

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA PARA
MITIGAR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS ENTERRADAS EN LA
PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL-PISCO”**

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

KENY ANCHANTE BARRIENTOS

JOSE ANTONIO CARRILLO GONZALES

Callao, 2021

PERÚ

**ACTA N° 016 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBROFOLIO No. ACTA N° 016 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

A los 26 días del mes febrero, del año 2021, siendo las 14:45 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/nqn-npve-juc>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **Ingeniero Mecánico** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán : Presidente
- Dr. Pablo Mamani Calla : Secretario
- Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa : Miembro
- Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri : Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **CARRILLO GONZALES JOSE ANTONIO**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico sustenta la tesis titulada **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA PARA MITIGAR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS ENTERRADAS EN LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL-PISCO"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **15 (quince)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018.

Se dio por cerrada la Sesión a las 15:38 horas del 26 del mes y año en curso.



.....
Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán
Presidente de Jurado



.....
Dr. Pablo Mamani Calla
Secretario de Jurado



.....
Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa
Miembro de Jurado



.....
Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Asesor

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA PARA
MITIGAR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS ENTERRADAS EN LA
PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL-PISCO”**

DEDICATORIA

Keny Achante:

A Dios por darme la oportunidad de poder seguir desarrollándome en la vida.

A mi compañera de vida y mis hijas, quienes fueron motivo para poder seguir avanzando, dando todo de mí para buscar siempre su bienestar.

En memoria a mi padre que siempre quiso vivir este día conmigo y desde donde esté sé que siempre me ha acompañado.

A mi madre por todos los años de sacrificio constante y ser ese escudo protector que necesitaba para poder seguir cumpliendo mis sueños.

A mis hermanas por creer en mí y en el logro de mis objetivos metas en mi carrera profesional

Jose Carrillo:

A mis padres, Sergio y Catalina, por enseñarme a crecer, a que a pesar de las adversidades siempre los tendré conmigo para apoyarme y guiarme.

A mis hermanos, Marcos y Emilia, por ser mi motivación y compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi madrina, Marcelina, por enseñarme el valor del esfuerzo y de la lucha constante para lograr lo que uno se propone.

A mi ahijado, el pequeño Emmanuel, porque a pesar de ser tan pequeño y vulnerable, desde que nació demostró ser un guerrero.

A mis mejores amigos, David, Henry y Efer, por su amistad sincera y por apoyarme cuando más los necesite.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, damos gracias a Dios por permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas, darnos salud y guiarnos en este largo camino de crecimiento y aprendizaje constante.

A nuestro Director de proyectos, el ingeniero Pedro Morales, por la paciencia, las enseñanzas y su apreciada amistad.

A nuestro ex Director de proyectos, Gerónimo Cárdenas, por exigirnos cada día más y explotar nuestras mejores habilidades.

A nuestro líder de proyectos y mejor amigo, el ingeniero Efer Trillos, por guiarnos con su experiencia y conocimientos durante el proyecto, enseñarnos a encontrar una solución ante cualquier adversidad y sobre todo por su sincera amistad y paciencia.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	11
1.2 Formulación del problema.....	11
1.2.1 Problema General.....	11
1.2.2 Problemas Específicos	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Limitantes de la investigación.....	13
1.4.1 Teórico.....	13
1.4.2 Temporal.....	13
1.4.3 Espacial	13
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional	14
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	14
2.1.2 Antecedentes Nacionales	15
2.2 Bases teóricas.....	17
2.2.1 Impacto de la corrosión en la industria Oíl & Gas.....	17
2.2.2 Corrosión	18
2.2.3 Electroquímica de la corrosión.....	19
2.2.4 Corrosión en estructuras enterradas	21
2.2.5 Tipos de corrosión en aleaciones ferrosas	24
2.3 Conceptual	28
2.3.1 Protección Catódica.....	28
2.3.2 Resistividad de Suelos.....	28

2.3.3	Tipos de sistemas de protección catódica	30
2.3.4	Componentes de un sistema de protección catódica	32
2.3.5	Ánodos de Corriente Impresa	33
2.3.6	Fuentes de corriente	34
2.3.7	Criterios de diseño	37
2.3.8	Criterio de aceptación	37
2.3.9	Ventajas y limitaciones	38
2.4	Definición de términos básicos:.....	39
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	42
3.1	Hipótesis.....	42
3.1.1	Hipótesis General	42
3.1.2	Hipótesis Específicas.....	42
3.2	Definición conceptual de variables	42
3.2.1	Operacionalización de variable	43
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
4.1	Tipo y diseño de investigación	45
4.1.1	Tipo de investigación	45
4.1.2	Diseño de la investigación	45
4.2	Método de investigación.....	45
4.2.1	Técnicas de modelado.....	46
4.3	Población y muestra.....	47
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado.	47
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.	47
4.6	Análisis y procesamiento de datos	48
4.6.1	Lista de Exigencias.....	48
4.6.2	Diseño Conceptual	51
4.6.3	Matriz Morfológica	52
4.6.4	Consideraciones y Datos de Diseño	54
4.6.5	Diseño de detalle	58
V.	RESULTADOS	71
5.1	Resumen de los resultados del diseño.....	71
5.2	Resultados Descriptivos	73

5.2.1	Resultados antes de la implementación	73
5.2.2	Resultados después de la implementación.....	75
5.3	Resultados Inferenciales	81
5.3.1	Prueba de normalidad.....	81
5.3.2	Prueba de Hipótesis	82
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	85
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	85
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	87
	CONCLUSIONES	88
	RECOMENDACIONES	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	90
	ANEXOS	93
	ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	94
	ANEXO 2: HOJA DE REGISTRO DE POTENCIALES	98
	ANEXO 3: LISTADO DE DUCTOS A INTERVENIR	100
	ANEXO 4: PLANOS AS-BUILT	105
	ANEXO 5: REGISTRO DE INSPECCIÓN DE RECTIFICADOR	119
	ANEXO 6: PARÁMETROS DE LOS RECTIFICADORES	122
	ANEXO 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1	VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	38
Tabla 3. 2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	43
Tabla 4. 1	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	48
Tabla 4. 2	LISTA DE EXIGENCIA	48
Tabla 4. 3	MATRIZ MORFOLÓGICA.....	52
Tabla 4. 4	LISTA DE TUBERÍAS A PROTEGER.....	54
Tabla 4. 5	TIPOS DE ÁNODOS PARA CORRIENTE IMPRESA	55
Tabla 4. 6	CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS DE HIERRO SILICIO.....	56
Tabla 4. 7	TOMA DE RESISTIVADES EN LADO ESTE.....	57
Tabla 4. 8	TOMA DE RESISTIVIDADES EN EL LADO OESTE	58
Tabla 4. 9	DENSIDAD DE CORRIENTE REQUERIDA DE ACUERDO AL MEDIO ...	59
Tabla 4. 10	TABLA DE DATOS TÉCNICOS PARA CABLES HMWPE.....	66
Tabla 4. 11	RESISTENCIA DE CABLE AWG 2.....	66
Tabla 4. 12	RESISTENCIA DE CABLE AWG 8.....	67
Tabla 4. 13	RESISTENCIA DE LA TUBERÍA	67
Tabla 5. 1	TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR ÁNODOS DE SACRIFICIO	73
Tabla 5. 2	TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR ÁNODOS DE SACRIFICIO	75
Tabla 5. 3	TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO OESTE	76
Tabla 5. 4	TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO ESTE	78
Tabla 5. 5	TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR CORRIENTE IMPRESA PARA EL CRITERIO DE LOS 100mV.....	80
Tabla 5. 6	TABLA DE FRECUENCIA DEL SPC POR CORRIENTE IMPRESA PARA EL CRITERIO DE LOS -850MV	80
Tabla 5. 7	TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR CORRIENTE IMPRESA..	81
Tabla 5. 8	TABLA DE RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE DATOS DESCRIPTIVOS	82
Tabla 5. 9	TABLA DE RESUMEN DE LA PRUEBA DE MANN WHITNEY	83
Tabla 5. 10	TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE MINERAL	19
Figura 2. 2 DIRECCIÓN DEL FLUJO DE CORRIENTE ENTRE UN ÁNODO Y UN CÁTODO EN UNA CELDA DE CORROSIÓN.....	20
Figura 2. 3 REACCIÓN DE OXIDACIÓN EN EL ÁNODO.....	20
Figura 2. 4 REACCIÓN DE REDUCCIÓN EN EL CÁTODO.....	21
Figura 2. 5 CELDA DE CORROSIÓN POR DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	22
Figura 2. 6 CELDA DE CORROSIÓN POR SUELOS DISÍMILES	23
Figura 2. 7 CELDA DE CORROSIÓN POR CONCENTRACIÓN DE IONES.....	23
Figura 2. 8 CELDA DE CORROSIÓN POR CONCENTRACIÓN POR OXÍGENO.....	24
Figura 2. 9 CORROSIÓN GENERALIZADA.....	25
Figura 2. 10 CORROSIÓN LOCALIZADA	25
Figura 2. 11 CORROSIÓN GALVÁNICA	26
Figura 2. 12 CORROSIÓN POR GRIETA	26
Figura 2. 13 FRACTURA POR EL MEDIO	27
Figura 2. 14 CORROSIÓN EROSIVA.....	27
Figura 2. 15 CORROSIÓN DEL HIERRO FUNDIDO GRIS.....	28
Figura 2. 16 ESQUEMA DEL MÉTODO DE WENNER	29
Figura 2. 17 ESQUEMA MÉTODO DE BARNES	30
Figura 2. 18 ESQUEMA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE GALVÁNICA	30
Figura 2. 19 ESQUEMA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA	31
Figura 2. 20 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN GALVÁNICA	32
Figura 2. 21 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN POR CORRIENTE IMPRESA.....	33
Figura 2. 22 ESQUEMA BÁSICO DE RECTIFICADOR MONOFÁSICO CON PUENTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA	35
Figura 2. 23 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE TENSIÓN CONSTANTE.....	35
Figura 2. 24 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE CORRIENTE CONSTANTE.....	36
Figura 2. 25 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE POTENCIAL CONSTANTE.....	36
Figura 4. 1 CAJA NEGRA	46
Figura 4. 2 CAJA BLANCA.....	46
Figura 4. 3 DISEÑO CONCEPTUAL	51
Figura 4. 4 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE UNA CAMA ANODICA VERTICAL	62
Figura 4. 5 GRÁFICA DE NÚMERO DE ÁNODOS VS RESISTENCIA EN OHMS	64
Figura 4. 6 GRÁFICA DE RESISTENCIA DE LA CAMA VERTICAL VS NÚMERO DE ÁNODOS	65
Figura 5. 1 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS.....	74
Figura 5. 2 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO OESTE (CRÍTERIO DE 100MV).....	76

Figura 5. 3 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO OESTE (CRITERIO DE -850MV).....	77
Figura 5. 4 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO ESTE (CRITERIO DE 100MV).....	78
Figura 5. 5 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO ESTE (CRITERIO DE -850MV).....	79
Figura A7 SOLDADURA EXOTÉRMICA	126
Figura A7 MEDICIÓN DE ESPESORES	126
Figura A7 EXCAVACIÓN MANUAL.....	126
Figura A7 MÁQUINA DE PERFORACIÓN	126
Figura A7 PRESENTACIÓN FINAL DE ÁNODO INSTALADO.....	126
Figura A7 CIRCUITO DE LODO PARA MAQUINA PERFORADORA	126
Figura A7 INSPECCIÓN DE RECTIFICADOR	126
Figura A7 CAJA DE POSITIVOS.....	126
Figura A7 RECTIFICADOR DE CORRIENTE	126

RESUMEN

El diseño e implementación del sistema de protección catódica por corriente impresa desarrollado en este trabajo de investigación logró mitigar la corrosión en tuberías enterradas en la planta de fraccionamiento Pluspetrol-pisco al cumplir con los requerimientos de protección contra la corrosión al aplicar el segundo criterio que exige la normativa NACE, cubriendo todas las zonas a proteger, logrando sustituir al sistema de protección por corriente galvánica con la cual se contaba inicialmente.

El presente estudio se realizó en las tuberías de acero enterradas ubicadas en la planta de fraccionamiento líquido y gas natural Pluspetrol pisco.

El objetivo de esta investigación fue diseñar e implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa a estos tramos enterrados de tuberías en la planta de fraccionamiento.

La investigación tiene como característica ser del tipo tecnológica con enfoque cuantitativo y el tipo de diseño que se aplica es el experimental.

Para este sistema de protección catódica se realizaron dos lechos anódicos de 16 perforaciones por lecho, los cuales se utilizaron 2 ánodos por perforación que hacen un total de 64 ánodos, para completar el sistema se instalaron 2 rectificadores.

Estos lechos fueron ubicados en el lado oeste y este de la planta de fraccionamiento y fueron alimentados por un rectificador de 100V/40A para cada lado.

Palabras Claves: Protección catódica, corriente Impresa, mitigar la corrosión.

ABSTRACT

The design and implementation of an impressed current cathodic protection system to mitigate corrosion in buried pipes in the Pluspetrol-Pisco fractionation plant met the corrosion protection requirements by applying the second criterion required by the NACE standard, covering all the areas to be protected, succeeding in replacing the galvanic current protection system that was available first.

It was carried out in the buried steel pipes located in the Gas Natural Pluspetrol Pisco liquid fractionation plant, which had a cathodic protection system by galvanic current that did not meet the standards and criteria required by the NACE regulations.

The objective of this research was to design and implement these impressed current cathodic protection systems to buried pipe sections in the Fractionation Plant.

The research has the characteristic of being of the technological type and the type of design that is applied is the application design since there are two systems, one existing and the other designed and implemented according to the research carried out, which came to be compared.

For this cathodic protection system, two anode beds with 16 perforations per bed were made, which were used in 2 anodes per perforation, which make a total of 64 anodes.

These beds were located on the west and east side of the fractionation plant and were fed by an 100V / 40A rectifier for each side.

Keywords: Cathodic Protection, impressed current, mitigate corrosión.

INTRODUCCIÓN

En el término corrosión existen diferentes definiciones. Por ejemplo, se dice que la corrosión es el deterioro que sufren los metales al ser atacados por los más diversos agentes químicos. También se puede definir como la destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente o el microambiente donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión.

Igualmente podríamos definir la corrosión como el proceso mediante el cual los materiales tienden a abandonar el estado de transformación a que el hombre los sometió, para regresar a su estado natural primitivo. Este proceso es acelerado por el oxígeno, el agua, los productos químicos o biológicos, la temperatura y el cambio en la composición física-química del material.

La corrosión es un problema que presentan todas las industrias, en este caso nos enfocaremos al rubro de hidrocarburos que es uno de los sectores que presenta este problema de forma crítica, debido a que en estas industrias transportan fluidos tanto gaseoso como líquidos que generalmente están en contacto directo con un medio electrolito a lo largo de su recorrido.

El tema principal de la presente tesis es ver la manera más eficaz de proteger una estructura enterrada, en este caso la red de tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco, debido a que una estructura metálica enterrada que logra tener contacto directo con el suelo tiende a degradarse con el tiempo, sobre todo si esta es de acero, ya que el acero es una aleación de Hierro y el Hierro por pérdida de energía tiende a regresar a su estado natural que es el Óxido de Hierro, esto sucede al encontrarse con el Oxígeno del suelo que lo rodea.

La corrosión de las estructuras enterradas es un hecho inevitable, debido a que el revestimiento que se le aplica no es 100% eficaz y siempre habrá algún punto de contacto con el medio electrolítico es por eso que se vuelve un fenómeno químico que no se puede evitar, pero si es posible mitigar con la protección catódica.

La empresa Pluspetrol Perú Company S.A. establece que para cumplir con los requerimientos de diseño y de seguridad, las tuberías que trasladan el fluido en algunos tramos, deben de ser enterradas y a su vez que estas dispongan de un sistema de protección catódica para mitigar la corrosión.

Ante lo mencionando, el objetivo de esta investigación es diseñar e implementar un sistema de protección catódica que satisfaga los criterios que demanda las normativas NACE, para ello se determinó realizar un sistema de protección catódica por corriente impresa para una óptima protección y alargamiento de la vida útil de los activos (tuberías enterradas).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco. ubicada en la ciudad de Pisco, la cual posee un sistema de protección catódica por corriente galvánica mediante ánodos de sacrificio (ánodos de magnesio), no cumple con los estándares de protección para poder mitigar la corrosión según lo que indica o demanda la normativa Nace, después de realizar la inspección correspondiente a los potenciales en el recorrido de la red de tuberías, así mismo en la inspección que se realizó en las uniones bridadas para verificar la efectividad de las juntas dieléctricas, se registró que 142 juntas estaban en mal estado de un total de 488.

Al no cumplir con los estándares para una correcta protección, las redes de tuberías podrían quedar expuestas a la corrosión debido a que el recubrimiento que estas llevan no aísla totalmente del medio electrolítico que las rodea por presentar daños y debido al terreno de baja resistividad que existe en la planta, la red de tuberías presentaría baja de espesores en zonas puntuales en el recorrido de estas, pudiendo tener a futuro un impacto y daño a las personas, deterioro al medio ambiente, perdidas en producción y la reputación de la entidad donde se presente este problema.

1.2 Formulación del problema

A Continuación, se presentan el problema general y los problemas específicos:

1.2.1 Problema General

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa que permita mitigar la corrosión en las tuberías enterradas de la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco?

1.2.2 Problemas Específicos

a. ¿Cómo determinar el requerimiento de corriente que exigen las tuberías enterradas para su correcta protección?

- b. ¿Cómo dimensionar y seleccionar una cama anódica que pueda tener la capacidad de drenar corriente eléctrica necesaria y distribuirla a todo el sistema de tuberías enterradas?
- c. ¿Cómo seleccionar adecuadamente una fuente de poder que pueda suministrar la cantidad de corriente necesaria que requiere el nuevo sistema?
- d. ¿Cómo realizar la implementación para validar el diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa en las tuberías enterradas de la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa bajo las normativas NACE en la red de tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar el requerimiento de corriente necesario para dar protección a las tuberías enterradas.
- b. Dimensionar y seleccionar una cama anódica que pueda tener la capacidad de drenar la corriente eléctrica necesaria y distribuirla a todo el sistema de tuberías enterradas.
- c. Seleccionar adecuadamente una fuente de poder que pueda suministrar la cantidad de corriente necesaria que requiere el nuevo sistema.
- d. Implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa en base a los requerimientos del diseño.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórico

Falta de información ordenada y actualizada del sistema de protección catódica ánodos de sacrificio por corriente galvánica que tenía la red de tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.

1.4.2 Temporal

Falta de coordinación y comunicación por parte Pluspetrol Perú Corporación y los servicios involucrados para esta investigación.

El diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa en la red de tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco, fue realizado el 2018.

1.4.3 Espacial

El estudio se enfoca en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional

Los antecedentes Internacionales se presentan a continuación:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

En la tesis presentada por Edgar Patricio Miño Yépez en el año 2002 “Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa en las Líneas de Pipetrack en la Refinería de la Libertad (RLL) Contra la Corrosión” para obtener el título profesional de Tecnólogo de Petróleos en la Universidad Tecnológica Equinoccial, en él llega a la conclusión que el sistema de protección catódica por corriente impresa es la más adecuada para controlar la velocidad de corrosión cuando la masa metálica expuesta es grande, además, la protección catódica aplicada evitará impactos Económicos, Humano-Sociales, de Seguridad Industrial y Ambientales, dándole una vida útil a la estructura de hasta 25 años ya que sin una protección adecuada llegaría a reducirse hasta 6 meses. (Miño Yépez, 2002)

En la tesis presentada por Jorge Luis Barrera Cruz en el año 2011 “Evaluación de la distribución de corrientes y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías” para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en el que concluye que al aplicar pruebas de campo de logra optimizar los recursos en la implementación del sistema ya que se cuenta con una visión más real del estado del recubrimiento y se evita el sobredimensionamiento del sistema, se llega a comprobar la selección correcta de las características técnicas del rectificador que logra satisfacer la demanda de corriente del sistema y podrá cubrir futuros aumentos en corriente por el desgaste del recubrimiento debido al tiempo. La interferencia eléctrica en otras estructuras no deseadas interfiere o afecta en la ubicación de los lechos anódicos, ubicándose éstos en lugares distantes donde no interfieran con su funcionamiento. (Barrera Cruz, 2011)

En la tesis presentada por Patricia Susana Tamayo Gutiérrez en el año 2009 “Diseño de un sistema de protección catódica en líneas enterradas de un tramo del oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio” para obtener el título profesional de Ingeniera Química en la Escuela Politécnica Nacional, en el que concluye por análisis realizados al suelo (resistividad 5097.4 ohm-cm, humedad 49.25%, un pH 6.65 y una cantidad mínima de iones disueltos) se tiene un terreno poco corrosivo, dada la longitud del tramo a proteger y por disposición del custodio, se llegó a determinar el uso del sistema de protección catódica por corriente impresa usando chatarra de hierro como ánodo auxiliar, empleando 2 camas de 10 ánodos cada una y conectadas a un rectificador de 80V, 80A y brindando este sistema de protección un vida útil de 10 años a la estructura a proteger. (Tamayo Gutiérrez, 2009)

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En la tesis presentada por Carlos Alberto Espinoza Huamaní en el año 2015 “Protección Catódica por Corriente Impresa para Control de Corrosión Externa de Tanques Sumideros Enterrados Usados en la Producción de Petróleo Pavayacu-Loreto” para obtener el título profesional de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en el cual se llega a la conclusión que es posible el control de corrosión externa de los tanques enterrados empleando un sistema de protección catódica por corriente impresa llegando a ser este sistema más eficiente que la implementación de un sistema de protección por ánodos galvánicos, además de reducir los costos de mantenimiento del sistema, llegando a polarizar la estructura hasta -1 072mV cumpliendo uno de los criterios establecidos por NACE y aumentando la vida útil de los tanques en 20 años aplicando una corriente de 2.02A, un potencial de 986mV Y 4 ánodos de MMO. (Espinoza Huamaní, 2015)

En la tesis presentada por Gonzales Boza Marcos Antonio y Cruz Castro Juan Fernando en el año 2017 “Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente impresa en Tuberías Enterradas para la Planta de Almacenamiento de Hidrocarburos Terminal Chimbote de Petroperú” para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional del Callao, el cual se basa en proteger contra la corrosión los ductos enterrados transportadores de hidrocarburos mediante la aplicación de un sistema de protección catódica por corriente impresa aprovechando la construcción de una nueva sub estación eléctrica, y el que se concluye que el factor más determinante para el diseño del sistema fue el tipo de recubrimiento a emplear en las tuberías ya que de este dependía el aumento de la densidad de corriente e emplear, debido al recubrimiento Polyguard UV-350 empleado disminuyó la corriente requerida para proteger las tuberías en 20 veces su valor del que se necesitaba la tubería al no aplicar recubrimiento, se hizo uso de ánodos de ferro silicio-cromo en vez de usar ánodos de MMO debido al alto costo con referencia a los ánodos de ferro silicio-cromo. (Gonzales Boza, 2017)

En la tesis presentada por Carlo César Clavijo Cáceres en el año 2014 “Sistemas de Protección Catódica para Tuberías Enterradas de Transmisión de Gas Natural” para obtener el título profesional de Ingeniero Metalúrgico en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en el cual llega a la conclusión que en los 60km de recorrido de la tubería se determinó una diversidad de suelos que por promedio tuvo una resistividad de 30 000 ohm-cm, suelo que se establece como corrosivo, un sistema de protección catódica por ánodos galvánicos puede ser usada en cualquier tipo de estructura enterrada o sumergida debido a la baja inversión en la instalación y mantenimiento a su vez es de preferencia su uso en medianas y pequeñas estructuras, ya que si la estructura llegase a ser muy grande se elevarían los costos de instalación y mantenimiento, para este caso el uso de sistemas por corriente impresa que es económica y técnicamente recomendable.

En el empleo de sistemas por ánodos galvánicos se seleccionaron ánodos de magnesio por tener mayor cantidad de voltaje drenado y tener un menor costo respecto a la cantidad e instalación en comparación con los ánodos de zinc.

Se consideró el empleo de ánodos de Titanio MMO para el sistema de corriente impresa por tener mayor drenaje de corriente y durabilidad comparados con otros ánodos empleados en ese sistema pero que son menos costosos. Se cumplió con el criterio 1 y 3 de la práctica recomendada RP0169-1999 establecida por NACE para los sistemas de protección catódica por ánodos galvánicos y corriente impresa. (Clavijo Cáceres, 2014)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Impacto de la corrosión en la industria Oíl & Gas

Actualmente la corrosión viene siendo uno de los problemas principales en la industria, principalmente en la industria del petróleo/gas, ambientes marinos y costeros; por acción de las propiedades y características de los fluidos que lo rodean, afectan de manera directa en la integridad de éstas (Corrosión de metales y degradación de materiales, 2007 pág. 19)

Los entornos agresivos principalmente en las tuberías de petróleo y gas crean un ambiente de exigencia en el material con propiedades mecánicas y térmicas altas, además la presencia de H₂S y cloruros pueden ocasionar alta rata de corrosión y el agrietamiento por estrés por sulfuro (stress corrosión cracking). Mejorando las propiedades del material podemos mejorar la resistencia a la corrosión, pero en ocasiones conlleva a deteriorar otras propiedades.

El costo total anual producida por la corrosión en la producción del petróleo y gas llega a tener un estimado de US\$1.372mil millones, de los cuales \$589 millones vas dirigidos a costos de tubería de superficie e instalaciones. Al darle manejo y control a la corrosión contribuimos a la reducción de costos y establecemos el cumplimiento de las políticas de seguridad, salud y medioambiente. (Perez, 2013 pág. 1)

2.2.2 Corrosión

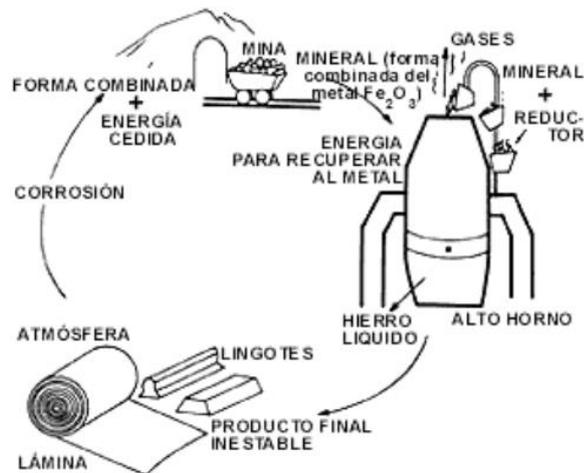
La corrosión es la degradación de los materiales a causa de la interacción con el medio ambiente, esta definición aplica para todos los materiales de origen natural como artificial, la corrosión para las aleaciones de hierro viene dada de la siguiente manera:

Se invierte una gran energía termoquímica para transformar la hematita (Fe_2O_3) y separar el hierro del oxígeno empleando la ayuda del carbono, expulsando CO_2 , escoria y hierro primario, este tipo de energía también es empleada para obtener cobre, zinc, níquel, plomo y otros metales.

Otra manera de obtener metales es la aplicación de corriente eléctrica para descomposición de electrolitos, como en la descomposición del sulfato de cobre en una disolución acuosa de una sal, se obtiene como depósito en uno de los electrodos el metal a recuperar. Estas son algunas de muchas maneras de conseguir el metal de forma libre y eso incluye consumir grandes cantidades de energía.

De esta manera se puede observar que el metal se encuentra en su manera más estable en su forma combinada, ya sea en óxidos, sulfuros, cloruros, carbonatos o sulfatos los cuales son termodinámicamente estados de baja energía. Básicamente lo que hacemos al obtener un metal en su forma libre es entregar una cantidad de energía equivalente a la que se necesitó para que este metal pase a un estado estable, ocurriendo este en un proceso que duró millones de años y con la intervención de muchos agentes del universo, entonces, al obtener un metal en forma libre lo volvemos al estado inicial, poseyendo una energía elevada y con fuertes tendencias a estabilizarse, lo que hace reaccionar con el medio ambiente y volver a su estado inicial. Esto aplica para la mayoría de metales empleados en la ingeniería, generalizando, cuanto mayor sea la energía invertida en la obtención del metal, mayor será la tendencia a volver a su estado mineral. (Ávila, 1996 pág. 7)

Figura 2. 1 PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE MINERAL



Fuente: Tomando de Más allá de la Herrumbre Cap.I (Ávila, 1996 pág. 7)

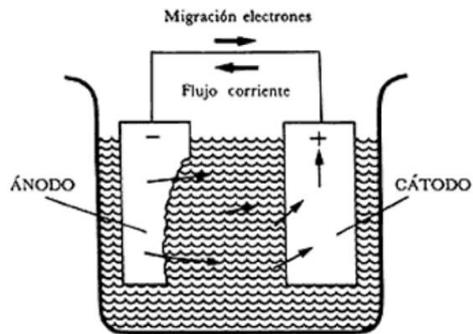
2.2.3 Electroquímica de la corrosión

La corrosión es de naturaleza electroquímica al estar en un medio acuoso o electrolítico, se denota una zona anódica, una zona catódica, un electrolito, es imprescindible la existencia de estos 3 factores adicionando un puente eléctrico que un ánodo y cátodo para que ocurra el fenómeno de corrosión, el conjunto de todas estas partes es llamado una celda básica de corrosión electroquímica.

El lugar donde ocurre la corrosión es denominado ánodo, en el ánodo se liberan electrones como consecuencia de en el paso del metal en forma de iones, al electrolito, esta reacción es denominada oxidación. El cátodo es el lugar donde los electrones producidos en el ánodo se combinan con determinados iones presentes en el electrolito, a esta reacción se le denomina reducción.

Los iones positivos y negativos disueltos en el electrolito son los encargados de transportar la carga, los iones positivos van de ánodo a cátodo, mientras que los iones negativos van del cátodo hacia el ánodo cumpliendo así una circulación de corriente electrolítica. (Ávila, 1996 pág. 16)

Figura 2. 2 DIRECCIÓN DEL FLUJO DE CORRIENTE ENTRE UN ÁNODO Y UN CÁTODO EN UNA CELDA DE CORROSIÓN



Fuente: Tomando de Más allá de la Herrumbre Cap.I (Ávila, 1996 pág. 17)

a. Oxidación

Se llama oxidación a la pérdida de uno o más electrones en un átomo o en una molécula pasando a ser un ion positivo, el átomo o molécula reducen su carga negativa al ceder electrones.

Para el caso del hierro (Fe), el átomo neutro puede llegar a perder 2 o 3 electrones, dando lugar a la formación de iones de carga positiva. (NACE CP1, 2000 pág. 2:6)

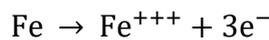
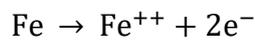
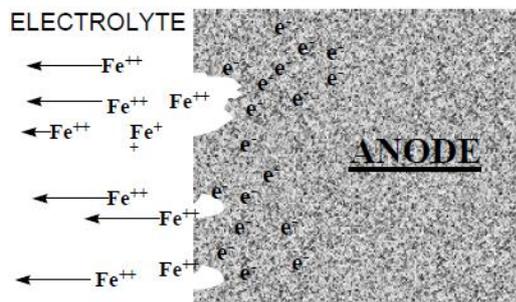


Figura 2. 3 REACCIÓN DE OXIDACIÓN EN EL ÁNODO



Fuente: Tomado del Manual (NACE CP1, 2000 pág. 2:6)

b. Reducción

Se llama reducción a la ganancia de uno o más electrones en un átomo o en una molécula pasando a ser un ion negativo o neutro, el átomo o molécula aumentan su carga negativa al aceptar electrones.

Por ejemplo, cuando se reduce un ion de hidrógeno, gana un electrón y pasa a ser un átomo de hidrógeno neutro. (NACE CP1, 2000 pág. 2:7)

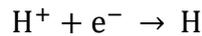
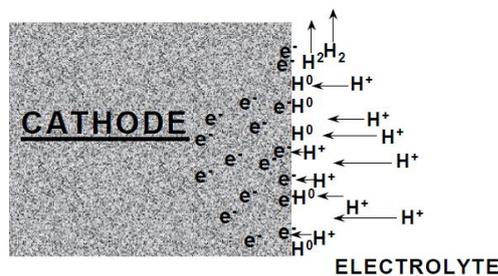


Figura 2. 4 REACCIÓN DE REDUCCIÓN EN EL CÁTODO



Fuente: Tomado del Manual (NACE CP1, 2000 pág. 2:7)

2.2.4 Corrosión en estructuras enterradas

La necesidad de la industria de enterrar numerosas estructuras, ya sea por motivo económico, mecánico y seguridad, hacen que dichas estructuras se vean afectadas por un proceso de corrosión, el cual de no llegar a controlarse puede llegar a tener graves complicaciones.

La variabilidad en el contenido de sales, humedad y materia orgánica en el terreno define su complejidad como un medio electrolítico, del cual dependiendo del suelo se originan distintas velocidades de corrosión y definen la agresividad del terreno.

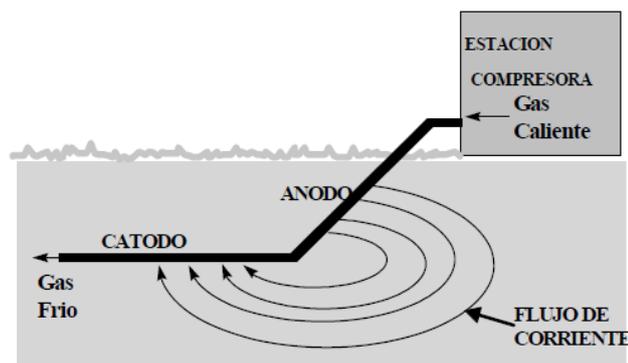
Para controlar adecuadamente la corrosión en estructuras enterradas debemos combinar dos tipos de protección, un recubrimiento anticorrosivo y complementando con un sistema de protección catódica. (Ávila, 1996 pág. 56)

a. Formación de celdas de corrosión en estructuras enterradas

Diferencias de temperatura

Este tipo de celda de corrosión se da cuando en una misma estructura existe una variación en temperatura a causa de medios externos, lo que conlleva a tener un diferencial de potencial y por lo tanto hace circular un flujo de corriente eléctrica, convirtiendo generalmente la zona de mayor temperatura en el ánodo y la de menor temperatura en el cátodo. Caso práctico en las estaciones de compresión de gas, en el que el gas sale a una cierta temperatura y luego al hacer contacto con el suelo va perdiendo calor y disminuyendo su temperatura, lo que hace posible la corrosión por diferencial de temperatura. (NACE CP2, 2006 pág. 1:9)

Figura 2. 5 CELDA DE CORROSIÓN POR DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

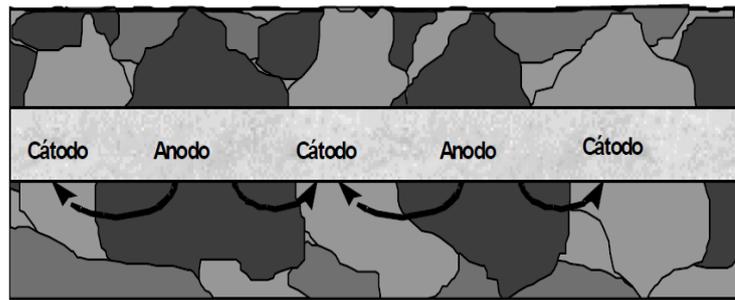


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP2, 2006 pág. 1:9)

Electrolito

Cuando una estructura atraviesa distintos tipos de suelos o medios electrolíticos que presentan características particulares, diferentes sustancias químicas, variación en concentraciones de sustancias o diferencias en temperatura, la estructura puede presentar diferencias de voltaje, lo que hace la formación de una celda de corrosión en suelos disímiles. (NACE CP2, 2006 pág. 1:10)

Figura 2. 6 CELDA DE CORROSIÓN POR SUELOS DISÍMILES



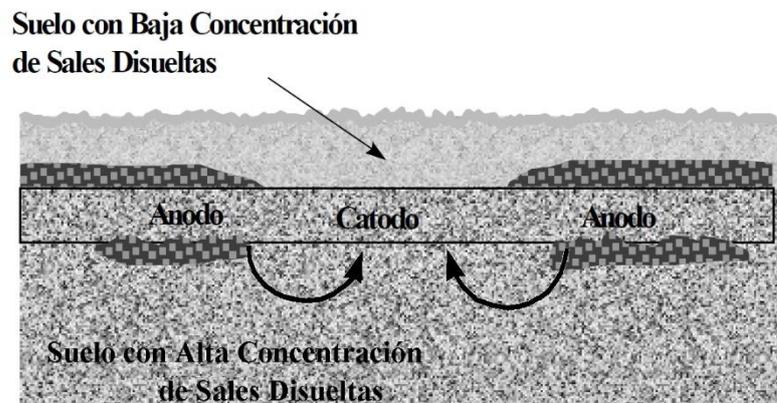
Fuente: Tomado del Manual (NACE CP2, 2006 pág. 1:10)

Celdas de concentración

➤ Concentración de iones

Generalmente en los suelos que por naturaleza presentan diferentes grados de conductividad se originan celdas de corrosión para la estructura enterrada en dicho suelo, funcionando como ánodo una parte de la estructura que fue enterrada en el suelo de mayor conductividad y como cátodo la parte enterrada en el suelo de menor conductividad, esto ocurre por la diferencia de concentración de iones de una sal simple presente en el suelo, a mayor concentración de iones es mayor la conductividad. Caso contrario ocurre cuando el electrolito contiene una sal del metal y no hay otras sales presentes, para ese caso la parte metálica enterrada en zona concentrada de iones funciona como cátodo. (NACE CP2, 2006 pág. 1:11)

Figura 2. 7 CELDA DE CORROSIÓN POR CONCENTRACIÓN DE IONES

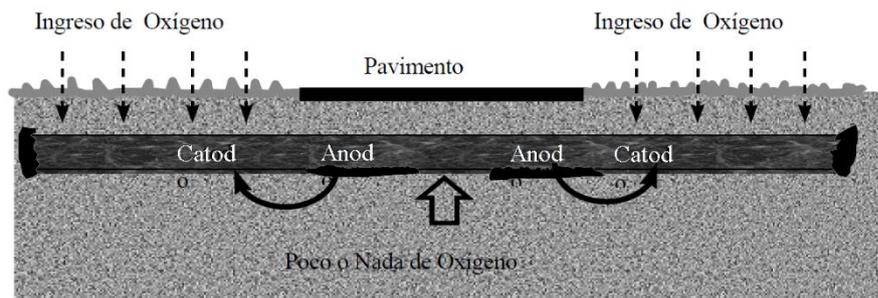


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP2, 2006 pág. 1:11)

➤ **Concentración de Oxígeno**

Este tipo de celda de concentración se da a causa de que el oxígeno por ser un despolarizante catódico común, promueve y mantiene una reacción catódica en la zona de mayor incidencia, la cual convierte instantáneamente en el ánodo a la zona de menor incidencia, claro ejemplo es el motivo por el cual la mayoría de veces las tuberías enterradas se corroen en la parte inferior, el relleno de zanja es más permeable al oxígeno, otro caso son las tuberías enterradas bajo pavimento, la zona bajo el pavimento tiene menos acceso al oxígeno, creando una diferencia en concentraciones de oxígeno, convirtiendo la zona de menor acceso al oxígeno en el ánodo y siendo éste corroído. (NACE CP2, 2006 pág. 1:13)

Figura 2. 8 CELDA DE CORROSIÓN POR CONCENTRACIÓN POR OXÍGENO



Fuente: Tomado del Manual (NACE CP2, 2006 pág. 1:13)

a. Agresividad del terreno en función de su resistividad

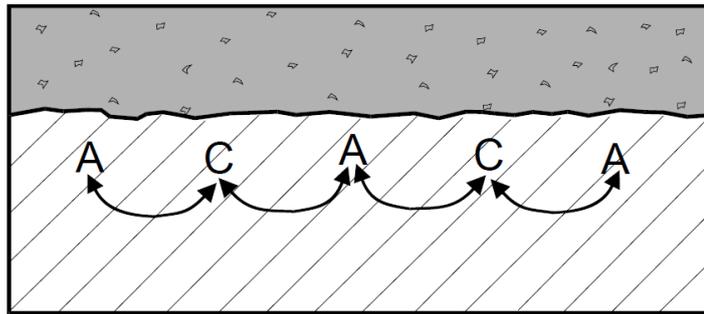
La velocidad de corrosión está directamente relacionada con la resistividad del terreno según el cuadro siguiente:

2.2.5 Tipos de corrosión en aleaciones ferrosas

a. Corrosión generalizada

Se caracteriza por ser uniforme en la superficie afectada por cambio de ubicación entre ánodos y cátodos. (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

Figura 2. 9 CORROSIÓN GENERALIZADA

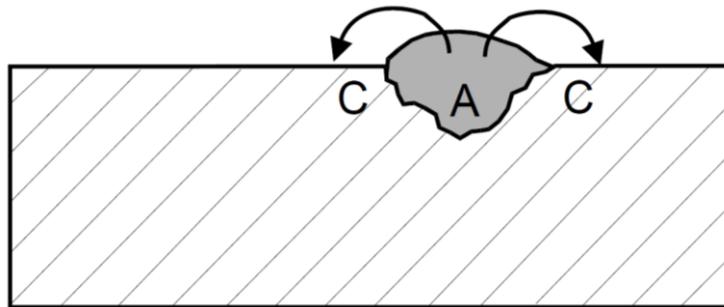


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

b. Corrosión localizada

La zona anódica permanece fija, la cual se corroe activamente originando un desgaste mayor en comparación a otras zonas. (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

Figura 2. 10 CORROSIÓN LOCALIZADA

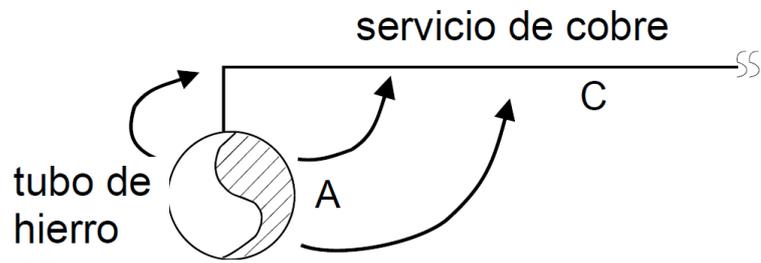


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

a. Corrosión Galvánica

Cuando 2 metales diferentes se interconectan y están presentes en un mismo medio se genera el efecto de corrosión por diferencia entre sus potenciales electroquímicos. (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

Figura 2. 11 CORROSIÓN GALVÁNICA

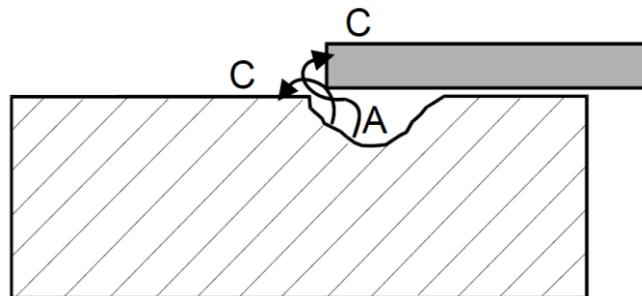


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

a. Corrosión por grietas

Ocurre por efecto de diferencia de concentración de oxígeno, donde la superficie dentro de la grieta tiene poco acceso al oxígeno, mientras la otra zona exterior tiene mayor acceso al oxígeno disuelto. (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

Figura 2. 12 CORROSIÓN POR GRIETA

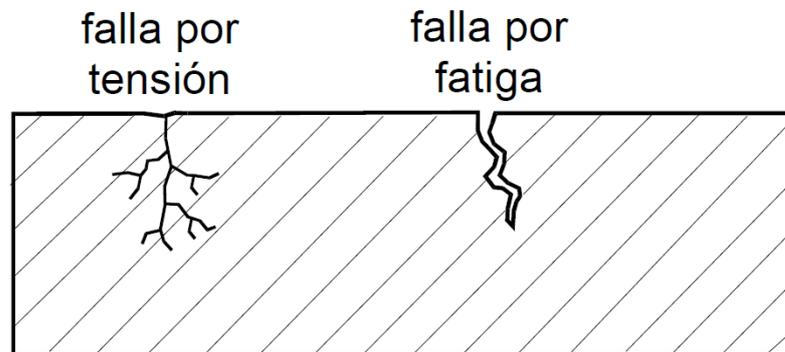


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:46)

a. Corrosión inducida por el medio

Aparece en una fractura frágil de una aleación de un metal dúctil que, por efecto de la corrosión localizada y generalmente muy pequeña, adicionando tensiones cíclicas o estáticas, llega a incrementar sus dimensiones a lo largo de la sección del metal, aquí incluyen formas de corrosión bajo tensión (SCC, Stress corrosion cracking), fractura por fatiga y fractura inducida por hidrógeno (HIC, hydrogen induced cracking). (NACE CP3, 2007 pág. 1:47)

Figura 2. 13 FRACTURA POR EL MEDIO

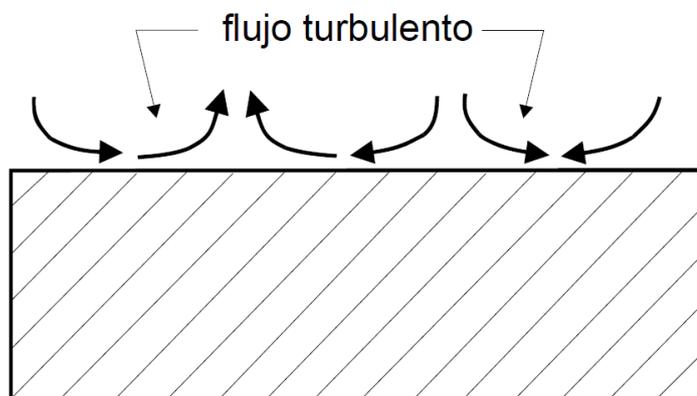


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:47)

a. Corrosión por erosión y fricción

La corrosión erosiva es la aceleración de la velocidad de corrosión por efecto de la erosión y producida por el fluido corrosivo, generando principalmente en la superficie metálica surcos, valles, hoyos y agujeros redondeados en dirección del paso del fluido.

Figura 2. 14 CORROSIÓN EROSIVA

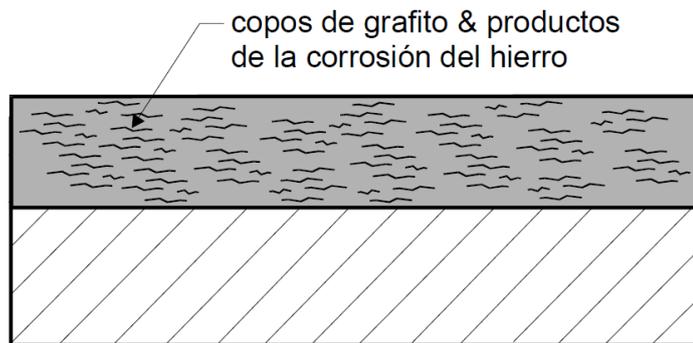


Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:47)

b. Corrosión selectiva

También llamada desaleación ocurre cuando en el proceso de aleación de materiales en el que uno es más activo que otro origina la corrosión selectiva del elemento más activo. (NACE CP3, 2007 pág. 1:47)

Figura 2. 15 CORROSIÓN DEL HIERRO FUNDIDO GRIS



Fuente: Tomado del Manual (NACE CP3, 2007 pág. 1:47)

2.3 Conceptual

2.3.1 Protección Catódica

Es un método en el que por medio del paso de corriente eléctrica en un circuito electroquímico se logra equilibrar potenciales entre las zonas anódicas y catódicas de una estructura (NACE CP2, 2006 pág. 2:1)

Al tener la estructura un elemento más electronegativo, tendrá este, mayor tendencia a corroerse que la propia estructura, es así como se logra mitigar la corrosión en el elemento a proteger.

La principal función de la protección catódica es la de proteger estructuras que por su condición están sumergidas en un medio electrolítico (Sherr, 2015)

Al ser la atmósfera una fina capa de humedad en pequeñas gotas de agua, no es posible la inmersión del ánodo por completo, por lo tanto, la protección catódica no puede controlar la corrosión en un medio atmosférico (Bashi, SM, Nashiren , y otros, 2004 pág. 367)

2.3.2 Resistividad de Suelos

Es la propiedad del terreno para conducir electricidad, en el testeado se promedian los efectos que existen en las diferentes capas, debido a que estas no son uniformes.

Para ello existen dos métodos:

Método de Wenner

Este método consiste en la inyección de corriente directa o de baja frecuencia a través de dos electrodos C1 y C2 mientras que los electrodos P1 y P2 miden el potencial. (A.W. PEABODY'S, 2001 pág. 85)

El primer paso es determinar la resistencia en ohmios entre el par central de las varillas con la ayuda de un telurómetro y la resistividad se calcula de la siguiente formula:

$$\rho = 2\pi aR \quad (\text{NACE CP2, 2006 pág. 6:72})$$

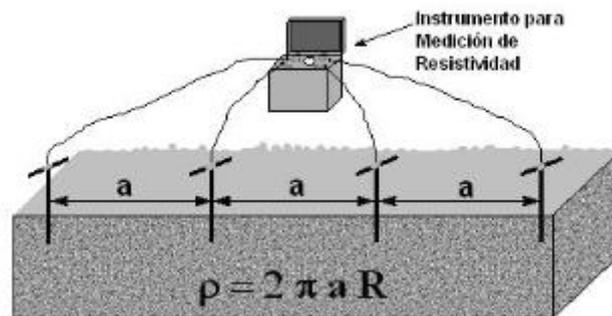
Donde:

ρ = Resistividad en Ω -cm

a = Separación en cm

R = Resistencia Ω

Figura 2. 16 ESQUEMA DEL MÉTODO DE WENNER



Fuente: (NACE CP2, 2006 pág. 6:72)

Método de Barnes

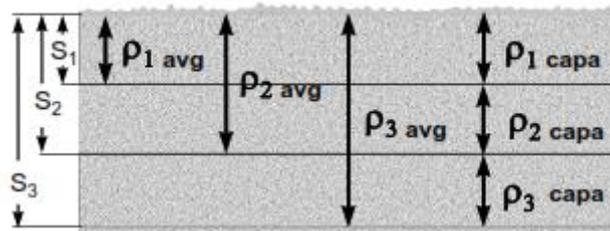
Es un método de análisis por capas, usando la siguiente formula:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (\text{NACE CP2, 2006 pág. 6:74})$$

Si solamente existen dos resistencias en paralelo:

$$R_2 = \frac{R_1 R_T}{(R_1 - R_2)} \quad (\text{NACE CP2, 2006 pág. 6:74})$$

Figura 2. 17 ESQUEMA MÉTODO DE BARNES



Fuente: (NACE CP2, 2006 pág. 6:73)

2.3.3 Tipos de sistemas de protección catódica

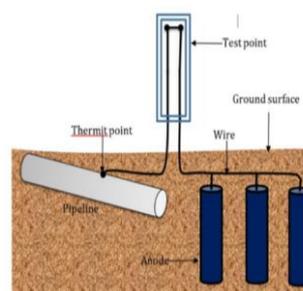
Actualmente hay dos tipos de técnicas las que se aplican en la industria, el sistema de protección catódica por corriente impresa y el de ánodos de sacrificio.

Sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio

El sistema funciona por el principio de la conexión entre 2 metales, uno más activo que el otro formará entonces una celda de corrosión galvánica, el material más activo se corroerá y protegerá al metal menos activo, por lo cual estos metales son llamados ánodos de sacrificio (NACE CP2, 2006 pág. 3:18)

Este sistema tiene efecto cuando los ánodos tienen proximidad a la estructura solucionando problemas de corrosión localizada, pues mantiene las corrientes de protección localizada en la estructura (Cathodic Protection: A brief primer, 2009).

Figura 2. 18 ESQUEMA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE GALVÁNICA



Fuente: Tomado de nombre de la revista (A review of field corrosion control and monitoring techniques of the upstream oil and gas pipelines, 2017 pág. 70)

Sistema de protección catódica por corriente impresa

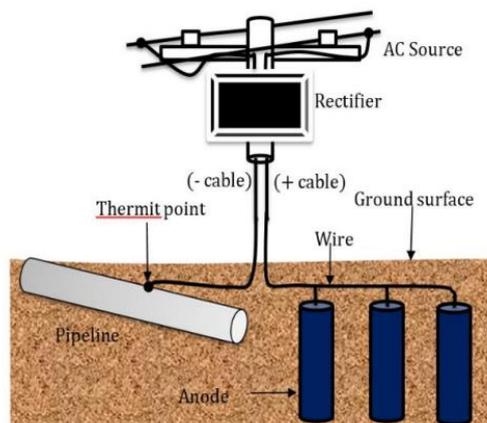
A diferencia del sistema por ánodos de sacrificio, este sistema presenta una fuente externa que hace circular corriente eléctrica continua a través del circuito.

Este método reside en unir eléctricamente la estructura a proteger con el polo negativo de la fuente de alimentación y el polo positivo con el ánodo auxiliar, la cual cierra el circuito drenando corrientes de protección hacia la estructura (Ávila, 1996)

La velocidad de corrosión del ánodo es lenta, debido a que el material del cual están hechos es relativamente inerte. Al rodear el ánodo con material carbónico (backfill), éste se convierte en el elemento de reacción, el ánodo funciona como un conector eléctrico, el carbón reacciona y se oxidándose principalmente en toda su periferia (NACE CP3, 2007 pág. 1:7)

Los sistemas de corriente impresa generalmente son usados para la protección de estructuras grandes, ya que no es económicamente viable la colocación de ánodos de sacrificio el todo el recorrido de la estructura por ser efectiva en proteger zonas puntuales (CaThodic Protection: A brief primer, 2009 pág. 1)

Figura 2. 19 ESQUEMA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA



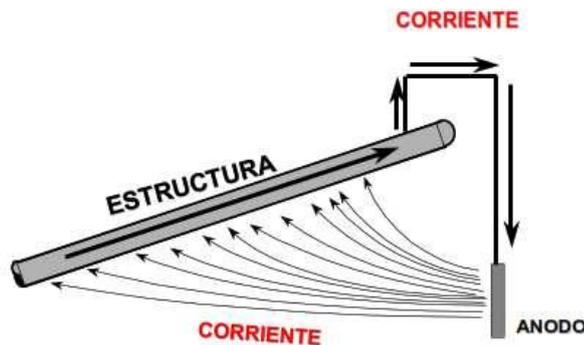
Fuente: Tomado de nombre de la revista (A review of field corrosion control and monitoring techniques of the upstream oil and gas pipelines, 2017 pág. 70)

2.3.4 Componentes de un sistema de protección catódica

Componentes de un sistema Galvánico

Este sistema por corriente galvánica posee 4 elementos básicos, ánodos, Backfill o relleno anódico, un puente eléctrico que une el ánodo con la estructura y, por último, la estructura a proteger. (NACE CP2, 2008 pág. 3:1)

Figura 2. 20 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN GALVÁNICA



Fuente: Tomado del manual (NACE CP4, 2009 pág. 3:1)

Componentes de un sistema por corriente impresa

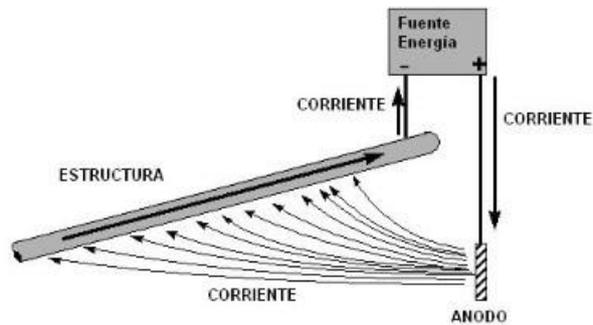
A diferencia de un sistema de protección Galvánica, los sistemas de protección por corriente impresa cuentan con una fuente de poder externa llamadas rectificadoras de corriente, entonces los componentes son:

Ánodos, relleno anódico, fuente de energía (rectificador) y puente eléctrico para cerrar el circuito.

Cabe recalcar que los ánodos usados en este tipo de sistemas son diferentes que los que se pueden usar en un sistema galvánico.

Los ánodos que se utilizan en un sistema por corriente impresa están fabricados con materiales que se consumen lentamente.

Figura 2. 21 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN POR CORRIENTE IMPRESA



Fuente: Tomado del manual (NACE CP4, 2009 pág. 3:7)

2.3.5 Ánodos de Corriente Impresa

Los ánodos utilizados pueden tener distintas formas de acuerdo a la necesidad de su aplicación, pueden ser de forma cilíndrica, tubular, en forma de alambre o cinta. También pueden ser de distintos materiales y aleaciones como hierro-silicio, óxido de metal mixto, platino o titanio (CaThodic Protection: A brief primer, 2009)

A continuación, se describen los distintos ánodos que pueden ser empleados en un sistema de protección por corriente impresa.

Ánodos de Grafito

Por estar hecho de Grafito se vuelve un material frágil, generalmente son usados para aplicaciones donde la estructura está inmersa en lodos, agua de mar y suelos. Las velocidades de consumo varían de acuerdo al medio electrolítico.

- 0.45 Kg/A-año para agua de mar.
- 0.9 Kg/A-año para suelos
- 0.1.36 Kg/A-año para lodos

Ánodos de Plomo

Generalmente usados en aplicaciones marinas, su rata de consumo es de 0.09 Kg/A-año debido a que se genera una película protectora al oxidarse y evita el deterioro del ánodo.

Aleaciones Hierro-Cromo-Silicio

Tiene una rata de corrosión que va desde 0.25 a 1 Kg/A-año y generalmente son usados para aplicaciones en agua dulce, agua de mar y aplicaciones enterradas, la oxidación de este material provoca la aparición de SiO₂ en la superficie del ánodo lo que les genera una mayor resistencia a terrenos secos. (NACE CP4, 2009 pág. 3:20)

Oxido de metal mezclado (MMO):

Este tipo de ánodo es dimensionalmente estable ya que son unos de los ánodos que menor tasa de consumo tienen (0.001 Kg/A-año) (NACE CP4, 2009 pág. 3:24).

Los óxidos de metales por el cual podría estar formada la capa de activación son normalmente el Iridio, tántalo, titanio y platino y combinaciones de estas, siendo una de las más resistentes Ir-Ta-Ti.

Generalmente son presentados en distintos tamaños y formas ya sea en barra, pletina, tubo e hilos (ARGO, 2015 pág. 29)

2.3.6 Fuentes de corriente

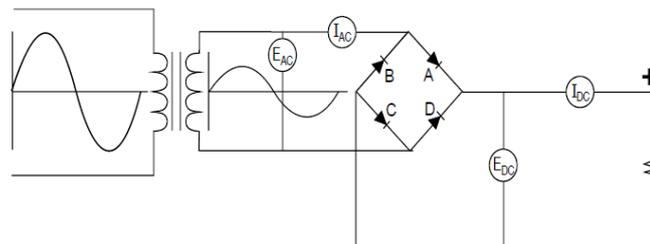
Actualmente existen diferentes tipos fuentes de que transforman la corriente alterna en continua y que son llamados rectificadores.

Los rectificadores permiten el paso de corriente eléctrica en una sola dirección y permite al sistema tener un solo sentido de flujo de corriente, estos aparatos tienen ingreso de corriente alterna monofásica o trifásica según sea el requerimiento de corriente del sistema, la tensión de salida puede ser regulada de acuerdo a las necesidades, y principalmente constan de un puente reductor P que se compone de 4 diodos o grupo de diodos a base de selenio o silicio. (Ávila, 1996)

Las partes fundamentales que componen un rectificador son:

- Suministro de energía AC
- Interruptor del circuito
- Transformador
- Elementos rectificadores
- Instrumentos de medición
- Terminales de salida DC

Figura 2. 22 ESQUEMA BÁSICO DE RECTIFICADOR MONOFÁSICO CON PUENTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA



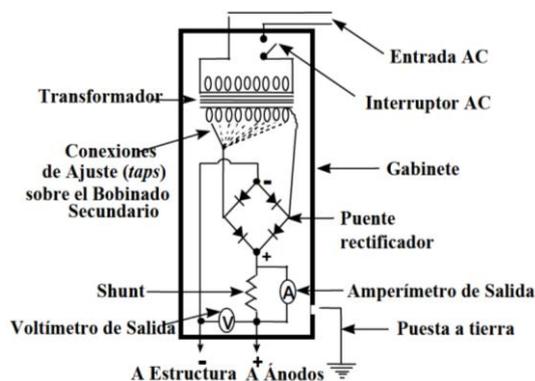
Fuente: Tomado del manual (NACE CP2, 2006 pág. 4:6)

Según su modo de operación:

Rectificadores de tensión constante:

La tensión se ajusta de acuerdo a la resistencia del circuito externo mediante el cambio de conexiones en la bobina secundaria del transformador. Generalmente se usa cuando hay cambios en la resistencia externa (NACE CP2, 2006 pág. 4:16)

Figura 2. 23 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE TENSIÓN CONSTANTE

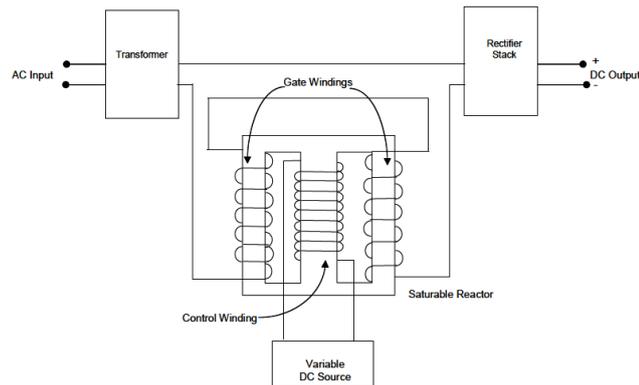


Fuente: Tomado del manual (NACE CP2, 2006 pág. 4:16)

Rectificadores de corriente constante:

Este tipo de rectificadores no necesitan un electrodo de referencia permanente por que gracias a su sistema interior se logra inyectar una corriente constante (NACE CP2, 2006 pág. 4:19)

Figura 2. 24 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE CORRIENTE CONSTANTE

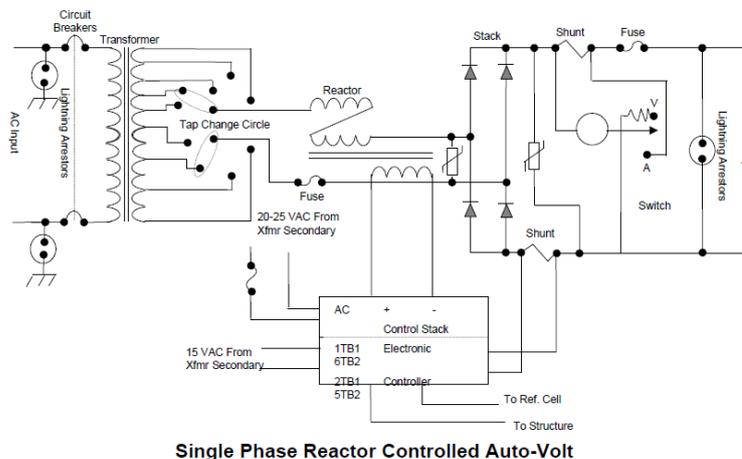


Fuente: Tomado del manual (NACE CP2, 2006 pág. 4:19)

Rectificadores de potencial constante:

Este tipo de rectificador monitorea y mantiene el potencial estructura-suelo constante aumentando o disminuyendo la inyección de corriente y voltaje llevando el potencial estructura-suelo al valor inicial. (NACE CP2, 2006 pág. 4:20)

Figura 2. 25 CIRCUITO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR DE POTENCIAL CONSTANTE



Single Phase Reactor Controlled Auto-Volt

Fuente: Tomado del manual (NACE CP2, 2006 pág. 4:20)

2.3.7 Criterios de diseño

Para empezar el diseño de un sistema de protección catódica es muy importante la recolección de información, para ello es conveniente preparar un resumen de datos y una lista de verificación.

Tener en cuenta los siguientes datos:

Vida útil de la estructura proyectada en el diseño, Superficie a proteger, Materiales de construcción, Fabricación, Tipo de revestimiento, Juntas dieléctricas en buen estado, propiedades del medio electrolítico en la cual se sumerge o se entierra la estructura, operación, posibles modos de protección. (NACE CP4, 2009 pág. 4:1)

2.3.8 Criterio de aceptación

Para los criterios de aceptación nos basamos en la norma NACE-RP-0169 “Control de la corrosión externa de sistemas de tuberías metálicas subterráneas o sumergidas”, esta norma muestra los criterios y otras consideraciones para protección catódica. (A.W. PEABODY’S, 2001 pág. 49).

Los criterios son:

Un potencial negativo (catódico) de al menos 850mV

La estructura enterrada que cuente con protección catódica, al ser medida con un electrodo de Cu/CuSO₄ debe ser de igual o más negativo que 850mV. (SP0169, 2002)

Un mínimo de 100mV de polarización catódica

Diferencia entre los potenciales instant Off y Potencial Off (Estructura despolarizada). (SP0169, 2002)

2.3.9 Ventajas y limitaciones

Tabla 2. 1 VENTAJAS Y LIMITACIONES

CRITERIOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
potencial	Fáciles de aplicar	Suponen que el potencial seleccionado es al menos tan Potencial Fáciles de aplicar negativo como el potencial anódico a circuito abierto sobre una superficie de corrosión libre. Generalmente requieren la corrección de la caída óhmica.
Desplazamiento por polarización 100 mV despolarización.	Se mide el potencial polarizado (Libre de error por caída óhmica). Evita la sobreprotección.	Requiere la medición del potencial de corrosión y del potencial polarizado. Probablemente no será válido para celdas de corrosión de acción localizada bajo control anódico.
E log i	Requerimiento de corriente relativamente bajos.	No Válido para medios aireados. Requiere procedimientos de ensayo muy cuidadosos.
Corriente estructura / Electrolito	Teóricamente, suministrará una protección completa.	Dificultad para localizar y medir los sitios anódicos pre existentes. Los sitios anódicos pueden cambiar de ubicación con el tiempo.

Fuente: Tomado del manual (NACE CP4, 2009 pág. 1:36)

2.4 Definición de términos básicos:

Ánodo: Electrodo de una celda electroquímica donde ocurre la oxidación (Los electrones fluyen fuera del ánodo en el circuito externo, que es normalmente metálico). El ánodo es normalmente el electrodo donde ocurre la corrosión y los iones del metal entran en la solución.

Aislamiento Eléctrico: Condición de separación eléctricamente de otra estructura metálica o del ambiente.

Cátodo: Electrodo de una celda electroquímica donde ocurre la reducción.

Corrosión: El deterioro de un material, usualmente un metal, como resultado de una reacción con el ambiente.

Conductor: Material disponible para transporte de corriente eléctrica. Este puede ser desnudo o aislado.

Criterio de protección: Estándar de valoración de la efectividad de un sistema de protección catódica.

Corriente impresa: Corriente eléctrica suministrada por una fuente de energía externa en un sistema de protección catódica.

Electrolito: Sustancia química que contiene iones libres que emigran en presencia de un campo eléctrico. Para el propósito de este documento, el electrolito se refiere al suelo o líquido adyacente y en contacto con sistemas de tuberías metálicas sumergidas o enterradas, incluyendo la humedad y otros químicos contenidos allí dentro.

Electrodo de referencia: Dispositivo que permite medir el potencial de una superficie metálica expuesta en un electrolito. El potencial medido en un electrodo puede ser considerado constante bajo condiciones similares de medición. (Ejemplos: Cobre / sulfato de cobre saturado, calomel saturado, y plata /cloruro de plata saturado).

Ánodos de Ferro silicio Cromo (Fe-Si-Cr): Los ánodos sólidos fundidos de ferro silicio cromo sólidos se pueden usar en tierra y agua. Su composición química (que es única) provoca que los ánodos trabajen

efectivamente en ambientes salinos, agua salobre y otros ambientes que contengan ambientes salinos, agua salobre y otros ambientes que contengan iones de cloruro.

Polarización catódica: El cambio de potencial del electrodo en dirección electronegativa resultante del flujo de corriente entre electrolito y electrodo.

Potencial de Corrosión: El potencial mixto de una superficie de tubería corroyéndose libremente con referencia a un electrodo en contacto con el electrolito.

Polarización: La desviación de potencial de un electrodo como resultado de un flujo de corriente entre el electrodo y el electrolito.

NACE: Asociación nacional de ingenieros en corrosión, organización dedicada a la prevención y el control de la corrosión para la protección de personas, activos y medio ambiente de sus efectos.

Protección catódica: Técnica para controlar la corrosión de una superficie de metal haciendo esa superficie el cátodo de una celda electroquímica.

Protección catódica por corriente impresa: Método de protección catódica que logra la diferencia o el desplazamiento del potencial del metal en la dirección negativa, mediante la implementación de una fuente externa de corriente continua.

Rectificador: Equipo eléctrico que permite la conversión de un voltaje alterno (CA-corriente alterna o pulsante) en un voltaje continuo (CD-corriente continua).

Resistividad de suelo: Indica la resistencia que opone el suelo al paso de corriente y es recíproca con la conductividad. Se expresa en Ohmios-cm.

Voltaje: Una fuerza electromotriz o una diferencia de potenciales del electrodo expresada en voltios.

Corriente DC: Se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, que no cambia de sentido con el tiempo.

Puenteo eléctrico: Conexión, generalmente metálica, que proporciona continuidad eléctrica entre estructuras que pueden conducir la electricidad.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Si se diseña e implementa el sistema de protección catódica por corriente impresa se logrará mitigar la corrosión de las tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a. La determinación del requerimiento de corriente necesario permitirá cubrir zonas expuestas a la corrosión por fallos en el recubrimiento.
- b. Si se dimensiona y selecciona adecuadamente una cama anódica permitirá la correcta distribución de la corriente de protección para las tuberías enterradas.
- c. Si se selecciona correctamente una fuente de poder se podrá suministrar la cantidad de corriente necesaria para el nuevo sistema.
- d. Si se implementa un sistema de protección catódica en base a los requerimientos del diseño se logrará cumplir con los criterios de protección de la normativa NACE.

3.2 Definición conceptual de variables

Variable Independiente

X= Sistema de protección catódica

Variable Dependiente

Y = Mitigar la corrosión

Por lo tanto, la ecuación tendría la siguiente forma:

$$F(X) = Y$$

3.2.1 Operacionalización de variable

La operacionalización y desarrollo de las variables independiente y dependiente se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 3. 2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
VARIABLE INDEPENDIENTE Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa	- Requerimiento de corriente	- Área de superficie	- Diámetro - Longitud
		- Resistividad del terreno	- Medición y cálculo
		- Porcentaje de daño en el recubrimiento	- Tiempo de servicio de la tubería
		- Densidad de corriente por daño recubrimiento	- Tiempo de recubrimiento
	- Cálculo y selección de cama anódica	- Cantidad de ánodos	- Tiempo de vida útil - Tipo de ánodo - Peso unitario de ánodo - Tasa de consumo
		- Resistencia de la cama anódica	- Longitud - Diámetro - Resistividad del suelo
		- Voltaje requerido	- Materiales - Mano de obra - Equipos
		- Selección de fuente de poder	- Resistencia de la cama anódica - Resistencia eléctrica - Resistencia total del circuito - Dimensionamiento del rectificador
	- Implementación del sistema de protección catódica por	- Montaje	- Materiales - Mano de obra - Equipos
		- Puesta en Marcha	- Potencial natural

	corriente impresa		- Resistencia eléctrica
VARIABLE DEPENDIENTE	- Mitigación de la corrosión	- Potencial electroquímico	- Equipos de medición
Mitigar la Corrosión			- Criterios de aceptación

Fuente: Elaborado en base a datos de la tesis

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación es del tipo tecnológica.

La investigación científica tiene como fin dar solución a diferentes problemas con el uso del método científico y de esta manera poder dar beneficios a la sociedad. (Espinoza, 2010 pág. 76)

4.1.2 Diseño de la investigación

El tipo de diseño que aplica para esta investigación es del tipo Experimental con pre prueba y post prueba.

Según Ciro Espinoza para este tipo de diseño se aplica cuando se necesita manipular variables. (Espinoza, 2010 pág. 96)

$O1 \rightarrow X \rightarrow O2$

X: Implementación del sistema de protección catódica por corriente impresa.

O1: Potencial electroquímico de las tuberías enterradas antes de la implementación.

O2: Potencial electroquímico de las tuberías enterradas posterior a la implementación.

4.2 Método de investigación.

El método aplicado es el analítico, lógico-deductivo con enfoque sistémico, ya que según (Rodríguez Jiménez, y otros, 2017) mencionan:

Mediante la deducción se pasa de un conocimiento general a otro de menor nivel de generalidad. Las generalizaciones son puntos de partida para realizar inferencias mentales y arribar a nuevas conclusiones lógicas para casos particulares. Consiste en inferir soluciones o características concretas a partir de generalizaciones, principios, leyes o definiciones universales.

4.2.1 Técnicas de modelado

a. Modelado de Caja Negra

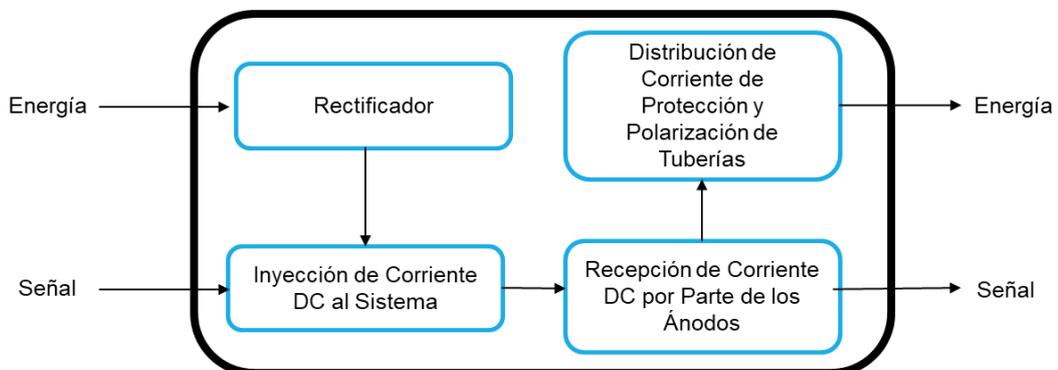
Figura 4. 1 CAJA NEGRA



Fuente: Elaboración en base a la tesis

b. Modelado de Caja blanca

Figura 4. 2 CAJA BLANCA



Fuente: Elaboración en base a la tesis

Entrada

- **Señal:** Visual en breaker de alimentación
- **Energía:** Corriente eléctrica AC

Salida

- **Señal:** Potenciales electroquímicos bajo estándares.
- **Energía:** Polarización a tuberías enterradas

4.3 Población y muestra.

“La población es el conjunto de objetos de los que se desea conocer en una investigación” (López, 2004)

“Si la población es menor a cincuenta individuos, la población es igual a la muestra” (Hernández, 2016)

En este caso la población es igual a la muestra la cual sería las tuberías enterradas de la planta de fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado.

El de estudio fue la Planta de Fraccionamiento de Líquidos de Gas Natural (PFLGN) de Pisco. Ubicada al sur de la ciudad de Pisco, en el Distrito de Paracas, Provincia de Pisco, Departamento de Ica, aproximadamente a 250 km. al sur de Lima, al Este de la Carretera Pisco-Paracas.

El periodo fue de agosto 2018 a agosto 2019.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Técnicas de Documental

“La técnica documental permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación” (Espinoza, 2010 pág. 110)

Técnicas de Experimental

“La técnica empírica permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda que la verdad” (Espinoza, 2010 pág. 110)

Tabla 4. 1 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

TÉCNICA DOCUMENTAL	INSTRUMENTOS	INSTRUMENTOS MECÁNICOS
Documental	<ul style="list-style-type: none"> - Informes técnicos. - Fichas bibliográficas (libros digitales y físicos). - Fichas técnicas. 	
TÉCNICA EXPERIMENTAL	INSTRUMENTOS	INSTRUMENTOS MECÁNICOS
Observación	<ul style="list-style-type: none"> - Hoja de registro de líneas de tuberías. - Hoja de registro de mediciones de potenciales - Hoja de registro de mediciones de resistividades de suelo - Check list de conformidad del sistema de protección catódica 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara fotográfica. - Electrodo de referencia Cu/CuSO₄. - Multímetro. - Telurómetro. - Gps. - Pinza amperimétrica.

Fuente: Elaborado en base a los datos de la tesis

4.6 Análisis y procesamiento de datos

4.6.1 Lista de Exigencias

Tabla 4. 2 LISTA DE EXIGENCIA

LISTA DE EXIGENCIAS			
ITEM	DESEO (D)		DESCRIPCIÓN
	EXIGENCIA (E)		
1	E	Toma de resistividades de suelos del lado Oeste (Truck Loading) y lado Este (Turbinas).	Dimensiones
2	D	Toma de potenciales electroquímicos con un electrodo Cu/SO ₄ Cu de las tuberías	Dimensiones

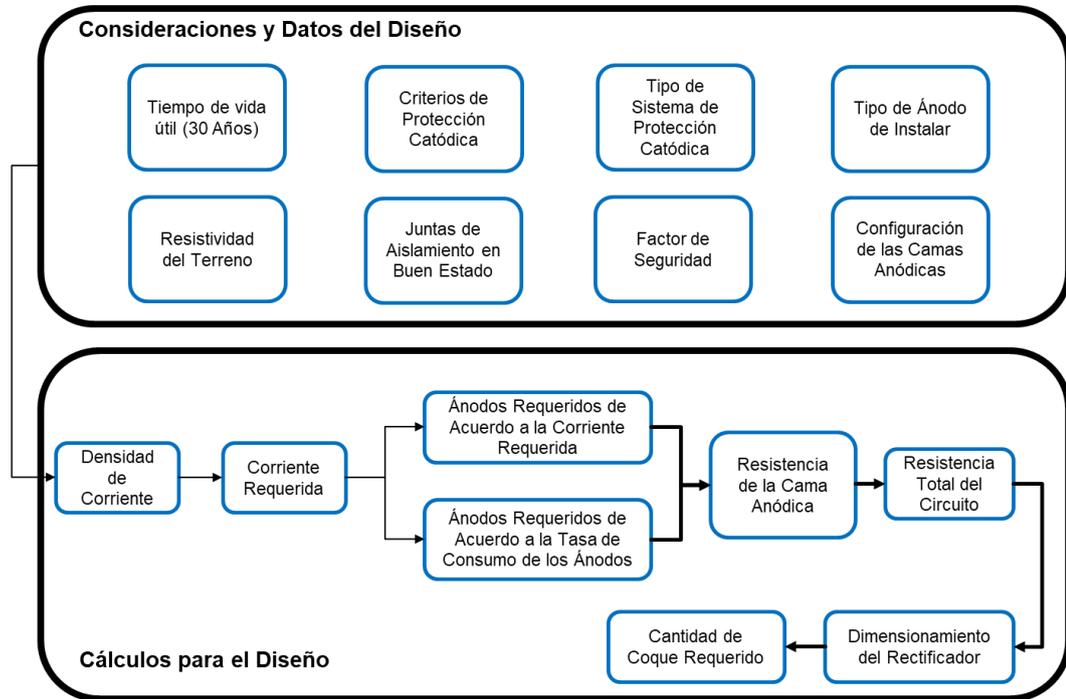
		enterradas en la planta de fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.	
3	D	Realizar trabajos de perforación y civil en un área de 2242.8m ² (Lado Este) y 2245.2m ² (Lado Oeste).	Dimensiones
4	E	Montaje y distribución de ánodo para corriente impresa en lado Este y lado Oeste según la disposición del espacio.	Dimensiones
5	E	Montaje e instalación de equipos rectificadores que abastezcan los sistemas de protección catódica (1Lado Este y 1 Lado Oeste).	Dimensiones
6	E	Montaje e instalación de cajas de positivos (1Lado Este y 1 Lado Oeste).	Dimensiones
7	E	Montaje e instalación de cajas de puentes eléctricos (cajas anti explosión tipo nema 7, para áreas clasificadas).	Dimensiones
8	E	Fuente de alimentación por corriente alterna 220VAC para los rectificadores (1 Lado Este y 1 Lado Oeste).	Dimensiones
9	D	La energía utilizada no debe impactar al medio ambiente.	Medio Ambiente
10	E	Inspeccionar las juntas dieléctricas en las uniones bridadas de las tuberías a proteger.	Dimensiones
11	D	Los Componentes que conformarán el sistema deben ser de calidad y certificados y en su defecto ser fáciles de encontrar en el mercado.	Materiales
12	E	Debe de haber espacio suficiente para utilizar la máquina perforadora y los trabajos civiles.	Dimensiones
13	E	Elevar el voltaje del sistema de protección catódica del sistema ya existente.	Función
14	E	Cumplir los criterios de protección establecidos: Un potencial más electronegativo que -0.850VDC vs Cu/CuSO ₄ polarizados. Un diferencial de potencial mayor a 100mV DC entre el potencial natural del acero y el potencial de polarización.	Función

15	E	Protección catódica de una vida útil de 30 años.	Función
16	E	El equipo de trabajo deberá cumplir con los estándares de seguridad establecidas por Pluspetrol.	Seguridad
17	E	La máquina perforadora debe ser operada con una posición ergonómica que evite complicaciones en la salud.	Ergonomía
18	E	No producir contaminación de suelos con sustancias químicas por derrame.	Medio Ambiente
19	E	No producir contaminación ambiental con desechos sólidos o metálicos en las áreas a trabajar.	Medio Ambiente
20	E	Los componentes del sistema deben ser manipulados por personal capacitado y especialista.	Seguridad

Fuente: Elaborado en base a los requerimientos del cliente

4.6.2 Diseño Conceptual

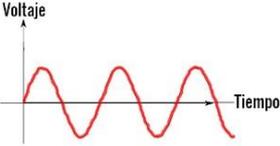
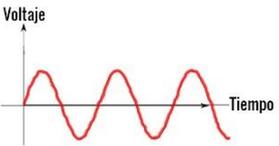
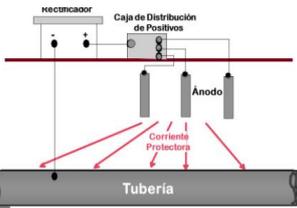
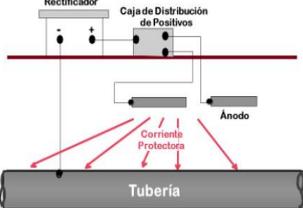
Figura 4. 3 DISEÑO CONCEPTUAL



Fuente: Elaborado en base a la tesis

4.6.3 Matriz Morfológica

Tabla 4. 3 MATRIZ MORFOLÓGICA

FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Alimentación al Sistema	 <p data-bbox="687 647 863 676">Corriente Alterna</p> <p data-bbox="667 696 924 725">Corriente 110VAC</p>	 <p data-bbox="1090 647 1265 676">Corriente Alterna</p> <p data-bbox="1069 696 1326 725">Corriente 220VAC</p>
Tipo de Rectificadores de Corriente	 <p data-bbox="620 1019 970 1086">Rectificador Enfriado por Aceite</p>	 <p data-bbox="1026 1019 1375 1086">Rectificador Enfriado por Aire</p>
Tipo de Ánodos para ser enterrados	 <p data-bbox="628 1337 962 1366">Ánodos de Ferro-Silicio</p>	 <p data-bbox="1075 1337 1313 1366">Ánodos de MMO</p>
Posiciones de los ánodos para las Camas Anódicas	 <p data-bbox="617 1601 975 1630">Ánodos Posición Vertical</p>	 <p data-bbox="995 1601 1394 1630">Ánodos Posición Horizontal</p>

Perforación de Pozos
para Instalación de
Ánodos



Máquina Perforadora de
Pozos (Diamantina)



Máquina de Perforación de
Pozos (Tricónica)

Trabajos Civiles
(Excavaciones para
Tendido de Cables
Positivos y Negativos)



Herramientas Manuales



Retroexcavadora

Alimentación a las
Tuberías enterradas a
Proteger



Corriente Continua

Fuente: Elaborado en base a la tesis

4.6.4 Consideraciones y Datos de Diseño

Tiempo de vida útil

Para efectos de diseño, se consideró una vida útil del sistema de protección catódica de 30 años.

Criterio de protección catódica

Los criterios de protección establecidos para el presente diseño son:

- Un potencial más electronegativo que $-0.850 \text{ V DC vs Cu/CuSO}_4$ polarizados.
- Un diferencial de potencial mayor a 100 mV DC entre el potencial natural del acero y el potencial de polarización.

Características de las tuberías a proteger:

Tabla 4. 4 LISTA DE TUBERÍAS A PROTEGER

DETALLE	DIÁMETRO	LONGITUD TOTAL (M)	TIPO DE RECUBRIMIENTO
Sistema contra incendio general	Variados	4,861.48	
Piping truck loading	Variados	2,692.60	COALTAR EPOXY - FBE
Piping generadores	Variados	2,027.00	

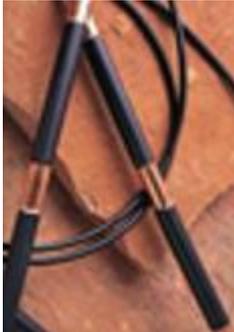
Fuente: Elaborado en base a los datos de la tesis

Tipo de ánodos a instalar

Basados en las condiciones del terreno, voltaje y la cantidad de corriente requerida fue seleccionado, Ánodo tipo Fe-Si-Cr. 2-3/4" diámetro, 60" longitud, 50 lb, conectado en un extremo con 10 metros de cable TTU AWG N°8.

Tabla 4. 5 TIPOS DE ÁNODOS PARA CORRIENTE IMPRESA

TIPO DE ÁNODOS	VENTAJA	DESVENTAJAS	IMAGEN DE REFERENCIA
Grafito	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona bien en coque • Es mejor en condiciones secas • Económica • Comprobado • Disponible con facilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • La evolución de oxígeno aumenta el consumo • Es frágil y se rompe con facilidad • Es frágil y se rompe con facilidad • Se recomienda un tratamiento para la porosidad • Gran tamaño 	
Hierro Silicio-Cromo	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona bien en coque • Funciona mejor en condiciones húmedas • Puede instalarse sin relleno • Resistente a los ácidos • Comprobado 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal rendimiento en sulfatos • Mal rendimiento en condiciones secas • Es frágil y se rompe con facilidad • Gran tamaño y pesado • Caro 	

Titanio y niobio platinizado	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona bien con evolución de cloro • Comprobado en agua de mar • Tamaño variable y bajo peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona mal con evolución de O₂ • No es recomendable para uso bajo tierra • No puede excederse el voltaje límite • Ataque por ripple de baja frecuencia • La velocidad de desgaste aumenta para aplicaciones de ánodo profundo 	
Mixed metal oxide	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie totalmente oxidada • Baja velocidad de consumo • Resistente a los ácidos • Se puede usar con densidades de corriente elevadas • Tamaño variable y bajo peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de información acerca del funcionamiento a largo plazo • Solo se aplica sobre titanio • Bajo voltaje límite 	

Fuente: Elaborado según el manual (NACE CP4, 2009 pág. 3:20)

Tabla 4. 6 CARACTERISTICAS DE ÁNODOS DE HIERRO SILICIO

TIPO DE ÁNODO	LONGITUD	DIÁMETRO	PESO	ÁREA DE SUPERFICIE
2260 Z	60"/1520mm	2.2"/56mm	36lb/16kg	2,9(0,27)
2660 Z	60"/1520mm	2.7"/69mm	50lb/23kg	3,5(0,33)
3860 Z	60"/1520mm	2.9"/74mm	62lb/28kg	3,8(0,35)
2284 Z	60"/2130mm	2.2"/56mm	50lb/23kg	4,0(0,37)
2684 Z	60"/2130mm	2.7"/69mm	70lb/32kg	4,9(0,46)
3884 Z	60"/2130mm	2.9"/74mm	90lb/41kg	5,3(0,49)
4884 LZ	60"/2130mm	3.2"/82mm	123lb/56kg	5,9(0,55)

4884 HZ	60"/2130mm	3.7"/94mm	175lb/80kg	6,8(0,63)
4884 XZ	60"/2130mm	4.2"/107mm	245lb/111kg	7,7(0,72)
4884 SZ	60"/2130mm	4.8"/122mm	90lb/41kg	5,3(0,49)

Fuente: Tomando del Catálogo Farwest Corrosion

CR: Tasa de consumo de los ánodos Fe-Si (Kg/A-Año) (0,19 Kg/A-Año)

L: Longitud (mm) (1520mm)

IA: Corriente drenada por ánodo (A) (5 Amperios)

F: Factor de utilización de los ánodos (0,85)

E: Eficiencia de los ánodos (0,9= 90%)

W: 23Kg

Tiempo de vida útil: 15 años

Resistividad de suelo

Se tomaron mediciones en 2 posibles ubicaciones de los lechos anódicos, mostrados en las siguientes tablas:

Tabla 4. 7 TOMA DE RESISTIVADES EN LADO ESTE

MEDICIÓN LADO ESTE TURBOCOMPRESORES PLUSPETROL							
SEPARACIÓN ENTRE VARAS (S)	ESPESOR DE LA CAPA	RESISTENCIA (R)	CONDUC TANCIA (1/R) SIEMENS	CAPA	CONDUC TANCIA DE LA CAPA EN SIEMENS	RESISTENCIA DE LA CAPA	RESISTIVIDAD DE LA CAPA
300 cm	300 cm	30,60Ω	0,03	a	0,03	30,60Ω	57679,6 Ω-cm
700 cm	400 cm	10,90Ω	0,09	b	0,06	16,93Ω	31914,1 Ω-cm
1000 cm	300 cm	5,58Ω	0,18	c	0,09	11,43Ω	28733,5 Ω-cm

Fuente: Elaborado en base a los datos recolectados en campo

Tabla 4. 8 TOMA DE RESISTIVIDADES EN EL LADO OESTE

MEDICIÓN LADO OESTE TRUCK-LOADING PLUSPETROL							
SEPARACIÓN ENTRE VARAS (S)	ESPESOR DE LA CAPA	RESISTENCIA (R)	CONDUCTANCIA (1/R) SIEMENS	CAPA	CONDUCTANCIA DE LA CAPA EN SIEMENS	RESISTENCIA DE LA CAPA	RESISTIVIDAD DE LA CAPA
300 cm	300 cm	18,10 Ω	0,06	a	0,06	18,10 Ω	34117,7 Ω-cm
700 cm	400 cm	6,62 Ω	0,15	b	0,10	10,44 Ω	19674,1 Ω-cm
1000 cm	300 cm	1,76 Ω	0,57	c	0,47	2,40 Ω	6025.2 Ω-cm

Fuente: Elaborado en base a los datos recolectados en campo

En base a las resistividades determinadas en cada capa, se toma la decisión de instalar los ánodos a 7 metros de profundidad, pues no hay diferencia considerable entre los 10 metros y 7 metros para la resistividad en el lado Este, por lo tanto, se toma como referencia para los cálculos el mayor valor de ambos.

4.6.5 Diseño de detalle

Estimación de densidad de corriente

La corriente requerida se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$J = 73.73 - 13.35 * \log(R) \quad (\text{Companion to the Peabody Book, 2000})$$

R: Resistividad promedio medida (ohm*cm)

J: Densidad de corriente requerida (mA/m²)

$$J = 73.73 - 13.35 * \log(31914.1)$$

$$J = 13.60 \text{ mA/m}^2$$

Tabla 4. 9 DENSIDAD DE CORRIENTE REQUERIDA DE ACUERDO AL MEDIO

MEDIO	DENSIDAD DE CORRIENTE REQUERIDA mA/M² /10.76=mA/ft²
Suelo estéril, neutro	4.2-16.1
Suelo neutro bien aireado	21.5-32.3
Suelo seco bien aireado	5.4-16.1
Suelo húmedo, condiciones moderadas/ severas.	26.9-24.6
Suelo altamente ácido	53.8-161.4
Suelo que favorece la presencia de bacterias reductoras de sulfatos	451.9
Suelo recalentado (por ej. Línea de descarga de agua caliente)	53.8-269.0
Hormigón seco	5.4-16.1
Hormigón húmedo	53.8-269.0
Agua dulce estancada	53.8
Agua dulce en movimiento	53.8-64.6
Agua dulce con mucha turbulencia y alto contenido de oxígeno disuelto	53.8-161.4
Agua caliente	53.8-161.4
Agua estuaria contaminada	538.0-1614.0
Agua de mar	53.8-269.0
Soluciones con productos químicos, ácidas o alcalinas, en tanques de proceso	53.8-269.0
Cajas de agua de intercambiadores de calor con placas y tubos no ferrosos	1345.0 total
ACEROS BIEN REVESTIDOS	
Suelos	0.01-0.2

Fuente: Tomado del Manual (NACE CP4, 2009)

El tipo de suelo en base a densidad de corriente requerida calculada previamente sería un equivalente a un suelo estéril neutro o suelo seco bien aireado al estar dentro del rango, por tal motivo se toma para los cálculos siguientes una densidad de corriente requerida de 16.1mA/m².

Determinación de la corriente requerida

La corriente requerida se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_R = J * A_P \quad (\text{Companion to the Peabody Book, 2000})$$

IR: Corriente requerida (A)

J: Densidad de corriente requerida (mA/m²)

$$I_R = 16.1 * 784.15$$

$$I_R = 12624.82 \text{ mA} = 12.62 \text{ A}$$

Previendo posibles incrementos de la corriente requerida durante la vida útil del sistema de protección catódica, como consecuencia del deterioro del recubrimiento y fugas de corriente hacia otras estructuras metálicas, se aplicó de acuerdo a criterio técnico del diseñador y en coordinación con el cliente, un factor de seguridad del 50% al valor de la corriente teórica calculada.

$$I_R = 12.62 \text{ A} * 1,5 = 18.94 \text{ A}$$

Ánodos requeridos de acuerdo a la corriente requerida

La cantidad mínima de ánodos a instalar, se calcula de acuerdo al cociente entre la corriente requerida por diseño (IR) y la corriente máxima drenada por cada ánodo (IA), tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$Ni = \frac{I_R}{I_A} \quad (\text{Companion to the Peabody Book, 2000})$$

$$Ni = \frac{18.94}{5}$$

$$Ni = 3.79$$

Por lo tanto, el sistema requiere un mínimo de 4 ánodos.

Ánodos requeridos de acuerdo a la Tasa de consumo del ánodo

El número de ánodos de acuerdo a la tasa de consumo de los ánodos se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{[C_R * T * I_R]}{F * E} \quad \text{(Companion to the Peabody Book, 2000)}$$

Donde:

C_R: Tasa de consumo de los ánodos Fe-Si (Kg/A-Año) (0,19 Kg/A-Año)

T: Tiempo de vida útil del sistema de protección catódica (Años) (30 años)

I_R: Corriente de protección catódica requerida (A) (18.94 Amperios)

F: Factor de utilización de los ánodos (0,85)

E: Eficiencia de los ánodos (0,9= 90%)

W: Peso unitario de los ánodos de Fe-Si (23Kg)

Al reemplazar los datos en las ecuaciones de diseño se tiene:

$$N_c = \frac{[0,19 * 30 * 18,94]}{0,9 * 0,85}$$

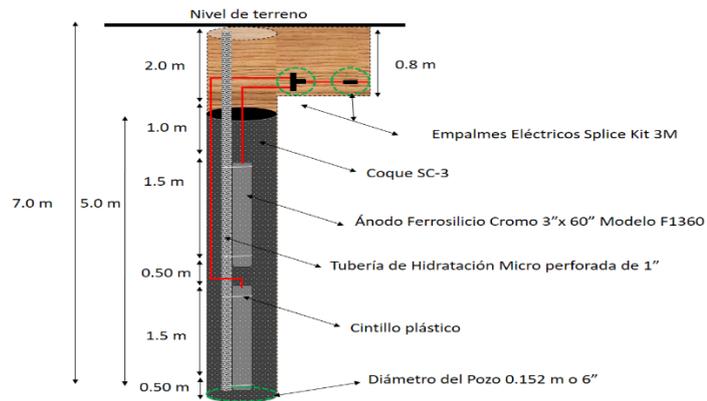
$$N_c = 6.136$$

Por lo tanto, el sistema requiere un mínimo de 7 ánodos.

Configuración de camas anódicas

Basados en las propiedades eléctricas del suelo, se determinó de acuerdo a criterio técnico, la instalación de camas anódicas verticales en paralelo, instalando dos (2) ánodos en cada perforación de 30cm de diámetro, a una profundidad comprendida entre 3 a 7 metros, y rellenando con coque SC-3, lo que lo convierte en un solo cuerpo anódico de 400cm de longitud y 30cm de diámetro.

Figura 4. 4 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE UNA CAMA ANODICA VERTICAL



Fuente: Elaboración en base a la tesis

Resistencia de la cama anódica vertical

La resistencia de un (1) ánodo en posición vertical, está en función de la resistividad del suelo y de las dimensiones del ánodo, tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$R_A = \frac{\rho}{2 * \pi * L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \quad \text{(Companion to the Peabody Book, 2000)}$$

Dónde:

R_A: Resistencia de un (1) ánodo en posición vertical (Ω)

ρ : Resistividad eléctrica del suelo ($\Omega \cdot \text{cm}$)

L: Longitud de la cama anódica (cm)

D: Diámetro de la cama anódica (cm)

Datos de cálculo:

ρ : 31914.1 $\Omega \cdot \text{cm}$

L: 400 cm

D: 30 cm

Al sustituir los datos anteriores, en la ecuación de cálculo se tiene:

$$R_A = \frac{31914.1}{2 * \pi * 400} \left[\ln \left(\frac{8 * 400}{30} \right) - 1 \right]$$

$$R_A = 46,59 \Omega$$

Al presentar una resistividad muy alta eso significaría considerar un rectificador de alto voltaje superior a los estándares comerciales, por lo tanto, teniendo en cuenta la alta resistencia eléctrica de una sola cama anódica vertical se decide adicionar ánodos para disminuir la resistencia de la cama anódica y por consiguiente del sistema.

Resistencia de la cama de múltiples ánodos verticales

La resistencia de múltiples ánodos en posición vertical, está en función de la resistividad del suelo y de las dimensiones del ánodo, cantidad y separación entre ánodos, tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$R_v = \frac{\rho}{2 * \pi * N * L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{2L}{S} \ln(0.656N) \right]$$

(Companion to the Peabody Book, 2000)

Dónde:

R_v: Resistencia de múltiples ánodos en posición vertical (Ω)

ρ : Resistividad eléctrica del suelo ($\Omega \cdot \text{cm}$)

L: Longitud de la cama anódica (cm)

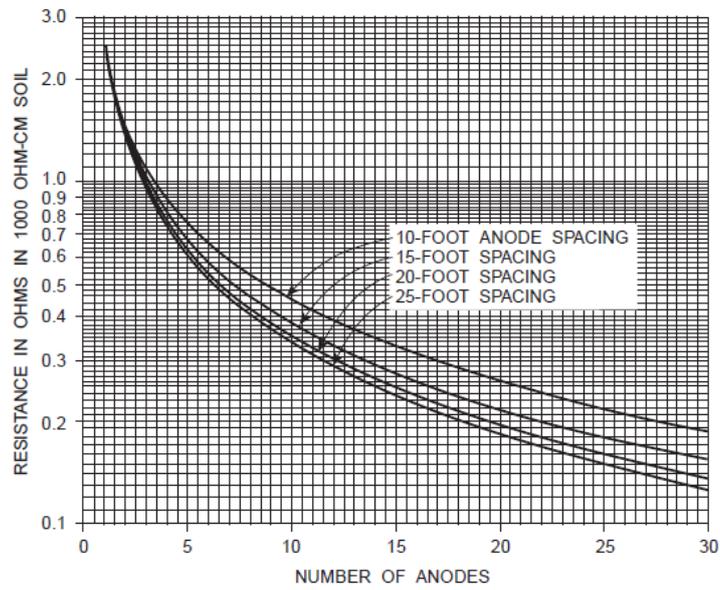
D: Diámetro de la cama anódica (cm)

N: Número de ánodos

S: Separación entre ánodos (cm)

En base a la gráfica se observa que a partir de 25 pies de separación la curva tiende a ser la misma sin diferencias considerables, motivo por el cual decidimos tomar una separación de 7 metros entre ánodos.

Figura 4. 5 GRÁFICA DE NÚMERO DE ÁNODOS VS RESISTENCIA EN OHMS



Fuente: Tomado del Libro (Companion to the Peabody Book, 2000)

Datos de cálculo:

ρ: 31914.1 Ω*cm

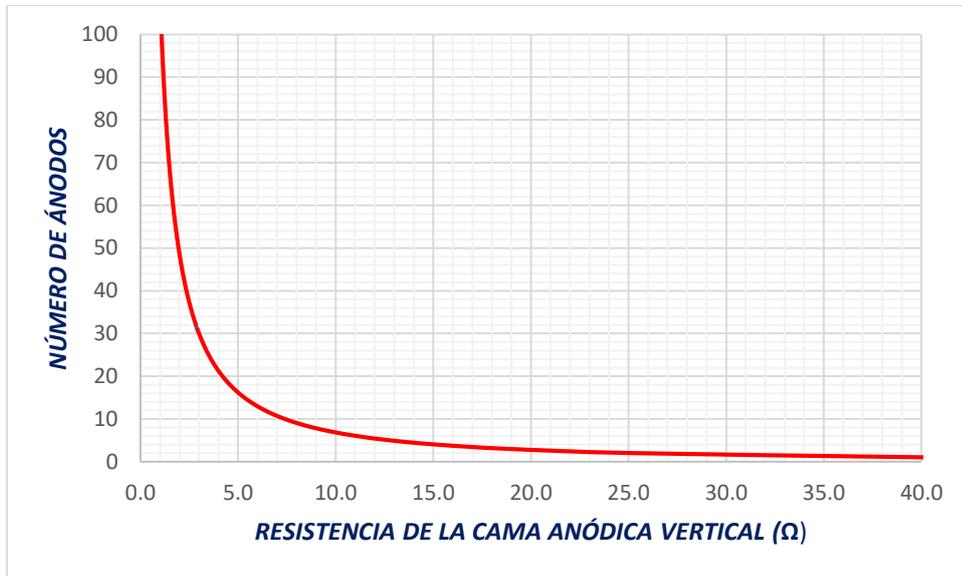
L: 400 cm

D: 30 cm

S: 700 cm

Al tener como incógnitas el número de ánodos y la resistencia de la cama graficamos la ecuación para obtener una mejor visualización del comportamiento de estas variables.

Figura 4. 6 GRÁFICA DE RESISTENCIA DE LA CAMA VERTICAL VS NÚMERO DE ÁNODOS



Fuente: Elaboración propia en base a la tesis

La resistencia de la cama anódica disminuye drásticamente en el intervalo de 0 a 5 ohmios por tener un comportamiento logarítmico, motivo por el que consideramos una cantidad de ánodos de 32 por estar aproximadamente en una media aritmética del intervalo de 0 a 5.

Reemplazamos en la fórmula

$$R_v = \frac{\rho}{2 * \pi * 32 * 400} \left[\ln\left(\frac{8 * 400}{30}\right) - 1 + \frac{2 * 400}{700} \ln(0.656 * 32) \right] = 2.83 \Omega$$

De acuerdo a los dos primeros cálculos, se requiere la instalación de mínimo 5 ánodos; no obstante, lo anterior, al incrementar el número de ánodos, la resistencia a tierra de la cama anódica disminuirá, lo cual es favorable para la operación del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, a consideración del diseñador, basado en cálculos iterativos para disminuir la resistencia de la cama anódica, se recomienda instalar una cama anódica, compuesta por 64 ánodos distribuidas en 32 camas anódicas. Al instalar 32 camas anódicas en paralelo (cada una con 2 ánodos), se tendrá una resistencia equivalente 2,83 ohmios.

Resistencia de los conductores

Tabla 4. 10 TABLA DE DATOS TÉCNICOS PARA CABLES HMWPE

TAMAÑO	Nº DE HILOS	CIRCULAR MIL	AWG DIAMETRO PULG	ESPESOR AISLAMIENTO PULG.	DIÁMETRO NOMINAL PULG.	PESO LB/1000FT	RESISTENCIA Ω/MFT (A 20°C)
14	7	4,110	0.0726	0.110	0.293	0.293	2.570
12	7	6,530	0.0915	0.110	0.311	0.311	1.620
10	7	10,380	0.1160	0.110	0.340	0.340	1.020
8	7	16,510	0.142	0.110	0.370	0.370	0.652
6	7	26,240	0.1790	0.110	0.400	0.400	0.411
4	7	41,740	0.2250	0.110	0.450	0.450	0.258
2	7	66,360	0.2830	0.110	0.510	0.510	0.162
1	19	83,690	0.3220	0.125	0.580	0.580	0.129
1/0	19	105,600	0.3620	0.125	0.620	0.620	0.102
2/0	19	133,100	0.4060	0.125	0.660	0.660	0.081
4/0	19	211,600	0.5120	0.125	0.770	0.770	0.051

Fuente: Electroconductores Peruanos S.A.C.

Resistencia del circuito

La resistencia total del circuito corresponde a la sumatoria de la resistencia de la cama anódica y de los elementos metálicos del circuito de protección catódica (cables y tubería). La resistencia total está gobernada principalmente por la resistencia de las camas anódicas (2,83 ohmios).

Tabla 4. 11 RESISTENCIA DE CABLE AWG 2

	LONGITUD (M)	RESISTENCIA POR METRO LINEAL (OHM/M)	RESISTENCIA DEL CABLE (OHM)
CABLE Nº2	400	0.000523	0.2092

Fuente: Elaboración en base al catálogo ELCOPE

$$R_{C2} = 0.209 \Omega$$

Tabla 4. 12 RESISTENCIA DE CABLE AWG 8

	LONGITUD (M)	RESISTENCIA POR METRO LINEAL (OHM/M)	RESISTENCIA DEL CABLE (OHM)
CABLE N°8	210	0.002102	0.44142
	182	0.002102	0.382564
	154	0.002102	0.323708
	126	0.002102	0.264852
	98	0.002102	0.205996
	70	0.002102	0.14714
	42	0.002102	0.088284
	14	0.002102	0.029428

Fuente: Elaboración en base al catálogo EL COPE

Como los cables número 8 se encuentran en paralelo aplicamos la siguiente fórmula para hallar su equivalente.

$$R_{C8} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_{C8} = 0.0145 \Omega$$

Entonces al sumar ambas resistencias se tiene:

$$R_C = R_{C2} + R_{C8} = 0.209 + 0.0145$$

$$R_C = 0.224 \Omega$$

Tabla 4. 13 RESISTENCIA DE LA TUBERÍA

Table of Steel Pipe Resistances per Length								
Pipe Size	Outside Diameter		Wall Thickness		Weight		Resistance	
(in)	(in)	(cm)	(in)	(cm)	(lb/ft)	(kg/m)	(μΩ/ft)	(μΩ/m)
2	2.35	0.925	0.154	0.061	3.65	5.43	76.20	256.84
4	4.50	1.772	0.237	0.093	10.80	16.07	26.80	87.93
6	6.62	2.606	0.280	0.110	16.00	28.28	15.20	46.87
8	8.62	3.394	0.322	0.127	28.60	42.56	10.10	33.14
10	10.75	4.232	0.365	0.144	40.50	60.27	7.13	23.39
12	12.75	5.020	0.375	0.148	46.60	73.81	5.82	16.09
14	14.00	5.512	0.375	0.148	54.60	81.26	5.29	17.36
16	16.00	6.299	0.375	0.148	62.60	93.16	4.61	15.12
18	18.00	7.087	0.375	0.148	70.60	105.07	4.09	13.42
20	20.00	7.874	0.375	0.148	78.60	116.97	3.68	12.07
22	22.00	8.661	0.375	0.148	86.60	128.88	3.34	10.96
24	24.00	9.449	0.375	0.148	94.60	140.78	3.06	10.04
26	26.00	10.236	0.375	0.148	102.60	152.69	2.82	6.25
28	28.00	11.024	0.375	0.148	110.60	164.59	2.62	8.60
30	30.00	11.811	0.375	0.148	118.70	176.65	2.44	8.01
32	32.00	12.598	0.375	0.148	126.60	188.41	2.28	7.48
34	34.00	13.386	0.375	0.148	134.60	200.31	2.15	7.05
36	36.00	14.173	0.375	0.148	142.60	212.22	2.03	6.66

Fuente: Elaboración en base a (Companion to the Peabody Book, 2000)

Del anexo N°3 y la tabla anterior se tiene una resistencia total de la estructura de:

$$R_{E1} = 0.176 \Omega , R_{E2} = 0.319 \Omega , R_{E3} = 0.311 \Omega$$

$$R_{ET} = 0.807 \Omega$$

Tomando en consideración todas las resistencias del circuito se tiene:

$$R_{circuito} = R_V + R_C + R_{ET}$$

$$R_{circuito} = 2.83 + 0.224 + 0.807$$

$$R_{circuito} = 3.86 \Omega$$

Dimensionamiento del Rectificador

Para el cálculo del voltaje DC mínimo, se empleó la Ley de Ohm y la adición de un voltaje de 2 V DC, correspondiente al voltaje contra-electromotriz que se presenta en el circuito DC de los sistemas de protección catódica por corriente impresa, tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$V_{DC} = (I_R * R_T) + 2 \quad \text{Uso del manual (PDVSA, 2010)}$$

Dónde:

V_{DC}: Voltaje de salida mínimo en el rectificador (V DC)

I_D: Corriente DC requerida por diseño: 18.94 A DC

R_T: Resistencia total del circuito de protección catódica: 3,86 Ω

Al sustituir los respectivos datos de cálculo se tiene:

$$V_{DC} = (18.94 A * 3,86 \Omega) + 2 V$$

$$V_{DC} = 75.1 V$$

De acuerdo a la corriente requerida por diseño y al valor de voltaje obtenido, se requeriría la instalación de un rectificador con capacidad nominal de salida de 100 VDC / 40 ADC; no obstante, lo anterior, basados en la configuración de las camas anódicas, se recomienda la instalación de 2 rectificadores de 100V /40 A, para energizar cada uno la mitad de las camas anódicas.

Cantidad de Coque requerido

La cantidad de coque requerido para el llenado de una (1) cama anódica, se determina a partir de la densidad del coque calcinado de petróleo (Loresco SC2) y el volumen de la zona que ocupa el lecho anódico continuo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$M = \delta * V \quad (\text{LORESCO, 2017})$$

Dónde:

M: Cantidad de coque requerido para el llenado de la cama anódica (Kg)

δ: Densidad del coque calcinado de petróleo (Kg/m³)

V: Volumen de la cama anódica (m³), el cual se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} * D^2 * L \quad (\text{LORESCO, 2017})$$

Dónde:

D: Diámetro de la cama anódica (m)

L: Longitud de la cama anódica (m)

Unificando las dos (2) anterior ecuación se tiene:

$$M = \delta * \left(\frac{\pi}{4} * D^2 * L\right) \quad (\text{LORESCO, 2017})$$

Datos para el cálculo de la cantidad de coque requerido para el llenado de una (1) cama anódica

δ: 1185, 12 (Kg/m³)

D: 0,3 (m)

L: 4 (m)

Al sustituir los anteriores datos en la ecuación de cálculo se tiene:

$$M = 1185,12 * \left(\frac{\pi}{4} * 0,3^2 * 4\right)$$

$$M = 335,08 \text{ Kg}$$

Para el llenado de las 32 camas anódicas se requieren 10723 Kg. Para efectos de adquisición de materiales, se recomienda la compra de 11000 Kg de coque, el cual corresponde a aproximadamente 485 bolsas (bolsas de 22,7 Kg) de coque Loresco SC3.

V. RESULTADOS

5.1 Resumen de los resultados del diseño

RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO		
PARÁMETROS	DATOS	UNIDADES
CALCULO DE LA CORRIENTE REQUERIDA (Ireq)		
Área total de las tuberías a proteger	784,15	metros cuadrados
Densidad de Corriente Requerida (J)	16,1	m A/ m ²
CORRIENTE REQUERIDA (Ireq)	12624,82	m A
	12,62	A
Factor de seguridad (50%)	6,32	A
CORRIENTE REQUERIDA (Ireq) (Incluye factor de seguridad)	18,94	A
CALCULO DEL NÚMERO DE ÁNODOS SEGÚN LA CORRIENTE REQUERIDA		
Corriente Requerida (I)	18,94	Amperios
Corriente Drenada por ánodo (Ia)	5,0	Amperios
Número de ánodos de acuerdo al requerimiento de corriente (Ni)	4	Ánodos
CALCULO DEL NÚMERO DE ÁNODOS SEGÚN LA TASA DE CONSUMO DE LOS ÁNODOS (Nc)		
corriente requerida	18,94	Amperios
Vida útil del diseño	30	años
Tasa de consumo teórica ánodos Fe-Si	0,19	Kg/A-Año
Factor de utilización	0,85	adimensional
Eficiencia de los ánodos Fe-Si	0,9	adimensional
MASA ANÓDICA	141,12	Kg
Peso unitario del ánodo de Fe-Si empleado	23	Kg
Número de ánodos de acuerdo al requerimiento de acuerdo a la tasa de consumo de los ánodos (Nc)	7	Ánodos
CALCULO DE LA RESISTENCIA DE UN (1) ÁNODO EN POSICIÓN VERTICAL (Ra)		
Resistividad del suelo	31914	Ω*cm
Longitud del ánodo (L)	400	cm
Diámetro del ánodo (D)	30	cm

Resistencia de un ánodo vertical (Ra)	46,59	Ω
DIMENSIONAMIENTO DE CANTIDAD DE CAMAS ANÓDICAS A INSTALAR		
Número de camas anódicas en paralelo requeridas para disminución de resistencia del circuito	32,00	Adimensional
Número de ánodos totales para instalación en 32 camas verticales (2 ánodos/cama)	64,00	Adimensional
Resistencia de 32 camas verticales en paralelo	2,83	Ω

NUMERO DE ÁNODOS RECOMENDADOS PARA INSTALACIÓN (N)	64	EA
NUMERO DE CAMAS ANÓDICAS RECOMENDADOS PARA INSTALACIÓN (N)	32	EA

CALCULO DE LA RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO (RT)		
Resistencias de las camas anódicas	1,46	Ω
Resistencias de conductores metálicos (cables y tuberías)	2,00	Ω
Resistencia de un ánodo vertical (Ra)	3,46	Ω

DIMENSIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR		
PARÁMETROS	DATOS	UNIDADES
CORRIENTE REQUERIDA	18,94	Amperios
RESISTENCIA TOTAL DEL CIRCUITO	3,86	Ω
VOLTAJE REQUERIDO (V) (Mínimo)	75,1	Voltios
CORRIENTE DE SALIDA DEL RECTIFICADOR A INSTALAR	40	Amperios
VOLTAJE DE SALIDA DEL RECTIFICADOR A INSTALAR	100	Voltios
NUMERO DE RECTIFICADORES RECOMENDADOS PARA INSTALACIÓN (N)	2	EA

CANTIDAD DE COQUE REQUERIDO		
Longitud de la cama anódica (L)	4,00	m
Diámetro de la cama anódica (D)	0,3	m
Volumen de la cama anódica	0,28	m ³
Densidad del coque Loresco SC3	74	lb/pie ³
Densidad del coque Loresco SC3	1185,12	Kg/m ³
Coque Requerido para el llenado de 1 cama anódica	335,08	Kg
Número de camas anódicas	32,00	Adimensional
Cantidad de coque para 32 camas anódicas	10723	Kg
Cantidad de coque sugerido para compra	11000	Kg
Peso de cada bolsa de Coque Loresco SC3	22,7	Kg
Número Total de Bolsas de Coque requeridas	485	Bolsas

Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados Descriptivos

5.2.1 Resultados antes de la implementación

Se tiene la siguiente tabla de datos la cual muestra las mediciones de los potenciales tomadas antes de la implementación cuando la planta contaba con un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio.

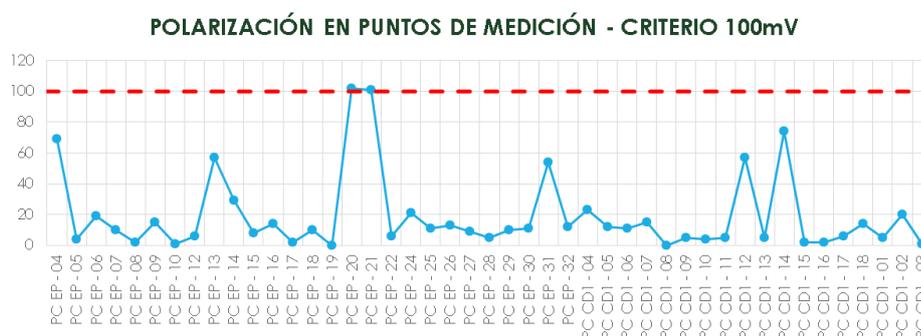
Tabla 5. 1 TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

Descripción	Potencial ON [mV]	Potencial OFF [mV]	Potencial natural [mV]	POLARIZ [mV]	Observaciones
PC EP - 04	-590	-453	-384	69	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 05	-343	-324	-320	4	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 06	-394	-379	-360	19	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 07	-226	-210	-200	10	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 08	-131	-130	-128	2	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 09	-360	-355	-340	15	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 10	-355	-354	-353	1	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 11	Caja CMP retirada por trabajos de mejoras en las tuberías				
PC EP - 12	-417	-416	-410	6	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 13	-573	-452	-395	57	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 14	-498	-401	-372	29	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 15	-576	-398	-390	8	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 16	-492	-409	-395	14	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 17	-423	-422	-420	2	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 18	-294	-290	-280	10	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 19	-297	-296	-296	0	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 20	-498	-432	-330	102	
PC EP - 21	-510	-438	-337	101	
PC EP - 22	-246	-246	-240	6	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 23	-220				
PC EP - 24	-314	-281	-260	21	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 25	-311	-313	-302	11	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 26	-560	-354	-341	13	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV

PC EP - 27	-389	-389	-380	9	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 28	-245	-245	-240	5	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 29	-311	-311	-301	10	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 30	-409	-381	-370	11	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 31	-580	-419	-365	54	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC EP - 32	-309	-299	-287	12	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 04	-310	-282	-259	23	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 05	-252	-248	-236	12	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 06	-307	-291	-280	11	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 07	-361	-325	-310	15	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 08	-393	-393	-393	0	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 09	-388	-385	-380	5	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 10	-344	-344	-340	4	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 11	-334	-325	-320	5	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 12	-1013	-727	-670	57	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 13	-316	-315	-310	5	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 14	-410	-385	-311	74	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 15	-289	-288	-286	2	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 16	-350	-345	-343	2	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 17	-326	-326	-320	6	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 18	-310	-297	-283	14	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 01	-415	-410	-405	5	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 02	-438	-421	-401	20	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV
PC CD1 - 03	-364	-363	-362	1	No alcanza el nivel mínimo de polarización de 100mV

Fuente: Informe en base a los datos tomados por Aptim

Figura 5. 1 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 2 TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA	FREC. RELATIVA ACUMULADA
0	19	9.5	34	34	76%	76%
20	39	29.5	4	38	9%	84%
40	59	49.5	3	41	7%	91%
60	79	69.5	2	43	4%	96%
80	99	89.5	0	43	0%	96%
100	119	109.5	2	45	4%	100%
TOTAL			45		1	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- 2 de los puntos medidos cumple con el criterio de polarización de 100mV y representan el 4% del total.
- 34 puntos medidos están en el rango de 0 a 19mV, muy por debajo de los 100mV y representan el 76% del total.

5.2.2 Resultados después de la implementación

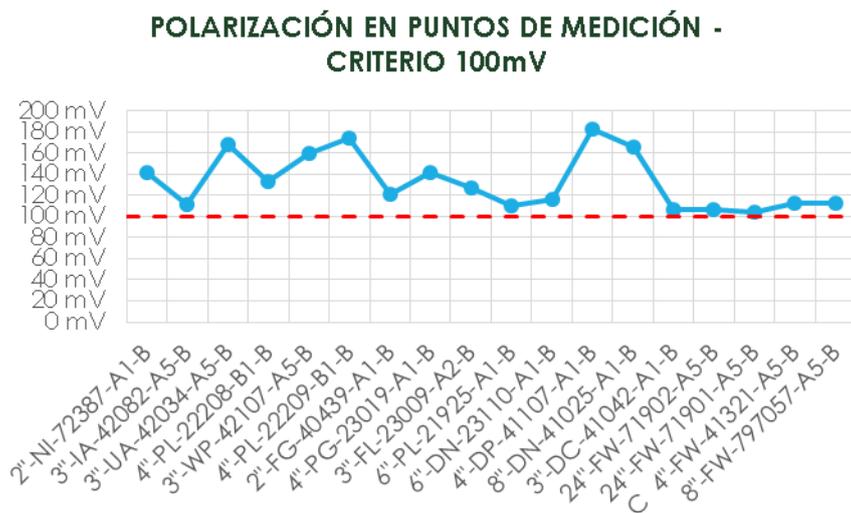
La siguiente tabla muestra los datos obtenidos en la medición de potenciales del sistema de protección catódica por corriente impresa implementada.

**Tabla 5. 3 TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR CORRIENTE
IMPRESA LADO OESTE**

TAG - SITIO LOCALIZACIÓN	POTENCIAL NATURAL [mV]	POTENCIAL ON [mV]	POTENCIAL OFF [mV]	POLARIZ	COMENTARIOS
2"-NI-72387-A1-B	-472 mV	-998 mV	-614 mV	142 mV	-
3"-IA-42082-A5-B	-329 mV	-708 mV	-440 mV	111 mV	-
3"-UA-42034-A5-B	-405 mV	-906 mV	-573 mV	168 mV	-
4"-PL-22208-B1-B	-407 mV	-783 mV	-540 mV	133 mV	-
3"-WP-42107-A5-B	-405 mV	-807 mV	-565 mV	160 mV	-
4"-PL-22209-B1-B	-403 mV	-1185 mV	-577 mV	174 mV	-
2"-FG-40439-A1-B	-408 mV	-753 mV	-529 mV	121 mV	-
4"-PG-23019-A1-B	-460 mV	-999 mV	-601 mV	141 mV	-
3"-FL-23009-A2-B	-440 mV	-1186 mV	-567 mV	127 mV	-
6"-PL-21925-A1-B	-374 mV	-783 mV	-484 mV	110 mV	-
6"-DN-23110-A1-B	-408 mV	-717 mV	-524 mV	116 mV	-
4"-DP-41107-A1-B	-417 mV	-900 mV	-599 mV	182 mV	-
8"-DN-41025-A1-B	-542 mV	-1245 mV	-708 mV	166 mV	-
3"-DC-41042-A1-B	-317 mV	-672 mV	-423 mV	106 mV	-
24"-FW-71902-A5-B	-419 mV	-814 mV	-525 mV	106 mV	-
24"-FW-71901-A5-B	-371 mV	-741 mV	-475 mV	104 mV	-
C 4"-FW-41321-A5-B	-339 mV	-699 mV	-451 mV	112 mV	-
8"-FW-797057-A5-B	-366 mV	-700 mV	-478 mV	112 mV	-

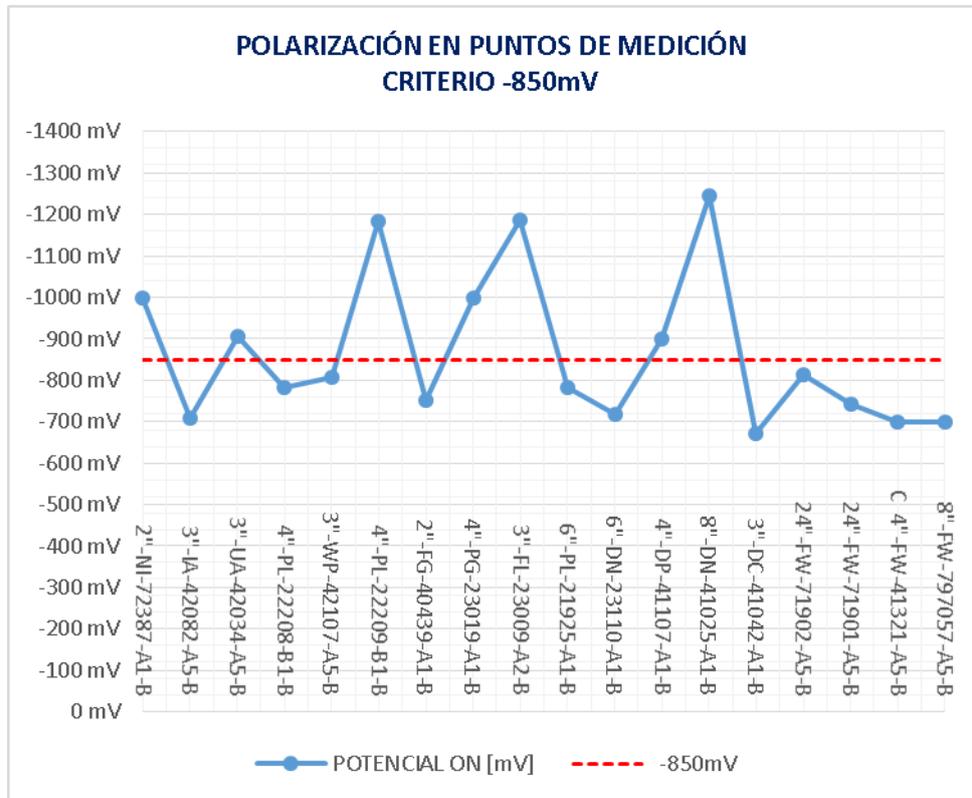
Fuente: Elaboración propia

**Figura 5. 2 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE
IMPRESA LADO OESTE (CRITÉRIO DE 100mV)**



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 3 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO OESTE (CRITERIO DE -850MV)



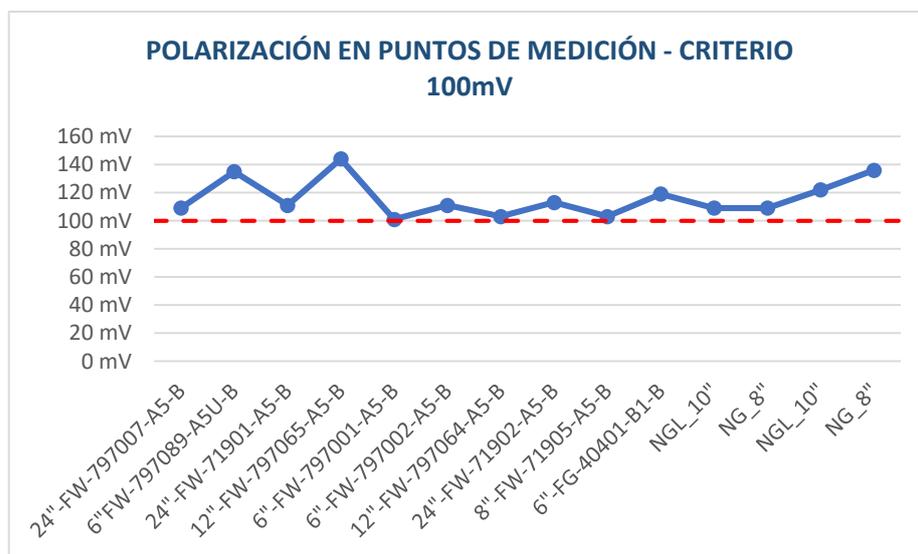
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5. 4 TABLA DE MEDICIÓN DE POTENCIALES DEL SPC POR CORRIENTE
IMPRESA LADO ESTE**

TAG- SITIO LOCALIZACIÓN	POTENCIAL NATURAL [mV]	POTENCIAL ON [mV]	POTENCIAL OFF [mV]	POLARIZ	COMENTARIOS
24"-FW-797007-A5-B	-410 mV	-750 mV	-519 mV	109 mV	-
6"FW-797089-A5U-B	-385 mV	-747 mV	-520 mV	135 mV	-
24"-FW-71901-A5-B	-402 mV	-748 mV	-513 mV	111 mV	-
12"-FW-797065-A5-B	-417 mV	-718 mV	-561 mV	144 mV	-
6"-FW-797001-A5-B	-398 mV	-706 mV	-499 mV	101 mV	-
6"-FW-797002-A5-B	-405 mV	-714 mV	-516 mV	111 mV	-
12"-FW-797064-A5-B	-387 mV	-688 mV	-490 mV	103 mV	-
24"-FW-71902-A5-B	-453 mV	-712 mV	-566 mV	113 mV	-
8"-FW-71905-A5-B	-384 mV	-698 mV	-487 mV	103 mV	-
6"-FG-40401-B1-B	-409 mV	-723 mV	-528 mV	119 mV	-
NGL_10"	-413 mV	-798 mV	-522 mV	109 mV	-
NG_8"	-412 mV	-796 mV	-521 mV	109 mV	-
NGL_10"	-457 mV	-915 mV	-579 mV	122 mV	-
NG_8"	-443 mV	-918 mV	-579 mV	136 mV	-

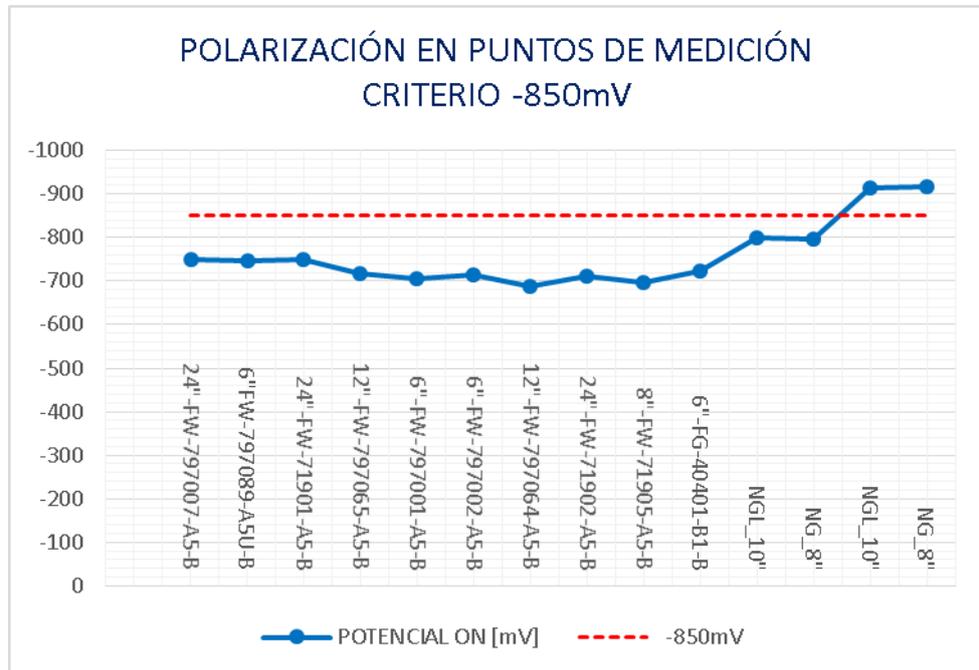
Fuente: Elaboración propia

**Figura 5. 4 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE
IMPRESA LADO ESTE (CRITERIO DE 100MV)**



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 5 GRÁFICA DE POLARIZACIÓN DE TUBERÍAS SPC POR CORRIENTE IMPRESA LADO ESTE (CRITERIO DE -850MV)



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5. 5 TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR CORRIENTE IMPRESA
PARA EL CRITERIO DE LOS 100mV**

LÍMITE INFERIR	LÍMITE SUPERIOR	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA	FREC. RELATIVA ACUMULADA
101	115	108	16	16	50%	50%
116	130	123	5	21	16%	66%
131	145	138	6	27	19%	84%
146	160	153	1	28	3%	88%
161	175	168	3	31	9%	97%
176	190	183	1	32	3%	100%
Total			32		1	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- El 100% de puntos medidos cumplen con el criterio de los 100mV.
- 16 de los puntos medidos que cumplen con el criterio están en el rango de 101 a 115mV por encima y próximos a 100mV y representan el 50% del total.

**Tabla 5. 6 TABLA DE FRECUENCIA DEL SPC POR CORRIENTE IMPRESA PARA
EL CRITERIO DE LOS -850MV**

LÍMITE INFERIR	LÍMITE SUPERIOR	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA ACUMULADA	FRECUENCIA RELATIVA	FREC. RELATIVA ACUMULADA
-1245	-1147	-1196	3	3	9%	9%
-1146	-1048	-1097	0	3	0%	9%
-1047	-949	-998	2	5	6%	16%
-948	-850	-899	4	9	13%	28%
-849	-751	-800	7	16	22%	50%
-750	-652	-701	16	32	50%	100%
Total			32		1	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- El 28% de puntos medidos cumplen con el criterio de los -850mV, por lo tanto, el 72% restante están fuera del criterio.

- El 50% de los puntos medidos que no cumplen con el criterio están en el rango de -750 a -652mV y próximos a -850mV.

5.3 Resultados Inferenciales

5.3.1 Prueba de normalidad

Se presentan la hipótesis nula y alterna para determinar la distribución normal de los datos obtenidos en la implementación

Hipótesis:

H₀: Los datos de la muestra presentan de una distribución normal

H₁: Los datos de la muestra no presentan una distribución normal

Regla de decisión

Si $p - \text{valor} < 0.05$, se rechaza el H_0

Si $p - \text{valor} > 0.05$, se acepta el H_0

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$, el cual le corresponde un nivel de confianza del 95%.

Resultados:

Tabla 5. 7 TABLA DE FRECUENCIA PARA EL SPC POR CORRIENTE IMPRESA

		PRUEBAS DE NORMALIDAD					
		KOLMOGOROV-SMIRNOV			SHAPIRO-WILK		
		ESTADÍSTICO	G	SIG.	ESTADÍSTICO	G	SIG.
		O	L		O	L	
Polarización	Galvánica	0.298	45	0.00	0.677	45	0.00
	a			0			0
n	impresa	0.241	32	0.00	0.905	32	0.00
				0			8

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

El sig. de los datos de medición de potencial de los sistemas de protección por corriente galvánica y corriente impresa (0.000 y 0.008) es menor que el α , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula , es decir la distribución de

datos de medición de potenciales antes y después de la implementación no presenta una distribución normal.

5.3.2 Prueba de Hipótesis

Se presentan los siguientes enunciados como hipótesis nula y alterna:

Hipótesis general

H₀: No Existen diferencias significativas entre las medianas de las medidas de potencial tomadas antes y después de la implementación.

H₁: Existen diferencias significativas entre las medianas de las medidas de potencial tomadas antes y después de la implementación.

Regla de decisión

Si p – valor < 0.05, se rechaza el H₀

Si p – valor > 0.05, se acepta el H₀

Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$, el cual le corresponde un nivel de confianza del 95%.

Prueba Estadística

Tabla 5. 8 TABLA DE RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE DATOS

		DESCRIPTIVOS		DESCRIPTIVOS		
		SPC		ESTADÍSTICO	DESV. ERROR	
POLARIZACIÓN	GALVÁNICA	MEDIA		19.16	3.808	
		95% de intervalo de confianza para la media.	Límite inferior	11.48		
			Límite superior	26.83		
		Media recortada al 5%		15.81		
		Mediana		10.00		
		Varianza		652.407		
		Desv. Desviación		25.542		
		Mínimo		0		

	Máximo	102	
	Rango	102	
	Rango intercuartil	15	
	Asimetría	2.106	0.354
	Curtosis	3.766	0.695
IMPRESA	MEDIA	122.69	4.528
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	113.45
		Límite superior	131.92
	Media recortada al 5%	121.77	
	Mediana	111.50	
	Varianza	656.157	
	Desv. Desviación	25.616	
	Mínimo	81	
	Máximo	182	
	Rango	101	
	Rango intercuartil	34	
	Asimetría	0.827	0.414
	Curtosis	-0.070	0.809

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 9 TABLA DE RESUMEN DE LA PRUEBA DE MANN WHITNEY

	SPC	N	RANGO PROMEDIO	SUMA DE RANGOS
POLARIZACIÓN	Galvánica	45	23,17	1042,50
	Impresa	32	61,27	1960,50
	Total	77		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 10 TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA

	POLARIZACIÓN
U DE MANN-WHITNEY	7,500
W DE WILCOXON	1042,500
Z	-7,368
SIG. ASINTÓTICA (BILATERAL)	0,000

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Como el sig 0.00 es menor que el α , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir, con esta prueba estadística logramos demostrar que hay una diferencia significativa entre el sistema de protección por corriente galvánica y el de corriente impresa se ha logrado aumentar la diferencia entre el potencial de polarización natural y OFF a más de 100mV cumpliendo con el segundo criterio de protección contra la corrosión exigida por la normativa NACE.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Los resultados nos muestran el nivel de elevación del potencial electroquímico, superando los 100mV de diferencia entre Potencial natural y potencial de polarización off para el 100% de puntos medidos, debemos tener en cuenta que algunos puntos medidos cumplen con el criterio de los -850mV en potencial On a circuito cerrado.

Todo esto indica que solo se cumple con el segundo criterio de protección de la normativa, al cumplir uno de los dos criterios sería válida la afirmación de que en esta investigación se logra el control de la corrosión de las tuberías enterradas en la planta de fraccionamiento, a su vez se pudo demostrar la diferencia significativa de emplear un sistema de protección por corriente galvánica con un sistema por corriente impresa para un área a proteger definida en esta investigación.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

En el trabajo de investigación presentado por Edgar Patricio Miño Yépez en el 2002 la cual tiene como objetivo controlar la corrosión a través del diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa para tuberías enterradas en la refinería La Libertad, se muestra como resultado el empleo de 25 ánodos de ferro silicio un rectificador de 90A y 60V, similar al empleado en nuestro diseño ya que dividimos la carga en 2 rectificadores de 40A y 100V con 32 ánodos de ferro silicio, a diferencia de nuestro caso, en esta investigación las estructuras no contaban con un sistema de protección existente. (Miño Yépez, 2002)

El estudio de Patricia Susana Tamayo Gutiérrez en el año 2009 que trata sobre el diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa para tramos de oleoductos enterrados muestra la factibilidad de usar chatarra de hierro como ánodo para el sistema con una vida útil de 10 años usando un rectificador de 80V 80A, la cual tiene similitud al del presente estudio siendo la diferencia en el área a proteger ya que en nuestro estudio

el área a proteger representa casi la mitad del referido y en cuanto a la vida útil del sistema difieren en 20 años. (Tamayo Gutierrez, 2009)

Jorge Luis Barrera Cruz en su estudio “Evaluación de la distribución de corrientes y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías” en el 2011 llega al resultado de que las interferencias eléctricas inciden en la ubicación de los lechos anódicos, lo que indica que la ubicación supuesta de los lechos anódicos fue la correcta para nuestro diseño, ya que se tomó como referencia las posibles interferencias eléctricas en la planta para definir su posición. (Barrera Cruz, 2011)

En el año 2015 Carlos Alberto Espinoza Huamaní en su trabajo de tesis para el control de corrosión de tanques sumideros se mostró como resultado la diferencia de efectividad entre los sistemas de protección catódica por corriente impresa y corriente galvánica, siendo el de corriente impresa la más efectiva lo cual concuerda con el resultado en nuestra investigación al ser superado el sistema de protección por corriente galvánica por no ser efectivo. (Espinoza Huamaní, 2015)

Los resultados obtenidos por Gonzales Boza Marcos Antonio y Cruz Castro Juan Fernando en el año 2017 en su diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa muestran el aumento de ánodos de ferro silicio de 3 ánodos a 30 ánodos para evitar usar un rectificador de mayor capacidad y cumplir con la práctica recomendada API 540, en nuestro caso se hizo también el aumento de ánodos para seleccionar un rectificador comercial y de dimensiones accesibles para el sistema. (Gonzales Boza, y otros, 2017)

Carlo César Clavijo Cáceres en el año 2014 para su investigación en la aplicación de protección catódica por corriente impresa en Tuberías enterradas de gas natural obtuvo un potencial electroquímico suelo-electrolito superiores a -850mV , criterio que no se logró superar en el presente estudio pero que se pudo proteger las tuberías al cumplir con el segundo criterio. (Clavijo Cáceres , 2014)

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Actualmente se toma conciencia del impacto de algunos compuestos químicos derivados del petróleo al ser arrojados al medio ambiente, también sobre compuestos que son de gran riesgo a la salud al exponerlos al medio ambiente o al ser inflamables y generar riesgos a la vida de las personas, tomando esas consideraciones se desarrolló con la responsabilidad moral y ética que amerita este trabajo ya que este tipo de investigación sobre situaciones reales ayuda a minimizar esos riesgos siempre y cuando se lleve un control y podrá ser tomada como referencia para efectuar futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

- La corriente drenada por el sistema de protección catódica implementado permitió polarizar las tuberías enterradas tal que tuvieron una diferencia potencial de polarización mayor a 100 mV DC entre el potencial natural del acero y el potencial de polarización instantáneamente después de apagar el rectificador o abrir el circuito, cubriendo toda el área expuesta por fallos en el recubrimiento asumida inicialmente por tiempo de servicio de acuerdo a tablas.
- La distribución estratégica, dimensionamiento y división de las camas anódicas en 2 sectores con una separación de 7m entre ellas permitió la correcta distribución y alcance de la corriente de protección, llegando a las zonas más alejadas de los puntos de distribución del sistema.
- Los rectificadores seleccionados en base al requerimiento de corriente y a la resistencia del circuito inyectaron la corriente necesaria para cubrir las exigencias del sistema funcionando a un voltaje y amperaje menor al de operación permitirá un buen funcionamiento, además de poder tener la capacidad de cubrir una futura expansión de la planta adicionando más tuberías enterradas.
- El sistema de protección catódica por corriente impresa implementada cumplió con las expectativas del diseño logrando superar al sistema de protección por corriente galvánica o ánodos de sacrificio y cumpliendo con el segundo criterio de protección de la normativa NACE en todos los puntos medidos en el recorrido de las tuberías, asegurando la sostenibilidad del sistema por 30 años con un mantenimiento preventivo adecuado.

RECOMENDACIONES

- Se debe evitar el cruce con otros sistemas de protección catódica futuras y cables eléctricos o cualquier sistema que pueda generar apantallamiento en las estructuras a proteger, lo que ocasionaría una disminución en el alcance del sistema y una parcial o total disminución de potencial electroquímico y polarización.
- Las camas anódicas deben ser hidratadas de manera periódica y por recomendación una vez al mes para bajar y mantener la resistividad en un valor óptimo para que el flujo de corriente electroquímica se mantenga en un valor según lo requiera la estructura a proteger.
- Se debe hacer una reevaluación al aumentar el área o estructuras a proteger en el sistema ya que podría necesitarse una fuente de poder con características mayores al implementado, para su correcto funcionamiento se recomienda usar el rectificador tal que no se excedan los parámetros de operación para no sobre esforzar el equipo y generar un sobrecalentamiento del sistema eléctrico.
- El buen mantenimiento del sistema de protección catódica es esencial para su correcto funcionamiento, se recomienda incluir a cada uno de sus componentes al plan de mantenimiento de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. A review of field corrosion control and monitoring techniques of the upstream oil and gas pipelines. **E.S. Ameh, Chukwuyen, Ikpeseni y L.S. Lawal. 2017.** 2017.
2. **A.W. PEABODY'S. 2001.** Control of pipeline corrosion. Segunda Edición. 2001.
3. **ARGO. 2015.** Sistemas de Protección Catódica. 2015.
4. **Ávila, Javier. 1996.** Más allá de la Herrumbre. Carretera Picacho - Ajusco 227; 14200 : s.n., 1996. pág. 61.
5. **Barrera Cruz, Jorge Luis. 2011.** Evaluación de la distribución de corrientes y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías. La Libertad : s.n., 2011. pág. 153.
6. **Barrera Cruz, Jose Luis. 2011.** Evaluación de la distribución de Corrientes y Potenciales Eléctricos en un Sistema de Protección Catódica en Tuberías. 2011.
7. **Bashi, SM, Nashiren , Mailah y Mohd Amran, Mohd. 2004.** Cathodic Protection System. 2004.
8. CaThodic Protection: A brief primer. **Junid, Adam. 2009.** 2009.
9. **Clavijo Cáceres , Carlo César. 2014.** Sistema de Protección Catódica para Tuberías Enterradas de Transmisión de Gas Natural. 2014.
10. **Clavijo Cáceres, Carlo César. 2014.** Sistemas de Protección Catódica para Tuberías Enterradas de Transmisión de Gas Natural. Lima : s.n., 2014. pág. 289.
11. Companion to the Peabody Book. **Peabody. 2000.** s.l. : NACE, 2000.
12. Corrosión de metales y degradación de materiales. **Veleva, Lucien, Raichev, Raicho y Valdez, Benjamín. 2007.** México : s.n., 2007.
13. **Espinoza Huamaní, Carlos Alberto. 2015.** Protección Catódica por Corriente Impresa para Control de Corrosión Externa de Tanques Sumideros Enterrados Usados en la Producción de Petróleo Pavayacu-Loreto. Loreto : s.n., 2015. pág. 129.
14. **Espinoza Huamaní. 2015.** Protección Catódica por Corriente Impresa para Control de Corrosión Externa de Tanques Sumideros Enterrados Usados en la Producción de Petróleo Pavayacu-Loreto. 2015.
15. **Espinoza, Ciro. 2010.** Metodología de la investigación científica. 2010.
16. **Gonzales Boza, Marcos Antonio. 2017.** Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente impresa en Tuberías Enterradas para la Planta de Almacenamiento de Hidrocarburos Terminal Chimbote de PetroPerú. Chimbote : s.n., 2017. pág. 100.

17. **Gonzales Boza, Marcos Antonio y Cruz Castro, Juan Fernando. 2017.** Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa en Tuberías Enterradas para la Planta de Almacenamiento de Hidrocarburos Terminal Chimbote de Petro-Perú. 2017.
18. **Hernández. 2016.** <https://georginajouayedsite.wordpress.com/marco-metodologico/>. [En línea] 2016.
19. **López, Pedro Luis. 2004.** http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012. [En línea] 2004.
20. **LORESCO. 2017.** <http://loresco.com/>. [En línea] 2017.
21. **McGee, Harold. 2013.** La Cocina y los Alimentos. Séptima. Barcelona : Limpegraf, 2013. pág. 941.
22. **Miño Yépez, Edgar Patricio. 2002.** Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa en las Líneas de Pipetrack en la refinería de la Libertad (RLL) contra la Corrosión Corrosión. Ecuador : s.n., 2002. pág. 172.
23. **Miño Yépez. 2002.** Diseño de Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa en las Líneas Pipetrack en la Refinería de la Libertad (RLL) Contra la Corrosión. 2002.
24. **NACE CP1. 2000.** Protección Catódica Nivel I Manual de Enseñanza. s.l. : NACE INTERNATIONAL, 2000.
25. **NACE CP2. 2006.** Nivel II Manual del curso para técnico en protección catódica. s.l. : NACE INTERNATIONAL, 2006.
26. **NACE CP3. 2007.** CP3-Técnico superior en protección catódica manual del curso. 2007.
27. **NACE CP4. 2009.** CP-4 Manual de curso especialista en protección catódica. 2009.
28. **PDVSA. 2010.** CRITERIOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA. 2010.
29. **Perez, Teresa E. 2013.** Corrosion in the oil and gas industry: An increasing challenge for materials. 2013.
30. **Rodríguez Jiménez, Andrés y Pérez Jacinto, Alipio Omar. 2017.** Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. 2017.
31. **Sherr, King. 2015.** Cathodic Protection. 2015.

32. **SP0169, NACE. 2002.** Standard measurement techniques related to criteria for cathodic protection on underground or submerged metallic piping systems. Houston : s.n., 2002.
33. **Tamayo Gutiérrez, Patricia Susana. 2009.** Diseño de un sistema de protección Catódica en líneas enterradas de un tramo de oleoducto secundario Sacha-Lago Agrio. Orellana : s.n., 2009. pág. 213.
34. **Tamayo Gutierrez, Patricia Susana. 2009.** Diseño de un Sistema de Protección Catódica en Líneas Enterradas de un Tramo del Oleoducto Secundario Sacha-Lago Agrio. 2009.
35. **Torres Bardales, Colonibol. 2007.** Orientaciones Básicas de Metodología de la Investigación Científica. Novena Edición. Lima : Libros y Publicaciones, 2007. pág. 376.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA	TÉCNICAS-INSTRUMENTOS
GENERAL			Independiente: Sistema de protección catódica por corriente impresa.	Requerimiento de Corriente de PC	Área de superficie	TIPO: Tecnológica Aplicada NIVEL: Descriptivo DISEÑO: Diseño de Aplicación MÉTODO: Lógico-deductivo con un enfoque sistémico POBLACIÓN: Nuestro objeto de estudio son las TUBERÍAS ENTERRADAS DE LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL PISCO. "La población es el conjunto de	Técnicas de Documental Como instrumentos para esta técnica se usaron: Ficha de registro de datos Técnicas de Experimental Como instrumentos para esta técnica se usaron: Lista de Chequeo Cámara fotográfica GPS - Hoja de registro de medición de potenciales. - Hoja de registro de líneas de tuberías.
¿Cómo diseñar e implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa que permita mitigar la corrosión en las tuberías enterradas de la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco?	Diseñar e implementar un sistema de protección catódica por corriente impresa bajo las normativas NACE en la red de tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.	Si se diseña e implementa el sistema de protección catódica por corriente impresa se logrará mitigar la corrosión de las tuberías enterradas en la Planta de Fraccionamiento Pluspetrol-Pisco.			Porcentaje de daño en el recubrimiento		
					Recubrimiento		
ESPECÍFICOS				cálculo y selección de cama anódica	Cantidad de ánodos		
¿Cómo determinar el requerimiento de corriente que exigen las tuberías	Determinar el requerimiento de corriente necesario para dar protección	La determinación del requerimiento de corriente necesario			Resistencia de la cama anódica		
				Selección de fuente de poder			

enterradas para su correcta protección?	a las tuberías enterradas.	permitirá cubrir zonas expuestas a la corrosión por fallos en el recubrimiento.			Rectificador	objetos de los que se desea conocer en una investigación”(López 2020)	- Hoja de registro de medición de resistividad.
¿Cómo dimensionar y seleccionar una cama anódica que pueda tener la capacidad de drenar corriente eléctrica necesaria y distribuirla a todo el sistema de tuberías enterradas?	Dimensionar y seleccionar una cama anódica que pueda tener la capacidad de drenar la corriente eléctrica necesaria y distribuirla a todo el sistema de tuberías enterradas.	Si se dimensiona y selecciona adecuadamente una cama anódica permitirá la correcta distribución de la corriente de protección para las tuberías enterradas.	Dependiente: Implementación del sistema de PC. Mitigar la corrosión	Implementación del Sistema de PC	Montaje	MUESTRA: TUBERÍAS ENTERRADAS DE LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL PISCO Para este caso la población es igual a la muestra. Hernández (2003)	
¿Cómo seleccionar adecuadamente una fuente de	Seleccionar adecuadamente una fuente de poder que	Si se selecciona correctamente una fuente de			Mitigación de la Corrosión		

poder que pueda suministrar la cantidad de corriente necesaria que requiere el nuevo sistema?	pueda suministrar la cantidad de corriente necesaria que requiere el nuevo sistema.	poder se podrá suministrar la cantidad de corriente necesaria para el nuevo sistema.				menciona que "si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra" (p.69)	
¿Cómo realizar la implementación para validar el diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa en las tuberías enterradas de la Planta de Fraccionamiento o Pluspetrol-Pisco?	Implementar un sistema de protección catódica en base a los requerimientos del diseño que pueda cumplir con los criterios de protección de la normativa NACE.	Si se implementa un sistema de protección catódica en base a los requerimientos del diseño se logrará validar y cumplir con los criterios de protección de la normativa NACE.					

**ANEXO 2: HOJA DE REGISTRO DE
POTENCIALES**

		HOTTAPING AND CATHODIC PROTECTION E.I.R.L					HCP-F-148 Revisión No. 001 Página. 1 de 2		
		INSPECCIÓN DE POTENCIALES ON E INSTANT OFF (POSTE A POSTE)							
CLIENTE:			INSPECTOR:			CERTIFICADO NACE:			
			PROYECTO:						
RED DE TUBERIAS INSPECCIONADAS:					DIAMETROS VINCULADOS [in]:		TIPOS DE RECUBRIMIENTOS		CICLO DE INTERRUPCIÓN
SECTOR O UBICACIÓN:									
ÍTEM	ABSCISA TAG - SITIO LOCALIZACIÓN PUNTO	UBICACIÓN GPS (WGS84 Grad-Min-Seg)		POTENCIAL NATURAL [mV] DC	POTENCIAL ON [mV] DC	POTENCIAL OFF [mV] DC	VOLTAJE AC [V]	POLARIZACIÓN	COMENTARIOS
		LATITUD	LONGITUD						
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

**ANEXO 3: LISTADO DE DUCTOS A
INTERVENIR**

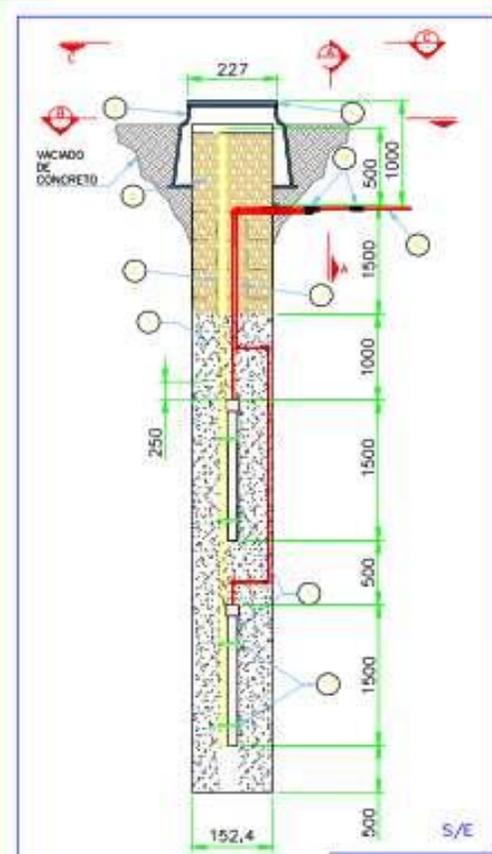
ITEM	ESTRUCTURA	TIPO	DIAMETRO (Ø")	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)	AREA TOTAL TUBERIA (m2)	AREA A PROTEGER 10% (m2)	I REQUERIDA (A) 16 Ua	I 50% FACTOR SEGURIDAD	I TOTAL ADOPTADA
1	3"-FW-41666-A5-B	FW	3	0.0762	46.3000	11.0837	1.1084	0.0177	0.0089	0.0266
2	3"-FW-41618-A5-B	FW	3	0.0762	31.8000	7.6126	0.7613	0.0122	0.0089	0.0210
3	3"-FW-41617-A5-B	FW	3	0.0762	24.3000	5.8172	0.5817	0.0093	0.0089	0.0182
4	3"-FW-41616-A5-B	FW	3	0.0762	16.8000	4.0217	0.4022	0.0064	0.0089	0.0153
5	3"-FW-41665-A5-B	FW	3	0.0762	31.5000	7.5408	0.7541	0.0121	0.0089	0.0209
6	3"-FW-41651-A5-B	FW	3	0.0762	54.0000	12.9270	1.2927	0.0207	0.0089	0.0296
7	3"-FW-41650-A5-B	FW	3	0.0762	46.5000	11.1316	1.1132	0.0178	0.0089	0.0267
8	3"-FW-41649-A5-B	FW	3	0.0762	39.0000	9.3362	0.9336	0.0149	0.0089	0.0238
9	6"-FW-41663-A5-B	FW	6	0.1524	34.7000	16.6136	1.6614	0.0266	0.0089	0.0354
10	6"-FW-41664-A5-B	FW	6	0.1524	43.5000	20.8269	2.0827	0.0333	0.0089	0.0422
11	SIN CODIGO	FW	6	0.1524	69.6000	33.3230	3.3323	0.0533	0.0089	0.0622
12	SIN CODIGO	FW	6	0.1524	61.5000	29.4449	2.9445	0.0471	0.0089	0.0560
13	SIN CODIGO	FW	6	0.1524	53.4000	25.5668	2.5567	0.0409	0.0089	0.0498
14	SIN CODIGO	FW	6	0.1524	45.5000	21.7844	2.1784	0.0349	0.0089	0.0437
15	8"-DN-41025-A1-B	DN	8	0.2032	13.0000	8.2988	0.8299	0.0133	0.0089	0.0221
16	4"-DN-41105-A1-B	DN	4	0.1016	6.8000	2.1705	0.2170	0.0035	0.0089	0.0123
17	6"-DN-23110-A1-B	DN	6	0.1524	161.2000	77.1791	7.7179	0.1235	0.0089	0.1324
18	SIN CODIGO	DN	6	0.1524	16.4000	7.8520	0.7852	0.0126	0.0089	0.0214
19	3"-WP-42107-A5-B	WP	3	0.0762	209.7000	50.1999	5.0200	0.0803	0.0089	0.0892
20	2"-WP-42159-A5-B	WP	2	0.0508	13.0000	2.0747	0.2075	0.0033	0.0089	0.0122
21	3"-IA-42082-A5-B	IA	3	0.0762	209.7000	50.1999	5.0200	0.0803	0.0089	0.0892
22	2"-FG-40439-A1-B	FG	2	0.0508	209.7000	33.4666	3.3467	0.0535	0.0089	0.0624
23	3"-UA-42034-A5-B	UA	3	0.0762	209.7000	50.1999	5.0200	0.0803	0.0089	0.0892
24	3"-UA-420133-A5U-B	UA	3	0.0762	11.5000	2.7530	0.2753	0.0044	0.0089	0.0133
25	2"-UA-42071-A5-B	UA	2	0.0508	13.5000	2.1545	0.2155	0.0034	0.0089	0.0123
26	2"-NI-72387-A1-B	NI	2	0.0508	210.4000	33.5783	3.3578	0.0537	0.0089	0.0626
27	4"-PL-22208-B1-B	PL	4	0.1016	209.7000	66.9333	6.6933	0.1071	0.0089	0.1160
28	4"-PL-22209-B1-B	PL	4	0.1016	209.7000	66.9333	6.6933	0.1071	0.0089	0.1160
29	8"-PL-804110-B1-B	PL	8	0.2032	238.7000	152.3793	15.2379	0.2438	0.0089	0.2527
30	6"-PL-21925-A1-B	PL	6	0.1524	91.4000	43.7604	4.3760	0.0700	0.0089	0.0789
31	4"-PG-23019-A1-B	PG	4	0.1016	209.7000	66.9333	6.6933	0.1071	0.0089	0.1160
32	3"-FL-23009-A2-B	FL	3	0.0762	209.7000	50.1999	5.0200	0.0803	0.0089	0.0892
33	3"-DC-41042-A1-B	DC	3	0.0762	18.2000	4.3569	0.4357	0.0070	0.0089	0.0158
34	4"-DP-41107-A1-B	DP	4	0.1016	29.6000	9.4479	0.9448	0.0151	0.0089	0.0240
35	3"-NN-410106-A1-B	NN	3	0.0762	12.3000	2.9445	0.2944	0.0047	0.0089	0.0136
36	4"-NN-410173-A1-B	NN	4	0.1016	20.0000	6.3837	0.6384	0.0102	0.0089	0.0191
37	10"-NN-41071-A1-B	NN	10	0.2540	17.5000	13.9644	1.3964	0.0223	0.0089	0.0312
38	3"-NN-711100-A1U-B	NN	3	0.0762	62.3000	14.9140	1.4914	0.0239	0.0089	0.0327
				TOTAL TRUCK LOADING	3,211.8000	1,036.3086	103.6309	1.6581	0.1658	1.8239

ITEM	ESTRUCTURA	TIPO	DIAMETRO (ø")	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)	AREA TOTAL TUBERIA (m2)	AREA A PROTEGER 10% (m2)	I REQUERIDA (A) 16 Lb	I 50% FACTOR SEGURIDAD	I TOTAL ADOPTADA
1	4"-DN-41038-A1-B	DN	4	0.1016	75.0000	23.9389	2.3939	0.0383	0.0192	0.0575
2	4"-DN-41734-A1-B	DN	4	0.1016	4.6000	1.4683	0.1468	0.0023	0.0192	0.0215
3	4"-DN-41755-A1-B	DN	4	0.1016	4.6000	1.4683	0.1468	0.0023	0.0192	0.0215
4	4"-DN-41744-A1-B	DN	4	0.1016	4.6000	1.4683	0.1468	0.0023	0.0192	0.0215
5	4"-DN-41801-A1-B	DN	4	0.1016	6.8000	2.1705	0.2170	0.0035	0.0192	0.0226
6	4"-LO-40801-A1-B	LO	4	0.1016	53.4000	17.0445	1.7045	0.0273	0.0192	0.0464
7	3"-LO-41701-A1-B	LO	3	0.0762	4.4000	1.0533	0.1053	0.0017	0.0192	0.0208
8	3"-LO-41752-A1-B	LO	3	0.0762	4.4000	1.0533	0.1053	0.0017	0.0192	0.0208
9	3"-LO-41712-A1-B	LO	3	0.0762	4.4000	1.0533	0.1053	0.0017	0.0192	0.0208
10	24"-FW-71901-A5-B	FW	24	0.6096	200.0000	383.0230	38.3023	0.6128	0.0192	0.8320
11	4"-DN-41491-A1-B	DN	4	0.1016	42.4000	13.5335	1.3533	0.0217	0.0192	0.0408
12	4"-DN-71702-A1-B	DN	4	0.1016	4.6000	1.4683	0.1468	0.0023	0.0192	0.0215
13	4"-DN-71734-A1-B	DN	4	0.1016	4.4000	1.4044	0.1404	0.0022	0.0192	0.0214
14	4"-DN-71802-A1-B	DN	4	0.1016	4.6000	1.4683	0.1468	0.0023	0.0192	0.0215
15	4"-DN-71844-A1-B	DN	4	0.1016	4.4000	1.4044	0.1404	0.0022	0.0192	0.0214
16	3"-WP-42101-A5-B	WP	3	0.0762	129.0000	30.8812	3.0881	0.0494	0.0192	0.0686
17	3"-WP-42102-A5-B	WP	3	0.0762	23.2000	5.5538	0.5554	0.0089	0.0192	0.0280
18	2"-WP-42116-A5-B	WP	2	0.0508	8.0000	1.2767	0.1277	0.0020	0.0192	0.0212
19	2"-WP-42114-A5-B	WP	2	0.0508	8.0000	1.2767	0.1277	0.0020	0.0192	0.0212
20	2"-WP-42450-A5-B	WP	2	0.0508	8.0000	1.2767	0.1277	0.0020	0.0192	0.0212
21	2"-LO-40802-A1-B	LO	2	0.0508	59.9000	9.5596	0.9560	0.0153	0.0192	0.0344
22	4"-LO-40851-A1-B	LO	4	0.1016	31.7000	10.1182	1.0118	0.0162	0.0192	0.0353
23	3"-LO-71703-A1-B	LO	3	0.0762	4.4000	1.0533	0.1053	0.0017	0.0192	0.0208
24	3"-LO-71701-A1-B	LO	3	0.0762	11.1000	2.6572	0.2657	0.0043	0.0192	0.0234
25	3"-LO-71801-A1-B	LO	3	0.0762	4.4000	1.0533	0.1053	0.0017	0.0192	0.0208
26	3"-LO-71812-A1-B	LO	3	0.0762	11.1000	2.6572	0.2657	0.0043	0.0192	0.0234
27	2"-IA-42002-A5-B	IA	2	0.0508	71.0000	11.3311	1.1331	0.0181	0.0192	0.0373
28	2"-IA-42282-A5-B	IA	2	0.0508	30.7000	4.8995	0.4900	0.0078	0.0192	0.0270
29	2"-IA-42219-A5-B	IA	2	0.0508	37.2000	5.9369	0.5937	0.0095	0.0192	0.0287
30	3"-IA-42004-A5-B	IA	3	0.0762	30.7000	7.3493	0.7349	0.0118	0.0192	0.0309
31	1"-IA-42026-A5-B	IA	1	0.0254	13.0000	1.0374	0.1037	0.0017	0.0192	0.0208
32	1"-IA-42028-A5-B	IA	1	0.0254	13.0000	1.0374	0.1037	0.0017	0.0192	0.0208
33	1"-IA-42027-A5-B	IA	1	0.0254	13.0000	1.0374	0.1037	0.0017	0.0192	0.0208
34	1"-IA-42279-A5-B	IA	1	0.0254	12.4000	0.9895	0.0989	0.0016	0.0192	0.0207
35	1"-IA-42278-A5-B	IA	1	0.0254	12.2000	0.9735	0.0974	0.0016	0.0192	0.0207

37	2"-FG-40420-B1-B	FG	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
38	2"-FG-40422-B1-B	FG	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
39	2"-FG-40421-B1-B	FG	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
40	2"-FG-40452-B1-B	FG	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
41	2"-FG-40451-B1-B	FG	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
42	3"-FG-40454-B1-B	FG	3	0.0762	17.5000	4.1893	0.4189	0.0067
43	2"-UA-42032-A5-B	UA	2	0.0508	30.5000	4.8676	0.4868	0.0078
44	2"-UA-42218-A5-B	UA	2	0.0508	98.8000	15.7678	1.5768	0.0252
45	2"-UA-42089-A5-B	UA	2	0.0508	23.6000	3.7664	0.3766	0.0060
46	2"-UA-42039-A5-B	UA	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
47	2"-UA-42037-A5-B	UA	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
48	2"-UA-42350-A5-B	UA	2	0.0508	7.6000	1.2129	0.1213	0.0019
49	3"-DF-41927-A1-B	DF	3	0.0762	106.6000	25.5189	2.5519	0.0408
50	3"-DF-41906-A1-B	DF	3	0.0762	30.5000	7.3014	0.7301	0.0117
51	2"-DF-41916-A1-B	DF	2	0.0508	93.4000	14.9060	1.4906	0.0238
52	3"-DF-41910-A1-B	DF	3	0.0762	1.7000	0.4070	0.0407	0.0007
53	2"-DF-41764-A1-B	DF	2	0.0508	6.8000	1.0852	0.1085	0.0017
54	3"-DF-41911-A1-B	DF	3	0.0762	1.7000	0.4070	0.0407	0.0007
55	2"-DF-41765-A1-B	DF	2	0.0508	6.8000	1.0852	0.1085	0.0017
56	3"-DF-41909-A1-B	DF	3	0.0762	1.7000	0.4070	0.0407	0.0007
57	2"-DF-41763-A1-B	DF	2	0.0508	6.8000	1.0852	0.1085	0.0017
58	2"-NI-72352-A1-B	NI	2	0.0508	91.2000	14.5549	1.4555	0.0233
59	2"-NI-72351-A1-B	NI	2	0.0508	11.2000	1.7874	0.1787	0.0029
60	2"-NI-72350-A1-B	NI	2	0.0508	6.5000	1.0374	0.1037	0.0017
61	24"-FW-797007-A5-B	FW	24	0.6096	98.0000	187.6813	18.7681	0.3003
62	4"-DN-410163-A1U-B	DN	4	0.1016	33.8000	10.7885	1.0788	0.0173
63	4"-DN-778112-A1U-B	DN	4	0.1016	5.0000	1.5959	0.1596	0.0026
64	4"-DN-778111-A1U-B	DN	4	0.1016	5.2000	1.6598	0.1660	0.0027
65	4"-DN-777112-A1U-B	DN	4	0.1016	5.0000	1.5959	0.1596	0.0026
66	4"-DN-777111-A1U-B	DN	4	0.1016	5.2000	1.6598	0.1660	0.0027
67	4"-DN-950116-A1-B	DN	4	0.1016	66.6000	21.2578	2.1258	0.0340
68	3"-WP-421104-A5U-B	WP	3	0.0762	25.0000	5.9847	0.5985	0.0096
69	2"-WP-421103-A5U-B	WP	2	0.0508	7.0000	1.1172	0.1117	0.0018
70	4"-LO-408100-A1U-B	LO	4	0.1016	26.6000	8.4903	0.8490	0.0136
71	3"-LO-777113-A1U-B	LO	3	0.0762	11.0000	2.6333	0.2633	0.0042
72	3"-LO-778113-A1U-B	LO	3	0.0762	11.0000	2.6333	0.2633	0.0042
73	3"-IA-420120-A5U-B	IA	3	0.0762	24.8000	5.9369	0.5937	0.0095
74	3"-IA-420100-A5U-B	IA	3	0.0762	5.8000	1.3885	0.1388	0.0022
75	3"-IA-420112-A5U-B	IA	3	0.0762	5.8000	1.3885	0.1388	0.0022
76	4"-FG-404106-B1U-B	FG	4	0.1016	43.7000	13.9484	1.3948	0.0223

75	3"-IA-420112-A5U-B	IA	3	0.0762	5.8000	1.3885	0.1388	0.0022	0.0192	0.0214
76	4"-FG-404106-B1U-B	FG	4	0.1016	43.7000	13.9484	1.3948	0.0223	0.0192	0.0415
77	2"-FG-404100-B1U-B	FG	2	0.0508	3.8000	0.6085	0.0608	0.0010	0.0192	0.0201
78	2"-FG-404102-B1U-B	FG	2	0.0508	3.8000	0.6085	0.0608	0.0010	0.0192	0.0201
79	3"-UA-420121-A5U-B	UA	3	0.0762	25.0000	5.9847	0.5985	0.0096	0.0192	0.0287
80	2"-UA-420122-A5U-B	UA	2	0.0508	6.7000	1.0693	0.1069	0.0017	0.0192	0.0209
81	3"-DF-419101-A1U-B	DF	3	0.0762	59.7000	14.2915	1.4292	0.0229	0.0192	0.0420
82	1"-DF-777115-A1U-B	DF	1	0.0254	8.2000	0.6543	0.0654	0.0010	0.0192	0.0202
83	1"-DF-778115-A1U-B	DF	1	0.0254	8.2000	0.6543	0.0654	0.0010	0.0192	0.0202
84	2"-NI-723105-A1U-B	NI	2	0.0508	25.5000	4.0696	0.4070	0.0085	0.0192	0.0257
85	2"-NI-723106-A1U-B	NI	2	0.0508	6.0000	0.9576	0.0958	0.0015	0.0192	0.0207
86	8"-FG-TGP A ESFERAS	FG	8	0.2032	162.0000	103.4162	10.3416	0.1655	0.0192	0.1846
87	10"-FG-TGP A ESTACION	FG	10	0.2540	126.0000	100.5435	10.0544	0.1609	0.0192	0.1800
				TOTAL AREA DE TURBINAS	2,573.4000	1,265.1967	126.5197	2.0243	0.2024	2.2267

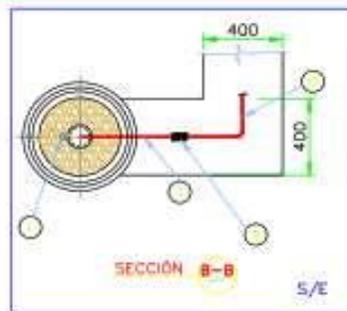
ANEXO 4: PLANOS AS-BUILT



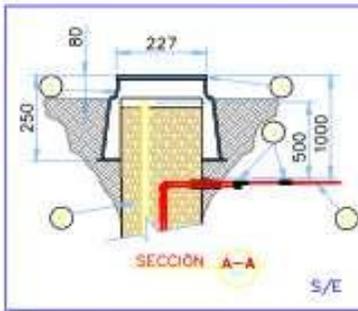
DETALLE DE INSTALACIÓN DE ANODO



SECCIÓN C-C S/E



SECCIÓN B-B S/E



SECCIÓN A-A S/E

LISTA DE MATERIALES

ITEM	UND.	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Und.	ANODO DE FERROSILICIO, DIAMETRO 2", Y LARGO 60"	2
2	Und.	RESPRADERO PARA ANODO, TUBERIA PVC CON CAMPANA DIAMETRO 1", SCH ESTANDAR, CON MICROPERFORACIONES	4
3	mL	CABLE TIPO HMWPE, #8 AWG.	10
4	Und.	TAPA DE REGISTRO PVC PARA POZOS ANÓDICOS	1
5	Und.	CAJA DE REGISTRO PARA POZOS ANÓDICOS DE MATERIAL PVC	1
6	Und.	PERNO DE FIJACIÓN PARA TAPA	1
7	m ³	BACKFILL DE COKE METALURGICO SC-3, 99.35% POR PERFORACIÓN	0.0912
8	m ³	RELLENO NATURAL DE TERRENO	0.0364
9	Und.	CONEXIÓN CABLE-CABLE	1
10	mL	CABLE COLECTOR DEL ANODO TIPO HMWPE #8 AWG.	-
11	Und.	ONTILLO DE AJUSTE	4

NOTAS:
 1.- PARA APLICACIÓN DEL COKE VER ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.
 2.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
 3.- EL NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL ANODO ESTÁ COLOCADO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA TAPA.

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EMITIDO CONFORME AL FABRICADO	05/09/19	J.C.	E.T.	G.C.
B	EMITIDO CONFORME A MODIFICACION DEL CLIENTE	10/24/19	J.C.	E.T.	G.C.
A	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	01/08/18	K.A.	P.M.	W.A.

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

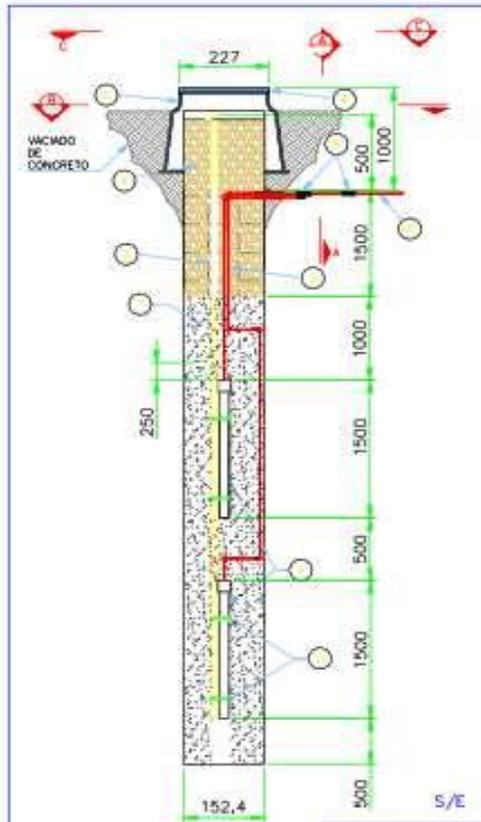
CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.
 OBRA: SERVICIO DE PC PFG LN PISCO

pluspetrol
Perú Corporation S.A.

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

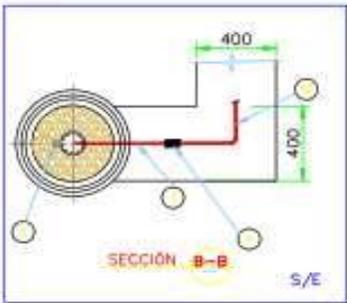
CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA	
TÍTULO:	INGENIERIA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO
DOCUMENTO N°:	PLANO DETALLE INSTALACIÓN DE ANODOS LADO ESTE
REVISIÓN:	0
Reemplazo a:	HCP-SCP-DWG-007B-PPC-2018
	Hoja 01 de 02



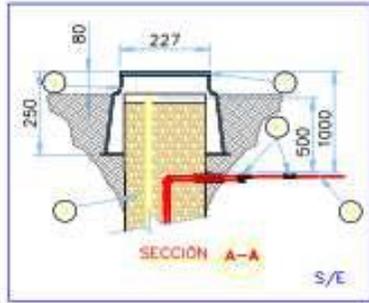
DETALLE DE INSTALACIÓN DE ANODO



SECCIÓN C-C S/E



SECCIÓN B-B S/E



SECCIÓN A-A S/E

LISTA DE MATERIALES

RENG-UND	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Und. ANODO DE FERROSILICIO. DIAMETRO 2", Y LARGO 60".	2
2	Und. RESPIRADERO PARA ANODO, TUBERÍA PVC CON CAMPANA DIAMETRO 1". SOH ESTANDAR. CON MICROPERFORACIONES.	4
3	mL CABLE TIPO HMWPE. #8 AWG.	10
4	Und. TAPA DE REGISTRO PVC PARA POZOS ANÓDICOS	1
5	Und. CAJA DE REGISTRO PARA POZOS ANÓDICOS DE MATERIAL PVC	1
6	Und. PERNO DE FIJACIÓN PARA TAPA	1
7	m3 BACKFILL DE COKE METALURGICO SC-3. 99.35% POR PERFORACION	0.0912
8	m3 RELLENO NATURAL DE TERRENO	0.0364
9	Und. CONEXIÓN CABLE-CABLE.	1
10	mL CABLE COLECTOR DEL ANODO TIPO HMWPE #8 AWG.	-
11	Und. CINTILLO DE AJUSTE	4

NOTAS:
 1.- PARA APLICACIÓN DEL COKE VER ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN.
 2.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
 3.- EL NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL ANODO, ESTÁ COLOCADO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA TAPA.

0	EMISSO CONFORME AL FABRICADO	05/08/19	J.C.	E.T.	G.C.
B	EMISSO CONFORME A MODIFICACIÓN DEL CLIENTE	10/04/19	J.C.	E.T.	G.C.
A	EMISSO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	01/08/18	K.A.	P.M.	K.A.
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.
 OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: 5/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

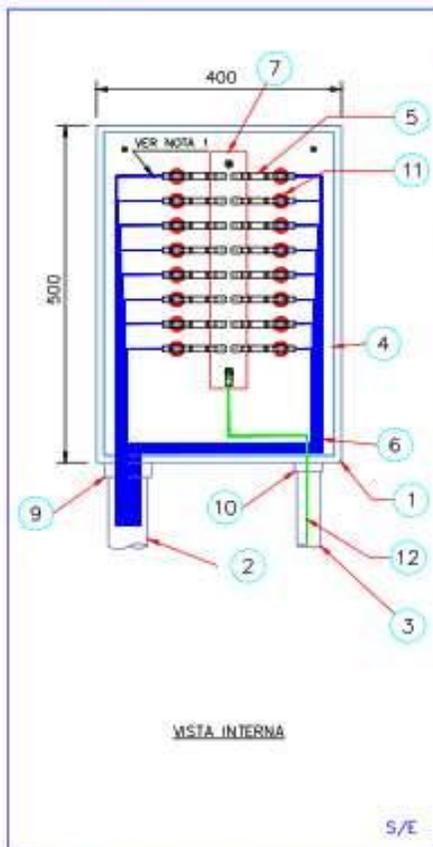
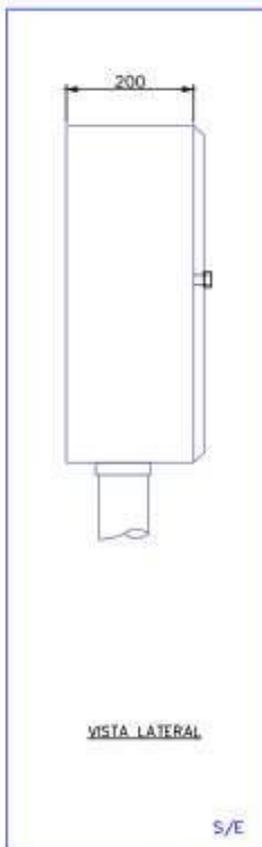
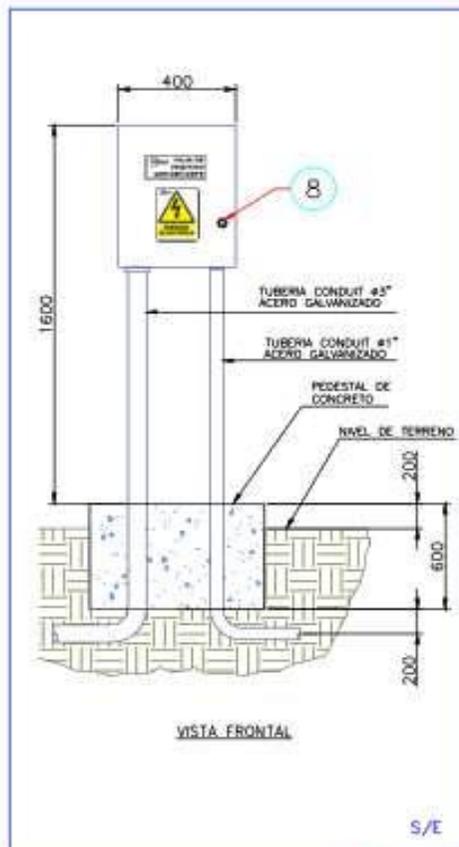
TÍTULO: INGENIERIA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE INSTALACIÓN DE ANODOS LADO OESTE

REEMPLAZA A: HCP-SCP-DWG-0078-PPC-2018.

REVISIÓN: 0

Hoja 02 de 02



LISTA DE MATERIALES

RENO	UND.	DESCRIPCION	CANT
1	UN.	CAJA DE FIBRA DE VIDRIO, TIPO NEMA 4X	1
2	UN.	TUBO # 3" LARGO 1.70m. ACERO GALVANIZADO.	1
3	UN.	TUBO # 1 1/2" LARGO 1.70m. ACERO GALVANIZADO.	1
4	UN.	LÁMINA DE BAQUELITA DIM.:270x470x3 mm.	1
5	UN.	TERMINALES SHUNT 50mV 50A	16
6	UN.	CABLES DE ANODOS	16
7	UN.	PLETINA DE COBRE 400 x 50,8	2
8	UN.	APERTURA POR LLAVE	1
9	UN.	CONECTOR DE ø 3"	1
10	UN.	CONECTOR DE ø 1 1/2"	1
11	UN.	AISLADOR DE 1 1/2"	16
12	UN.	CABLE A RECTIFICADOR HMWPE # 2 AWG	1

NOTAS:

- 1.- LOS TERMINALES DEL 1 AL 16 ESTÁN IDENTIFICADOS EN EL CABLE.
- 2.- LA LISTA DE MATERIALES ESTA REFERIDA PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO
- 3.- TODAS LAS UNIDADES ESTAN EXPRESADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

REV.	DESCRIPCION	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EMITIDO CONFORME A FABRICADO	05/08/19	J.C.	E.T.	G.C.
B	EMITIDO CONFORME A MODIFICACION DEL CLIENTE	10/04/19	K.A.	P.M.	W.A.
A	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	01/08/18	K.A.	P.M.	W.A.

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.
OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO



pluspetrol
Perú Corporation S.A.

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

Toda la información contenida en la presente documentación es confidencial y de propiedad de Pluspetrol, siendo prohibida su reproducción o copia, total o parcial, sin autorización previa.

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

TÍTULO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

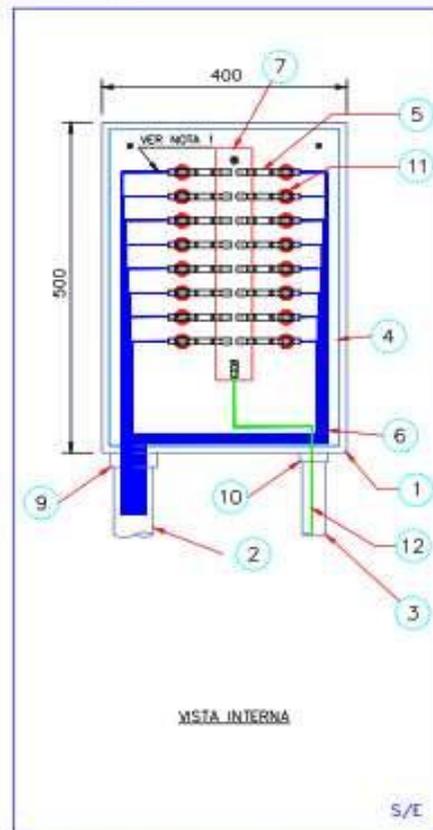
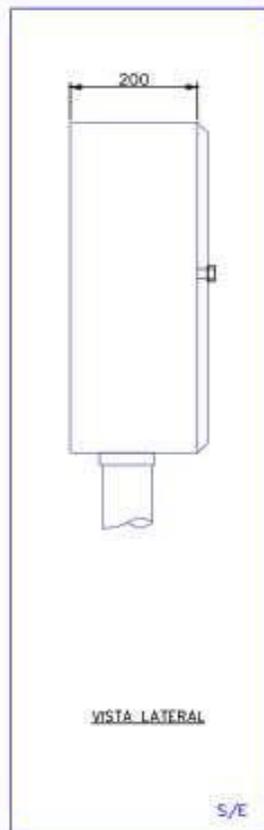
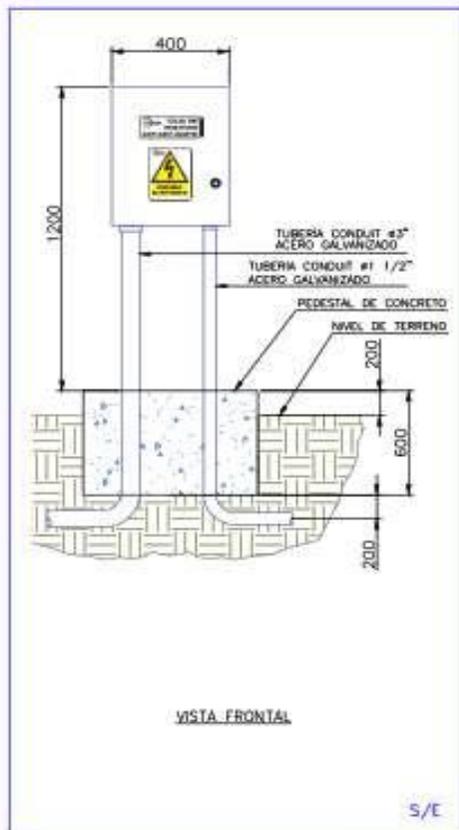
DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE DE CAJA DE POSITIVOS LADO ESTE

Reemplazo a: HCP-SCP-DWG-007C-PPC-2018

REVISIÓN:

0

Hoja: 01 de 02



LISTA DE MATERIALES

RENG.	UND.	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	UN.	CAJA DE FIBRA DE VIDRIO, TIPO NEMA 4X.	1
2	UN.	TUBO # 3" LARGO 1,30m. ACERO GALVANIZADO.	1
3	UN.	TUBO # 1" LARGO 1,30m. ACERO GALVANIZADO.	1
4	UN.	LAMINA DE BAQUELITA DIM.: 270x470x3 mm.	1
5	UN.	TERMINALES SHUNT 50mV 50A	16
6	UN.	CABLES DE ANODOS	16
7	UN.	PLETINA DE COBRE 400 x 50,8	2
8	UN.	APERTURA POR LLAVE	1
9	UN.	CONECTOR DE # 3"	1
10	UN.	CONECTOR DE # 1"	1
11	UN.	AISLADOR DE 1"	16
12	UN.	CABLE A RECTIFICADOR HMWPE # 2 AWG	1

NOTAS:

- LOS TERMINALES DEL 1 AL 16 ESTAN IDENTIFICADOS EN EL CABLE.
- LA LISTA DE MATERIALES ESTA REFERIDA PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO.

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EMITIDO CONFORME A FABRICADO	05/09/19	J.C.	E.T.	G.C.
B	EMITIDO CONFORME A MODIFICACIÓN DEL CLIENTE	10/04/19	K.A.	P.M.	W.A.
A	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	01/08/18	K.A.	P.M.	W.A.

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.
OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO



INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA
5/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

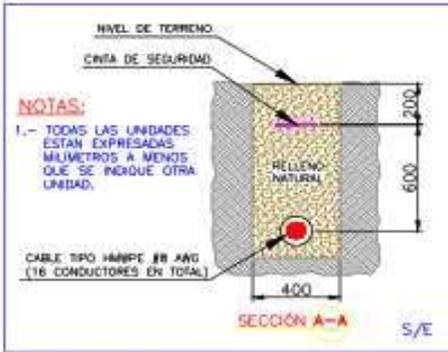
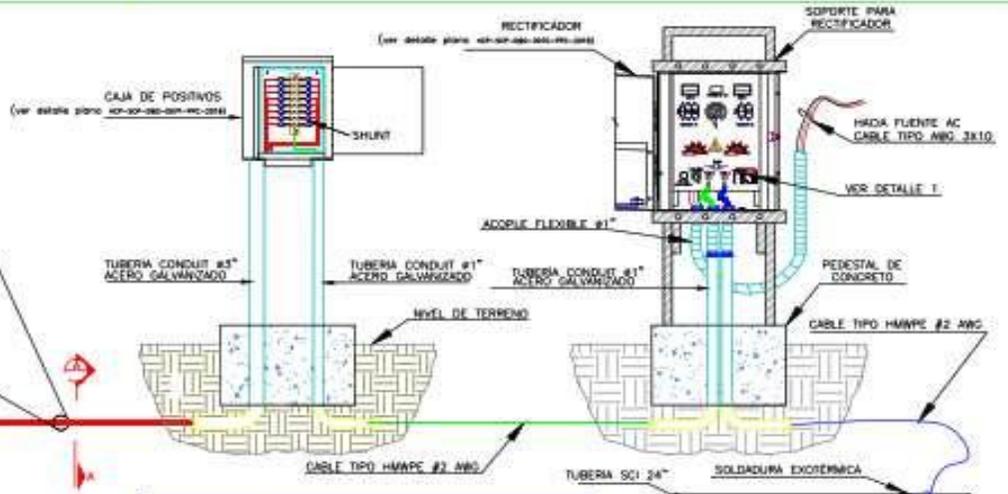
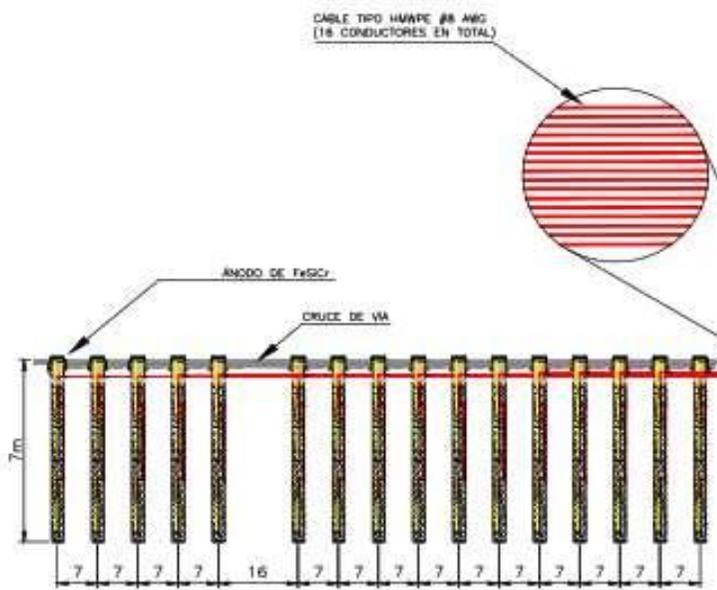
TITULO INGENIERIA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°:
PLANO DETALLE DE CAJA DE POSITIVOS LADO OESTE

REVISIÓN:
0

Reemplazo a: HCP-SCP-DWG-007C-PPC-2018

Hoja 02 de 02



NOTAS:
1.- TODAS LAS UNIDADES ESTAN EXPRESADAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.

PLACA DE IDENTIFICACION DE RECTIFICADOR

Protección Catódica de Colombia	
MODELO: HCP-PC-SCV-MA	WPO: []
SERIE N°: []	WPO: []
VOLTAJE AC: []	VOLTAJE DC: []
VOLTAJE AC: []	AMPL. DC: []
PARTE: []	WPO: []
REVISION: []	WPO: []

DETALLE 1 S/E

0	EMITIDO CONFORME A FABRICACION	06/09/19	J.C.	P.M.	WA
B	EMITIDO CONFORME A MODIFICACION DEL CLIENTE	10/04/19	J.C.	E.T.	G.C.
A	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	01/06/18	K.A.	P.M.	WA
REV.	DESCRIPCION	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION					
CLIENTE: PLUSPETROL PERU CORPORATION S.A. OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO					

pluspetrol
Perú Corporation S.A.

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

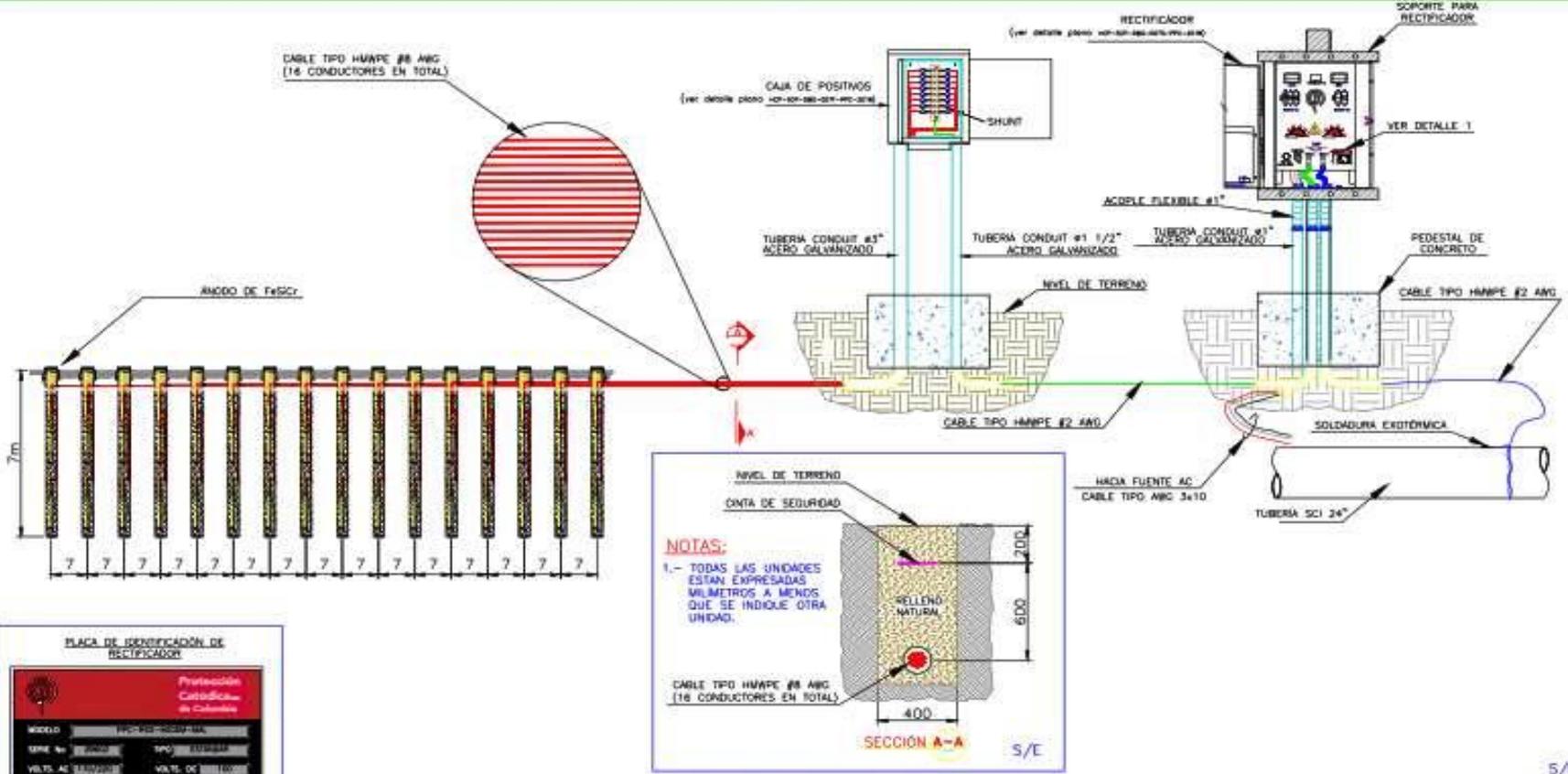
CONTROL DE LA CORROSION EXTERNA

TITULO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DISTRIBUCION DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA LADO OESTE

REVISION: 0

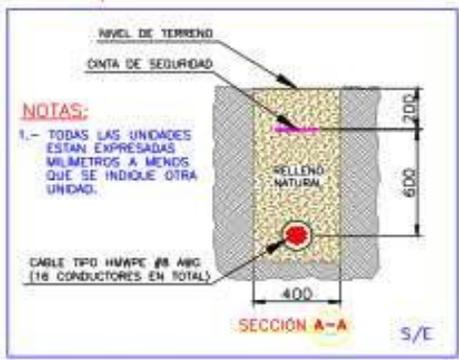
Reemplazo a: HCP-SCP-DWG-007F-PPC-2018 Hoja 01 de 02



PLACA DE IDENTIFICACIÓN DE RECTIFICADOR

Protección Catódica de Colombia	
MODELO	PC-2000-001-001
SERIE No.	100001
VOLTAJE AC	240V
VOLTAJE DC	10V
VOLTAJE AL CABLE	10V
ANOS DE SERVICIO	10
FABRICACION	INDUSTRIAL

DETALLE 1 S/E



0	EMISSO CONFORME A FABRICACION	06/09/18	J.C.	E.T.	S.C.
1	EMISSO CONFORME A MODIFICACION DEL CLIENTE	10/04/19	J.C.	E.T.	S.C.
A	EMISSO PARA REVISION DEL CLIENTE	01/06/18	K.A.	P.M.	W.A.
REV.	DESCRIPCION	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
HOTTAPPING					
CLIENTE:	PLUSPETROL PERU CORPORATION S.A.				
OBRA:	SERVICIO DE PC PFLN PISCO				

pluspetrol
Peru Corporation S.A.

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA
S/E

CONTROL DE LA CORROSION EXTERNA

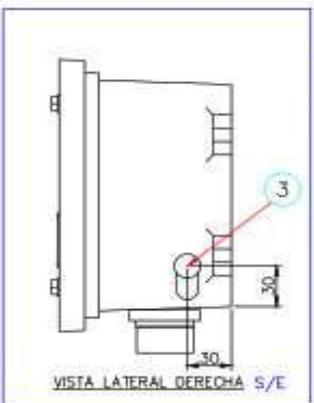
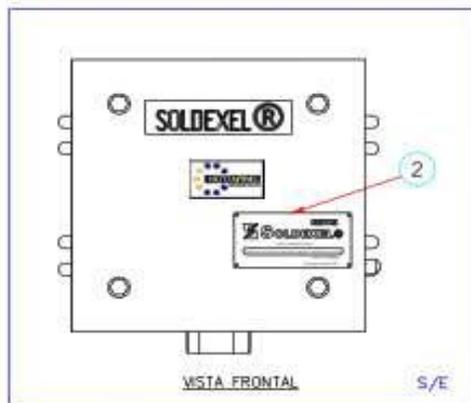
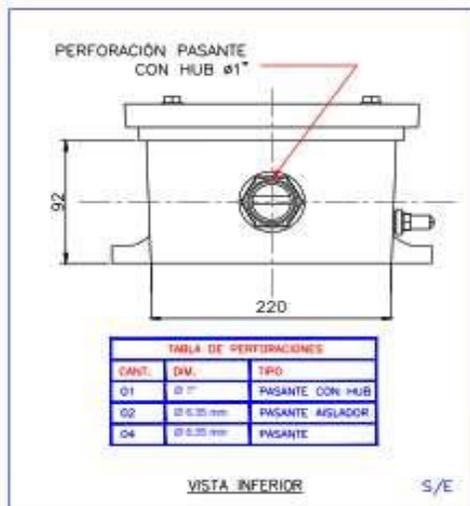
TITULO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA SCI, CAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DISTRIBUCION DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA LADO ESTE

REEMPLAZO A: HCP-SCP-DWG-007F-PPC-2018

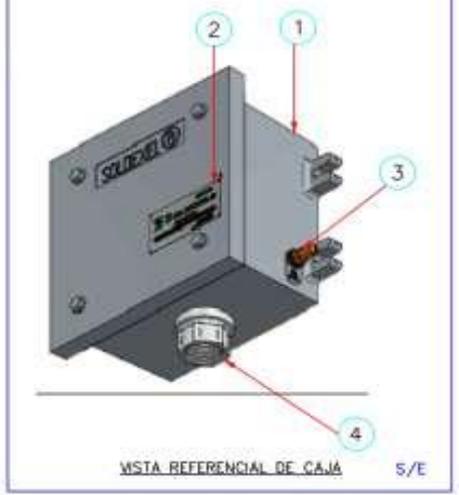
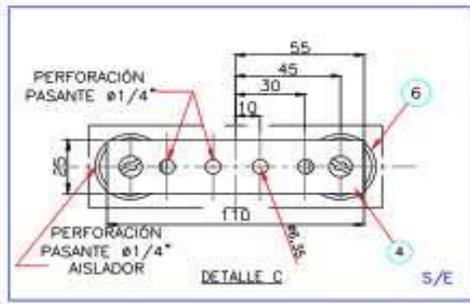
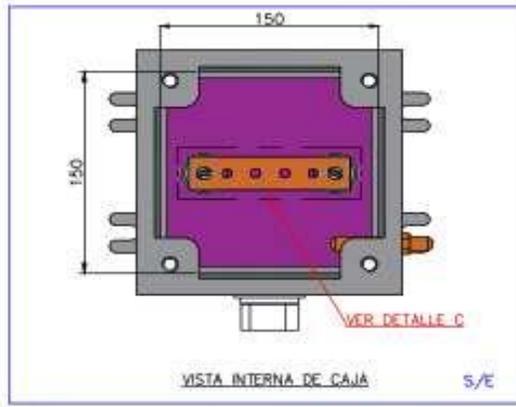
REVISION: 0

PAGINA: 02 DE 02



ITEM	ELEMENTO	CANT
1	S4-CE151510	1
2	PLACA DE REF. SOLDEXEL	1
3	POLO A TIERRA	1
4	HUB Ø 1"	1
5	BARRA 130x25x6,35 mm	1
6	AISSLADOR T 305	2

NOTA:
 1.- MATERIAL DE FABRICACIÓN ES ALUMINIO
 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTATICA.
 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UND.
 4.- CAJA DE PROTECCIÓN TIPO NEMA 4 - X



REV.	EMITIDO CONFORME AL FABRICADO	30/09/19	J.C.	E.T.	D.C.
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
	HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION				
	CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.				
	OBRA: SERVICIO DE PC PFLGN PISCO				

pluspetrol
Perú Corporation S.A.

ESCALA
S/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

TITULO: INGENIERIA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE DE CAJA INTERCONEXIÓN #3

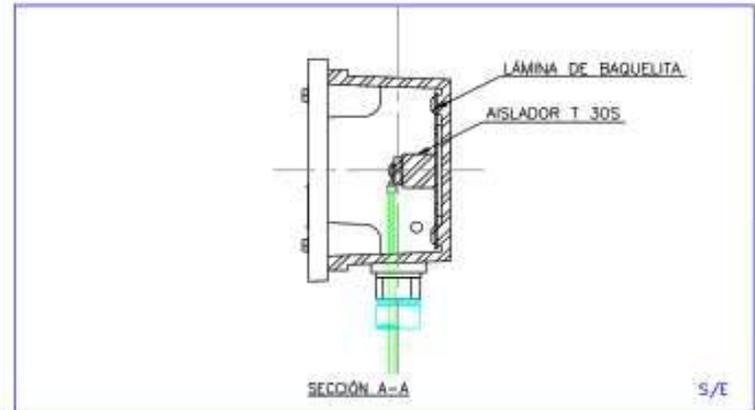
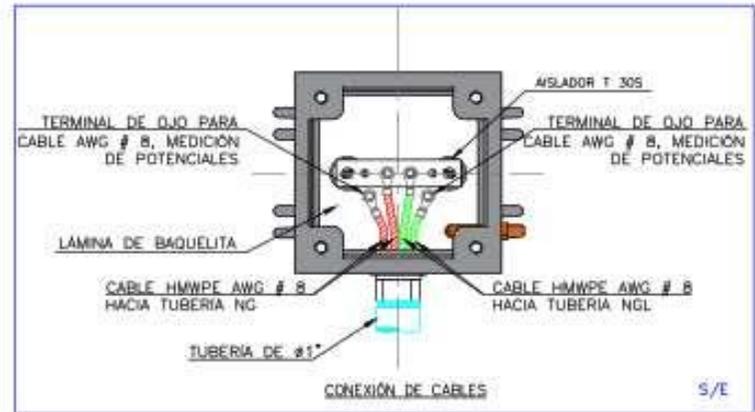
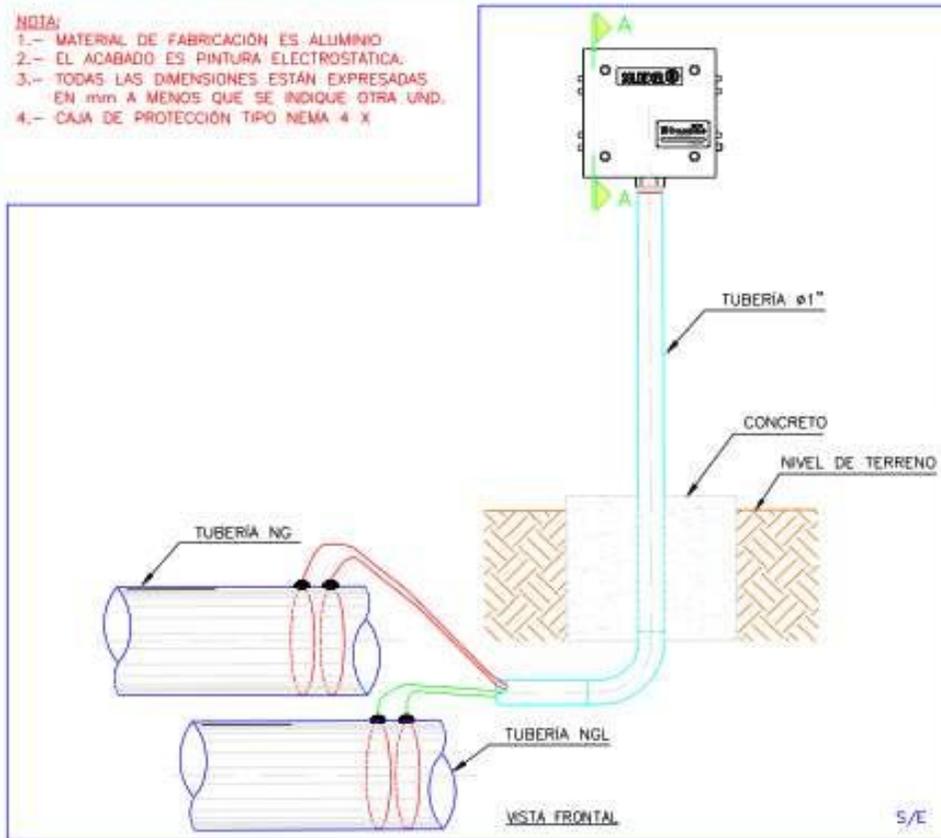
Reemplaza a:

REVISIÓN: 0

Hoja: 01 de 01

NOTA:

- 1.- MATERIAL DE FABRICACIÓN ES ALUMINIO
- 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTATICA.
- 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UND.
- 4.- CAJA DE PROTECCIÓN TIPO NEMA 4 X



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EMENDÓ CONFORME AL FABRICADO	26/08/19	J.E.	E.T.	G.E.

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.
 OBRA: SERVICIO DE PC PFLGN PISCO

pluspetrol
Perú Corporation S.A.

ESCALA: S/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

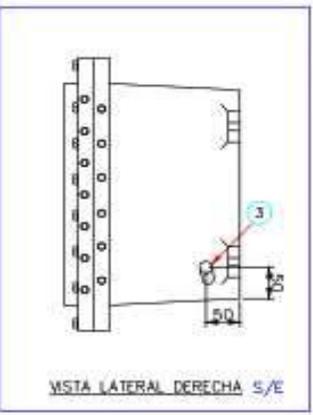
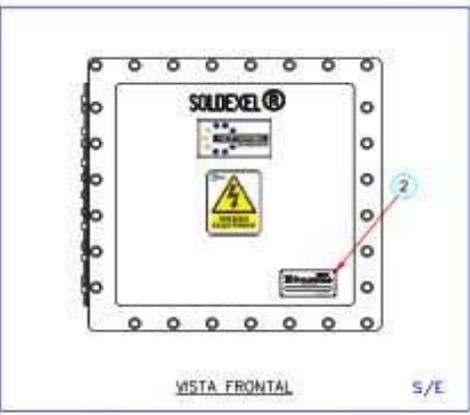
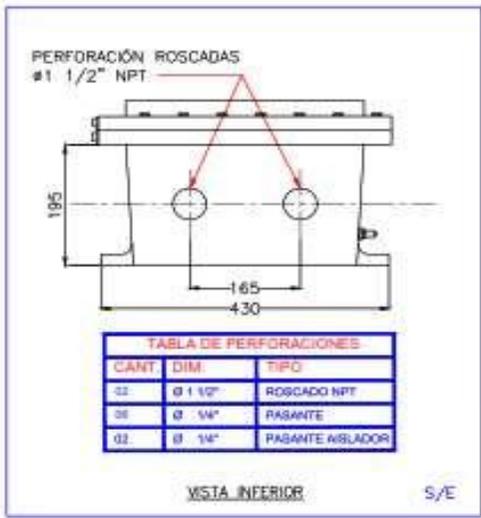
TÍTULO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE DE CAJA INTERCONEXIÓN #3

REEMPLAZO a:

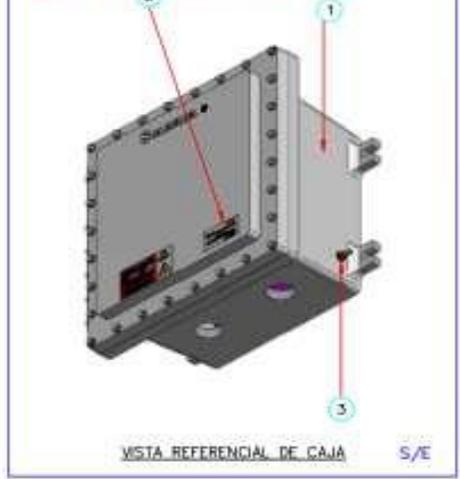
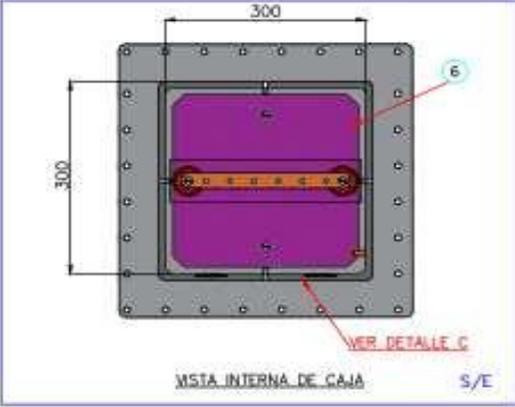
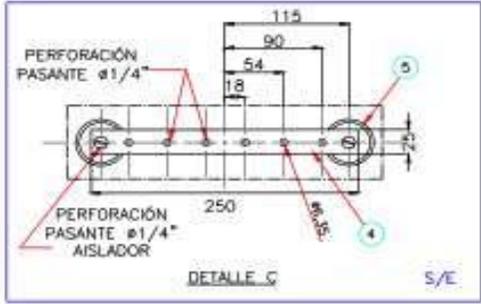
REVISIÓN: 0

Hoja 01 de 01



ITEM	ELEMENTO	CANT.
1	S7-CE303020	1
2	PLACA DE REF. SOLDEXEL	1
3	POLO A TIERRA	1
4	BARRA 250x25x8,35 m.m	1
5	AISLADOR T 35 MATRIMOL	2
6	DOBLEFONDO EN BAQUELITA	1

NOTA:
 1.- MATERIAL DE FAB. DE LA CAJA ES ALUMINIO.
 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTATICA.
 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNID.
 4.- CAJA DE PROTECCION TIPO NEMA 7 PARA AREAS CLASIFICADAS.



REV.	ESTADO CONFORME AL FABRICADO	DESCRIPCION	FECHA	E.EC.	E.T.	G.C.	APR.
0	ESTADO CONFORME AL FABRICADO		09/09/19	J.C.	E.T.	G.C.	

HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION

CLIENTE: PLUSPETROL PERU CORPORATION S.A.
 OBRA: SERVICIO DE PC PFG LN PISCO

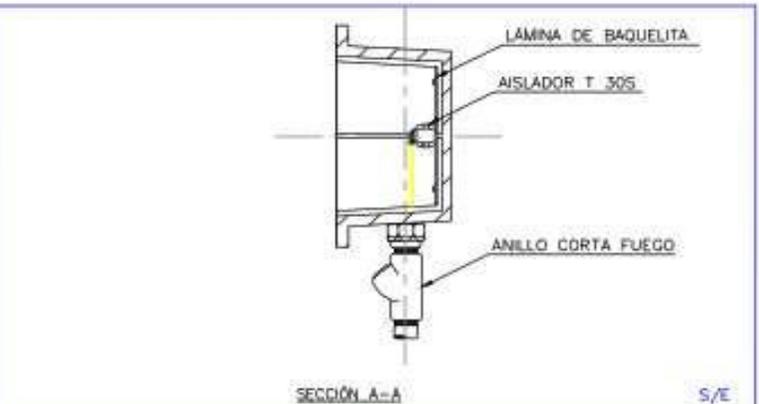
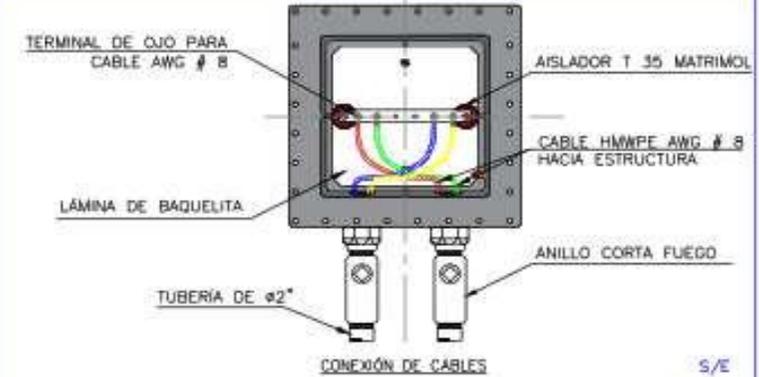
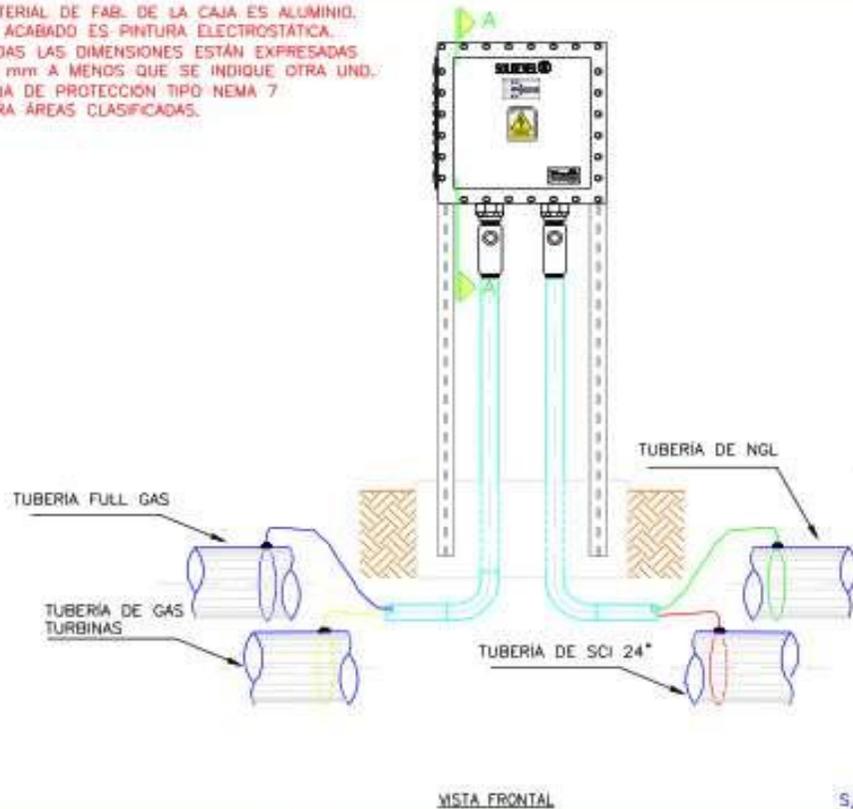
INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

CONTROL DE LA CORROSION EXTERNA	
TITULO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO	REVISION: 0
DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE CAJA DE INTERCONEXION #2	Reemplazo a:
Hoja 01 de 01	

NOTA:

- 1.- MATERIAL DE FAB. DE LA CAJA ES ALUMINIO.
- 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTATICA.
- 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UND.
- 4.- CAJA DE PROTECCION TIPO NEMA 7 PARA ÁREAS CLASIFICADAS.



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EDICIÓN CONFORME AL FABRICADO	05/09/19	J.C.	E.T.	G.C.
HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION					
CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.					
OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO					

INGENIERA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA

TÍTULO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO

DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE INSTALACIÓN DE ANODOS LADO ESTE

Reemplazo a:

REVISIÓN: 0

Hoja 01 de 01

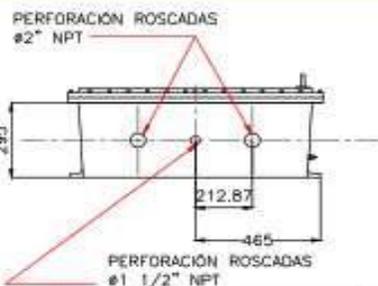
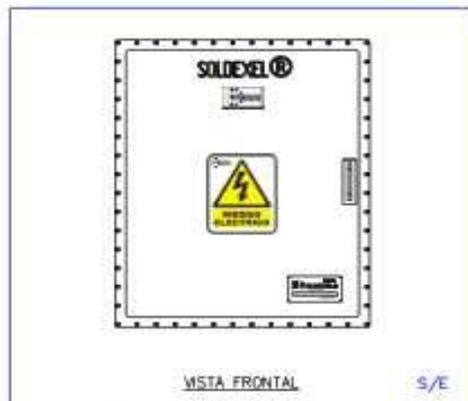


TABLA DE PERFORACIONES		
CANT.	DIM.	TIPO
02	Ø 2"	ROSCA NPT
01	Ø 1 1/2"	ROSCA NPT
02	Ø 6,35mm	PASANTE AISLADOR
16	Ø 15/16"	PASANTE

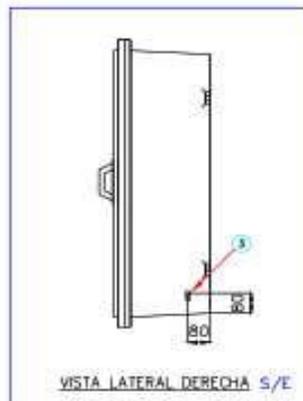
VISTA INFERIOR S/E



DETALLE C S/E



VISTA FRONTAL S/E



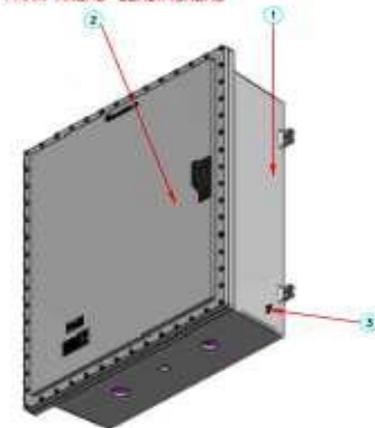
VISTA LATERAL DERECHA S/E



VISTA INTERNA DE CAJA S/E

ITEM	ELEMENTO	CANT.	V.B.
1	CAJA NEMA 7-ST-CE1000030	1	
2	PLACA DE REF. SOLDEXEL	1	
3	POLO A TIERRA	1	
4	BARRA 900 X 50 X 6.35 m.m.	1	
5	AISLADOR T 35 MATRIMOL	2	
6	DOBLEFONDO EN BAQUELITA	1	

NOTA:
 1.- MATERIAL DE FABRICACIÓN ES ALUMINIO
 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTÁTICA.
 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNID.
 4.- CAJA DE PROTECCIÓN TIPO NEMA 7 PARA ÁREAS CLASIFICADAS

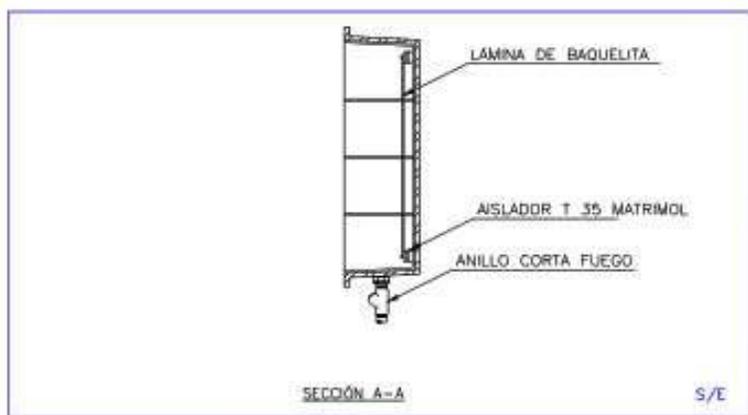
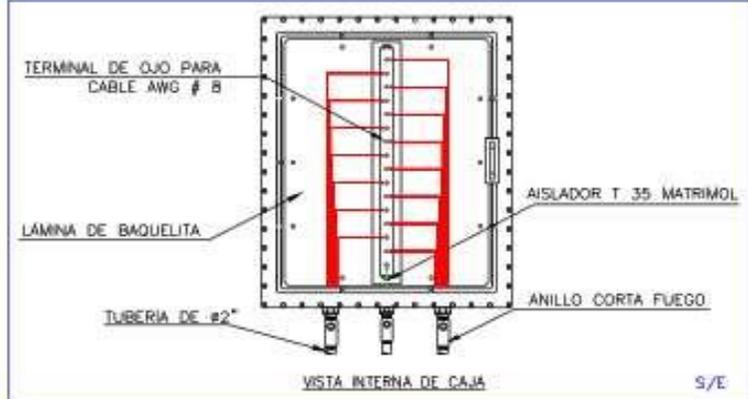
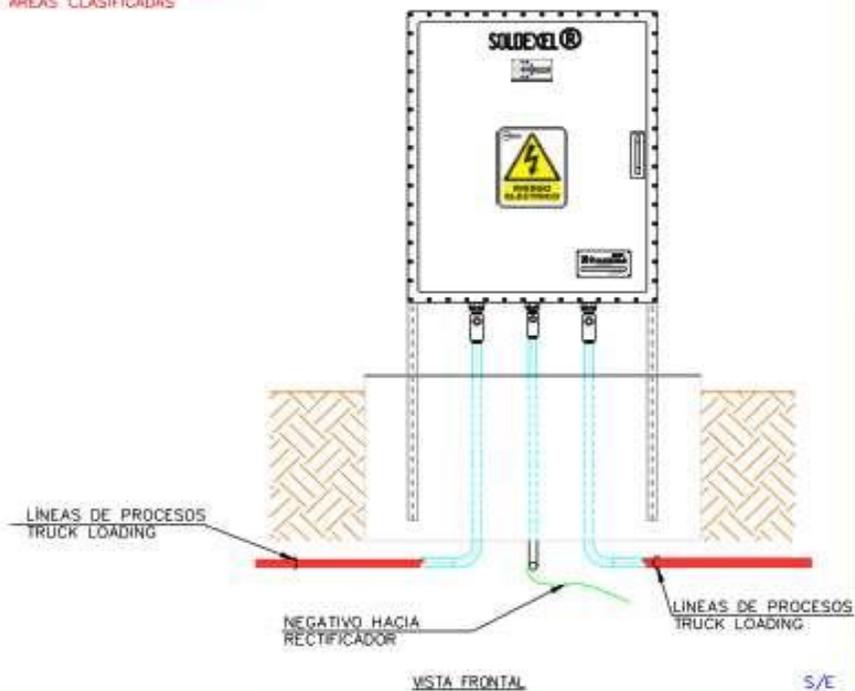


VISTA REFERENCIAL DE CAJA S/E

0 EMENDADO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE REV. DESCRIPCIÓN		05/08/19 J.E. E.T. G.E. FECHA EJEC. REV. APR.		 Perú Corporation S.A.	CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA TITULO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO	
HOTTAPPING AND CATHODIC PROTECTION					INGENIERIA DE PROYECTO	DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE CAJA DE INTERCONEXIÓN #1
CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A. OBRA: SERVICIO DE PC PFG LN PISCO				ESCALA S/E	Reemplazo a:	Hoja 01 de 02

NOTA:

- 1.- MATERIAL DE FABRICACIÓN ES ALUMINIO.
- 2.- EL ACABADO ES PINTURA ELECTROSTÁTICA.
- 3.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN mm A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNID.
- 4.- CAJA DE PROTECCIÓN TIPO NEMA 7 PARA ÁREAS CLASIFICADAS.



REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	EJEC.	REV.	APR.
0	EMITIDO CONFORME AL FABRICADO	06/08/19	J.C.	E.T.	G.E.
CLIENTE: PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.					
OBRA: SERVICIO DE PC PFGLN PISCO					

pluspetrol
Perú Corporation S.A.

INGENIERIA DE PROYECTO

ESCALA: S/E

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA	
TÍTULO: INGENIERIA BÁSICA Y DE DETALLE DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SCI, GAS DE TURBINAS, NGL, NG Y TRUCK LOADING PPC-PISCO	REVISIÓN: 0
DOCUMENTO N°: PLANO DETALLE CAJA DE INTERCONEXIÓN #1	Hojas: 02 de 02
Reemplazo a:	

**ANEXO 5: REGISTRO DE INSPECCIÓN DE
RECTIFICADOR**



INSTALACIÓN Y REVISIÓN DE RECTIFICADOR

HCP-SCP-FO-007A

CAJA DE UNIONES CAMA ANÓDICA				ESQUEMA CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN
Ánodo	Valor Medido	Ánodo	Valor Medido (mV)	
1		23		
2		24		
3		25		
4		26		
5		27		
6		28		
7		29		
8		30		
9		31		
10		32		
				ACOMETIDAS
				Longitud acometida AC
				Ubicación interruptores
				Comentarios acometidas
				OBSERVACIONES Y COMENTARIOS ADICIONALES
11		33		
12		34		
13		35		
14		36		
15		37		
16		38		
17		39		
18		40		
19		41		
20		42		
21		43		
22		44		
Elaborado por		Revisado Por		

ANEXO 6: PARÁMETROS DE LOS RECTIFICADORES



HOTTAPING AND CATHODIC PROTECTION E.I.R.L

ACTA DE ENTREGA Y/O RECIBO DE EQUIPOS Y/O SERVICIOS

HCP-F-155
Revisión No. 002
Pagina. 1 de 1

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente:	PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A
Proyecto:	INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA, CON CAMAS CONVENCIONALES VERTICALES PARA LA RED DE TUBERÍAS ENTERRADAS DEL SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS, TRUNK LOADING Y GAS DE TURBINAS DE LA PLANTA PFLGN DE PISCO -PPC.
Fecha:	miércoles, 28 de Agosto de 2019
Lugar:	PLANTA PFLGN DE PISCO

DESCRIPCIÓN DE LA ENTREGA Y/O RECIBO
ENTREGA (X) RECIBO ()

El presente documento tiene como propósito principal el hacer entrega de uno de los dos Rectificadores de Protección Catódica, que se encargan de enviar la corriente de los sistemas de protección catódica Lado ESTE y Lado OESTE para el siguiente conjunto de líneas y/o tuberías enterradas y distribuidas a lo largo y dentro de la planta PFLGN DE PISCO, propiedad de Pluspetrol Perú Corporation S.A.

- * Sistemas de tuberías de acero enterradas vinculadas al Sistema de Contra incendios Lado OESTE.
- * Sistema de tuberías de acero enterradas de Truk Loading.

ESPECIFICACIONES DEL RECTIFICADOR INSTALADO SPC LADO OESTE				CORRIENTE DC ÁNODOS CAJA DE POSITIVOS SPC LADO OESTE						
FABRICANTE:	Protección Catódica de Colombia S.A.S.			Ánodo 1	2.3	Ánodo 9	1.4			
MODELO:	PPC-RSS-5000M-MAL			Ánodo 2	1.2	Ánodo 10	2.1			
SERIE:	39601			Ánodo 3	2.5	Ánodo 11	1.8			
TIPO:	Enfriado por aire ESTANDAR			Ánodo 4	2.2	Ánodo 12	1.4			
VALOR NOMINAL:	110/220 VAC - 48.5/25.5 IAC In - 100 VDC / 40 IDC Out			Ánodo 5	1.9	Ánodo 13	1.4			
TIPO CAMA:	Convencional Pozos Verticales			Ánodo 6	2.1	Ánodo 14	1.9			
CLASE:	Monofasico			Ánodo 7	2.4	Ánodo 15	1.2			
				Ánodo 8	2.0	Ánodo 16	0.18			
Comentarios										
La suma de corriente de cada ánodo corresponde a la medida en el equipo										
Datos Operativos de como quedo funcionando el Rectificador Instalado SPC lado ESTE										
Fecha	Voltaje DC		Corriente DC		Voltaje AC Entrada	Corriente AC Entrada	Ajuste TAPS		Lecturas en Instrumentos	
	[V]	[Hz]	Shunt mV	[A]			Grueso	Fino	VDC	ADC
26/08/2019	74.7	120	24	2.6	223	2.3	C de F	1 de 6	74.7	24
Resistencia del Sistema:			74.7 V	2.6 A	0.87222 Ω	Resistencia Optima				

FIRMA QUIEN ENTREGA

Nombre	Cargo	Empresa	
Efer Trillos Villegas	Profesional NACE CP2	HOTTAPING AND CATHODIC PROTECTION	EFER TRILLOS VILLEGAS ELECTRICISTA PROFESIONAL 1095806665-82724 / M-C107940 NACE CP2 - CERTIFIED # 63526
Número telefónico Cel. +51 942 986 155	Correo electrónico etrillos@hottaping-cathodic.com		

FIRMA QUIEN RECIBE

Nombre	Cargo	Empresa	Firma o Sello
Jorge Risco Rebasea	Ing. Senior en Protección Catódica	PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A	
Número telefónico Anexo: 5226 / Cel.+51 966 349 632	Correo Electrónico jrisco@pluspetrol.net		



HOTTAPING AND CATHODIC PROTECTION E.I.R.L

HCP-F-155
Revisión No. 002
Pagina. 1 de 1

ACTA DE ENTREGA Y/O RECIBO DE EQUIPOS Y/O SERVICIOS

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente:	PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A
Proyecto:	INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA, CON CAMA CONVENCIONALES VERTICALES PARA LA RED DE TUBERÍAS ENTERRADAS DEL SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS, TRUNK LOADING Y GAS DE TURBINAS DE LA PLANTA PFLGN DE PISCO -PPC.
Fecha:	miércoles, 28 de Agosto de 2019
Lugar:	PLANTA PFLGN DE PISCO

DESCRIPCIÓN DE LA ENTREGA Y/O RECIBO
ENTREGA (X) RECIBO ()

El presente documento tiene como propósito principal el hacer entrega de uno de los dos Rectificadores de Protección Catódica, que se encargan de enviar la corriente de los sistemas de protección catódica Lado ESTE y Lado OESTE para el siguiente conjunto de líneas y/o tuberías enterradas y distribuidas a lo largo y dentro de la planta PFLGN DE PISCO, propiedad de Pluspetrol Perú Corporation S.A.

- * Sistemas de tuberías de acero enterradas vinculadas al Sistema de Contra incendios Lado ESTE.
- * Sistema de Tuberías de acero enterradas asociadas a la red de líneas de distribución de Gas de Turbinas.
- * Sistema de Tuberías de acero enterradas asociadas a la red de líneas de distribución NG y NGL Lado ESTE (Lobería).

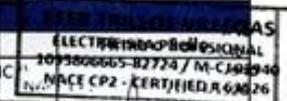
ESPECIFICACIONES DEL RECTIFICADOR INSTALADO SPC LADO ESTE				CORRIENTE DC ÁNODOS CAJA DE POSITIVOS SPC LADO ESTE						
FABRICANTE:	Protección Catódica de Colombia S.A.S.			Ánodo 1	1.9	Ánodo 9	1.9			
MODELO:	PPC-RSS-5000M-MAL			Ánodo 2	2.4	Ánodo 10	1.3			
SERIE:	39602			Ánodo 3	1.2	Ánodo 11	1.3			
TIPO:	Enfriado por aire ESTANDAR			Ánodo 4	1.8	Ánodo 12	2.6			
VALOR NOMINAL:	110/220 VAC - 48.5/25.5 IAC In - 100 VDC / 40 IDC Out			Ánodo 5	1.2	Ánodo 13	1.8			
TIPO CAMA:	Convencional Pozos Verticales			Ánodo 6	1.2	Ánodo 14	1.17			
CLASE:	Monofasico			Ánodo 7	1.5	Ánodo 15	2.5			
				Ánodo 8	2.2	Ánodo 16	0.64			
Comentarios										
La suma de corriente de cada ánodo corresponde a la medida en el equipo										
Datos Operativos de como quedo funcionando el Rectificador Instalado SPC lado ESTE										
Fecha	Voltaje DC		Corriente DC		Voltaje AC	Corriente AC	Ajuste TAPS		Lecturas en Instrumentos	
	[V]	[Hz]	Shunt mV	[A]			Grueso	Fino	VDC	ADC
26/08/2019	86.9	120	24.52	25	221	2.3	C de F	5 de 6	86.9	24.5
Resistencia del Sistema:				86.9 V	25 A	3.05429 Ω	Resistencia Optima			

FIRMA QUIEN ENTREGA

Nombre	Cargo	Empresa
Efer Trillos Villegas	Profesional NACE CP2	HOTTAPING AND CATHODIC PROTECTION
Número telefónico	Correo electrónico	
Cel. +51 942 986 155	etrillos@hottaping-cathodic.com	

FIRMA QUIEN RECIBE

Nombre	Cargo	Empresa	Firma o Sello
Jorge Risco Rebas	Ing. Senior en Protección Catódica	PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A	
Número telefónico	Correo Electrónico		
Anexo: 5226 / Cel.+51 966 349 632	jrisco@pluspetrol.net		



ANEXO 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura A7 EXCAVACIÓN MANUAL



Figura A7 MEDICIÓN DE ESPEORES



Figura A7 SOLDADURA EXOTÉRMICA



**Figura A7 CIRCUITO DE LODO PARA
MAQUINA PERFORADORA**



**Figura A7 MÁQUINA DE
PERFORACIÓN**



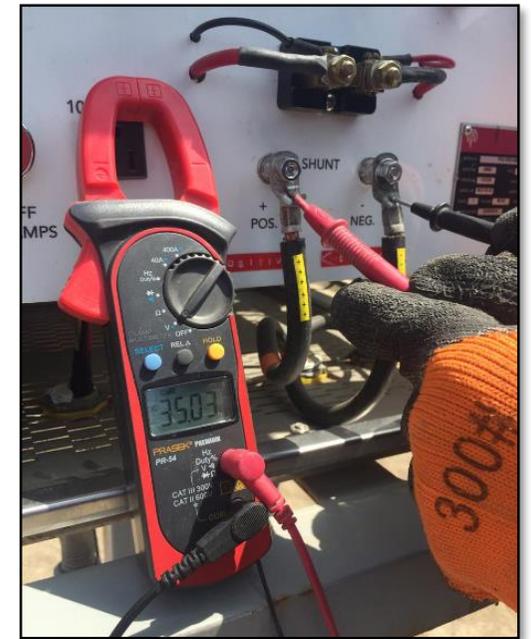
**Figura A7 PRESENTACIÓN
FINAL DE ÁNODO
INSTALADO**



**Figura A7 RECTIFICADOR DE
CORRIENTE**



Figura A7 CAJA DE POSITIVOS



**Figura A7 INSPECCIÓN DE
RECTIFICADOR**