la Refinería de Cadereyta en N.L., con lo que se logra cubrir las características de los materiales empleados para este tipo de sistema independientemente de los procedimientos y tipos de sistemas existentes en la industria del trazado de calor. Este trabajo muestra el procedimiento a seguir por el ingeniero de diseño; aunque en la actualidad se cuenta con diversos software de diseño, aquí consideramos conveniente mostrar la teoría básica para la implementación de dichos sistemas.

Se establecieron las características y los elementos principales que constituyen a los sistemas de trazado de calor eléctrico, ya que en este trabajo nos enfocamos en los cables calefactores del tipo autorregulable para el mantenimiento y operación de una planta de proceso.

Los cables calefactores autorregulables son los de mayor uso en la industria del trazado de calor, al demostrar su gran eficiencia y la facilidad al manejarlos. Se deja claro que existen diferentes tipos de cables calefactores y que el principio de funcionamiento y operación son similares a los autorregulables, y que todos son seguros y fiables, cuando se instalan y diseñan de acuerdo al fabricante.

La alternativa presentada en esta tesis, con cables calefactores, obviamente no es la única. Se pretende con la misma, crear la inquietud de experimentar con otro tipo de cables calefactores, así como también el hacer uso de diferentes tipos de suministro de energía eléctrica tratando siempre de mejorar y facilitar la operación de las plantas de proceso.

Se demostró que es de gran importancia el poder seleccionar el tipo cable calefactor adecuado, como también el tipo de aislamiento térmico, el cálculo y la selección del equipo eléctrico, para el suministro de energía; ya que de esto depende la confiabilidad y el correcto funcionamiento del sistema de trazado.

Se observa la importancia que tiene el tema de la seguridad, al dar recomendaciones prácticas que se pueden utilizar a la hora de hacer la instalación en campo y sobre todo en áreas peligrosas, y que pueden aumentar en gran medida la seguridad del personal y de las instalaciones.

La comparación entre los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico y de Vapor, nos dio un enfoque preciso de las diferencias más importantes en cuanto a características y al equipo utilizado para cada uno, pero sobre todo la gran diferencia económica que existe entre estos. Al ser más económicos los Sistemas de Trazado Eléctrico tanto en instalación, en operación y mantenimiento, estos cada vez son más utilizados hoy en día en la industria, y están desplazando a los Sistemas Trazado de Vapor.

El diseño preliminar definitivo para una zona específica puede ser variable porque depende directamente del criterio del proyectista, el cual debe estar apoyado en normas, pruebas del clima, factor de utilización, cálculo del año de saturación, densidad de carga caída de tensión, condiciones de emergencia, confiabilidad, etc.

La importancia de una adecuada coordinación de protecciones radica en que conlleva a una buena confiabilidad y continuidad de servicio, porque la protección es selectiva o sea que opera el elemento más cercano a alguna falla que se pueda presentar, y por otra parte ofrece una adecuada protección al equipo en general.

La caída de tensión es un problema fuerte que se puede presentar y que debe cuidarse adecuadamente, ya que afecta directamente al funcionamiento correcto del equipo. Debe hacerse un cálculo para que la caída no exceda el límite de 5% del voltaje total.

Es importante mencionar que en la realización de esta tesis, se trabajó en un proyecto directamente relacionado con la industria, y que en este caso PEMEX proporciona los datos utilizados para el diseño de este Sistema de Trazado de Calor Eléctrico.

La finalidad de este trabajo es proporcionar conocimientos generales acerca de los Sistemas de Trazado de Calor Eléctrico y los temas que se involucran directamente con los mismos. Se subraya que se proporcionan únicamente conocimientos generales debido a que cada tema es tan amplio y tan complejo que para abarcarlo correctamente sería necesario realizar un trabajo aparte, por lo tanto, con lo expuesto anteriormente podemos decir que este trabajo cumple con su objetivo.

Tabla 310-16. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores activos en una canalización, cable o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño nominal	Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)						Tamaño nominal
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
mm ²	TIPOS TW*, TWD*, CCE, TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT	TIPOS RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW-LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2,	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*, BM-AL	TIPOS RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS	AWGkcmil
	Cobre			Aluminio			
0,8235	---	---	14	---	---	---	18
1,307	---	---	18	---	---	---	16
2,082	20*	20*	25*	---	---	---	14
3,307	25*	25*	30*	---	---	---	12
5,26	30	35*	40*	---	---	---	10
8,367	40	50	55	---	---	---	8
13,3	55	65	75	40	50	60	6
21,15	70	85	95	55	65	75	4
26,67	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,41	110	130	150	85	100	115	1
53,48	125	150	170	100	120	135	1/0
67,43	145	175	195	115	135	150	2/0
85,01	165	200	225	130	155	175	3/0
107,2	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,03	400	475	535	320	385	435	750
405,37	410	490	555	330	395	450	800
456,04	435	520	585	355	425	480	900
506,71	455	545	615	375	445	500	1000
633,39	495	590	665	405	485	545	1250
760,07	520	625	705	435	520	585	1500
886,74	545	650	735	455	545	615	1750
1013,42	560	665	750	470	560	630	2000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes						Temperatura ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	56-60
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	61-70
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	71-80

A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta NOM, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (*), no debe superar 15 A para 2,082 mm² (14 AWG), 20 A para 3,307 mm² (12 AWG) y 30 A para 5,26 mm² (10 AWG), todos de cobre.

Tabla 250-95. Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	---
20	3,307 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (600)
3000	202,7 (400)	304 (600)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

Resistencia Eléctrica C.A, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V, Operando a 90°C.

Calibre AWG/ kCM	Ohms/km. al neutro							
	Reactancia Inductiva X _l		Resistencia a CA para conductores de Cu, 75° C, 60 Hz			Resistencia a CA para conductores de Al, 75° C, 60 Hz		
	Ducto de PVC o AL	Conduit de Acero	Ducto de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Ducto de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero
14	0.190	0.240	10	10	10			
12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	10	10	10
10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	6.6	6.6	6.6
8	0.171	0.213	2.6	2.6	2.6	4.3	4.3	4.3
6	0.167	0.210	1.6	1.6	1.6	2.7	2.7	2.7
4	0.157	0.197	1.0	1.0	1.0	1.7	1.7	1.7
3	0.154	0.194	0.82	0.82	0.82	1.3	1.3	1.3
2	0.148	0.187	0.62	0.66	0.66	1.0	1.0	1.0
1	0.151	0.187	0.49	0.52	0.52	0.82	0.85	0.82
1/0	0.144	0.180	0.39	0.43	0.39	0.66	0.69	0.66
2/0	0.141	0.177	0.33	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52
3/0	0.138	0.171	0.25	0.27	0.26	0.43	0.43	0.43
4/0	0.135	0.167	0.20	0.22	0.21	0.33	0.36	0.33
250	0.135	0.171	0.17	0.19	0.18	0.28	0.30	0.28
300	0.135	0.167	0.14	0.16	0.15	0.23	0.25	0.24
350	0.131	0.164	0.12	0.14	0.13	0.20	0.22	0.21
400	0.131	0.161	0.11	0.12	0.11	0.18	0.19	0.18

CABLE VIAKON® RHH/RHW, XLPE 600 V, 90°C

ALAMBRES Y CABLES VIAKON TIPOS RHW / RHH, USE,
 **E102546, E98969**

**Descripción general.**

Cable formado por un conductor de cobre suave, con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE).

Especificaciones.

Los cables Viakon® RHH/RHW, XLPE, cumplen con las siguientes especificaciones:

- NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores - requisitos de seguridad.
- NMX-J-451-ANCE Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno, para instalaciones hasta 600 V.
- UL 44 Thermoset Insulated Wires and Cables.

Nota: Para productos con aprobación UL, consulte a nuestro Departamento de Ingeniería.

Principales aplicaciones:

- Los cables RHH/RHW-2 son productos de uso general. Por su mayor espesor pueden instalarse directamente enterrados.
- En sistemas de distribución de baja tensión y colocado en charolas o en tubo conduit, iluminación, en edificios públicos e instalaciones industriales, centros recreativos y comerciales.

Características.

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
 90°C En ambiente seco, húmedo o mojado.
 130°C En emergencia.
 250°C En corto circuito.

Nota: La condición de emergencia se limita a 1 500 h acumulativas durante la vida del cable y no más de 100 h en doce meses consecutivos. Las condiciones de corto circuito en el conductor se basan en lo indicado por la norma ICEA P-32-382

- Se fabrican en calibres de 2,082 a 506,7 mm² (14 AWG a 1 000 kcmil).
- Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.
- Para cables con aislamiento de color diferente al negro consultar a nuestro departamento de ventas.

Ventajas.

- Apropriados para instalarse en lugares mojados, húmedos, o secos.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.
- Su mayor espesor de aislamiento permite instalarlo directamente enterrado.
- Su aislamiento termofijo ofrece mayor estabilidad térmica.
- Resistente a la luz solar.

Nota: Este producto es equivalente al tipo USE de UL, para mayor información consulte al departamento de ventas e ingeniería.

CABLE VIAKON® RHW/RHH, XLPE 600 V, 75/90° C

Núm de artículo	Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente* Amperes		
							60°C	75°C	90°C
	AWG/kCM	mm ²		mm	mm	kg/100			
P227	14	2.082	7	1.14	4.3	4	20	20	25
Z063	12	3.307	7	1.14	4.8	5	25	25	30
Z065	10	5.260	7	1.14	5.4	7	30	35	40
Z068	8	8.367	7	1.52	7.0	11	40	50	55
Z069	6	13.30	7	1.52	8.0	16	55	65	75
Z070	4	21.15	7	1.52	9.2	24	70	85	95
Z071	2	33.62	7	1.52	10.8	36	95	115	130
P226	1	42.41	19	2.03	13.0	46	110	130	150
Z072	1/0	53.48	19	2.03	14.1	57	125	150	170
Z073	2/0	67.43	19	2.03	15.3	71	145	175	195
P225	3/0	85.01	19	2.03	16.6	87	165	200	225
Z074	4/0	107.2	19	2.03	18.1	108	195	230	260
Z075	250	126.7	37	2.41	20.1	129	215	255	290
P224	300	152.0	37	2.41	21.5	153	240	285	320
BU15	350	177.3	37	2.41	22.8	177	260	310	350
P218	400	202.7	37	2.41	24.0	201	280	335	380
Z059	500	253.4	37	2.41	26.2	249	320	380	430
CP68	600	304.0	61	2.79	29.1	300	355	420	475
Z060	750	380.0	61	2.79	31.8	372	400	475	535
CP69	1 000	506.7	61	2.79	36.7	491	455	545	615

* Basada en la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30°C.

FORMULAS ELECTRICAS				
PARA OBTENER	VALOR CONOCIDO	SISTEMA		
		CORRIENTE DIRECTA	MONOFASICO (2 HILOS)	TRIFASICO (3 ó 4 HILOS)
In AMPERES	HP	$I_n = \frac{746 \times HP}{E \times \eta}$	$I_n = \frac{746 \times HP}{E \times \eta \times FP}$	$I_n = \frac{746 \times HP}{\sqrt{3} E \times \eta \times FP}$
In AMPERES	KW	$I_n = \frac{1000 \times KW}{E}$	$I_n = \frac{1000 \times KW}{E \times FP}$	$I_n = \frac{1000 \times KW}{\sqrt{3} E \times FP}$
In AMPERES	KVA	-----	$I_n = \frac{1000 \times KVA}{E}$	$I_n = \frac{1000 \times KVA}{\sqrt{3} \times E}$
e % CAIDA DE TENSION EN %		$e \% = \frac{4 \times l \times I_n}{E \times S}$	$e \% = \frac{4 \times l \times I_n}{E \times S}$	$e \% = \frac{2 \times l \times I_n \times \sqrt{3}}{E \times S}$

DONDE:
 In = CORRIENTE NOMINAL EN AMPERES.
 E = VOLTAJE DE LINEA EN VOLTS.
 η = EFICIENCIA (UTILICE LA FIGURA No. L / II.2.1.B.).
 HP = POTENCIA EN HP.
 KW = POTENCIA EN KW.
 KVA = POTENCIA EN KVA.
 S = SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR EN MM².
 l = LONGITUD DEL CIRCUITO EN METROS.
 FP = FACTOR DE POTENCIA (UTILICE UN VALOR DE 0.9 PARA EFECTOS DE CALCULO EN ESTE PROCEDIMIENTO).
 e % = CAIDA DE TENSION EN %.



Electric Heat Tracing Industrial Products Specifications Summary

Catalog Number	Heater Type ²	Watt Density ³ Watts/ft (W/m)	Standard Voltage	Electrical Insulation	Maximum Maintenance Temp ³	Maximum Continuous Exposure Temp ⁴	Reference Form # (Current Print Date)
PSX 3	SR	3 (10)	120 or 240 Vac	Cross-linked Polyolefin	150°F(66°C)	185°F(85°C)	T-119-E (09/95)
PSX 5	SR	5 (16)	120 or 240 Vac	Cross-linked Polyolefin	150°F(66°C)	185°F(85°C)	T-119-E (09/95)
PSX 8	SR	8 (28)	120 or 240 Vac	Cross-linked Polyolefin	150°F(66°C)	185°F(85°C)	T-119-E (09/95)
PSX 10	SR	10 (33)	120 or 240 Vac	Cross-linked Polyolefin	150°F(66°C)	185°F(85°C)	T-119-E (09/95)
TSX 3	SR	3 (10)	120 or 240 Vac	FEP	250°F(121°C)	375°F(191°C)	T-101-E (09/94)
TSX 6	SR	6 (20)	120 or 240 Vac	FEP	250°F(121°C)	375°F(191°C)	T-101-E (09/94)
TSX 9	SR	9 (30)	120 or 240 Vac	FEP	250°F(121°C)	375°F(191°C)	T-101-E (09/94)
TSX 12	SR	12 (39)	120 or 240 Vac	FEP	250°F(121°C)	375°F(191°C)	T-101-E (09/94)
HPT 5	PL	5 (16)	120 or 240 Vac	PFA	300°F(149°C)	500°F(260°C)	T-109-E (01/96)
HPT 10	PL	10 (33)	120 or 240 Vac	PFA	300°F(149°C)	500°F(260°C)	T-109-E (01/96)
HPT 15	PL	15 (49)	120 or 240 Vac	PFA	300°F(149°C)	500°F(260°C)	T-109-E (01/96)
HPT 20	PL	20 (66)	120 or 240 Vac	PFA	300°F(149°C)	500°F(260°C)	T-109-E (01/96)
EL-2.5	CWP	2.5 (8)	115 Vac	Thermoplastic Elastomer	90°F(32°C)	250°F(121°C)	T-201-E (07/95)
EL-4	CWP	4 (13)	115 Vac	Thermoplastic Elastomer	90°F(32°C)	250°F(121°C)	T-201-E (07/95)
EL-6	CWP	6 (20)	115 Vac	Thermoplastic Elastomer	90°F(32°C)	250°F(121°C)	T-201-E (07/95)
EL-13	CWP	4 (13)	220 Vac	Thermoplastic Elastomer	90°F(32°C)	250°F(121°C)	T-201-E (07/95)
EL-20	CWP	6 (20)	220 Vac	Thermoplastic Elastomer	90°F(32°C)	250°F(121°C)	T-201-E (07/95)
FP 2.5	CWP	2.5 (8)	120 or 240 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-202-E (05/96)
FP 5	CWP	5 (16)	120 or 240 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-202-E (05/96)
FP 10	CWP	10 (33)	120 or 240 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-202-E (05/96)
FP 10-4	CWP	10 (33)	480 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-202-E (05/96)
FP 10-5	CWP	10 (33)	575 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-202-E (05/96)
TEK	CWS	Up to 20 (66)	to 600 Vac	FEP	150°F(66°C)	400°F(204°C)	T-301-E (09/94)
HTEK	CWS	Up to 30 (98)	to 600 Vac	High Temperature Glass and PFA	400°F(204°C)	500°F(260°C)	T-302-E (10/94)
MIQ	CWS		300 or 600 Vac	Magnesium Oxide (MgO) (with Alloy 825 Sheath)	800°F(427°C)	1100°F(593°C)	T-304-E (03/96)
ThermTrac	SE	Up to 50 (164)	to 2000 Vac	PFA	300°F(149°C)	500°F(260°C)	T-500-E (10/88)

SX™, EconoTrace®, TEK®, HTEK®, MIQ™ and ThermTrac™ are trademarks of Thermon Manufacturing Company.

- NOTES:**
- 1 Catalog Numbers shown are for cable types. Metallic braid is standard. Available options include, insulation overjacket and integral monitor wire (parallel cable only). No options available for MIQ cables or ThermTrac conductors. All cables shown are approved for installation in Class I, Division 2 Hazardous (Classified) Locations. TSX, HPT and MIQ are available for Class I Division 1 - contact factory.
 - 2 Heater Type Legend: SR - Self Regulating Parallel; PL - Power Limiting Parallel; CWP - Constant Wattage Parallel; CWS - Constant Wattage Series Resistance; SE - Skin Effect Heating System.
 - 3 Self Regulating and Power Limiting Watt Densities are shown at 50°F(10°C) with cable on insulated metal piping. Maximum watt densities shown may not correlate to maximum maintenance temperature for each cable. For Self Regulating Cables, the temperature shown in the "Maximum Maintenance Temp" column represents the Maximum Continuous Exposure Temperature when the cable is in a "power on" condition. Contact Thermon for additional information.
 - 4 Maximum Continuous Exposure Temperature is based on cable being de-energized (off).

Nota: La presente hoja de especificaciones, fue proporcionada por el fabricante (Industrias Thermon), y contiene definiciones propias del idioma inglés; y que alguna traducción de estas definiciones al español u otro idioma, alteraría la idea fundamental que nos quiere mostrar el fabricante.

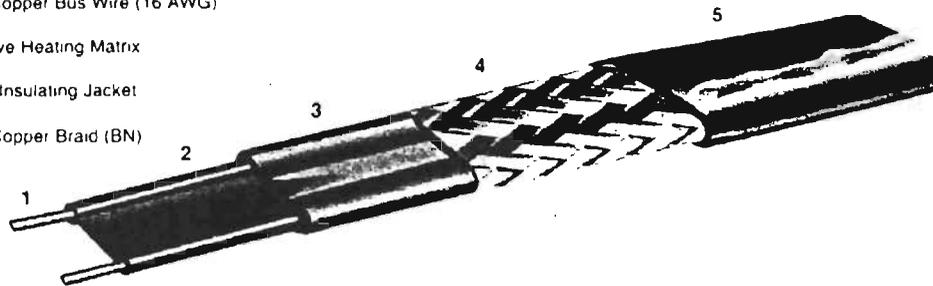


TSX™ Self-Regulating Heating Cable Product Specifications

APPLICATIONS: TSX self-regulating heating cables are for water freeze protection or process temperature maintenance up to 250°F (121°C) and where elevated cold start currents are unacceptable. TSX cables are approved for ordinary (non-hazardous) and Division (2) hazardous (classified) areas.

CONSTRUCTION:

- 1 Nickel-Plated Copper Bus Wire (16 AWG)
- 2 Semi-Conductive Heating Matrix
- 3 Fluoropolymer Insulating Jacket
- 4 Nickel-Plated Copper Braid (BN)



OPTIONS:

5 Overjacket (OJ) includes nickel-plated braid. Increases durability and provides corrosion protection for metallic braid.

6 Monitor wire (MC) is used to monitor the continuity of the bus wires (not shown).

RATINGS:

Max continuous exposure temperature:
Power ON
Power OFF
Minimum installation temperature
Minimum bending radius
T-rating¹

NOTE: The 1996 National Code, Article 427.22 states: "Ground-fault protection of equipment shall be provided for branch circuits supplying electric heating equipment."

250°F (121°C)
375°F (191°C)
-60°F (-51°C)
1.25 in (32 mm)
T-3, 392°F (200°C)

¹ Standards associations have established the T-rating as a means of classifying electrical equipment based on the maximum temperature an exposed surface may attain. The purpose of the T-rating is to insure that electrical equipment does not exceed the auto-ignition temperature of flammables handled.

BASIC ACCESSORIES:

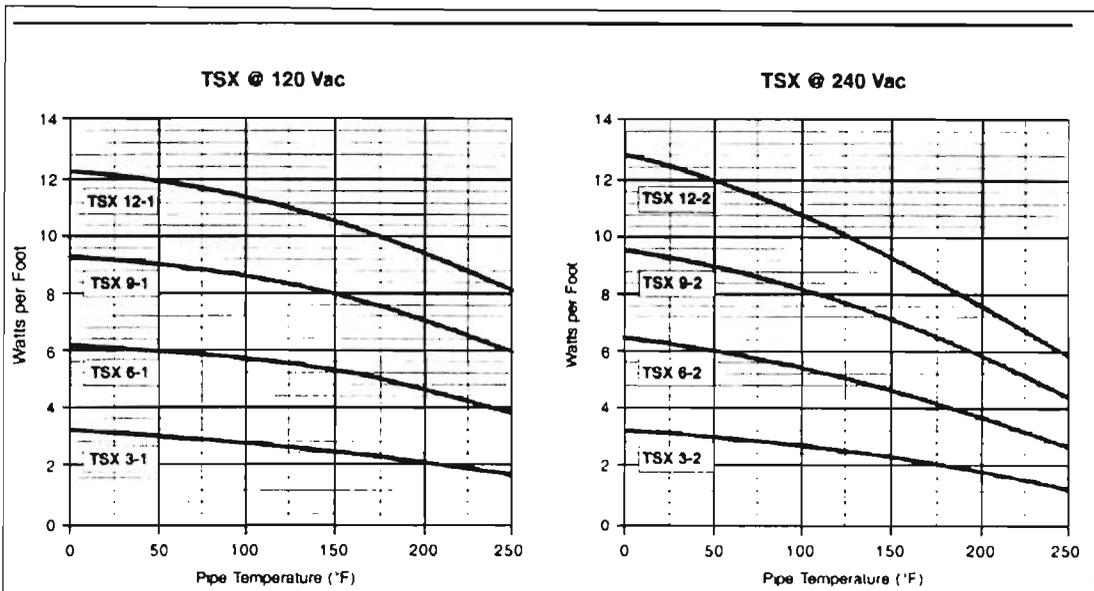
Power Connection: All TSX cables require the TBX -3L boot for terminating the circuit before connecting to power.

End-of-Circuit Termination: All TSX cables with BN option require the ET-8 end cap for terminating at the end of the circuit.

NOTE: Additional accessories to complete a heater circuit installation and information on complying with approval requirements may be found in the "Connection Kits and Accessories" section of the catalog.

All TSX cables with either the Overjacket (OJ) option and/or Monitoring Wire (MC) option) require the ET-6 end cap for terminating at the end of the circuit.

Nota: La presente hoja de especificaciones, fue proporcionada por el fabricante (Industrias Thermon), y contiene definiciones propias del idioma inglés; y que alguna traducción de estas definiciones al español u otro idioma, alteraría la idea fundamental que nos quiere mostrar el fabricante.



CIRCUIT BREAKER SIZING:

Maximum circuit lengths for various circuits are shown below. Circuit breaker sizing based on National Electrical Code 1996 Article 427-4.

For information on design and performance on other voltages refer to Form T-805-E titled "Complex Piping Design Guide".

120 Vac Service Voltage		Maximum Circuit Lengths Based on Circuit Breaker Sizing		
Catalog Number	Output @ 50°F Watts/ft (w/m)	15A	20A	30A
		ft. (m)	ft. (m)	ft. (m)
TSX 3-1	3 (10)	245 (75)	325 (99)	355 (108)
TSX 6-1	6 (20)	160 (49)	210 (64)	245 (75)
TSX 9-1	9 (30)	120 (37)	160 (49)	200 (61)
TSX 12-1	12 (39)	90 (27)	120 (37)	175 (53)

240 Vac Service Voltage		Maximum Circuit Lengths Based on Circuit Breaker Sizing		
Catalog Number	Output @ 50°F Watts/ft (w/m)	15A	20A	30A
		ft. (m)	ft. (m)	ft. (m)
TSX 3-2	3 (10)	480 (146)	640 (196)	715 (218)
TSX 6-2	6 (20)	315 (96)	420 (128)	505 (154)
TSX 9-2	9 (30)	240 (73)	320 (98)	410 (125)
TSX 12-2	12 (39)	170 (52)	230 (70)	345 (105)

APPROVALS/LISTINGS:

Factory Mutual Research

Ordinary Locations
 Hazardous (Classified) Locations
 (Requires BN)
 Class I, Division 2, Groups B, C and D
 Class II, Division 2, Groups F and G
 Class III, Divisions 1 and 2



Canadian Standards Association

Ordinary Locations
 Hazardous (Classified) Locations
 (Requires BN)
 Class I, Division 1, Groups A, B, C and D
 Class II, Division 1, Groups E, F and G
 Class I, Division 2, Groups A, B, C and D
 Class II, Division 2, Groups E, F and G



Component Recognition



THERMON MANUFACTURING COMPANY

100 Thermon Dr • P O Box 609 • San Marcos, TX 78667-0609 • Facsimile (512) 396-3627 • Telephone (512) 396-5801



Nota: La presente hoja de especificaciones, fue proporcionada por el fabricante (Industrias Thermon), y contiene definiciones propias del idioma inglés; y que alguna traducción de estas definiciones al español u otro idioma, alteraría la idea fundamental que nos quiere mostrar el fabricante.

BIBLIOGRAFÍA

1. Raúl Martín, José
Diseño de Subestaciones Eléctricas
Facultad de Ingeniería. UNAM
2a. Edición. México 2000
2. Harper Enriquez
El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales
Limusa, México 2001.
3. Theodore Baumeister, Eugene Avallone.
MARKS MANUAL DEL INGENIERO.
Mc Graw Hill 1990
2da. Edición, México.
4. Curtis D. Jonson
Manual de Tecnología Eléctrica y Electrónica
Tomo I, Primera Edición
Prentice-Hall
5. Robert H. Perry, Don W. Green y James O. Maloney
PERRY MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO
Mc Graw Hill.
México, D.F. 1992
6. NOM-001-SEDE-1999
Norma Oficial Mexicana Referente a Instalaciones Eléctricas (utilización).
México 1999
7. IEEE Std. 141-1993
Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants
Institute of Electrical and Electronics Engineers
8. IEEE Std. 515-2004
Standards for the Testing, Design, Installation, and Maintenance of Electrical Resistance Heat Tracing
for Industrial Applications.
Institute of Electrical and Electronics Engineers.
9. NEC
U.S. National Electric Code (NFPA 70)
10. NRF-036-PEMEX-2003
Clasificación de áreas peligrosas y selección de equipo eléctrico.
11. NRF-048-PEMEX-2003
Diseño de instalaciones eléctricas en plantas industriales.
12. PEMEX - DCIDP
GNT-SSNP-E005-2005
Sistema de Trazado Eléctrico
Agosto 2005
13. PEMEX - Gerencia de Ingeniería de Proyecto
Manual de Procedimiento de Ingeniería de Diseño
Sección L. Ingeniería Eléctrica
México 1990

14. CONDUMEX
Manual Técnico de Cables de Energía
Tercera Edición
México 2005
15. CONELEC
Manual Eléctrico
Cuarta Edición
16. SQUARED
Compendiado No. 26
Productos de Distribución y Control
17. THERMON
Complex Piping "Design Guide for Electric Heat Tracing"
1996

Revistas y Artículos

18. Grace Laurie
Proven Tools and Techniques for Electric Heat Tracing
Chemical Engineering, Pags. 104 – 107.
Mayo 1995
19. Peter R. Baen
The Value of Controls and Monitoring for Electrical Heating Tracing
IEEE Transactions on Industry Applications
Vol. 31, No. 2, Pags. 429– 437.
March/April 1995.
20. Safety Related Considerations for Resistance Heat Tracing Cables
Industry Applications Society 41st. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
Vancouver, British Columbia. September 12-14, 1994.
21. Training in the use of Electrical Heat Tracing "A Course Outline"
Industry Applications Society 44th. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
Banff, Alberta. September 15-17, 1997.
22. Advances in Electrical Heat Tracing Engineering Reduce Installed cost and Improve Reliability
Industry Applications Society 45th. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
Indianapolis, Indiana. September 28-30, 1998.
23. Heat Tracing Technology for the 21st Century
Industry Applications Society 47th. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
San Antonio, Texas. September 11-13, 2000.
24. Control and Monitoring of Electrical Heat Tracing
Industry Applications Society 48th. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
Toronto, Ontario. September 24-26, 2001.

25. Beyond Electrical Heat Tracing: Safety Showers Update
Industry Applications Society 49th. Annual Petroleum and Chemical Industry Conference
Record of Conference Papers, IEEE.
New Orleans, Louisiana. September 23-25, 2002.

Medios electrónicos (ligas)

26. www.heat-trace.ltd.uk/
27. www.tycoflowcontrol.com.au/measurement
28. www.thermon.com
29. www.sarabastall.com
30. www.tracelec.com
31. www.energia.com/es/productos
32. www.dipolo.com
33. www.mabatec.com
34. www.ako.es