



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

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
CORROSIÓN EXTERNA PARA EL DUCTO TRONCAL DE
TRANSPORTE DE GAS NATURAL DE LA CENTRAL
TÉRMICA TERMOCHILCA”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
VÍCTOR MARIO PONTE MIMBELA**

ASESOR

MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS

LIMA – PERÚ, JUNIO 2021



DEDICATORIA

Dedico el presente Trabajo de Suficiencia Profesional a mis padres, por el amor y comprensión que me brindan en todo momento; a mi esposa, por apoyarme durante mi etapa estudiantil; y a mi hijo, por ser la motivación de mi deseo de superación.





AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la dicha de mantener a mi familia unida y saludable a pesar de las adversidades afrontadas.





INTRODUCCIÓN

El ducto troncal de transporte de gas natural de Termochilca es la arteria principal de alimentación de la turbina generadora de energía de 201.1 W, es por ello que se debe tomar acciones preventivas con el objetivo de garantizar la continuidad del servicio; la protección contra la corrosión externa de un ducto enterrado consta de un revestimiento, y es la primera barrera para evitar la corrosión externa, pero en la actualidad, ningún revestimiento garantiza una protección al 100%, ya que puede existir impurezas presentes en el material en el proceso de aplicación de la capa protectora (revestimiento) o golpes, rasguños o daños al momento de transportar o instalarlos; por ello, para garantizar que el tiempo de vida útil de un ducto revestido cumpla de acuerdo a lo establecido en su diseño, se instala como protección complementaria un sistema de protección catódica.

En el presente Trabajo de Suficiencia Profesional, se considera como tema principal la implementación del proceso técnico para minimizar los efectos de la corrosión en el ducto troncal de transporte de gas natural de la Central Térmica Termochilca, eliminar la corrosión es imposible, sin embargo, se puede controlar.

“La corrosión es uno de los problemas principales con los que los operadores y/o propietarios de estructuras metálicas enterradas, sumergidas o que se encuentren en contacto con un electrolito, tienen que lidiar y la cual se debe controlar, si esto no ocurriera, puede generarse grandes costos de reparación o reemplazo de secciones. Así mismo, se puede incurrir en un costo mayor debido a daños en el medio ambiente o accidentes fatales”. (NACE, 2007)

Considerando las características técnicas de la estructura y condiciones del entorno, el único método de control para la corrosión externa adicional al recubrimiento del ducto que actualmente existe, es la protección catódica, la cual es una técnica que se aplica para controlar la corrosión de una superficie metálica; esto se logra convirtiendo dicha superficie metálica (ducto) en un cátodo de una celda de corrosión electroquímica; el cátodo de una celda de corrosión electroquímica es el electrodo en donde se produce la reacción de reducción.





RESUMEN

En el presente Trabajo de Suficiencia Profesional se definirá el proceso que involucra la implementación de un sistema de control de corrosión externo para el ducto de transporte de gas natural, donde se detallará:

- I. Memorias de cálculo de diseño
 - i. Información de campo
 - ii. Resistividad del terreno
- II. Suministro de materiales
 - iii. Ánodos de sacrificio
 - iv. Cables para enterramiento
 - v. Empalmes eléctricos
 - vi. Electrodo de referencia
 - vii. Misceláneos menores
- III. Proceso de construcción
- IV. Puesta en marcha

Con la implementación de los procesos descritos, se propone como objetivo aumentar el tiempo de vida útil del ducto de transporte de gas natural.





ABSTRACT

In this Professional Sufficiency Work the process that involves the implementation of a cathodic protection system for the natural gas transportation pipeline will be defined, where it will be detailed:

- I. Design calculation memories
 - i. Field information
 - ii. Resistivity of the ground
- II. Supply of materials
 - iii. Sacrificial anodes
 - iv. Wire for burial
 - v. Electrical connections
 - vi. Reference electrode
 - vii. Minor miscellaneous
- III. Building process
- IV. Commissioning

With the implementation of the processes described, the objective is to increase the useful life of the natural gas transportation pipeline.





TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
CAPITULO I	1
GENERALIDADES DE LA EMPRESA	1
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.2. PERFIL DE LA EMPRESA.....	1
1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA	1
1.3.1. Misión	2
1.3.2. Visión.....	2
1.3.3. Objetivo.....	2
1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	2
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA	4
1.5.1. Factor económico	4
1.5.2. Factor político	5
1.5.3. Factor social	5
1.5.4. Factor ambiental	6





1.5.5. Factor cultural	6
CAPITULO II.....	8
REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	8
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	8
2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	14
2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	14
2.2.1. Objetivo general del proyecto.....	14
2.2.2. Objetivos específicos del proyecto.....	14
CAPITULO III.....	16
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	16
3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO	16
3.1.1. Antecedentes de la investigación.....	16
3.1.2. Bases teóricas.....	18
3.1.3. Planear – Ciclo de W. E. Deming.....	20
3.1.4. Hacer - Ciclo de W. E. Deming	23
3.1.5. Verificar - Ciclo de W. E. Deming.....	30
3.1.6. Actuar - Ciclo de W. E. Deming.....	34
3.1.7. Bases normativas.....	36
3.2. CONCLUSIONES	37
3.3. RECOMENDACIONES.....	41
CAPITULO IV	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
CAPITULO V	44
GLOSARIOS DE TERMINOS.....	44





CAPITULO VI	46
ANEXOS.....	46





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama Termochilca S.A.	3
Figura 2 Organigrama del Área de Operaciones y Mantenimiento.....	4
Figura 3 Componentes Hidrocarburos del Gas Natural.....	8
Figura 4 Resistividad del Terreno de 1 a 3 Metros de Profundidad.....	10
Figura 5 Técnica “5 Porqués”	12
Figura 6 Diagrama de Ishikawa en Base a las 6M	13
Figura 7 Ciclo PHVA para la Implementación de un SPC	20
Figura 8 Dimensionamiento de un Ánodo de Magnesio de 20 Libras	21
Figura 9 Dimensiones para el Cálculo de la Resistencia.....	26
Figura 10 Distribución de Corriente Versus Distancia Longitudinal.....	29
Figura 11 Distribución de Ánodos de Magnesio	29
Figura 12 Distribución de Ánodos a Longitud de 135 Metros de Tubería.....	30





ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis FODA de la Empresa CT - Termochilca	7
Tabla 2 Caracterización de Corrosividad del Suelo en Base a su Resistividad	10
Tabla 3 Resultados de Análisis Físico Químico del Terreno.....	11
Tabla 4 Parámetros y Características del Suelo en Base al Contenido de Sales....	11
Tabla 5 Especificaciones Técnicas de la Tubería de Transporte de Gas Natural....	19
Tabla 6 Detalle del Dimensionamiento de un Ánodo de Magnesio de 20 Libras	21
Tabla 7 Características Técnicas del Cable N°4 AWG	22
Tabla 8 Resumen de Fórmulas Para el Proyecto	24
Tabla 9 Listado de Materiales Para la Mejora.....	31
Tabla 10 Línea de Tiempo Propuestos Para la Mejora.....	34
Tabla 11 Cuadro Resumen del Plan de Mantenimiento.....	36
Tabla 12 Cronograma del Proyecto de Mejora	38
Tabla 13 Presupuesto del Suministro de Materiales.....	39
Tabla 14 Presupuesto de la Construcción	40





ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 1	46
Anexo 2 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 2	47
Anexo 3 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 3	48
Anexo 4 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 4	49
Anexo 5 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 5	50
Anexo 6 Ficha Técnica de los Materiales 1 de 6	51
Anexo 7 Procedimiento de Puesta en Marcha 1 de 1.....	52
Anexo 8 Procedimiento de Puesta en Marcha 1 de 2.....	53
Anexo 9 Plan de Mantenimiento.....	54
Anexo 10 Esquema del sistema y Detalles de Instalación	55
Anexo 11 Dimensiones de la Estación y Detalles de Instalación	56
Anexo 12 Sistema de Protección y Detalles de Instalación.....	57
Anexo 13 Dimensiones A-B-C-D y Detalles de Instalación	58





CAPITULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Termochilca S.A., es una empresa dedicada a la generación de energía eléctrica, cuya central térmica se encuentra ubicada en Santo Domingo de los Olleros, en el distrito de Chilca, provincia de Cañete.

Termochilca S.A., cuenta con una turbina generadora de 201.1 MW que produce electricidad a base de gas natural, el cual es transportado a través de un ducto enterrado de 10" pulgadas de diámetro y 135 metros de longitud, desde la subestación de regulación y medición principal (ERMP) hasta la acometida de ingreso a la turbina.

1.2. PERFIL DE LA EMPRESA

De acuerdo a los estándares establecidos por la CIU – Clasificación Industrial Internacional Uniforme, Termochilca se encuentra clasificada con el código N° 40104 - Generación y distribución de energía eléctrica; así mismo, está comprometida con el cuidado y generación del mínimo impacto al medio ambiente, así como también de la gestión social con las locaciones pobladas a sus alrededores.

1.3. ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

Termochilca S.A., se dedica a la generación y comercialización de energía eléctrica, así como al desarrollo de proyectos e inversiones principalmente en las áreas de gas, infraestructura, servicios, transporte, comunicaciones y recursos naturales. Los principales clientes de Termochilca S.A., son:

- ✓ Empresa distribución - Luz del Sur.
- ✓ Empresa distribución - Edelnor.
- ✓ Empresa distribución - Electro Sur Este.





- ✓ Empresa distribución - Electro Sur S.A.

1.3.1. Misión

Generar y comercializar energía eléctrica de manera eficiente y con calidad, aumentando el valor económico de la empresa con una política de responsabilidad social y medioambiental, brindando un entorno laboral adecuado, logrando la satisfacción de sus grupos de interés.

1.3.2. Visión

Ser reconocido como una empresa relevante en el mercado como generador y comercialización de energía eléctrica, con excelencia empresarial, comprometido con la sociedad y el medio ambiente. (Corpro, 2021)

1.3.3. Objetivo

Generar energía eléctrica de forma eficiente bajo el cumplimiento estricto de las normas ambientales nacionales e internaciones adoptadas y lo establecido en su política y procedimientos de gestión ambiental.

1.4. ORGANIZACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

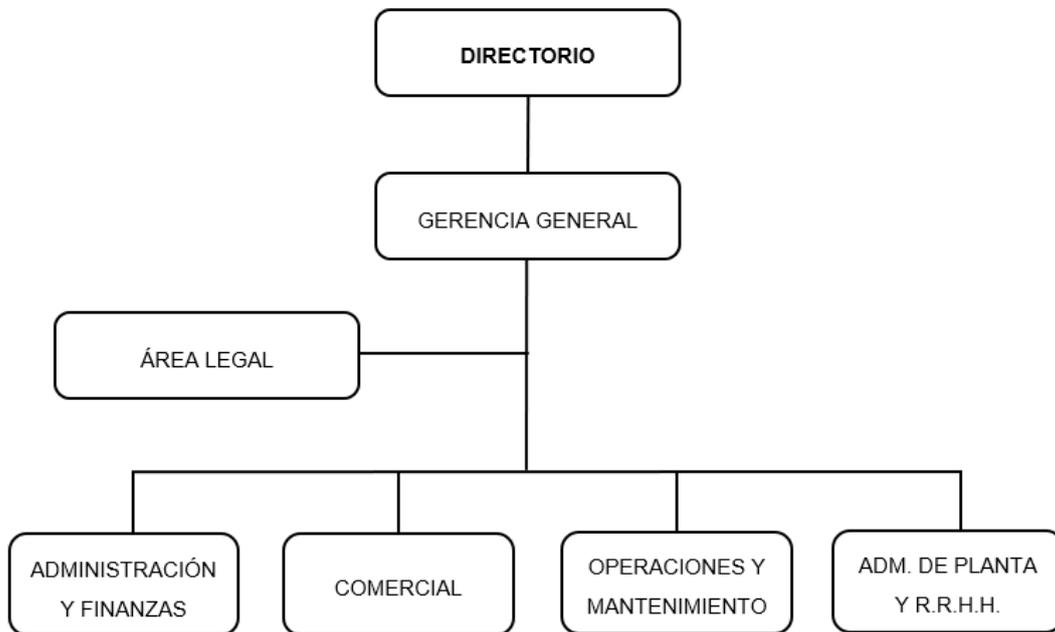
Termochilca S.A., se encuentra dividida por áreas organizacionales de acuerdo a su actividad. Para fines del presente estudio, se realizará la propuesta de mejora al área de “Operaciones y Mantenimiento”.

La estructura organizacional de Termochilca S.A., se explica mediante el siguiente organigrama:





Figura 1
Organigrama Termochilca S.A.



Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)

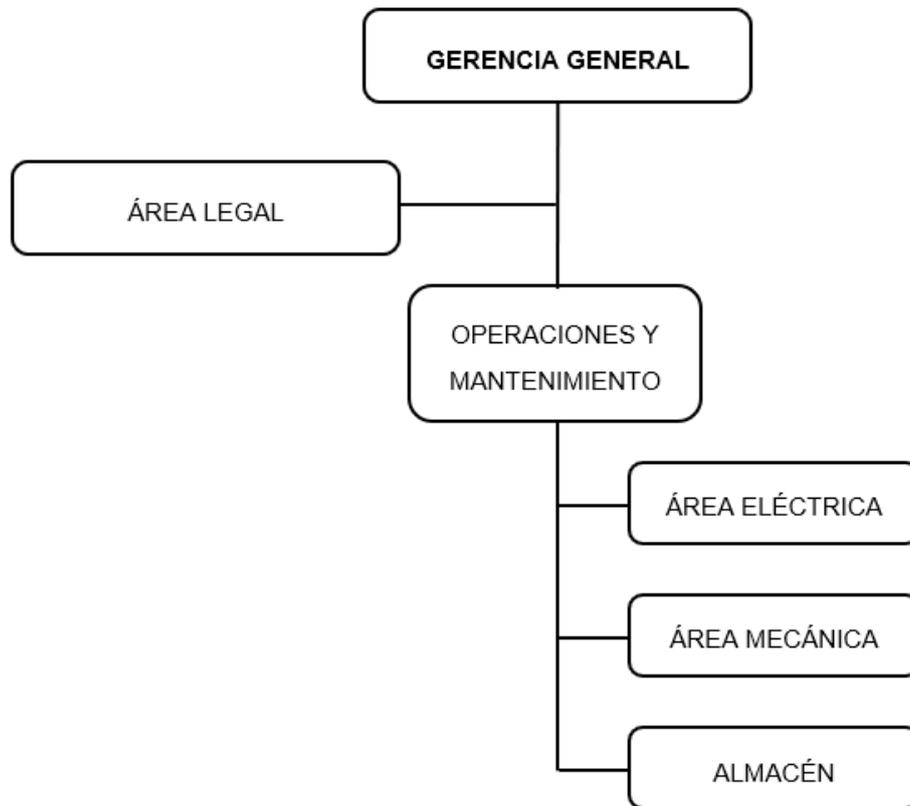
El área de “Operaciones y Mantenimiento” de Termochilca se encarga de garantizar la correcta operación de la turbina generadora mediante la coordinación y control de las tareas que esta requiere, así como también brinda el soporte técnico durante la producción, genera y ejecuta el plan de mantenimiento en todas sus etapas.

El área de “Operaciones y Mantenimiento” está dividido en los siguientes departamentos:





Figura 2
Organigrama del Área de Operaciones y Mantenimiento



Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE LA EMPRESA

1.5.1. Factor económico

En la actualidad, los sitios donde se realizan procesos productivos asociados al gas e hidrocarburos, se presentan como un ambiente ideal para el proceso de la corrosión de estructuras, es por ello que la implementación de un plan de mantenimiento adecuado de sus estructuras juega un factor importante al momento de garantizar la integridad de los activos.

Así mismo, si se analiza a detalle, los recursos que se implementarían si no se lleva un adecuado control, tales como materiales (repuestos, maquinarias o equipos), servicios (logísticos, aduanas, mensajerías) y





humanos (horas-hombre), los costos asociados al proceso de subsanación pueden llegar a ser superiores a los establecidos en los presupuestos anuales, y que, en algunas ocasiones, concluyen en el cierre o abandono de la operación.

1.5.2. Factor político

Desde que se publicó la “Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural” N° 27133 en 1999, todos los lotes de reserva de gas natural han sido explotados conforme a los procedimientos establecidos, así como también, se ha declarado de interés nacional y necesidad publicar fomentar el desarrollo de la industria del gas natural. (Osinergmin, 1999)

Por otro lado, Termochilca S.A., es una empresa que pertenece al sector eléctrico, por ende, está bajo la supervisión de Osinergmin, en el marco de la política energética del Ministerio de Energía y Minas. La OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) es el encargado de fiscalizar el cumplimiento de la legislación ambiental.

1.5.3. Factor social

Desde su inicio de operaciones, Termochilca S.A., se ha involucrado en el desarrollo social de sus áreas de interés, considerando la implementación de proyectos, actividades y programas que benefician comunidades, organizaciones y pobladores aledaños a la zona.

Algunos de estos proyectos aportan directamente a la tasa de empleabilidad del sector, brindando puestos de trabajo a las familias de las zonas, construyendo colegios y reorganizando las áreas comunes del distrito, a través de la construcción de parques y áreas verdes.





1.5.4. Factor ambiental

Todo conjunto de procesos industriales, afectan directa o indirectamente al medio ambiente, ya sea por emisión de gases, remoción de tierra, contaminación acústica, generación de residuos etc., es por ello que en Termochilca S.A., se busca minimizar o equilibrar estos efectos mediante el cumplimiento del plan de gestión ambiental, el cual se asocia con los estándares aplicables para la generación de menos impacto, así como también la implementación del programa de 3R (reducir, reutilizar y reciclar).

1.5.5. Factor cultural

En la actualidad, las empresas que generar un producto o servicios en el rubro minero, hidrocarburos, logísticos, construcción, etc. asumen desde su etapa inicial un gran rechazo por parte de las comunidades aledañas a la zona, principalmente por errónea idea de que esta afectará de manera directa su salud, sin embargo, con el correr de las etapas del proyecto, se evidencia que el mismo generó puesto de trabajo, implementación de mejoras a la zona como construcción de vías y parques, así como también la implementación de postas y hospitales.

De esta forma, lo que la empresa busca es cambiar esa cultura de rechazo hacia los proyectos de inversión mediante la generación de beneficios a las partes interesadas que se ven afectados de forma directa o indirectamente durante la ejecución del proyecto.





Tabla 1
Análisis FODA de la Empresa CT - Termochilca

MATRIZ FODA					
FACTOR EXTERNO \ FACTOR INTERNO		FORTALEZAS (F)		DEBILIDADES (D)	
		1	La alta dirección conoce los riesgos a los que se expone si no se toma acción inmediata.	1	El personal no se encuentra capacitado para el monitoreo de estado externo del ducto.
2	Asignación de un presupuesto anual al área de mantenimiento para la implementación de mejoras a lo procesos.	2	No cuenta con equipos ni procedimientos adecuados para el monitoreo de un sistema.		
3	Continuidad en el suministro de gas natural por parte del proveedor.	3	Otras centrales térmicas de Lima ya cuentan con sistemas de control de corrosión en sus estructuras.		
4	El ducto cuenta con recubrimiento FBE, que es una primera barrera contra la corrosión externa.	4	Entorno con condiciones físicas y químicas que favorecen la aparición de la corrosión.		
OPORTUNIDADES (O)		ESTRATEGIA F-O		ESTRATEGIA D-O	
1	Evaluación de la construcción de turbinas generadoras adicionales o implementación del ciclo combinado.	Se puede proyectar en un mediano plazo la ampliación de la producción de energía eléctrica mediante la construcción de turbinas adicionales.	Si bien el personal no cuenta con capacitación adecuada al proceso, si cuenta con la formación adecuada para la construcción y operación de la central térmica.		
2	Capacitación específica del personal del área de mantenimiento.	Certificación del personal encargado del mantenimiento así como la implementación de un cronograma de capacitación anual.	Se realizará la ampliación del stock de equipos y herramientas así como también la capacitación de uso y operación del personal.		
3	Interés de nuevos inversionistas y ampliación de la cartera de clientes.	Ampliación de la capacidad de producción.	Con los nuevos planes implementados, generar reuniones comerciales en los principales sectores de la industria.		
4	Implementación de un "Plan de Mantenimiento" anual que brindará las directrices para el control y seguimiento.	Cumplimiento de las recomendaciones explícitas mencionadas en el DS 081.S aplicable para el transporte y operación de hidrocarburos.	Registro de los análisis y estudios realizados que sirvan como datos históricos para futuras comparaciones durante la implementación de mejoras.		
AMENAZAS (A)		ESTRATEGIA F-A		ESTRATEGIA D-A	
1	Accidentes laborales con daños al personal por causa de explosiones.	Controlar el proceso de corrosión en los puntos expuestos al entorno mediante un adecuado sistema de control de corrosión.	Implementar monitoreos continuos basados en normativa vigente y aplicables.		
2	Pérdida de clientes causadas por la interrupción del suministro de energía.	Difusión a los clientes de los nuevos sistemas de ingeniería implementados, garantizando la calidad en el proceso de producción.	Algunos clientes presentan disconformidades por la no constancia del suministro, se programará reuniones con la alta gerencia para exponer los nuevos planes de producción.		
3	Daños irreparables de los principales equipos que forman parte de la operación.	Implementación de planes de mantenimiento preventivos y correctivos.	Stock de equipos y repuestos de acuerdo a los planes preventivos y correctivos.		
4	Asignación de multas por parte de entes fiscalizadores tales como Osinergmin u OEFA.	Adecuación de los procedimientos en base a las normativas técnicas y de medio ambientes vigentes.	Contratar personal capacitados para la dirección del plan de control de corrosión.		

Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)





CAPITULO II

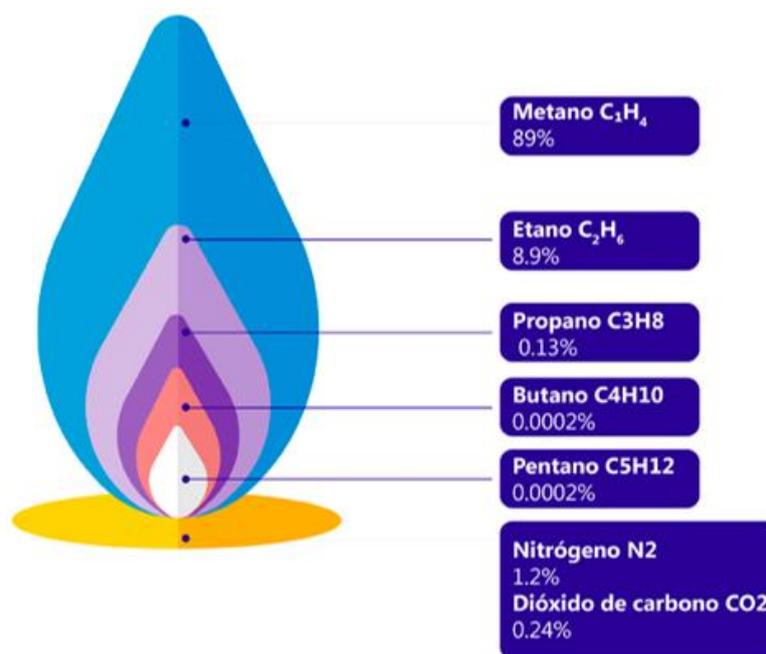
REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El gas natural es un combustible limpio que no genera un mayor impacto ambiental, sin embargo, debido a sus compuestos de metano que varía entre el 80% y 95%, hidrocarburos líquidos como Pentano, Hexano y Heptano, hidrocarburos gaseosos como Etano, Propano y Butano y otros componentes como Nitrógeno y Gas Sulfhídrico que no son catalogados como hidrocarburos (Nicolas Caruso, Estudios Sectoriales-Componentes: Gas Natural y Derivados, 2003); la ingesta puede tener consecuencias mortales para la salud, sin mencionar que el inadecuado control puede producir explosiones de magnitudes catastróficas.

Figura 3

Componentes Hidrocarburos del Gas Natural



Fuente: (www.calidda.com.pe, 2021)





El área de mantenimiento de Termochilca es consciente de los daños que puede causar la corrosión al ducto enterrado Ø10" de transporte de gas, cuya función es brindar el suministro de gas a la turbina encargada de la generación de energía.

Si el ducto presentara daños tales como pérdida de espesor de pared producto del agrietamiento del recubrimiento que resultaría en fugas de gas ocasionado por agentes corrosivos presentes en el entorno, las consecuencias no solo abarcarían aspectos económicos, sino también pérdidas mortales.

Por otro lado, Termochilca ha realizado la evaluación del perfil de resistividad del terreno que forma parte del derecho de vía de gasoducto, deberá realizar también la revisión de las características técnicas del ducto, tales como diámetro, tipo de recubrimiento, material, longitud, entre otros, y de esta forma, en conjunto, se podrá determinar los criterios de protección que aplicarían para su protección contra la corrosión externa.

La Central Térmica Termochilca se encuentra ubicada en el distrito de Chilca, con una zona típica de costa cerca al mar, en terreno eriazos con estribaciones costeras, con alturas que sobrepasan los 30 m.s.n.m. Las características del terreno coinciden con las observadas en suelos arenoso con tamaños de partículas promedio de 0.42 pulgadas de diámetro y con formaciones rocosas a medida que se profundiza.

A partir de los ensayos de resistividad de suelos, realizados mediante el método de Wenner o método de los cuatro electrodos, se registraron resistividades a profundidades de 1, 2 y 3 metros, donde se logró registrar valores del rango de 57.10 a 190.00 ohmios por centímetro. Estos valores son altos como consecuencia de la ausencia de humedad. (Graña y Montero, Estudio de Resistividad del Terreno CT Termochilca, 2013)

La resistencia que ofrece un terreno se considera como un factor importante a tomar en cuenta para la implementación de un sistema de protección catódica, ya que dependiendo del valor registrado su característica corrosiva variará. La

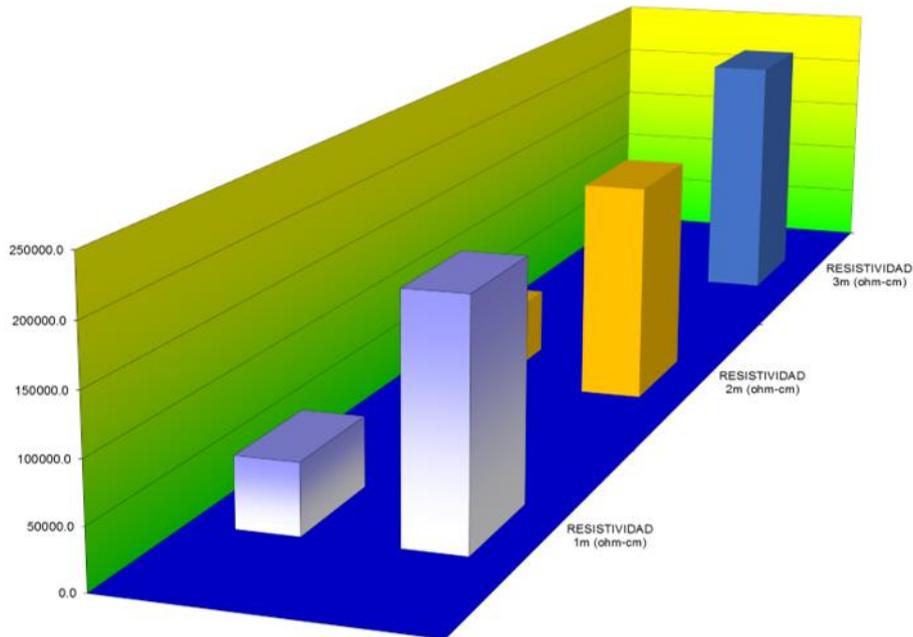




vida útil de los materiales y componentes que se instalen en este terreno tendrá que ser resistente a la agresividad que presente el mismo.

Figura 4

Resistividad del Terreno de 1 a 3 Metros de Profundidad



Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)

De acuerdo a la resistividad obtenida, se caracteriza el terreno como un entorno muy corrosivo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2

Caracterización de Corrosividad del Suelo en Base a su Resistividad

RESISTIVIDAD	CARACTERÍSTICAS CORROSIVAS DEL SUELO
< 900 Ω.cm	Muy corrosivo
900 - 2300 Ω.cm	Bastante corrosivo
2300 - 5000 Ω.cm	Moderadamente corrosivo
5000 - 10000 Ω.cm	Ligeramente corrosivo
> 10000 Ω.cm	Muy ligeramente corrosivo

Fuente: (Corrosión y protección metálicas, 1991)





Por otra parte, los análisis de químicos de sales realizados sobre el terreno, se observaron concentraciones que superan los 10,000 ppm y la concentración de cloruros se encuentran en un rango de 3,000 ppm, lo que hace que la incremente la característica agresiva del terreno.

Tabla 3

Resultados de Análisis Físico Químico del Terreno

DETALLE DE LA MUESTRA	S.S.T. (p.p.m.)	CL (p.p.m.)	SO-4
C-2 / M-3 Prof. 1.70 - 2.10 Mt	10,470.00	2,997.17	94.76

Fuente: (Análisis de suelos sales, 2011)

Tabla 4

Parámetros y Características del Suelo en Base al Contenido de Sales

Cloruros, Cl (ppm)	<100	0
	100 - 1000	-1
	> 1000	-4
Sulfatos, SO4 (ppm)	< 200	0
	200 - 300	-1
	> 300	-2
Sulfuros, S2 (ppm)	0	0
	0 - 0.5	-2
	> 0.5	-4
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO		
No agresivo		0
Débilmente agresivo		- 1 a - 8
Medianamente agresivo		- 8 a - 10
Sumamente agresivo		< - 10

Fuente: (Corrosión y protección metálicas, 1991)

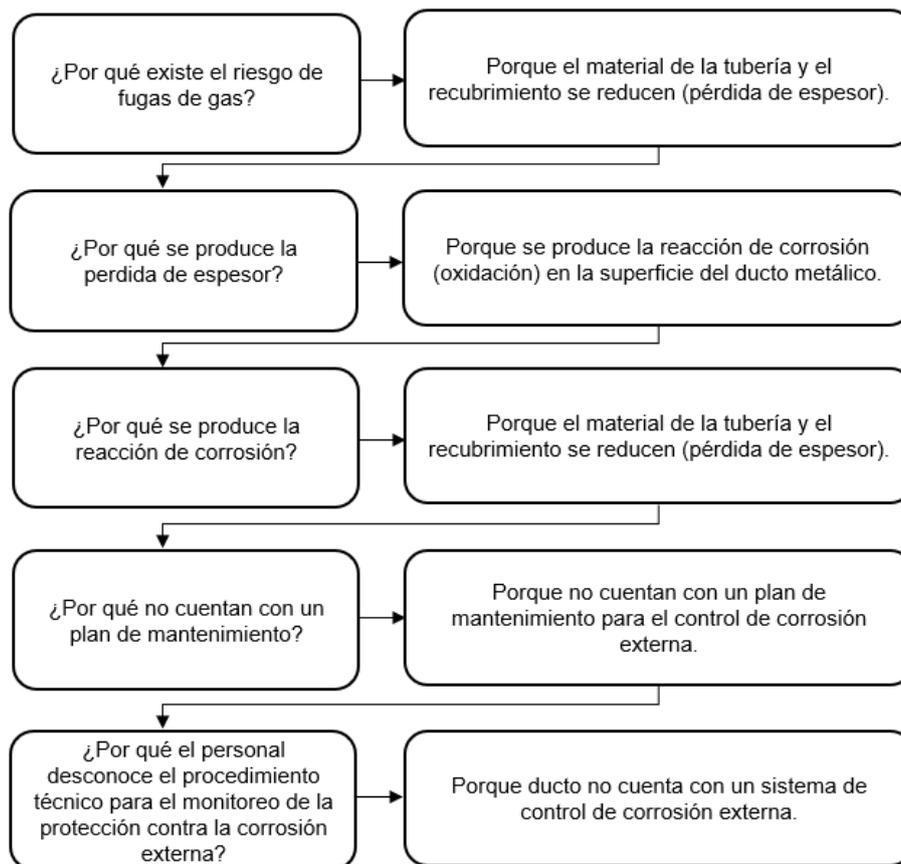




Con las condiciones del entorno expuestas, se suma el hecho de que el área de operaciones y mantenimiento no ha implementado un “Plan de Mantenimiento” que garantice el control de los niveles adecuados para controlar la corrosión externa del ducto. La falta de este procedimiento se debe principalmente, al hecho de que el ducto no cuenta con un sistema de protección catódica, lo que conlleva de que el personal desconozca los métodos adecuados para monitoreo y control.

Establecido las principales problemáticas que pueden producir daño al ducto de transporte de gas, se analiza la causa principal mediante la técnica de los “5 Porqués”:

Figura 5
Técnica “5 Porqués”



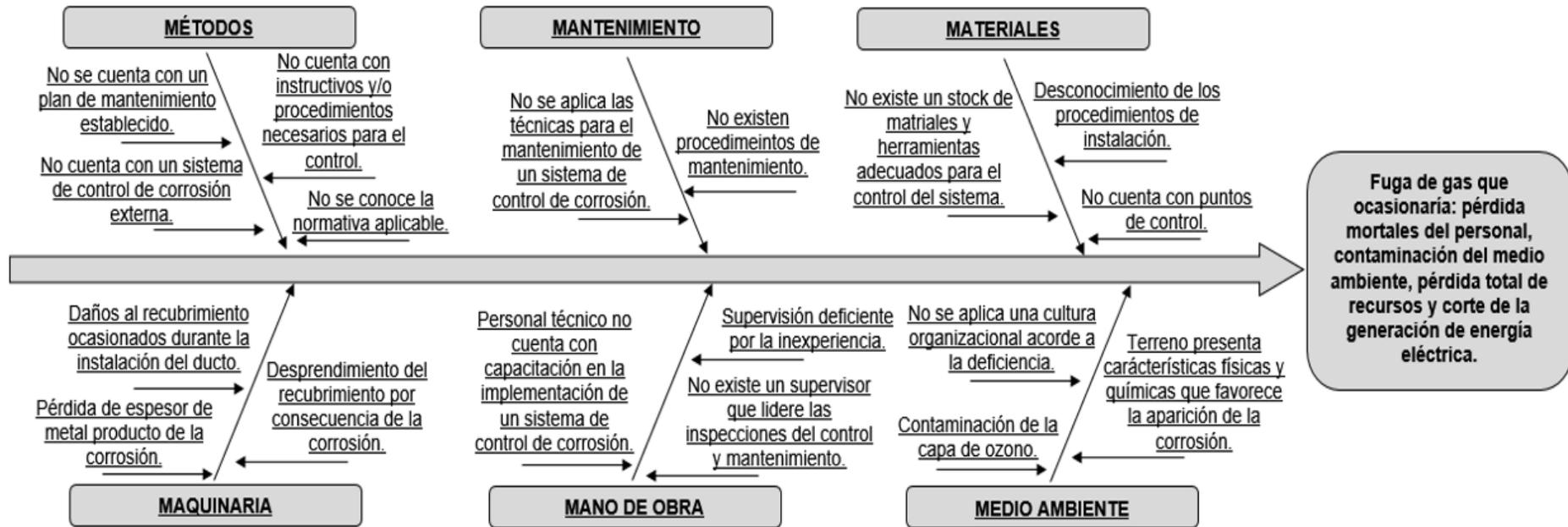
Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)





Figura 6

Diagrama de Ishikawa en Base a las 6M



Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)¹

¹ Es la forma más común en la que se desarrolla un diagrama de Ishikawa, las 6 M.





2.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En la Central Térmica Termochilca, el cual consta de la instalación de un sistema de protección catódica, para así mitigar la corrosión presente en el entorno del ducto; con la implementación de un sistema de control de corrosión externa para el ducto troncal de transporte de gas natural. ¿Se solucionaría la corrosión interna del ducto troncal?

2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.2.1. Objetivo general del proyecto

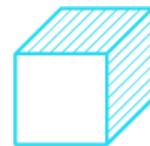
El objetivo principal es la implementación de un sistema para el control de la corrosión externa para el ducto de gas enterrada en la Central Térmica Termochilca, el cual consta de la instalación de un sistema de protección catódica, para así mitigar la corrosión presente en el entorno del ducto. Esta implementación se realizará en base a la realización de cálculos para la determinación de la cantidad de masa anódica necesaria para la protección de la superficie total del tramo de ducto enterrado.

2.2.2. Objetivos específicos del proyecto

Los objetivos específicos que se considera alcanzar con la realización del estudio son:

- a. Identificación de las características de la estructura y del terreno que tengan influencia en los cálculos de diseño.
- b. Determinar la cantidad de ánodos requeridos para controlar la corrosión.
- c. Determinar la cantidad de materiales y sus especificaciones a partir de los requerimientos del diseño.
- d. Proteger contra la corrosión externa el tramo de ducto enterrado.





- e. Establecer un plan de mantenimiento para el control y monitoreo.
- f. Capacitar al personal del área de “Operaciones y mantenimiento”.
- g. Mantener la continuidad en el proceso de producción de energía eléctrica.
- h. Garantizar la integridad del personal y equipos durante la operación causando el mínimo impacto al medio ambiente.





CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

De acuerdo a los manuales técnicos establecidos y buenas prácticas en la ingeniería, así como también las especificaciones del ducto en cuestión de estudio, se establece que el método de control de corrosión externa a implementar es un “Sistema de Protección Catódica por Corriente Galvánica”, el cual se adapta a los siguientes requerimientos: (NACE N. A., 2009)

- a. Requerimiento de corriente bajo.
- b. Baja resistividad del terreno.
- c. Longitudes menores a quinientos metros.
- d. Estructuras en ambientes On Shore.

3.1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Nacionales

La planta de fundición de Estaño operada por la empresa minería del Sur S.A. (MINSUR S.A.), ubicada en la ciudad de Pisco, Ica, alimenta sus procesos a través de un ducto enterrado de Ø3” y aproximadamente 250 metros desde su “Estación de Regulación” hasta la válvula de derivación del ducto troncal operado por Contugas S.A.C.

Dicho ducto tiene una antigüedad de 10 años desde su instalación y operación, cuenta con juntas de aislamiento eléctrico en las bridas instaladas en los extremos y un recubrimiento del tipo FBE (Fusion Bonded Epoxy), se encuentra instalado en arena típica de desierto con resistividades en el orden de 5,000 ohm por centímetro y niveles de sales no corrosivos.





Este ducto cuenta con un sistema de protección catódica por corriente galvánica, compuesto por tres capas de tres ánodos cada una, las cuales realizan la conexión al ducto a través de postes de medición o estaciones de prueba distribuidos de forma uniforme en todo el recorrido del ducto. De acuerdo a los parámetros de medición de realizados en el mantenimiento anual del año 2020 (Pipeline Integrity Perú, Informe Final de Inspección: Inspección Anual del Sistema de Protección Catódica, 2020), este sistema ha demostrado tener la suficiente capacidad para mantener los potenciales de protección catódica sobre los niveles mínimos establecidos por la norma, es decir superiores a -0.850 mV DC en Instant Off.

Cabe resaltar que la empresa Minsur S.A., desde que implementó el sistema de control de corrosión, creó y aplicó un “plan de mantenimiento”, específico para el correcto control del sistema de protección catódica y de esta forma garantizar la continuidad de la operación de sus procesos.

Antecedentes Internacionales

En Colombia, ciudad de Bogotá, se encuentra Cusiana que es el más grande yacimiento petrolífero del país, en ella opera la empresa Equion Energía Ltd., la cual se dedica a la exploración, producción, procesamiento, comercialización y transporte de hidrocarburos. Dentro de sus distintos procesos en el lote, cuenta con tanques de almacenamiento de crudo, los cuales son de 8 metros de diámetro y 14 metros de altura; estos tanques se encuentran sobre sobre puestos en un anillo de concreto, con el espacio anular relleno por arena de cantera.

En este caso, el fondo externo de la base del tanque la cual tiene contacto directo con la arena cantera cuenta con un sistema de protección catódica galvánica, compuesta por ánodos de magnesio de 20 libras distribuidos con una separación de dos metros en toda la circunferencia del fondo del tanque.





Como parte del sistema de control de corrosión y teniendo en consideración las limitaciones para el monitoreo de los puntos cercanos al medio del tanque, se han instalado electrodo de referencia permanentes para facilitar la medición de potencial en las áreas de difícil acceso.

3.1.2. Bases teóricas

Hoy en día, la fundación sin fines lucro llamada “National Association of Corrosion Engineers” o por sus siglas “NACE”, brinda a las industrias de cualquier sector las pautas y normativas para proteger a las personas, activos y medio ambiente de los efectos adversos producidos por la corrosión. Específicamente, se encuentra las normativas y procedimientos necesarios para la correcta aplicación y seguimiento de sistemas de protección catódica por corriente galvánica.

Para establecer un sistema de control de corrosión externa o sistema de protección catódica para el ducto troncal de transporte de gas natural que funcione, se realizó estudios y cálculos que permitan definir las cantidades y especificaciones de materiales necesarios para la protección, aplicándolos de forma ordenada en una metodología que permita la aplicación de cada uno de los pasos e impulse su seguimiento continuo a través del tiempo.

Toda la información y su forma de recolección previamente registrada parte desde las características de la estructura a proteger, la cual en este caso es un gasoducto de gas enterrado de las siguientes características:





Tabla 5

Especificaciones Técnicas de la Tubería de Transporte de Gas Natural

DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO	LONGITUD	MATERIAL	RECUBRIMIENTO
Acometida de Gas Natural	10 Pulgadas	135 Metros	ASTM A53/A106 Gr.B Schedule 40	Cinta Polyguard

Fuente: (NACE, 2007)

El ducto presenta en sus extremos bridas WNRF de 10 pulgadas de diámetro soldadas al metal, las cuales cuentan con juntas de aislamiento compuestas por fibras de vidrio, aglomerante de NBR de calidad superior, que permiten el aislamiento eléctricamente del resto de estructuras.

El sistema de protección catódica que se implementará, estará enmarcado en el cumplimiento de los criterios establecidos en la norma “NACE SP0169-2013 Control de Corrosión Externa en Sistemas de Tuberías Enterradas o Sumergidas” la cual establece en sus criterios (Norma NACE SP0169, 2013):

- ✓ Criterio N°1: Un mínimo de 100mV de polarización catódica. Se debe medir la formación o pérdida de la polarización para satisfacer este criterio.
- ✓ Criterio N°2: Un potencial estructura-suelo de -0.850 mV o más negativo medido con respecto a un electrodo de Cobre Sulfato de Cobre.

Los potenciales base para tomar como punto de partida son “electro-negativos” y medidos con respecto a un electrodo de Cobre/Sulfato de Cobre.

Con la información planteada, el método propuesto para la resolución del problema es método de la mejora continua o ciclo de PHVA:





Figura 7

Ciclo PHVA para la Implementación de un SPC



Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)

3.1.3. Planear – Ciclo de W. E. Deming

De acuerdo a los estudios investigados en los diversos casos de implementación de sistemas de control de corrosión en la industria Oíl & Gas, para la implementación de un sistema de protección catódica se necesita materiales específicos en base al requerimiento de corriente que presente la estructura a proteger.

Los materiales principales a considerar en general son:

Ánodos de sacrificio

El tipo de ánodo de sacrificio a seleccionar se realiza en base a la resistividad del terreno y las características químicas del suelo. Debido a que las condiciones de resistividad se encuentran sobre los 75,000 ohm.cm en promedio, se requiere una alta fuerza electromotriz para vencer la resistencia entre ánodo y la tubería. El material que posee una fuerza electro motriz alta es el Magnesio, con una diferencia de potencial





de -1.75 V DC medidos con respecto a un electrodo de cobre sulfato de cobre (Cu/CuSO₄).

Por otro lado, las dimensiones del ánodo tienen una fuerte influencia en la resistencia final, por lo que se requiere que el ánodo posea un área superficial bastante extensa para vencer la resistividad.

Las dimensiones de un ánodo de Alto Potencial de 20 libras son:

Tabla 6

Detalle del Dimensionamiento de un Ánodo de Magnesio de 20 Libras

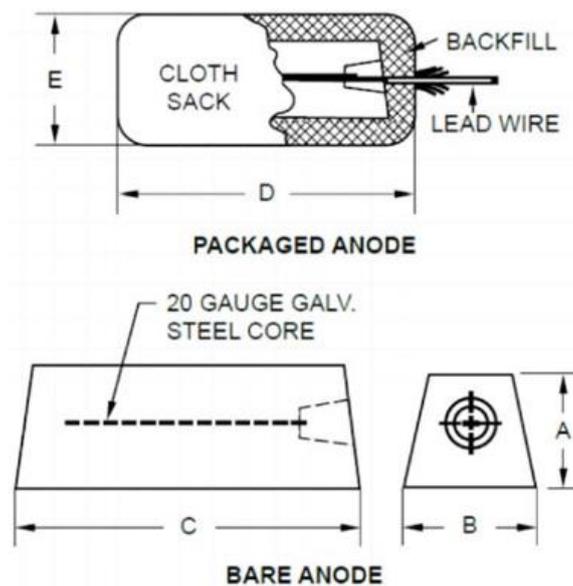
ÁNODO	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
20 Libras	51	51	1524	1588	127

Fuente: (NACE, 2007)

El detalle del dimensionamiento del ánodo se presenta en el Anexo I. De acuerdo a la ficha técnica del ánodo se establece:

Figura 8

Dimensionamiento de un Ánodo de Magnesio de 20 Libras



Fuente: (NACE, 2007)





Los cables

Las características del cable deben ser la adecuada para permitir una baja resistencia por metro lineal, además debe tener un recubrimiento el cual resista condiciones mecánicas y químicas presentes en el sitio de la instalación. Para ello se establece un cable calibre N°4 AWG, el cual posee las siguientes características:

Tabla 7

Características Técnicas del Cable N°4 AWG

CALIBRE (AWG)	DIAMETRO TOTAL SIN RECUBRIMIENTO (Pulg)	PESO APROX SIN RECUBRIMIENTO (Lbs/100Fts)	ESFUERZO DE ROTURA MÁXIMO (Lbs)	RESISTENCIA DC MÁXIMA A 20°C (Ohms/100Fts)	MÁXIMA CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMISIBLE (A)
4	0.232	128.9	1320	0.254	85

Fuente: (NACE, 2007)

De acuerdo a las concentraciones del terreno, el recubrimiento del cable debe poseer características necesarias para soportar el entorno, por ende, el tipo de recubrimiento seleccionado será el HMWPE – High Molecular Weight Polyethylene (Polietileno de Alto Peso Molecular), adecuado para el enterramiento directo en aplicaciones de protección catódica.

El backfill

Para reducir la resistencia presente del ánodo hacia el suelo, se usará un backfill de baja resistividad, el cual posee los siguientes componentes: Yeso hidratado (25), bentonita (50%) y sulfato de sodio (25%).

El yeso permite la absorción de humedad del suelo y evita que el agua se aleje de la superficie del ánodo, mientras que la bentonita impide que el agua se fragüe, haciendo la mezcla fluida para adaptarse a la superficie del suelo. El sulfato de sodio con suficiente humedad forma un conductor eléctrico que reduce la resistividad de la mezcla.





Estaciones de prueba

Para el adecuado control de los potenciales sobre el recorrido de la tubería, se deberá implementar punto de monitoreo los cuales permitan a su vez realizar la unión eléctrica entre los ánodos y la tubería.

Los puntos de monitoreo pueden consistir en una conduleta de 1 ½" en aluminio fundido conectada en forma roscada a una tubería galvanizada de 1 ½", embebida en un dado de concreto de 25 x 25 x 60 centímetros.

El conexionado de los cables se realizará mediante terminales de compresión sujetas a una baquelita aislante empotrada dentro de la conduleta.

Planteados los materiales principales que formaran la base principal del estudio, también se tiene en cuenta los tiempos de ejecución propuestos en base a la experiencia de los trabajos anteriormente realizados.

3.1.4. Hacer - Ciclo de W. E. Deming

Para la realización de los cálculos se detallará cada uno de los aspectos necesarios para la determinación de los materiales en base las siguientes fórmulas.





Tabla 8

Resumen de Fórmulas Para el Proyecto

APLICACIÓN	FÓRMULA
Requerimientos de Corriente	$I = 0.5 \frac{mA}{m^2} * At$
Cantidad de Material Anódica	$Wa = \frac{Ve * I}{0.256 * Eff * Fu}$
Resistencia del Ánodo	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{td}$
Alcance de Protección por Ánodo	$fem = V = -175 V - 0.85 V = 0.9 V$

Fuente: (Control Pipeline Corrosion, 2020)

Requerimientos de Corriente

Los cálculos del requerimiento de corriente dependen principalmente de las características del recubrimiento, la vida útil y el área a proteger del gasoducto, considerando este último como un factor de deterioro. De acuerdo a la norma “ISO 15589-1-2015 Petróleo e Industria del Gas – Protección Catódica para Sistemas de Transporte de Tuberías”, se establece que el requerimiento de corriente para una tubería con recubrimiento tipo Polyguard y una vida útil estimada de 20 años es de 0.6 mA/m².

Debido a que para el presente cálculo se considerará una vida útil de 15 años, se calcula una densidad de corriente de 0.5 mA/m², teniendo en cuenta el factor de deterioro; la fórmula es la siguiente:

$$✓ I = 0.5 \frac{mA}{m^2} * At$$

$$✓ I = 0.5 \frac{mA}{m^2} * \pi * D * L$$

Donde:





- ✓ $A = \text{Área neta superficial de la tubería en metros cuadrados.}$
- ✓ $D = \text{Diámetro externo de la tubería en metros.}$
- ✓ $L = \text{Longitud del tramo enterrado en metros.}$
- ✓ $I = 0.5 \frac{mA}{m^2} * \pi * 0.273 m * 135 m$
- ✓ $I = 57.8 mA = 0.06 A$

Considerando un factor de seguridad del 50%:

- ✓ $I = 0.06 A * 1.5$

El requerimiento de corriente es de:

- ✓ $I = 0.09 A$

Cantidad de Material Anódico

La siguiente ecuación se utiliza para determinar el material anódico mínimo, teniendo en cuenta el requerimiento de corriente y la vida útil de la tubería.

- ✓ $Wa = \frac{Ve * I}{0.256 * Eff * Fu}$

Donde:

- ✓ $Ve = \text{Vida útil de la tubería en años.}$
- ✓ $I = \text{Corriente en Amperios.}$
- ✓ $Eff = \text{Eficiencia de los ánodos.}$
- ✓ $Fu = \text{Factor de utilización de los ánodos.}$

Debido a las altas resistividades del terreno adyacente al gasoducto, los ánodos de magnesio de alto potencial son los más adecuados para





superar la resistencia del suelo. En el Anexo 1 se presenta la ficha técnica del producto. - La eficiencia de un ánodo de magnesio de alto potencial no supera el 50% y el factor de utilización se encuentra en el rango de 0.85. Para ello de la fórmula principal:

$$\checkmark \quad Wa = \frac{15 \text{ años} * 0.09 A}{0.256 * 0.5 * 0.85}$$

La cantidad de material anódico requerido es:

$$\checkmark \quad Wa = 12.4 \text{ kg} = 13 \text{ kg}$$

- Resistencia del Ánodo

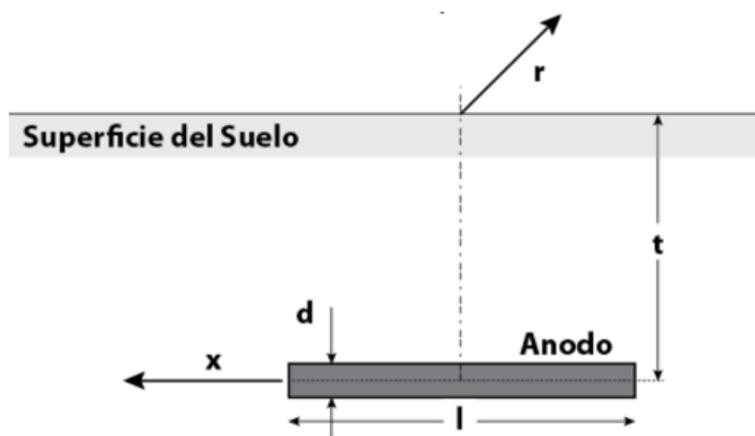
La resistencia específica individual de cada ánodo se determina a partir de las dimensiones y las características del ánodo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\checkmark \quad R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{td}$$

Donde las dimensiones se obtienen de acuerdo a la siguiente imagen:

Figura 9

Dimensiones para el Cálculo de la Resistencia



Fuente: (Control Pipeline Corrosion, 2020)





Donde:

- ✓ ρ = Resistividad promedio del terreno
- ✓ l = Longitud del ánodo
- ✓ t = Profundidad de enterramiento
- ✓ d = Ancho del ánodo

Reemplazado los valores, se obtiene la resistencia del ánodo individual:

$$✓ R = \frac{750 \Omega m}{2\pi \times 1.524 m} \ln \frac{1.524 m^2}{1.5m \times 0.05m}$$

Se obtiene una resistencia del ánodo:

$$✓ R = 268.8 \Omega$$

Como la resistencia del ánodo es demasiado alta, el alcance del mismo será limitado y la distancia entre la tubería y el ánodo deberá ser reducido, de tal manera que se garantice que la corriente que sale del ánodo puede vencer la resistencia que ofrece el terreno.

Alcance de protección por ánodo

El ánodo a instalar deberá ser capaz de permitir que la densidad de corriente requerida para la protección de la tubería sea alcanzada en todos los puntos individuales a esta.

La fuerza electromotriz presente en el sistema para superar la resistencia del ánodo es igual a la diferencia de voltaje entre la tubería y el potencial del ánodo de Magnesio:

$$✓ fem = V = -175 V - 0.85 V = 0.9 V$$

De la resistencia individual de cada ánodo, se obtiene la corriente suministrada por cada ánodo de acuerdo a la fórmula de la "Ley de Ohm"





$$✓ I = \frac{V}{R} = \frac{0.9V}{268.8\Omega} = \mathbf{0.00334 A}$$

$$✓ I = \frac{0.9V}{268.8\Omega}$$

$$✓ I = \mathbf{0.00334 A}$$

Usando los gradientes de voltaje para un ánodo horizontal (Handbook of Cathodic Corrosion Protection – Theory and Practice, 1997):

$$✓ Ur = \frac{l\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{\sqrt{t^2 + r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} + \frac{l}{2}}{\sqrt{t^2 + \left(x - \left(\frac{l}{2}\right)^2\right) + x - \frac{l}{2}}}\right)$$

$$✓ Ur = \frac{l\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{\sqrt{t^2 + \left(x + \frac{l}{2}\right)^2} + x + \frac{l}{2}}{\sqrt{t^2 + \left(x - \frac{l}{2}\right)^2} + x - \frac{l}{2}}\right)$$

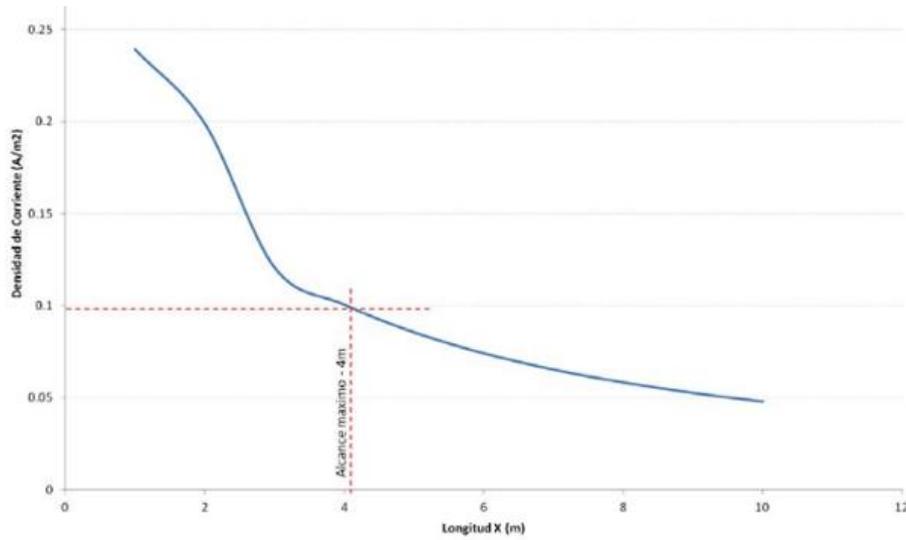
Es posible obtener una distribución de corriente a medida que el ánodo se aleja de la tubería, como se describe en el siguiente gráfico N° 1:





Figura 10

Distribución de Corriente Versus Distancia Longitudinal



Fuente: (W. Von Baeckmann, 1997)

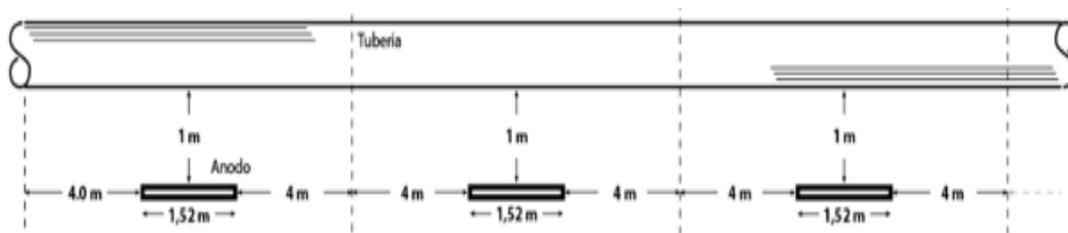
De la imagen, el alcance de un ánodo horizontal a un metro de separación de la tubería en un terreno de 75.000 ohm.cm será de cuatro metros.

Distribución de Ánodos

De acuerdo al alcance máximo de cada ánodo, la distribución de los ánodos será:

Figura 11

Distribución de Ánodos de Magnesio



Fuente: (W. Von Baeckmann, 1997)

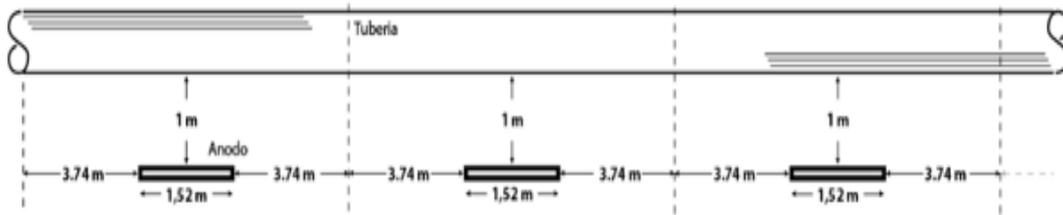




Un ánodo de magnesio cubrirá 9.52 metros de longitud de tubería, por lo que se requiere un total de 14.1 ánodos de magnesio para cubrir los 135 metros de longitud de tubería enterrada. Tomando 15 ánodos de magnesio los sectores a proteger serán de 9 metros y la separación entre los ánodos no debe superar los 3.74 metros.

Figura 12

Distribución de Ánodos a Longitud de 135 Metros de Tubería



Fuente: (W. Von Baeckmann, 1997)

Estaciones de Prueba

Para lograr un adecuado control de los potenciales y corrientes suministrada por el sistema de protección catódica, se realizará la instalación de puntos de monitoreo a lo largo del recorrido de la tubería.

A partir de la cantidad de ánodos distribuidos, tres estaciones de prueba conectando cinco ánodos sería una distribución adecuada para lograr monitoreo por potenciales y las corrientes.

3.1.5 Verificar - Ciclo de W. E. Deming

Realizados los cálculos y definidas las cantidades y características de los materiales a utilizar en la implementación del sistema de protección catódica ya se cuenta con el detalle de los materiales a utilizar.

Las cantidades y especificaciones se detallan en el siguiente cuadro, sin embargo, la eficiencia va a depender en gran parte de la correcta





instalación de los componentes que formarán parte del sistema de protección catódica por corriente galvánica:

Tabla 9
Listado de Materiales Para la Mejora

MATERIALES PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Ánodo de Magnesio de alto potencial de 20 lb - Referencia 20S2 con 2 metros de cable N°8 AWG con recubrimiento HMMWPE-HALAR	Unidad	15
2	Cable Eléctrico para enterramiento directo N°4 AWG con recubrimiento HMMWPE-HALAR	Metro	160
3	Cable Eléctrico para enterramiento directo N°8 AWG con recubrimiento HMMWPE-HALAR	Metro	45
4	Cajas metálica tipo conduleta 1 1/2" de diámetro con baquelita	Unidad	3
5	Resistencia tipo Shunt 0.1 ohms	Unidad	3
6	Tubería galvanizada de 1 1/2" de diámetro y dos metros de longitud.	Unidad	3
7	Curva galvanizada de 1 1/2" de diámetro	Unidad	3
8	Unión galvanizada de 1 1/2" de diámetro	Unidad	3
9	Empalme electrico Splice Kir 91B-1	Unidad	15
10	Perno partido KS23 para cable N°4 AWG	Unidad	15
11	Carga de soldadura exotérmica 15 gramos	Unidad	6
12	Molde de grafito con pinza	Unidad	1
13	Protector mecánico HandyCap	Unidad	6
14	Cinta de señalización color rojo leyenda: "Cable de Protección Catódica Enterrado"	Metro	160

Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)

La instalación del sistema de protección catódica por corriente galvánica parte desde las especialidades de mecánica y eléctrica, la cual consta de las siguientes actividades principales que abarcan las demás sub actividades:

Excavación





La excavación representa la actividad de mayor duración durante la instalación del sistema de protección catódica. Esta será realizada de manera mecánica con una retroexcavadora Caterpillar 420F.

La excavación debe permitir que el ánodo descansa a un metro de distancia del ducto y a la misma profundidad con respecto a su eje. Se estima que las dimensiones finales para cada ánodo serán de 20 x 200 x 20 centímetros, sin embargo, estas dimensiones dependerán de las características físicas reales al momento de la apertura de la zanja.

Instalados los ánodos de magnesio, se debe realizar el tapado con material seleccionado, previamente cernido con el objetivo de evitar que el relleno del ánodo o su cable saliente sufra daños por la presencia de rocas o algún otro material ajeno al sistema, lo cual se vería reflejado como un punto de pérdida de corriente una vez implementado el sistema.

El tapado los cables se realizarán teniendo en consideración además de la protección mecánica, la identificación o señalización de su recorrido para informar al personal cuando se realicen futuros trabajos de excavación en la zona.

Instalación de Ánodos

La bajada de los ánodos de magnesio se realizará usando una soga, teniendo cuidado de no ejercer presión sobre el cable N°8 AWHG adherido al alma del ánodo, ya que el desprendimiento de este cable resultaría en la pérdida total del material.

Antes de su instalación, la excavación será inundada con agua potable libre de contaminantes para garantizar que el terreno alrededor se encuentre húmedo para reducir la resistividad del medio y el material del backfill (sales) actúen adecuadamente sobre el ánodo.

Instalación de Cables Negativos





El cable negativo corresponde al cable que se conectará directamente al ducto y que servirán como punto de monitoreo de potenciales y puente eléctrico entre el ánodo y ducto.

La conexión del cable N°4 AWG se realizará mediante el conexionado exotérmico, siguiendo los pasos a continuación:

- ✓ Marcación del sector de recubrimiento a retirar.
- ✓ Retiro de sector de recubrimiento y limpieza del ducto hasta alcanzar metal blanco.
- ✓ Presentación de cable N°4 AWG.
- ✓ Preparación del molde de soldadura y carga de 15 gramos sobre el ducto.
- ✓ Ignición con el chispero.
- ✓ Limpieza mecánica de la escoria presente.
- ✓ Reparación del recubrimiento con epóxico 100% sólidos (anticorrosivo) y protector Handycap (protector mecánico).

Instalación de Estaciones de Prueba

Las estaciones de prueba brindan las facilidades de realizar las mediciones de los potenciales del sistema y con ello poder medir la eficiencia del mismo; de esta forma, facilita la toma de acciones necesarias ante cualquier deficiencia, propuesta de mejora o simplemente el adecuado seguimiento.

Las estaciones de prueba serán instaladas en sitios estables y donde el terreno posea un grado de compactación adecuado para soportar la estructura. La excavación se realizará de manera manual teniendo cuidado de no dañar los cables provenientes de los ánodos y ducto.





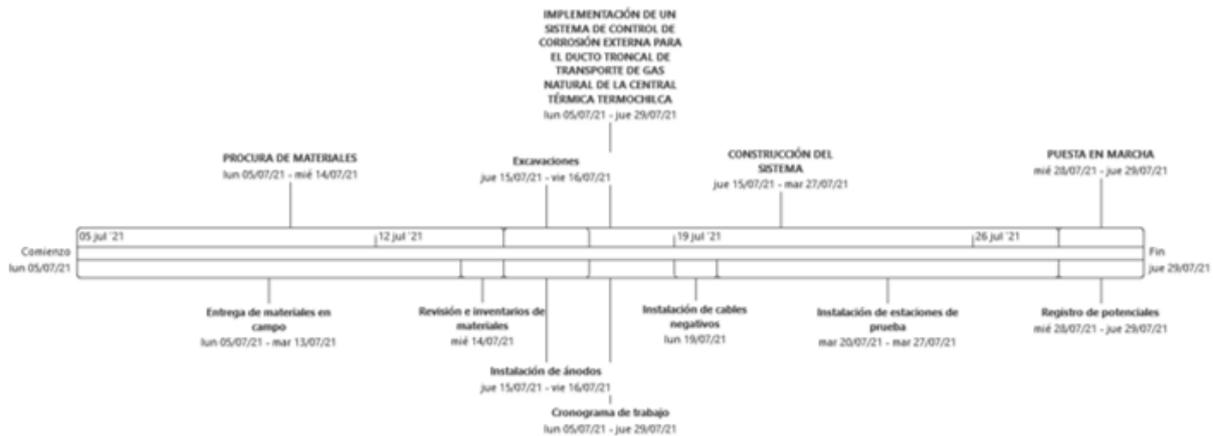
Finalmente, el detalle de la instalación de los materiales se muestra en el Anexo 4.

3.1.6. Actuar - Ciclo de W. E. Deming

Con la cantidad de materiales establecidos, definidas las actividades y basados en la experiencia de casos anteriores, se propone tiempo estimado de diecinueve laborales días, desde la procura de materiales hasta la puesta en marcha del sistema.

Tabla 10

Línea de Tiempo Propuestos Para la Mejora



Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)²

Finalmente, implementado el sistema, se deberá realizar la puesta en marcha del mismo, y de esta forma validar la información estudiada. El procedimiento de puesta en marcha tiene como objetivo el registro de potenciales superiores a -0.850 mV DC, teniendo en consideración la instalación de interruptores de corriente que permitan el registro de los potenciales en “Instant Off”. Para que esto ocurra, se instalan

² El detalle del cronograma de trabajo se muestra en la sección de resultados.





interruptores sincronizados con GPS en cada uno de las estaciones de prueba, conectados en serie con cada cable de la cama de ánodos. Con un equipo del tipo “Registrador de Datos”, se registrarán los datos en intervalos de tiempos de 0.5 a 1.5 segundos de manera continua. Si los potenciales registrados en el segundo “0.5” son superiores de a -0.850 mV DC en las tres estaciones de prueba, se podrá garantizar el ducto enterrado se encuentra protegido contra la corrosión externa.³

Siguiendo los lineamientos establecidos en el Decreto Supremo 081-07 el cual indica que:

- ✓ Se deberá implementar los criterios técnicos de acuerdo a la norma NACE SP0169. (DECRETO SUPREMO 081, 2007)
- ✓ Se deberá instalar suficientes puntos de medida de potencial en el ducto para monitorear periódicamente el funcionamiento del sistema de protección catódica. (DECRETO SUPREMO 081, 2007)

Y la norma NACE SP0169-2013.

Se deberá documentar la eficacia de la protección catódica. (Norma NACE SP0169, 2013)

- ✓ Se deberá realizar el registro del desempeño histórico del sistema de protección catódica, principalmente los potenciales y corriente para así evaluar la coherencia descendente al largo del tiempo. (Norma NACE SP0169, 2013)
- ✓ Se implementará un “Plan de Mantenimiento del Sistema de Protección Catódica por Corriente Galvánica” el cual brindará las

³ El procedimiento base para la puesta en marcha se detalla en el Anexo N° 2.





acciones a seguir para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, el cual muestra además de las practicas los periodos de su realización.

Tabla 11

Cuadro Resumen del Plan de Mantenimiento

DESCRIPCIÓN DE LA FACILIDAD	CANTIDAD	FRECUENCIA DEL MANTENIMIENTO
Ánodos de Magnesio	15	Mensual
Juntas de aislamiento eléctrico	2	Mensual
Estaciones de prueba	3	Semestral
Registro de potenciales	1	Mensual
Evaluación del recubrimiento	1	Anual

Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)

En el Anexo N° 3 se detalla el “Plan de mantenimiento del sistema de protección catódica por corriente galvánica”.

3.1.7. Bases normativas

Para la realización de lo cálculos y la identificación de los materiales necesarios para la implementación del sistema se tuvo en consideración las siguientes normativas y fuentes académicas:

- ✓ Norma NACE SP-0169-13, “Control de Corrosión Externa en Sistemas de Tuberías Metálicas Enterradas o Sumergidas”.
- ✓ Norma ISO-15589-1 “Industrias del Petróleo y Gas Natural – Protección Catódica”.
- ✓ Norma NACE SP-0286-07, “Aislamiento Eléctrico de Tuberías Protegidas Catódicamente”.
- ✓ Libro: A.W. Peabody. “Control de Corrosión de Tuberías, Capítulo 5. Métodos de Levantamiento y Técnicas de Medición”.





- ✓ Osinergmin, Decreto Supremo 081-07 EM, “Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos”.

3.2. CONCLUSIONES

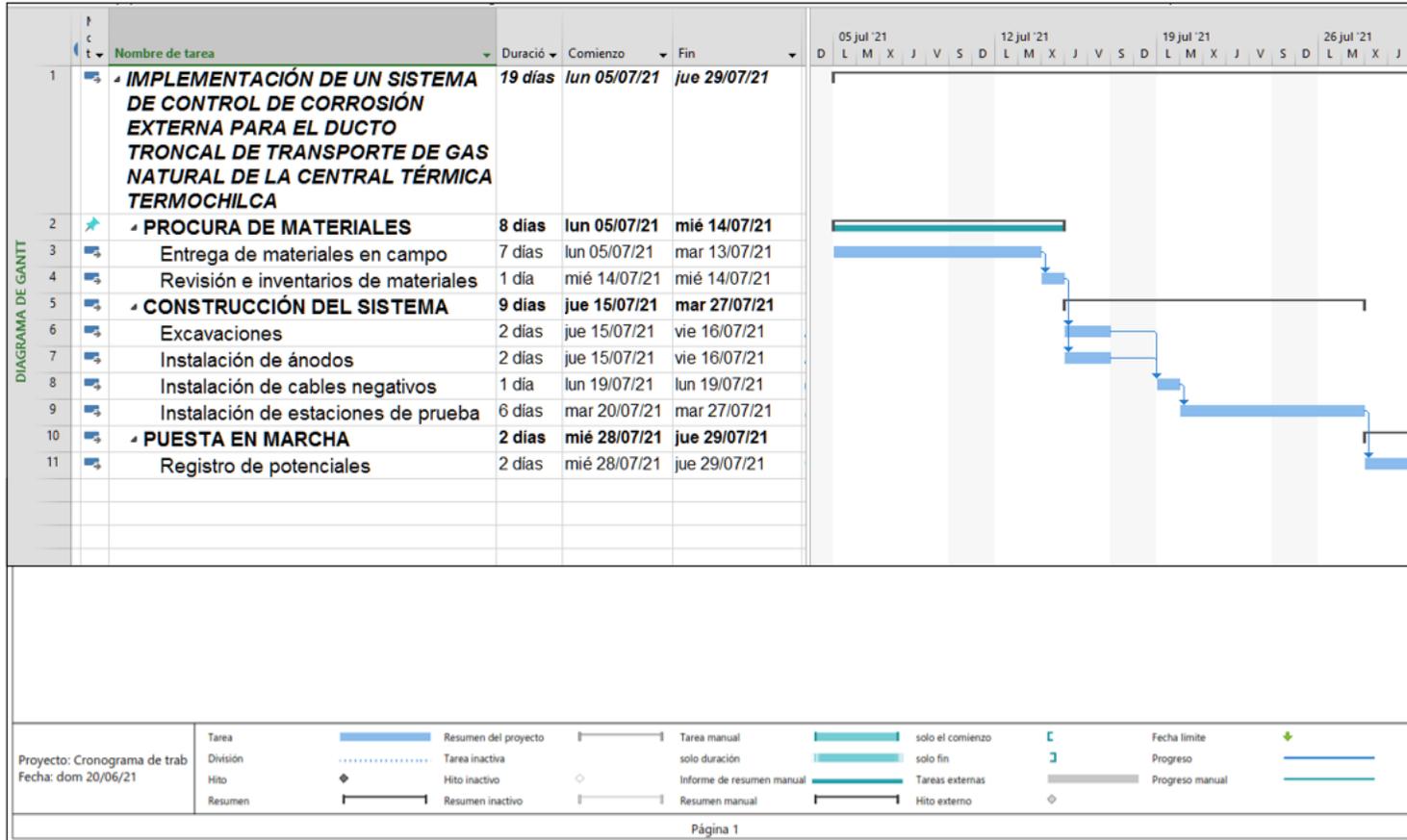
- ✓ El terreno que tiene contacto directo con el ducto presenta características altamente corrosivas.
- ✓ Los cálculos realizados permiten determinar las cantidades y características técnicas del material a utilizar en la implementación del sistema de protección catódica.
- ✓ El criterio para la selección de ánodo de Magnesio fue su mayor potencial con respecto a otros materiales.
- ✓ El sistema de protección catódica únicamente se encarga de proteger los puntos de metal expuestos causados por daños en el recubrimiento.
- ✓ Las estaciones de prueba son los únicos puntos accesibles para el monitoreo del sistema de protección catódica.
- ✓ El material seleccionado es resistente a las características químicas (contenido de sales) del terreno.
- ✓ El plan de mantenimiento brinda los lineamientos técnicos e intervalos de tiempos para el adecuado control.
- ✓ La aplicación de las actividades se realizará de acuerdo al cronograma de trabajo del proyecto.
- ✓ Los costos asociados al proyecto tienen un fundamento de ahorro para la empresa, dado a la factibilidad que se espera como resultado.





Tabla 12

Cronograma del Proyecto de Mejora



Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)





Tabla 13

Presupuesto del Suministro de Materiales

SUMINISTRO DE MATERIALES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA				
DESCRIPCIÓN				
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLAR)	COSTO TOTAL (DÓLAR)
CAMA ANÓDICA				
Ánodos de Magnesio de alto	UNIDAD	15	\$ 45.00	\$ 675.00
Cable N°4 AWG HMWPE Colector	METRO	160	\$ 1.60	\$ 256.00
Split Bolt (pernos partidos)	UNIDAD	15	\$ 3.00	\$ 45.00
Split Kit	UNIDAD	15	\$ 35.00	\$ 525.00
ESTACIÓN DE PRUEBA				
Conduleta	UNIDAD	3	\$ 30.00	\$ 90.00
Pernera de Cobre	UNIDAD	3	\$ 6.00	\$ 18.00
Shunt	UNIDAD	3	\$ 19.00	\$ 57.00
Aislador Portabarra de resina	UNIDAD	6	\$ 1.00	\$ 6.00
Baquelita 0.25 m2	UNIDAD	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Tubo Galvanizada 1 1/2"	METRO	3	\$ 18.00	\$ 54.00
Curva Galvanizada 1 1/2"	KILOGRAMO	3	\$ 25.00	\$ 75.00
Unión Galvanizada 1 1/2"	KILOGRAMO	3	\$ 9.00	\$ 27.00
CABLES NEGATIVOS				
Cable N°8 AWG HMWPE	METRO	45	\$ 1.20	\$ 54.00
Molde de grafito para cable AWG	UNIDAD	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Cartuchos de soldadura	UNIDAD	6	\$ 0.90	\$ 5.40
Chispero	UNIDAD	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Handycap	UNIDAD	1	\$ 19.00	\$ 19.00
Kit epóxico 100% sólidos	KIT	1	\$ 25.00	\$ 25.00
MISCELÁNEOS VARIOS				
Cinta masking tape	UNIDAD	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Cinta aislante	UNIDAD	5	\$ 8.00	\$ 40.00
Cinta autofundente	UNIDAD	3	\$ 14.00	\$ 42.00
Cinta de enterramiento	METRO	250	\$ 0.05	\$ 12.50
Cintillos	PAQUETE	3	\$ 9.00	\$ 27.00
Pintura tráfico	GALÓN	2	\$ 20.00	\$ 40.00
Tinner	LITRO	1	\$ 7.00	\$ 7.00
			\$	2,178.90

Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)





Tabla 14
Presupuesto de la Construcción

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA				
DETALLE	COSTO UNIT USD	CANTIDAD	CANT DIAS	COSTO TOTAL U SD
MOVILIZACIÓN DE MATERIALES				
Transporte Puerto Callao - Termochilca	\$ 1,200.00	1	1	\$ 1,200.00
PERSONAL				
Especialista en Protección Catódica	\$ 85.00	1	1	\$ 85.00
Técnico en Protección Catódica	\$ 50.00	1	19	\$ 950.00
Ingeniero Residente	\$ 35.00	1	19	\$ 665.00
Operarios	\$ 12.00	3	19	\$ 684.00
HABILITACIONES				
Prueba molecular Covid-19	\$ 70.00	6	1	\$ 420.00
Exámen Médico Ocupacional	\$ 100.00	6	1	\$ 600.00
SCTR	\$ 80.00	1	1	\$ 80.00
Elementos de Protección Personal	\$ 350.00	3	1	\$ 1,050.00
INSUMOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
Retroexcavadora	\$ 350.00	1	9	\$ 3,150.00
Cisterna de Agua	\$ 500.00	1	1	\$ 500.00
Allegro MX	\$ 2.95	1	5	\$ 14.74
Interruptor Corriente	\$ 2.95	1	5	\$ 14.74
Detector Gas	\$ 1.68	1	5	\$ 8.42
Localizador Tubería	\$ 2.95	1	5	\$ 14.74
Radiofrecuencia	\$ 1.68	1	5	\$ 8.42
Multímetro Digital	\$ 1.68	1	5	\$ 8.42
GPS Garmin	\$ 1.68	1	5	\$ 8.42
Pinza Amperimétrica	\$ 1.68	1	5	\$ 8.42
Mochila Dispersador Agua	\$ 1.26	1	5	\$ 6.32
Electrodo Cu/CuSO4	\$ 1.26	1	5	\$ 6.32
Pala	\$ 6.00	6	1	\$ 36.00
Pico	\$ 9.00	6	1	\$ 54.00
Barrete	\$ 15.00	2	1	\$ 30.00
Carretilla	\$ 25.00	6	1	\$ 150.00
Piedra Chancada	\$ 2.00	2.52	1	\$ 5.04
Cemento	\$ 3.00	1.05	1	\$ 3.15
Arena	\$ 1.50	1.68	1	\$ 2.52
ADMINISTRATIVOS				
Implementación de Comedor	\$ 1,300.00	1	1	\$ 1,300.00
Alimentación	\$ 25.00	6	19	\$ 2,850.00
Servicios Higiénicos	\$ 600.00	1	1	\$ 600.00
Mantenimiento de los servicios	\$ 450.00	1	1	\$ 450.00
				\$ 14,963.66

Fuente elaboración propia: (Ponte Mimbela, 2021)





3.3. RECOMENDACIONES

- ✓ Cumplir con las técnicas y en los intervalos de tiempos propuestos en el plan de mantenimiento.
- ✓ Llevar una bitácora de todos los registros de medición realizados.
- ✓ Si se va a agregar o expandir el tramo de ducto enterrado, se deberá realizar unos nuevos cálculos de diseño.
- ✓ Capacitar y entrenar al personal del área de mantenimiento en sistemas de control de corrosión, haciendo principal énfasis en sistemas de protección catódica.





CAPITULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

Andrade, C., & Feliu, S. (1991). *Corrosión y protección metálicas*. Madrid: Raycar S.A.

C.T. Termochilca. (2021). *Central Térmica Termochilca*. Obtenido de www.termochilca.com: www.termochilca.com

Caruso, N. (2003). Nicolas Caruso, Estudios Sectoriales-Componentes: Gas Natural y Derivados. *Componentes: Gas Natural y Derivados*. Buenos Aires, Argentina.

E.I.R.L., P. I. (2020). *Pipeline Integrity Perú, Informe Final de Inspección: Inspección Anual del Sistema de Protección Catódica*. Pisco, Ica.

Engineers, N. A. (2013). Norma NACE SP0169. *Norma NACE SP0169*. Texas, U.S.A.

Montero, G. y. (2013). *Graña y Montero, Estudio de Resistividad del Terreno CT Termochilca*. Lima.

NACE. (2007). En N. A. Engineers, *NACE, Manual de Protección Catódica Nivel 2 - CP2* (pág. 21). Texas, U.S.A.

NACE, N. A. (2009). Manual de Protección Catódica Nivel 4 - Especialista. En NACE, *Manual de Protección Catódica Nivel 4 - Especialista*. Texas, U.S.A.

Osinermin. (1999). Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural. Lima, Perú.

OSINERGMIN. (2007). DECRETO SUPREMO 081. *REGLAMENTO DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS POR DUCTOS*. LIMA.

Peabody's, A. W. (2020). *Control Pipeline Corrosion*. U.S.A.: 2° Edition.

Perú, E. (2021). www.electroperu.com.pe. Obtenido de www.electroperu.com.pe.





Ponte Mimbela, V. (2021). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII - Para optar el título de Ingeniero Industrial. *TSP*. Chilca, Perú, Lima: Electrónico&Digital.

UNAM. (2011). *Análisis de suelos sales*. Lima.

W. Von Baeckmann, W. S. (1997). *Handbook of Cathodic Corrosion Protection – Theory and Practice*.

www.calidda.com.pe. (2021). *CALIDDA-ENERGIA*. Obtenido de
www.calidda.com.pe.





CAPITULO V

GLOSARIOS DE TERMINOS

- ✓ **ÁNODO:** Electrodo de una celda electroquímica en el que tiene lugar la corrosión.
- ✓ **CÁTODO:** Electrodo de una celda electroquímica donde tiene lugar la reacción de reducción.
- ✓ **CENTRAL TÉRMICA:** Planta industrial donde se aprovecha la energía mecánica generada por un combustible, para generar energía eléctrica.
- ✓ **CINTA POLYGUARD:** Revestimiento que se utiliza para proteger ductos enterrados, cuya función proporcionar protección anticorrosiva, aislando el metal del terreno.
- ✓ **CORROSIÓN:** Deterioro de un metal generalmente resultante de la reacción con su medio ambiente.
- ✓ **DATALOGGER:** Computadora de campo que permite registrar y almacenar datos de campo, para después representarlos en gráficos explicativos.
- ✓ **ELECTRODO DE REFERENCIA:** Accesorio con un potencial estable y definido que se toma como referencia para medir los potenciales de otros metales con respecto a su entorno.
- ✓ **ELECTRODO DE CU/CUSO₄:** Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre con un potencial estable que sirve para medir potenciales en estructuras enterradas.
- ✓ **ERPM:** Estación de Regulación Principal.
- ✓ **FBE:** Recubrimiento epóxico que se utiliza para proteger estructuras expuestas a temperaturas superiores al ambiente (moderadas).
- ✓ **Fuerza electromotriz:** Diferencia de potencial o resultante de la unión física de dos metales de distinto potencial.





- ✓ **GAS NATURAL:** Combustible limpio utilizado como principal fuente para el funcionamiento de procesos en los distintos tipos de industria.
- ✓ **HMWPE:** Recubrimiento de Alto Peso Molecular de Polietileno utilizado en cables para enterramiento directo en terrenos con condiciones físicas y químicas consideradas agresivas.
- ✓ **JUNTA DE AISLAMIENTO:** Material dieléctrico que evita el contacto eléctrico entre ambos lados de una brida.
- ✓ **MÉTODO WENNER:** Método utilizado para medir la resistividad de un terreno desde la aplicación de una corriente alterna.
- ✓ **OEFA:** Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental encargado de fiscalizar, supervisar, evaluar, controlar, sancionar y aplicar incentivos en el ámbito de su competencia.
- ✓ **ON SHORE:** Costa adentro. Hace referencia a estructuras que se encuentran fuera del entorno marino (Off Shore).
- ✓ **OSINERGMIN:** Organismos Supervisor de la Inversión de Energía y Minas encargado de la supervisión de las empresas enfocadas en el rubro eléctrico y de hidrocarburos.
- ✓ **POTENCIAL “INSTANT OFF”:** Potencial en el instante de despolarización de un ducto con protección catódica.
- ✓ **RESISTIVIDAD:** Condición de resistencia para el paso de la corriente que presente un material.
- ✓ **SHUNT:** Resistencia calibrada con un determinado Voltaje y Amperaje.
- ✓ **SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA:** Técnica utilizada para controlar la corrosión externa de una estructura expuesta en un entorno agresivo para el metal.
- ✓ **SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE GALVÁNICA:** Técnica utilizada para el control de la corrosión externa a partir desde el principio de la conexión de un metal activo y un metal menos activos, siendo el primero donde se producirá la reacción de oxidación.





CAPITULO VI

ANEXOS

Anexo 1

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 1

Impressed Current, Linear, Sacrificial / Galvanic Anodes, and Accessories

MAGNESIUM ANODES
Corpro® High Potential Cast Magnesium Anodes

Delivering Superior Protection
Power in galvanic cathodic protection is generated by the anode. With Corpro's line of high potential anodes, you get the most powerful protection available today. Cast from high-purity magnesium, these anodes produce an open circuit potential of 1.75-1.77 volts, which is 20-30 percent greater than conventional magnesium anodes. This high driving voltage means greater protection can be delivered from fewer anodes. Efficiency of the anode is enhanced even further when installed in a backfill of 75% gypsum, 20% bentonite, and 5% sodium sulfate. This special mixture lowers anode-to-earth resistance, and allows electrical current to flow more easily to the targeted structure.

Corpro certified high potential anodes are manufactured according to strict quality control standards. Each production run of high potential anodes is subject to G-97 analysis. This ensures the anodes you purchase will perform as specified.

Chemical Composition	
Element	Content %
Al	0.010
Mn	0.50 to 1.30
Cu	0.02 max
Ni	0.001 max
Fe	0.03 max
Other	0.05 each or 0.3 max Total
Magnesium	Remainder

Applications
High potential anodes can be used to protect most buried metallic structures found in a range of soil resistivities. Because they produce a higher driving voltage than conventional magnesium anodes, they are ideally suited for structures buried in soils with resistivities in excess of 2,000 ohm-cm, or containing numerous corrosion "hot-spots".

Ordering Procedure
Certified high potential anodes are manufactured in a variety of dimensions and weights. To order the required anode for your structure, indicate that you need high potential magnesium anodes, and specify the quantity desired, the anode type, and whether they should be packaged or bare. The anodes are shipped standard with 10 ft - #12 solid TW lead wire unless otherwise specified. An example is provided to illustrate this process.

Ordering Procedure Example	
Quantity	200
Anode Material	High Potential Magnesium
Anode Type	17S3
Packaging Bare or Packaged	Packaged
Wire: Length 10 ft = Standard	10 ft
Size: #12 Solid = Standard	#12 AWG
Insulation: TW = Standard	TW

Anodes and Accessories

1 - 866 - 267 - 7776

3

Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 2

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 2

WWW.CORRPRO.COM
1-866-CORRPRO

corrpro®

Anodes and Accessories

Anode Type	Nominal Dimensions										Nominal Weight			
	"A"		"B"		"C"		"D"		"E"		BARE		PKGD.	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	lbs	kg	lbs	kg
3S3	3	76	3	76	4.5	114	6.5	165	6	152	3	1.4	9	4.1
5S3	3	76	3	76	7.5	191	13.5	343	6	152	5	2.3	14	6.4
9S2	2	51	2	51	27	686	31	787	5	127	9	4.1	36	16.3
9S3	3	76	3	76	13.5	343	17	432	6	152	9	4.1	24	10.9
17S2	2	51	2	51	51	1295	55	1397	5	127	17	7.7	61	27.7
17S3	3	76	3	76	25.5	648	30	762	6	152	17	7.7	42	19.1
20S2	2	51	2	51	60	1524	62.5	1588	5	127	20	9.1	70	31.8
32S3	3	76	3	76	45	1143	61	1549	6	152	32	14.5	90	40.8
32S5	5	127	5	127	21	533	30	762	8	203	32	14.5	70	31.8
40S3	3	76	3	76	60	1524	64	1626	6	152	40	18.1	105	47.6
48S5	5	127	5	127	31	787	34	864	8	203	48	21.8	96	43.6
60S4	4	102	4	102	60	1524	64	1626	6.75	171	60	27.2	130	59.0

High Potential Cast Magnesium Anodes

PACKAGED ANODE

BARE ANODE

1-866-267-7776

4

Fuente: (Corrpro, 2021)





Anexo 3

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 3

CABLE, WIRE, AND SPLICING

Cable, Wire, Splicing Materials, Bonding Materials, and Accessories

CABLE
Corpro® HALAR® Direct Burial Cable

Protection for the Harshest Environments
Cathodic protection stops corrosion attack on metallic structures by making a complete electrical circuit. To create a system with high circuit reliability it is important to use a lead wire cable which is rugged enough to withstand the most severe environments. HALAR is just such a cable. It is composed of stranded copper wire covered by two layers of insulation. The outer insulation layer, or protective jacket, is made from high molecular weight polyethylene (HMWPE). It exhibits superior dielectric and tensile strength, and provides mechanical protection to the wire. The material is also resistant to water intrusion. The inner or primary insulation is composed of HALAR, a fluorocopolymer. This insulating material demonstrates exceptional chemical resistance. In the presence of chlorine, hydrochloric acid, sulfuric acid or other strong oxidizing agents, the material remains stable. Further, it will not deteriorate when exposed to petroleum hydrocarbons which are encountered in numerous cathodic protection applications.

The HALAR cable distributed by Corpro is made specifically for cathodic protection applications. It can withstand considerable abuse during installation

without risk of damage. Prior to applying the two insulation layers, the copper wire on the HALAR cable is coated with tin. This prevents oxidation from occurring on the wire strands and ensures good electrical conduction over the life of the cathodic protection system.

Applications
HALAR cable is designed for making anode lead connections in a wide range of environments. Due to its dual insulation construction, it can be installed directly in native soils or submerged in fresh, brackish or salt waters. The cable is ideal for deep anode bed installations where chlorine and oxygen gases are generated. The HALAR cable will not embrittle at temperatures as low as -105°F (-76°C), and will maintain dimensional stability and dielectric strength at temperatures up to 250°F (121°C). It is also highly resistant to notch propagation.

JACKET - HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE THICKNESS .065

TIN COATED COPPER CONDUCTOR

PRIMARY INSULATION HALAR E - CTFE FLUORO - COPOLYMER THICKNESS .020 IN

HALAR Order Information

Wire Size AWG (mm)	Number of Strands	Insulation Thickness		Jacket Thickness		Nominal O.D.	
		in	mm	in	mm	in	mm
8 (10)	7	0.020	0.508	0.065	1.651	0.35	8.89
6 (16)	7	0.020	0.508	0.065	1.651	0.38	9.65
4 (25)	7	0.020	0.508	0.065	1.651	0.43	10.92
2 (35)	7	0.020	0.508	0.065	1.651	0.49	12.45

© 2008 Corpro Companies, Inc. • All Rights Reserved

5

Cable, Wire, and Splicing

1-866-267-7776

Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 4

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 4

MALLAS A TIERRA • GROUNDING SYSTEMS

SOLDADURA ALUMINOTERMICA • THERMICAL WELDED CONNECTIONS

Soldadura • Welding Powder



SOLDADURA

- USO:** Compuesto de óxido de cobre y aluminio el cual en una reacción exotérmica permite la fundición y empalme de elementos de cobre y acero.
- EMPAQUE:** Cartucho plástico de 15 hasta 250 gms. En cajas de plástico de 10 y 20 unidades cada una.
- ADVERTENCIA:** Las cajas de soldadura deberán almacenarse en lugar seco. Para evitar su deterioro, Los cartuchos no utilizados de una caja abierta deberán empacarse, preferiblemente, y en bolsa plástica seca bien sellada y en sitio seco.

WELDING POWDER

- USE:** This is a composite powder of copper oxide and aluminum that allows welding copper and steel in an exothermically reaction us With graphite molds.
- PACKING:** Plastic cartridges of 15 to 250 gms. each. Arranged in boxes of 10 Or 20 units.
- WARNING:** The moweldpack should be stored in a dry place to avoid damage of welding powder. Cartridges from an open box must be place in a dry plastic very tightly closed.

CARGA CARTRIDGE GMS	REFERENCIA REFERENCE	CANTIDAD POR CAJA QTY PER BOX
15	IG5 015 P	20
32	IG5 032 P	20
45	IG5 045 P	20
65	IG5 065 P	20
90	IG5 090 P	10
115	IG5 115 P	10
150	IG5 150 P	10
200	IG5 200 P	10
250	IG5 250 P	10
500	IG5 500 P	10



8

Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 5

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 5



ESTACIONES DE PRUEBA PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA



ESTACIÓN DE PRUEBA PARA USO EN ÁREAS CLASIFICADAS TIPO SXGGUAAE200EP1 - NEMA 7+4X
CLASE I, DIV. 1 Y 2, GRUPOS C, D; CLASE II, GRUPOS E, F, G; CLASE III

CARACTERÍSTICAS

- ☛ Conexión para conduit de 2" por la parte inferior
- ☛ Tapa redonda roscada y gargantas internas en el acceso conduit diseñadas para evitar daños en el cableado
- ☛ Empaque o-ring para permitir la instalación de la estación a la intemperie
- ☛ Construcción robusta para trabajo pesado



USO

- ☛ Estación de prueba de protección catódica
- ☛ Conexión de celdas de referencia y ánodos
- ☛ CMP (Centro de Monitoreo de Potencial)
- ☛ Monitoreo de interferencias
- ☛ Para uso dentro y fuera de estaciones de gas, petróleo, químicos, electricidad y otros

ESTACIÓN DE PRUEBA PARA INSTALACIÓN A RAS DE PISO TIPO SBEGJ421EP2

CARACTERÍSTICAS

- ☛ Estación de prueba diseñada para ser instalada a ras de piso, con tapa roscada para abrir con llave especial
- ☛ Empaque o-ring para permitir la instalación a la intemperie
- ☛ Acceso roscado para tubería conduit de 2" en el fondo para cableado y drenaje de agua
- ☛ Para instalación a ras de piso en zonas de tráfico peatonal (no vehicular)



ACABADO

- ☛ Exterior: Pintura electrostática
- ☛ Interior: Pintura esmalte gris martillado
- ☛ Colores: Amarillo, Naranja, Rojo, Verde, Blanco y Negro
- ☛ Opcional: Otros colores
- ☛ Empaques: Neopreno
- ☛ Tornillería: Acero inoxidable

ESTACIÓN DE PRUEBA TIPO SB4EA200EP3 - NEMA 4X

CARACTERÍSTICAS

- ☛ Estación de prueba para instalación a la intemperie
- ☛ Empaque en neopreno
- ☛ Con tornillos cautivos asegurados en la tapa para fácil manipulación
- ☛ Opcional con bisagra y cierre portacandado en acero inoxidable para acceso de personal autorizado únicamente
- ☛ Placa fabricada en lámina de acero inoxidable para identificación de la estación



ROSCAS

- ☛ NPT (CÓNICA) para conexión a conduit, fabricadas de acuerdo con la norma ANSI/ASME B1.20.1.

CONSTRUIDAS DE ACUERDO CON LAS NORMAS

- ☛ NEMA 7 / NEMA 4X
- ☛ UL 1203 Electrical Equipment for use in Hazardous (Classified) Locations
- ☛ NTC 3229 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA Electrotécnica. Cajas y accesorios que se utilizan en sitios clasificados como de alto riesgo
- ☛ NEC Art. 500-503 National Electrical Code
- ☛ RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

Derechos Reservados © TECNA - Cra. 32 No. 228 - 46 - Tel: (57-1) 363 4011 - Fax: (57-1) 363 0099 - 01900 3318326 - Email: servicioalcliente@tecna.com.co - Bogotá D.C. Colombia / Sur América

Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 6

Ficha Técnica de los Materiales 1 de 6

Empalmes para Baja Tensión

Empalme 91-B-1



Empalme 91-B-1
Empalme con una derivación aislado en resina

Puede ser usado en sistemas eléctricos hasta 1.000 V., protege efectivamente contra la humedad. Utiliza la resina Scotchcast™ No. 4407. El juego incluye conectores y material para 2 ó 4 empalmes, molde en PVC y CINTA 23 ó 130C para sellar salida de los cables evitando la fuga de resina líquida. Energizable de inmediato.



Stock Number	Rango de Operación	Re f.	Unidades empaque
LE-0000-0580-7	8-14 DER. 6-20 AWG	91B 1x2	1 Juegox2
LE-0000-0581-5	8-14 DER. 6-20 AWG	91B 1x4	1 Juegox4

Empalme 91-B-2



Stock Number	Rango de Operación	Re f.	Unidades empaque
LE-0000-0651-6	12-N*1 6-300 MCM	91B 2x2	1 Juegox2

Juego Sello de Ductos 4416



El sistema para sellado de ductos referencia 4416 de 3M está diseñado para construir una obturación que evite la entrada de lodo, agua, roedores y demás elementos a los que puede quedar sometido un ducto ya sea que esté ocupado con cables eléctricos, telefónicos ó de fibra óptica. El kit de sellado de ductos se compone de cuatro bolsas de resina expandible de Poliuretano referencia 4411A, cuatro tubos plásticos de 30 cms, 4.5 metros de fibra Scotchbrite, 1.8 metros de espuma de Poliuretano amarilla y un instructivo de aplicación.

Características Técnicas

El sistema de sellado de ductos se especifica para sellar los ductos telefónicos ó eléctricos especialmente cuando tienen cable instalado. El sello se basa en resina expansible de Poliuretano referencia 4411A de 96.3 gramos, la cual se expande entre 8 y 10 veces (795 mililitros) cuando se mezcla y aplica apropiadamente.

Usos

El sistema de sellado de ductos se utiliza para evitar la entrada de agua, lodo, gas y animales; aún estando las cámaras ó manholes inundados. Los ductos pueden estar ocupados con cables ó vacíos. Cada kit de cuatro juegos contiene material para sellar hasta cuatro ductos de cuatro pulgadas de diámetro.

Stock Number	Referencia	Unidades empaque
LE-0000-0754-8	Juego Sello de Ductos 4416	1 Juego x 4



Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 7

Procedimiento de Puesta en Marcha 1 de 1

5. PROCEDIMIENTO		
5.1. Descripción de la Actividad		
Responsable	Descripción	Registro
Director de Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> Analizar la información de los datos recibidos. Realiza el informe con los resultados de la inspección On – Instant Off. 	
Ingeniero de Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> Coordina la logística y el recorrido de las áreas en donde se va a realizar la toma de los datos. Entregar al personal técnico ejecutor, la orden de trabajo correspondiente, con la documentación y/o formatos asociados a dicha actividad, asegurando los recursos propios y de terceros. Verificar el cumplimiento de las actividades de las órdenes de trabajo vinculadas a dichas actividades. Envía los datos previamente revisados al director de proyectos para su análisis. 	PIP-F-042 Registro de Inspección ON-OFF
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que se disponga de todos los elementos, herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo la toma de datos. Realizar la medición de potenciales On – Instant Off. 	
Director de Proyectos, Ingeniero de Proyectos, Técnico.	<p>Consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aquellos equipos que por su intervención en el proceso, que así sean definidos, deberán contar con certificado de calibración vigente. Se debe verificar que antes de iniciar los trabajos, el personal técnico ejecutor cuente con el equipo completo de seguridad aplicable, el cual podrá constar de lentes protectores, casco, uniforme de 	

Fuente: (Corpro, 2021)





Anexo 8

Procedimiento de Puesta en Marcha 1 de 2

	trabajo, zapatos con punta de acero, tapones auditivos, guantes.	
5.2. Desarrollo		
5.2.1 Registros de campo		
Responsable	Descripción	Registro
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Antes del inicio de la técnica Poste A Poste, se deberá verificar que los Sistemas de Protección Catódica que influyen sobre la estructura a inspeccionar, se encuentren operativos. 	-
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Se instalará el interruptor de corriente en serie con el cable positivo proveniente del lecho anódico. Deberá ser programado con un ciclo de interrupción determinado, guardando siempre la relación de 3 a 1. De existir más de una fuente de corriente que influya sobre la misma estructura, se instalarán interruptores de corriente y serán sincronizados mediante señal GPS. 	-
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Calibrar el electrodo de referencia. 	
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Localizar puntos a inspeccionar donde haya una facilidad metálica de conexión a la tubería. 	
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Colocar el terminal positivo (+) a la tubería o punto de contacto y el terminal negativo (-) al electrodo de referencia. 	
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Colocar el electrodo de referencia en un punto más cercano a la estructura. 	
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Registrar y/o guardar las mediciones de los potenciales On – Instant Off. 	
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> Registrar mediciones, fotografías y observaciones relevantes en la planilla correspondiente. 	
5.3. Planes de Mejora y su Seguimiento		

Fuente: (Corpro, 2021)



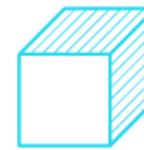


Anexo 9
Plan de Mantenimiento

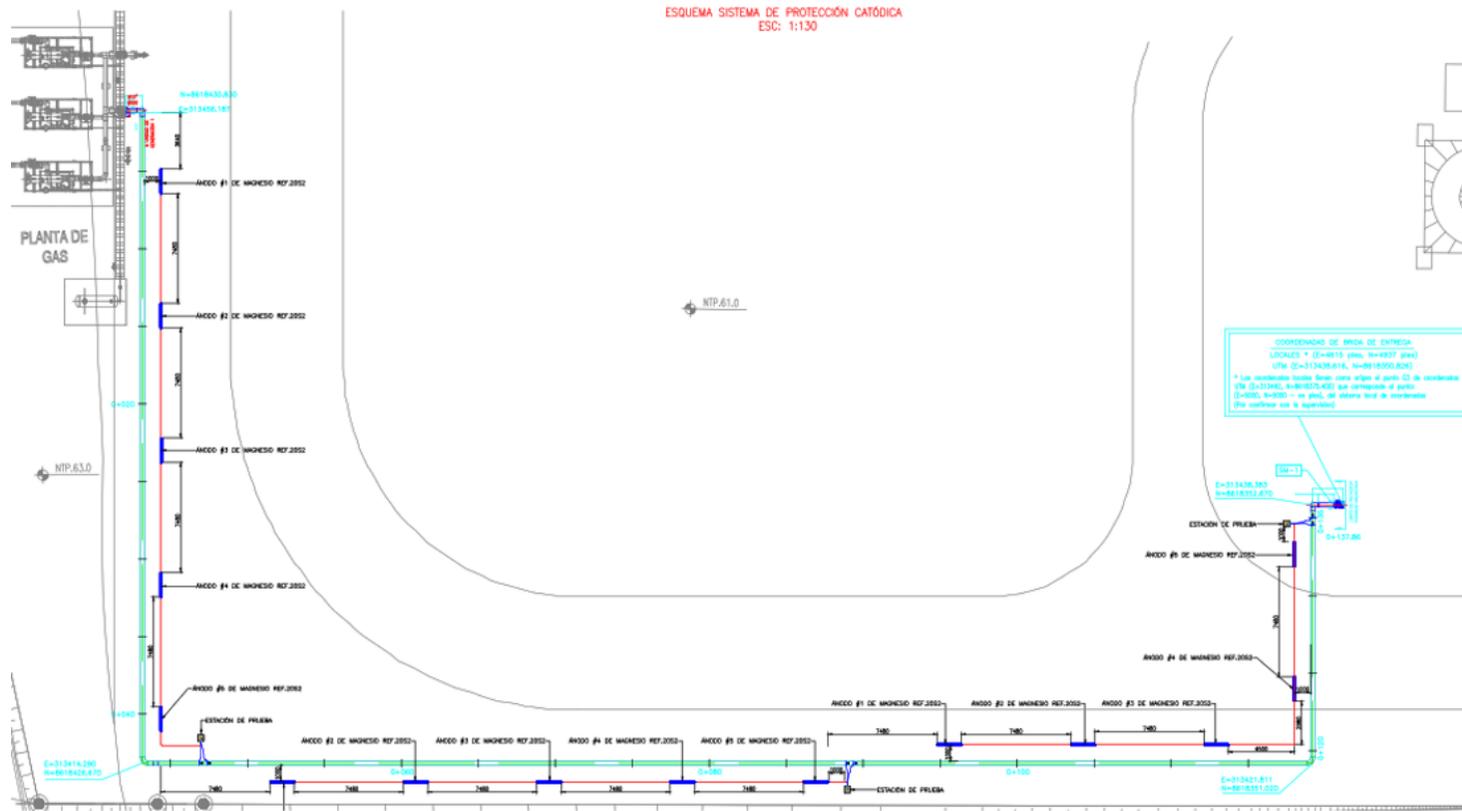
PLAN DE MANTENIMIENTO - SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE GALVÁNICA								
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA							CRITICIDAD DE EQUIPO	
UBICACIÓN	CENTRAL TERMICA TERMOCHILCA						Valor	Descripción
TIPO SPC	CORRIENTE GALVÁNICA						1	Baja
DUCTOS	GASODUCTO Ø10"						2	Media
ITEM	CANTIDAD	MARCA	MODELO	DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	
1	15	CORRPRO	MAGNESIO	ÁNODOS DE SACRIFICIO	2	Mensual	La humectación de los ánodos se realiza: • Con la ayuda de un camion cisterna empapando toda el área circundante de las camas de ánodos y ducto. • Se deberá utilizar agua libre de químicos, sales y/o contaminantes generales.	
2	02	-	-	JUNTA DE AISLAMIENTO EN BRIDA	3	Mensual	La verificación del aislamiento se realiza: • Con un equipo de radiofrecuencia (Tinker RF-IT) se verificará el nivel del aislamiento en cada una de las juntas monolíticas. Las dos pinzas del equipo deberán realizar contacto directo con el metal de cada lado de la junta respectivamente. • Con un multímetro digital, posicionando el electrodo de referencia (Cu/CuSO4) en una sola posición, se realizará el registro de potenciales a ambos extremos de la junta monolítica.	
3	03	-	TUBERÍA METÁLICA	ESTACIONES DE PRUEBA	1	Semestral	Registro de potenciales mediante la técnica Poste A Poste (PAP) se realiza: • Con un multímetro digital y un electrodo de referencia portátil (Cu/CUSO4), se realizará el registro de potenciales posicionando el electrodo de referencia en una ubicación más cercana al ducto. Esta medición de potenciales se realizará de manera puntual sobre cada una de las estaciones de prueba instaladas en la traza del ducto. Eliminación de impurezas se realiza: • Con un trapo de fibra delgada, retirar el polvo, vegetación y/o impurezas posicionadas sobre los cables, conectores y sobre la base interna de la caja. Inspección general se realiza: • Verificación de placa metálica saliente. • Verificación de estado de la pintura.	
4	01	-	-	INSPECCION Y REGISTRO DE LOS NIVELES DE POTENCIALES	3	Mensual	Registro de potenciales CIS se realiza: • Se realizará la interrupción de la fuente DC, programandose la interrupción On y Off en un intervalo de 3 a 1. • Con un Datalogger y un electrodo de referencia portátil (Cu/CUSO4), se realizará el registro de potenciales On-Instant Off con una separación no mayor a 1.5 metros entre puntos de medición. Los datos serán guardados en una tabla excel para su posterior representación gráfica. • El conexionado negativo se realizará en la estación de prueba más próxima al sector de medición.	
5	01	-	-	INSPECCION DEL ESTADO RECUBRIMIENTO	3	Anual	Inspección del estado de recubrimiento se realiza: • Se realizará la interrupción del rectificador (fuente DC), programandose la interrupción On y Off en un intervalo de 1 a 3. • Con un galvanómetro DCVG se realizará la inspección en todo el recorrido de la traza con el objetivo de detectar indicaciones y/o fallas en el recubrimiento, que pudieran causar puntos de corrosión.	

Fuente elaboración propia:





Anexo 10
Esquema del sistema y Detalles de Instalación



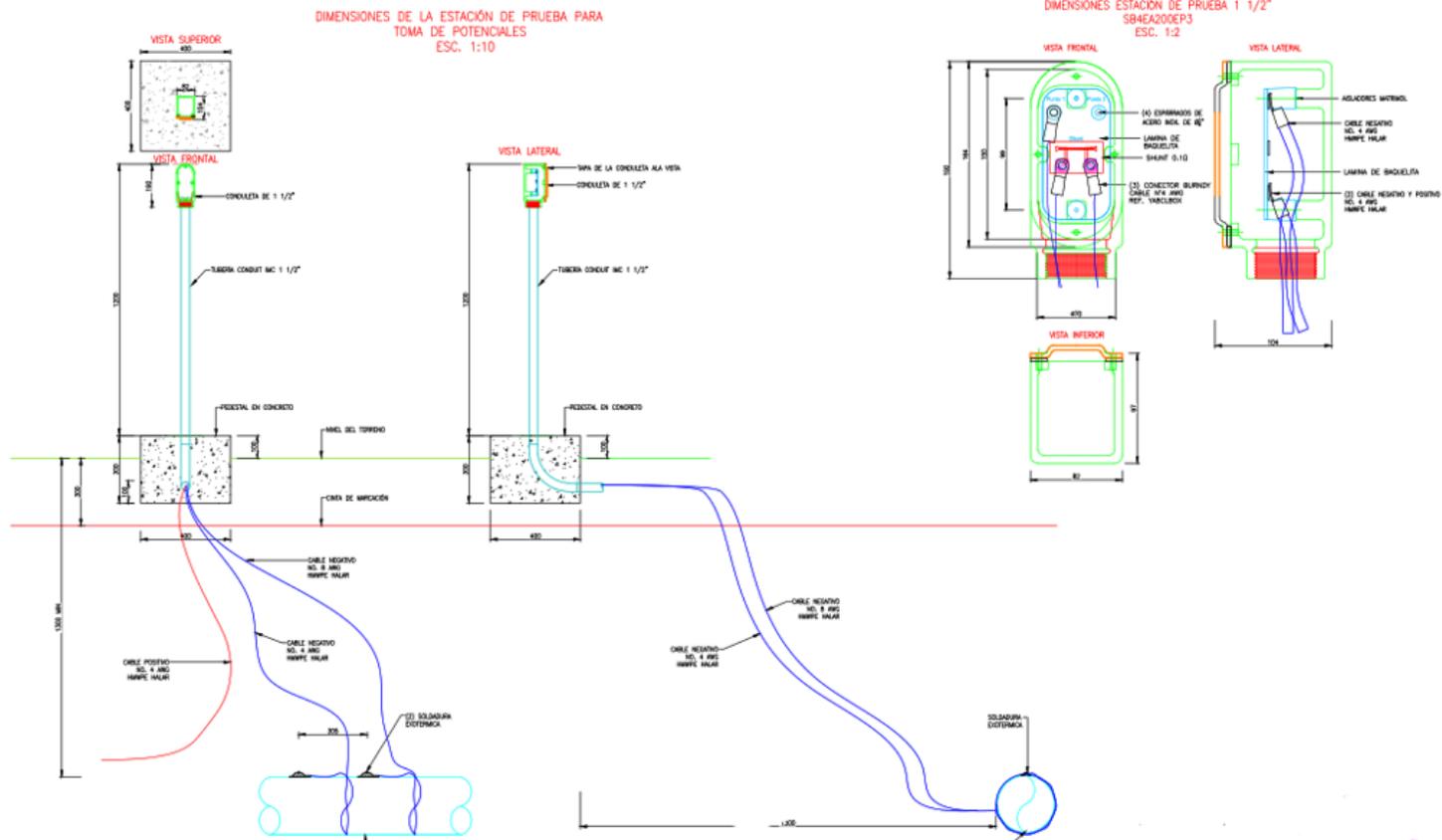
Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)



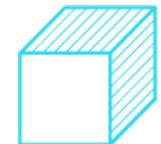


Anexo 11

Dimensiones de la Estación y Detalles de Instalación



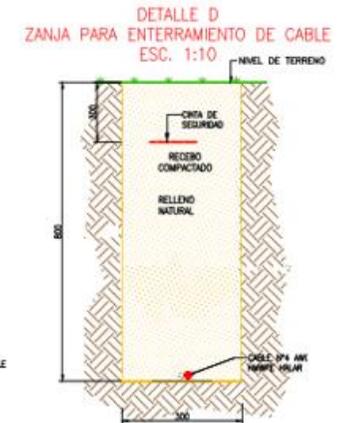
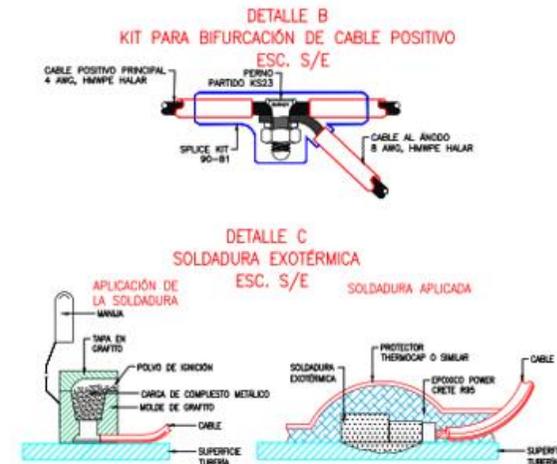
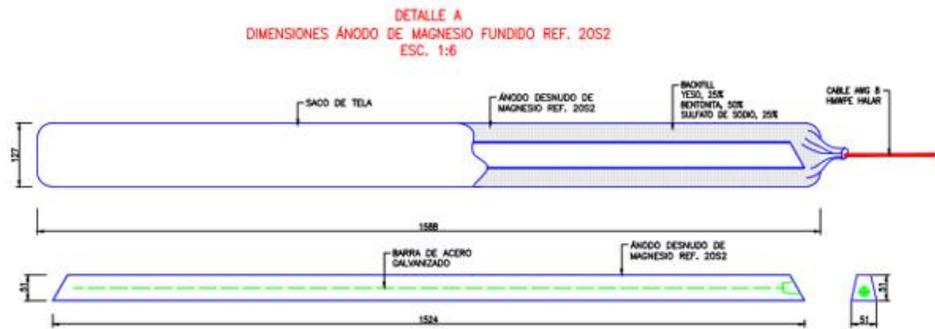
Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)





Anexo 13

Dimensiones A-B-C-D y Detalles de Instalación



Fuente: (C.T. Termochilca, 2021)

