



Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Programa Especial de Titulación:
“Diseño e instalación de un sistema de
protección catódica para controlar la
corrosión en el fondo de los tanques de
almacenamiento de hidrocarburos en
Engie Ilo 31”

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Rafael Felix Jesús Ortega Rodriguez

Lima – Perú
2019

DEDICATORIA

A mi madre Elsa Rodriguez a quien le debo todo lo que soy ahora, a mi padre Felix Ortega por todo el apoyo que me dio para llegar hasta aquí y a mi hermana Angela Ortega quien siempre está a mi lado.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Tecnológica del Perú (UTP) por formarme como profesional, a mi asesor el Ing. Guillermo Rengifo, por la orientación en este proceso y a mis profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos brindados.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	X
CAPÍTULO 1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación e importancia.....	4
1.4.1 Importancia teórica.....	4
1.4.2 Importancia practica.....	5
1.4.3 Importancia metodológica.....	6
1.5 Alcance y limitaciones.....	6
1.5.1 Alcance.....	6
1.5.2 Limitaciones.....	7
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	13
2.2 Bases teóricas.....	16
2.2.1 Protección catódica.....	16
2.2.2 Tanque atmosférico.....	18
2.2.3 Corrosión.....	18
2.2.4 Rata de corrosión.....	19
2.3 Definición de términos.....	30
CAPITULO 3 MARCO METODOLÓGICO.....	32
3.1. Variables.....	32
3.1.1. Definición conceptual de las variables.....	33
3.2. Metodología.....	33
3.2.1 Tipos de estudio.....	33
3.2.2. Diseño de investigación.....	33
3.2.3. Método de investigación.....	33
CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	34
4.1. Análisis situacional.....	34
4.2. Alternativas de solución.....	35

4.3 Solución del problema	37
4.3.1 Descripción de los tanques de diésel no tratado, agua desmineralizada y diésel tratado	39
4.3.2 Base de los tanques	44
4.3.3 Mecanismo de corrosión.....	48
4.3.4 Descripción general del sistema de protección catódica	49
4.3.5 Criterios de protección catódica	50
4.3.6 Materiales para el sistema de protección catódica	51
4.4 Recursos humanos y equipamiento	86
4.4.1 Recursos humanos:	86
4.4.2 Equipamiento:	87
4.5 Análisis económico - financiero	87
4.5.1 Escenario 1	87
4.5.2 Escenario 2	92
CAPITULO 5 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	97
5.1 Análisis teórico de los datos y resultados obtenidos en relación con las bases teóricas de la investigación.	97
5.2 Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relevantes que produce (causa y efectos).	101
SUGERENCIAS.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Protección catódica con ánodo de sacrificio	16
Figura 2: Protección catódica por corriente impresa	17
Figura 3: Protección catódica por malla grid	17
Figura 4: Tanque atmosférico Fuente: Tomada en campo	18
Figura 5: Metal corroído	19
Figura 6: Distancia entre el fondo y la cinta anódica	22
Figura 7: Determinación por geometría de la longitud de cada ánodo	24
Figura 8: Variables para el cálculo de la resistencia de los ánodos	26
Figura 9: Diagrama Ishikawa.....	35
Figura 10: Procedimiento para el de diseño de Protección catódica – Ducto	38
Figura 11: Tanque de almacenamiento del diésel no tratado.	41
Figura 12: Tanque de almacenamiento del agua desmineralizada	44
Figura 13: Esquema general del tanque de almacenamiento de diésel tratado.....	45
Figura 14: Fundación de los tanques de almacenamiento del diésel no tratado.....	45
Figura 15: Fundación de los tanques de almacenamiento del agua desmineralizada .	45
Figura 16: Fundación de los tanques de almacenamiento de diésel tratado.....	46
Figura 17: Cajas de conexión.....	54
Figura 18: Distribucion de los anodos y las barras conductoras en el tanque de diesel no tratado.....	63
Figura 19: Distribucion de los anodos y las barras conductoras en el tanque de agua desmineralizada.....	66
Figura 20: Distribución de los ánodos y las Barras conductoras en el tanque de diésel tratado.....	67
Figura 21: Ubicación de los power feeds sobre la malla grid.....	68
Figura 22: Ubicación de las celdas de referencia en el fondo del Tanque	70
Figura 23: Ubicación de la tubería de monitoreo en la fundación para todos los tanques.	78
Figura 24: Instalación de tuberías.....	79
Figura 25: Soldadura entre barras conductoras	80
Figura 26: Soldadura de barra conductora y cinta anódica.....	80
Figura 27: Instalación de “power feed”	81
Figura 28: Arena de relleno compactada.....	86
Figura 29: Taque 5 ubicado en Eten.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Impacto económico en EEUU y Colombia.....	2
Tabla 2: Impacto económico en el Peru.....	2
Tabla 3: Estadística de ataque de corrosión en tanques.....	5
Tabla 4: Rata de corrosión para metales puros	20
Tabla 5: Operación de variables	32
Tabla 6: Ventajas y desventajas alternativa 1	36
Tabla 7: Ventajas y desventajas alternativa 2	36
Tabla 8: Ventajas y desventajas alternativa 3	37
Tabla 9: Tabla de tanques.....	39
Tabla 10: Características de tanques de diésel no tratado	40
Tabla 11: Características de tanques de agua desmineralizada	42
Tabla 12: Características de tanques de diésel tratado	43
Tabla 13: Muestra de Arena	46
Tabla 14: Análisis químico de las muestra de arena.....	47
Tabla 15: Aditivos usados en la compactación de la arena.....	47
Tabla 16: Resistividad de las arenas.....	48
Tabla 17: Características de las cintas anódicas.....	51
Tabla 18: Características de la barra conductora	52
Tabla 19: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento del Diésel No Tratado.....	55
Tabla 20: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento de agua desmineralizada.....	55
Tabla 21: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento del Diésel No Tratado.....	56
Tabla 22: Longitud de ánodo requerida para tanques de diésel no tratado	57
Tabla 23: Longitud de ánodo requerida para tanques de agua desmineralizada	57
Tabla 24: Longitud de ánodo requerida para tanques de diésel tratado	57
Tabla 25: Separación entre ánodos para tanques de diésel no tratado	58
Tabla 26: Separación de los ánodos para tanques de agua desmineralizada	58
Tabla 27: Separación entre ánodos para tanques de diésel tratado.....	59
Tabla 28: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de los tanques de diésel no tratado.....	60
Tabla 29: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de los tanques de agua desmineralizada.....	61
Tabla 30: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de diésel tratado	62
Tabla 31: Longitud de las barras conductoras	64
Tabla 32: Longitud de barra conductora para cada tanque de almacenamiento de diésel no tratado	64
Tabla 33: Longitud de las barras conductoras	65
Tabla 34: Longitud de Barra Conductora para cada tanque de almacenamiento de Agua Desmineralizada.....	65
Tabla 35: Longitud de las barras conductoras	66

Tabla 36: Longitud de barra conductora para cada tanque de almacenamiento de diésel tratado.....	67
Tabla 37: Longitud de los cables para los power feed para los tanques de diésel no tratado y agua desmineralizada	68
Tabla 38 Longitud de los cables para los power feed para los tanques de diésel tratado	69
Tabla 39: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de diésel no tratado	71
Tabla 40: Resistencia de del cable positivo y negativo para tanques de diésel no tratado.....	71
Tabla 41: Características del rectificador de protección catódica para tanques de diésel no tratado	72
Tabla 42: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de agua desmineralizada.....	73
Tabla 43: Resistencia del cable positivo y negativo del power feeds para tanques de agua desmineralizada.....	73
Tabla 44: Características del rectificador de protección catódica tanques de agua desmineralizada.....	75
Tabla 45: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de diésel tratado.....	75
Tabla 46: Resistencia de del cable positivo y negativo para tanques de diésel tratado	76
Tabla 47: Características del rectificador de protección catódica para tanques de diésel no tratado	77
Tabla 48: Tabla de recursos humanos	86
Tabla 49: Tabla de equipos y herramientas utilizados	87
Tabla 50: Comparación de daño corrosivo en tanques con y sin SPC.....	89
Tabla 51: Tabla de costos de materiales y accesorios	89
Tabla 52: Tabla de costos de mano de obra y servicios por reparación	90
Tabla 53: Tabla de costos de inspección y pruebas	91
Tabla 54: Costo total de fabricación de fondo.....	91
Tabla 55: Costo total de reparaciones de fondo para vida útil de 30 años a fondo de tanque	91
Tabla 56: Características de tanques de gasolina.....	92
Tabla 57: Tabla resumen cálculos para vida remanente	93
Tabla 58: Tabla de costos referenciales de diseño y materiales para el spc.....	94
Tabla 59: Costo de construcción y puesta en marcha	95
Tabla 60: Tabla de costos de operación y mantenimiento del spc.....	96
Tabla 61: Costo total de diseño e instalación del spc	96
Tabla 62: Comparación características escenario 1 con escenario 2.....	97
Tabla 63: Vida remanente de Escenario 1 vs Escenario 2.....	98
Tabla 64: Rata de corrosión de Escenario 1 vs Escenario 2.....	98
Tabla 65: Resultados de costos según escenario	99
Tabla 66: Comparación de escenario 1 y escenario 2	100
Tabla 67: Tabla de variables.....	101

RESUMEN

En el informe se describe el problema de la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, donde se busca una solución para controlarlo.

En el primer capítulo se define el problema, se plantean los objetivos y justificación de porque se está diseñando e instalando un sistema de protección catódica, seguido de las limitaciones que se presentan para culminar el proyecto. En el segundo capítulo se encuentra el marco teórico en donde se describe los antecedentes de la investigación, bases teóricas a tener en cuenta y otros parámetros necesarios. En el tercer capítulo se desarrolla el marco metodológico, se estudia las variables y se realiza la metodología para dar la solución, identificando con exactitud la problemática. En el cuarto capítulo se realiza la metodología para la solución del problema donde se ven alternativas de solución y se escoge la mejor. En el quinto capítulo se presenta los análisis y resultados para mostrar los beneficios que se obtienen para justificaran el proyecto.

Finalmente se concluye que al implementar un sistema de protección catódica al fondo de los tanques, la vida útil de estos aumenta.

INTRODUCCIÓN

Actualmente almacenar hidrocarburos es de mucha importancia en las empresas que se dedican al rubro del petróleo, y se busca incrementar la capacidad de almacenaje con la construcción de nuevos tanques.

Por lo que al montar nuevos tanques, estos deberán estar protegidos tanto interna como externamente, frente al problema más importante que es la corrosión. Existen técnicas para proteger en gran parte el cuerpo del tanque, pero en el fondo, que tiene contacto con el terreno es más complicado.

El presente informe diseña e implementa un sistema de protección catódica por malla grid para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento donde se encuentran la mayor cantidad de fallas.

Las fuentes de información que se utilizan para este informe son tesis y artículos de ingeniería que permitieron complementar la información necesaria.

El objetivo a diferencia de controlar la corrosión en el fondo de los tanques, también es demostrar que la vida útil del tanque de almacenamiento aumenta.

El alcance del informe se enfoca en el diseño e instalación de un sistema de protección catódica para empresas del petróleo. Su función es proteger el fondo del tanque de la corrosión, en el informe se limita a lo que es diseño de tanques de almacenamiento como también a su reparación.

CAPÍTULO 1

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Hace dos décadas atrás, no se pensaba tan rigurosamente en la seguridad humana y medio ambiente de la forma en que se hace ahora. Actualmente es importante para las empresas encargadas de almacenar y transportar hidrocarburos, que operan bajo unos reglamentos estrictos, para administrar un tanque de hidrocarburos la idea es que los accidentes se minimicen, se mantenga seguro el hidrocarburo o producto dentro del recipiente (tanques, vasijas, tubería, etc.).

Actualmente la necesidad de hidrocarburos ha originado que en Perú como en varios países productores, la competencia aumente, por lo que se busca el montaje de nuevas refinerías para obtener mayor capacidad de almacenamiento, ya que mientras mayor producto se almacene, es mucho mejor para la producción en la industria. Por lo que el cambio en la venta y fabricación del producto depende únicamente de la capacidad que se pueda almacenar. Y al buscar tener más tanques del almacenamiento, el riesgo de que los fondos de los tanques tengan fallas por corrosión es mayor. Entonces se busca la solución más adecuada para controlar estos tipos de daño.

Para proteger el fondo de los tanques de almacenamiento, se utiliza la técnica llamada protección catódica, que es donde se logra controlar la corrosión, gracias a sus resultados se está utilizando cada vez más en el mundo.

El valor por corrosión es una gran parte del producto interno bruto (PIB) de cada país, al reparar las estructuras metálicas afectadas por la corrosión se identifica el porcentaje del PIB, realizando un estudio a los costos de los materiales, mano de obra,

equipos, pérdida de confiabilidad y pérdida de capital por el deterioro a causa de la corrosión.

Los últimos estudios realizados sobre el impacto económico de la corrosión muestran resultados importantes.

Como se observa en la tabla 1, Estados Unidos obtuvo un costo directo final de 276 mil millones de dólares que equivale a 3,1 % del producto bruto interno (PIB) de ese país mientras que en Colombia se obtuvo un costo directo anual de \$ 8500 millones de dólares equivalente al 3% del producto bruto interno (PIB). (Orozco Ricardo, 2007)

Tabla 1: Impacto económico en EEUU y Colombia

País	Costo Directo (\$)	Producto Bruto Interno PBI (%)
Estados Unidos	276 mil millones	3,1
Colombia	8500 millones	3

Fuente: (Orozco Ricardo, 2007)

Desafortunadamente en el Peru no existen datos concretos de las pérdidas económicas por corrosión, pero con los estudios realizados hasta el momento se estiman pérdidas cuantiosas no menos del 8% del PIB aproximadamente US\$ 1200 millones como se observa en la Tabla 2. Por lo que el crecimiento de la técnica de protección catódico en refinerías en el país es de mucha ayuda para el PBI y se estima que aun crezca más.

Tabla 2: Impacto económico en el Peru

País	Costo Directo (\$)	Producto Bruto Interno PBI (%)
Peru	1200 millones	8

Fuente: (Poma Montes, 2016)

Hoy en día las empresas dedicadas al petróleo y derivados apuestan por aumentar la capacidad de una u otra forma, por lo que el objetivo de la investigación es diseñar e

implementar un sistema de protección catódica contra la corrosión, en siete tanques de gran capacidad que almacena agua desmineralizada, diésel tratado y diésel no tratado.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿De qué manera diseñar e instalar un sistema de protección catódica controla la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se puede diseñar un sistema de protección catódica para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31?
- ¿Cómo se puede determinar los costos de diseño e instalación de un sistema de protección catódica para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar e instalar un sistema de protección catódica para controla la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de protección catódica para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31.
- Determinar los costos de diseño e instalación de un sistema de protección catódica para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31.
- Demostrar que un sistema de protección catódica reduce costos de mantenimiento.

1.4 Justificación e importancia

El presente informe se justifica con los criterios que se muestran a continuación:

1.4.1 Importancia teórica

Las grandes compañías que poseen tanques con gran capacidad de almacenamiento tienen en cuenta los riesgos a los que son expuestos, el mayor daño que presenta es la corrosión.

La corrosión está presente en todas las partes del tanque, las más comunes son la interna y externa.

La corrosión interna se da en el lado que tiene contacto con el producto (parte interior), mientras que la corrosión externa se dará en las paredes, fondo y techo que está en contacto con el medio ambiente (parte externa), teniendo como medio el aire para originar la corrosión. Para estos casos, se puede controlar colocando un recubrimiento según norma que evitara la corrosión. Pero en la base donde descansa el tanque y tiene contacto con el suelo (lado no producto), es donde se genera la mayor cantidad de corrosión y terminar en fugas que tendrá consecuencias en la sociedad, en el medio ambiente y economía. Por lo que se propone instalar un sistema de protección catódica que será la única manera de controlar el fondo de los tanques.

Como se observa en la tabla 3, la agencia EPA (Environmental Protection Agency), muestra un estudio de corrosión en los tanques de almacenamiento, que en este caso particular son tanques de 4400 galones y de 21 años de antigüedad. Los informes realizados por EPA en los Estados Unidos evidencian que, de 500 tanques inspeccionados 143 presentan fugas de producto, también tres explosiones y tres incendios, los 4 acontecimientos más destacados muestran tanques sin recubrimientos y sin sistemas de protección catódica. Se observa que el 75.5% de las causas de la perforación, son debido a la corrosión. (Agency, 1988)

Tabla 3: Estadística de ataque de corrosión en tanques.

REPORTE FINAL - EPA (Department of Health Services) ESTUDIO DE CORROSION EN TANQUES - Nov 1988					
					
CONTENIDO DE LOS TANQUES					
Material Almacenado	Todos los Tanques	% todos los Tanques (n/500)		% Tanques Perforados de Acuerdo al Material	
		Tanques Perforados	Tanques Perforados (n/143)	Perforados (n/143)	Almacenado
Gasolina	233	46.6 %	73	51.0 %	31.3 %
#2 Fuel Oil	128	25.6 %	39	27.3 %	30.5 %
Waste Oil	43	8.6 %	7	4.9 %	16.3 %
Diesel Fuel	33	6.6 %	11	7.7 %	33.3 %
Solventes	14	2.8 %	6	4.2 %	42.9 %
#4 Fuel Oil	11	2.2 %	1	0.7 %	9.1 %
Kerosene	11	2.2 %	3	2.1 %	27.3 %
Motor Oil	8	1.6 %	1	0.7 %	12.5 %
Waste water/oil	4	0.8 %	0	0.0 %	0.0 %
Aviation Fuel	3	0.6 %	0	0.0 %	0.0 %
Transmission Oil	3	0.6 %	1	0.7 %	33.3 %
#6 Fuel Oil	2	0.4 %	0	0.0 %	0.0 %
Soda Caustica	2	0.4 %	0	0.0 %	0.0 %
Jet Fuel	2	0.4 %	0	0.0 %	0.0 %
Hypoclorito de Sodio	1	0.2 %	1	0.7 %	100.0 %
Otros Aceites	1	0.2 %	0	0.0 %	0.0 %
Desconocido	1	0.2 %	0	0.0 %	0.0 %
	500	100 %	143	100 %	
<u>Causas de las Perforaciones:</u>					
			(n)	(n/143)	
			108 =	75.5 %	
			9 =	6.3 %	
			21 =	14.7 %	
			4 =	2.8 %	
			1 =	0.7 %	
			143	100 %	

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

1.4.2 Importancia practica

Con la información que se muestra, se comprueba que el problema principal en el tanque se encuentra en el fondo, se verifica los daños más relevantes para establecer un diseño correcto del sistema de protección catódica y controlar la corrosión que se genere, para que el tanque trabaje sin riesgo a fugas.

Al diseñar e instalar un sistema de protección catódica, este tendrá beneficios como:

- Beneficio social

La protección catódica, protege el fondo de los tanques evitando fugas de producto que puedan producir explosiones cobrando vidas humanas.

- **Beneficio ambiental**

Al instalar un sistema de protección catódica se logra controlar la corrosión, manteniendo el fondo de los tanques sin daño considerable, que a su vez evita derrames de producto que afecten de manera muy preocupante al medio ambiente, esto hace que la vida útil de los tanques sea mayor, reduciendo los desechos contaminantes que se puedan originar al realizar los trabajos de mantenimiento.

- **Beneficio económico**

Al tener un tanque protegido con un sistema de protección catódica, la corrosión del fondo del tanque es controlada aumentando la vida útil del tanque, los tiempos de reparación son mayores logrando que los gastos por mantenimiento se reduzcan. También evita que se presenten derrames o accidente que perjudiquen de gran manera la economía de la refinería por multas o sanciones.

1.4.3 Importancia metodológica

Para lograr los objetivos de controlar la corrosión del fondo de los tanques, se realizó una investigación cuantitativa, dado que con la información recolectada se podrá medir el estado del fondo de los tanques que tienen un sistema de protección catódica instalado.

La velocidad de corrosión del metal en el fondo del tanque con protección catódica es diferente a los tanques que no cuenten con este.

1.5 Alcance y limitaciones

1.5.1 Alcance

El presente informe se enfoca en el diseño e instalación de un sistema de protección catódica para el rubro del petróleo. Diseñado por la empresa TECNAPERU para tanques de diferentes capacidades, que almacenan agua desmineralizadas, diésel tratado y no

tratado. Su función es proteger el fondo del tanque de los distintos tipos de corrosión que se puedan presentar.

1.5.2 Limitaciones

- El diseño e implementación se limita solo al sistema de protección catódica, no incluye diseño ni implementación de tanques de almacenamiento.
- El proyecto está limitado por data confidencial que maneja la empresa.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo del informe de investigación se utilizaron como antecedentes tesis que guardan relación con el tema a desarrollar.

2.1.1 Antecedentes nacionales

Tesis 1

PEJERREY, GIANFRANCO (2017) realizó su trabajo de investigación titulado: *Diseño y Cálculo de un Tanque de Almacenamiento Atmosférico de 60,000 Barriles para Almacenaje de Gasolina de 90 Octanos en la Selva*. Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico en la Universidad Tecnológica del Perú. El investigador llegó a lo siguiente:

Objetivo:

Calcular y diseñar la implementación de un tanque de almacenamiento de 60,000 barriles para montar en una refinería de la selva.

Resumen:

En esta tesis se encuentran los pasos para realizar los cálculos necesarios y diseñar un tanque de almacenamiento seleccionado para almacenar Gasolina de 90 que se considera importante para la refinería, el almacenaje de este producto es importante para las empresas del rubro del petróleo, ya que es utilizado como indicador para el desarrollo industrial. Se encontrara también información para poder calcular y diseñar

un tanque, el materiales seleccionado por su resistencia, esfuerzos aplicados, normas utilizadas para realizar el cálculo y diseño de tanques en el sector oil and gas, tipos de tanques según la norma utilizada y más parámetros utilizados necesarios para el cálculo. Por último se procede a realizar las medidas y análisis económico del proyecto para finalmente tomar una decisión si el proyecto se ejecuta o no. Es importante indicar estos montos pueden variar en función del tiempo, debido a que en el momento que se elaboró esta tesis el precio del acero estaba elevado.

Conclusión:

El proyecto se elaboró utilizando el Estándar API 650, el que es usado cuando se busca diseñar tanques de almacenamiento, esto sirve para cumplir con los valores para ser aceptado por Osinergmin. No sólo se busca obtener un buen desempeño en su operación también se contempla que éste sea lo suficientemente económico para que sea óptima la inversión del cliente.

Tesis 2

ANCO, ÁLVARO (2016), realizo su trabajo de investigación titulado: *Diseño De Un Sistema De Protección Catódica En Fondos De Tanques De Almacenamiento Dentro De Un Enfoque De Integridad*, para obtener el título profesional de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de Ingeniería. El investigador llego a lo siguiente:

Objetivo:

Presentar soluciones a la amenaza de la corrosión externa como parte de la Integridad de Tanques, mediante la implementación de un procedimiento y diagrama de flujo de diseño de un sistema de protección catódica para tanques de almacenamiento metálico.

Esto permite proteger al tanque de la corrosión presente durante su vida útil.

Resumen:

En esta tesis se muestra el método de diseño de un sistema de protección catódica para

proteger contra la corrosión el fondo metálico de un tanque de almacenamiento de líquidos peligrosos, el diseño y todo su desarrollo está enfocado según concepto de Integridad, este concepto de Integridad se utiliza a partir del año 2001 y se aplica a toda la ingeniería de diseño, construcción, operación, inspección, reparación y reemplazo de estructuras que sirven para almacenar, transportar, procesar los líquidos y gases.

El principal objetivo del presente estudio es utilizar un diseño, donde se muestre el uso de nuevas técnicas y nuevos materiales. Esto servirá como soporte técnico a la industria nacional. Se utilizan estándares y prácticas recomendadas para almacenamiento de líquidos peligrosos, gestión de integridad, control de la corrosión, selección de materiales, monitoreo ambiental, etc., que son dadas por prestigiosas y serias instituciones como NACE (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión), API (Instituto Americano de Petróleo), ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), entre otras.

Conclusiones:

- El diseño elaborado bajo procedimientos, formulas y parámetros estipulados en las publicaciones de NACE Internacional, obtenemos como resultado para un tanque atmosférico de 28 metros de diámetro los materiales necesarios para su diseño.
- Las normas actuales que incluyen el concepto de Integridad ayudan a obtener estudios con resultados confiables para hallar el tiempo de vida útil de estructuras (el cálculo del tiempo de vida de las planchas de la base de los tanques da 6.5 años), resistencia de estructuras corroídas, riesgos, evaluaciones económicas, etc. Esto es importante para evaluar y tomar decisiones en proyectos de ingeniería.

Tesis 3

CLAVIJO, CARLO (2014), realizo su trabajo de investigación titulado: *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. El investigador llego a lo siguiente:

Objetivo:

Darle protección electroquímica a las tuberías enterradas de transmisión de gas natural mediante la técnica de protección catódica.

Resumen:

La corrosión presente en tuberías que se encuentran enterradas y la técnica de cómo protegerlas, debido a que una tubería metálica se encuentra enterrada y tiene contacto directo con el suelo, suele sufrir mayor deterioro más aún si es acero. La corrosión es algo que no se podrá evitar, porque de una u otra manera va existir la corrosión, porque es un fenómeno químico inevitable, lo que si puede realizarse y existen mucha información de estudios y normas internacionales es controlar este efecto con diferentes tipos de procedimientos, resaltando entre ellos:

La Protección Catódica es un sistema que hoy en día es muy utilizado a nivel nacional e internacional, en una gran mayoría de países, es obligatorio su uso por la diversidad de estructuras que fueron construidas y en nuestro país se está tomando con mucho más interés su uso. Como información adicional, por un contrato realizado con la empresa constructora, se realizó la instalación de Protección Catódica galvánica en tres tramos para la tubería que cuenta con seis meses de construcción. Se implementará la protección catódica por corriente impresa al finalizar la construcción de la tubería.

Conclusión:

El sistema de protección catódica mediante la técnica de corriente impresa, tiene la

ventaja de ser aplicado en estructuras muy grandes, por lo que la inversión es el único gasto elevado, porque luego solo será necesario realizar mantenimientos preventivos programados para que no se presenten problemas y la inversión se justifique.

Tesis 4

LOAYZA, ROLANDO (2003), realizo su trabajo de investigación titulado: *Corrosión En Tanques De Almacenamiento De Hidrocarburos- Refinería Talara*. Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería. El investigador llego a lo siguiente:

Objetivo:

El objetivo del informe es la recopilación de datos para analizar las principales causas de la corrosión en tanques de almacenamiento de hidrocarburos, con la finalidad de prevenir fallas en los mismos, mediante una adecuada utilización de diferentes técnicas de inspección y del cumplimiento de los programas de inspección y mantenimiento.

Resumen:

El propósito general del presente Informe de Ingeniería es transmitir de manera práctica, a los profesionales interesados en inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos combustibles, las tecnologías aplicables y experiencias de aproximadamente veinte años en trabajos en el área de supervisión de mantenimiento e inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos combustibles en Refinería Talara PETROPERU S.A. Especialmente, se espera demostrar la gran susceptibilidad de los tanques de almacenamiento de combustibles del patio de Tanques de la playa de Refinería Talara, a ser afectados por las diversas formas de corrosión debido a su proximidad a ambientes marinos. Se habla sobre las diversas técnicas y metodologías de inspección de tanques utilizadas en la Refinería Talara, también como las diversas formas de corrosión que se presentan en los tanques de acero para almacenamiento de hidrocarburos de la Refinería Talara. Se resaltan las

partes que son más afectadas en los tanques por los efectos de corrosión, diferenciando su presencia en las superficies exteriores e interiores de las planchas de acero. Y finalmente presenta de manera resumida los costos aproximados de las diferentes etapas de los trabajos de inspección y reparaciones de los tanques de almacenamiento de combustibles, resaltándose que los gastos de mantenimiento en tanques son considerados como uno de los gastos más importantes dentro del presupuesto operativo de una Refinería de Petróleo.

Conclusión:

La vida útil del fondo del tanque fue de 39 años, aunque a la fecha de su retiro aún no presentaba perforaciones, en cambio su grado de deterioro por corrosión era apreciable, principalmente en la periferia. Este deterioro se atribuye a la carencia de hermeticidad en la periferia, esfuerzos por asentamiento del tanque y presencia de humedad principalmente en el período lluvioso de 1983. Además, en el área se observó un letrero que indica que anteriormente el terreno circundante al tanque era usado como depósito de plomo tetraetílico.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Tesis 5

GIRÓN, RENÉ (2005), realizó su trabajo de investigación titulado: *Protección Catódica Y Su Aplicación En Tanques De Almacenamiento De Productos Petroleros En Plantas Guatemaltecas*. Para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista en la Universidad De San Carlos De Guatemala. El investigador llegó a lo siguiente:

Objetivo:

En esta tesis se establecen criterios, métodos y requisitos para el diseño, selección de los materiales adecuados para la instalación y procedimientos de mantenimiento para los sistemas de protección catódica en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

Resumen:

En este tesis se encuentran dos métodos para la protección de tanques, como son la de sistemas de recubrimiento y de protección catódica, para una mejor protección es necesario que se implementen los dos ya que se complementan uno con el otro.

En el sistema de recubrimiento constan básicamente de tres etapas, acondicionamiento de la superficie, fondo y finalmente el acabado del recubrimiento.

Ahora para la protección catódica, se conocen dos tipos protección catódica que son por ánodos de sacrificio y por corriente impresa. El sistema de ánodos es en donde se busca la estructura sacrificando una más pequeña que en este caso será los ánodos, que serán enterrados a una distancia de la estructura definida en el diseño.

En el diseño y aplicación del sistema de protección catódica, se utilizan conceptos, como medición de potencial eléctrico, medición de resistividades de suelo, mediciones de potencial instant ON – OFF, así como toma de potencial de intervalo corto.

Conclusión:

En tanques de almacenamiento de hidrocarburos es muy importante el funcionamiento correcto del sistema de protección catódica, ya que un error en el manejo de este podría significar una catástrofe que arriesgaría la seguridad de personas, la planta y medio ambiente.

Para verificar que los tanques tienen protección catódica, se utilizan dos criterios que son los más utilizados según norma NACE, el primero criterio es de obtener un potencial de -850 mV para el sistema, y el segundo criterio de obtener un potencial de -100 mV de polarización entre el fondo metálico del tanque y el electrolito que nos muestra que los tanques si tienen protección catódica, si no se cumple estos criterios, será necesario realizar un mantenimiento para levantar los potenciales y lograr que cumpla uno de los dos criterios propuestos para tener el sistema de protección catódica funcionando correctamente .

Tesis 6

TAMAYO, PATRICIA (2009), realizo su trabajo de investigación titulado: *Diseño De Un Sistema De Protección Catódica En Líneas Enterradas De Un Tramo Del Oleoducto Secundario Sacha-Lago Agrio*. Para adquirir el título profesional de Ingeniero Químico en la Escuela Politécnica Nacional de Quito. El investigador llevo a lo siguiente:

Objetivo:

Darle protección electroquímica a las tuberías enterradas que transportan gas natural mediante la técnica de protección catódica en tuberías enterradas.

Resumen:

En esta tesis se realizó un estudio en el tramo del oleoducto secundario que abarca entre la estación Sacha Norte 2 y la estación Sacha Central, que se usa para el transporte de hidrocarburos en la empresa Petroproducción.

Para el diseño de un sistema de protección catódica en el tramo de la tubería, se estudió el tipo de suelo en donde se enterrada la tubería, a través de toma de resistividades, porcentaje de humedad, pH y numero de iones cloruros y sulfatos disueltos, obteniendo que el suelo no es muy agresivo, por lo que se evaluó entre cinco sistemas de protección catódica con su correspondiente análisis económico que consiste en instalación y mantenimiento durante un periodo de 10 años, los sistemas que se desarrollaron fueron dos por ánodos de sacrificio donde se consideró ánodos magnesio y tres por corriente impresa, considerando ánodos de hierro silicio, grafito y chatarra de hierro.

Conclusión:

Al identificadas todas las características del sistema a proteger y sabiendo que la tubería va a ser enterrada, se concluye que la mejor opción es la utilización protección catódica por corriente impresa, con el uso de chatarra de hierro como ánodo y la vida útil del sistema será de 10 años.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Protección catódica

La protección catódica es una técnica que sirve para controlar la corrosión del metal transformándolo en el cátodo de una celda electroquímica. El método más sencillo de utilizarlo es mediante la conexión del metal que se busca proteger con el otro metal que se va a corroer con mayor facilidad, al actuar como ánodo. Los sistemas de protección catódica son los más usados para proteger el acero que mayormente transportan producto por tuberías y también para tanques de almacenamiento, barcos, o plataformas marinas.

- **Protección catódica con ánodo de sacrificio**

Actualmente, los ánodos de sacrificio pueden fabricarse de varias formas como de aleaciones de zinc, magnesio y aluminio.

La finalidad de diseñar ánodos galvánicos es debido a que se busca una tensión más electronegativa que el metal a proteger. Para una protección catódica contundente, el potencial de la superficie de acero debe estar polarizado más negativo hasta que la superficie tenga un potencial uniforme. En la figura 1 se puede observar un sistema de protección catódica por ánodo de sacrificio.

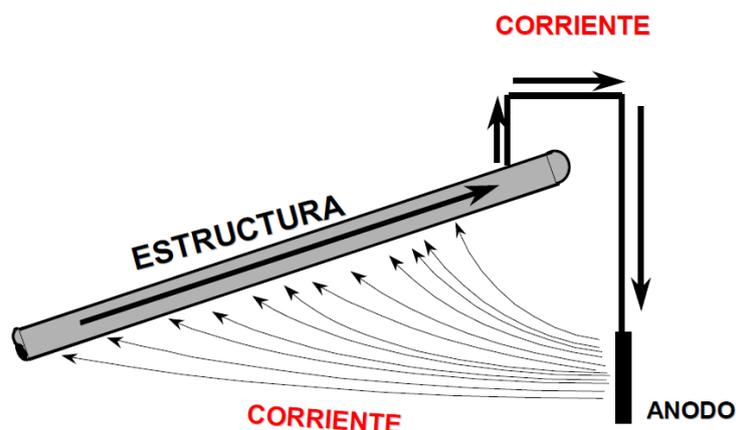


Figura 1: Protección catódica con ánodo de sacrificio

Fuente: (NACE CP2, 2006)

- **Protección catódica por corriente impresa**

Para estructuras de mayor tamaño, los ánodos galvánicos no aportan la corriente necesaria para obtener una protección completa. En la figura 2 se observa el tipo de protección utilizando un sistema de ánodos conectados a una unidad rectificadora. Los ánodos para los sistemas de corriente impresa son sólidos en forma de barras o cintas continuas de diferentes materiales especializados. Estos incluyen el grafito, hierro fundido, silicio platino y otros.

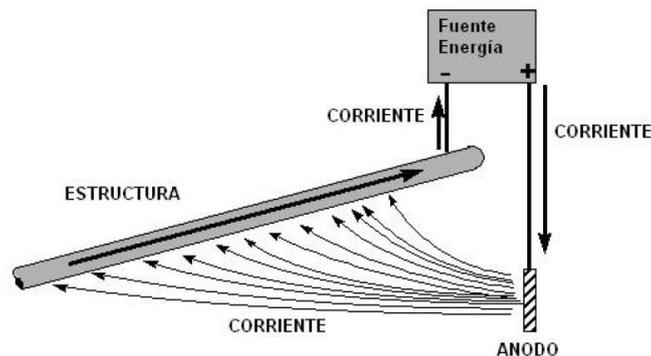


Figura 2: Protección catódica por corriente impresa

Fuente: (NACE CP2, 2006)

- **Protección catódica por malla grid**

Este sistema se aplica para la protección de los fondos de tanques utilizando una membrana de seguridad dieléctrica instalada cerca del fondo, con un electrolito entre la membrana y la base del tanque que comúnmente es arena clasificada. Dentro de la arena va instalada la cinta anódica en forma de malla como se observa en la figura 3.

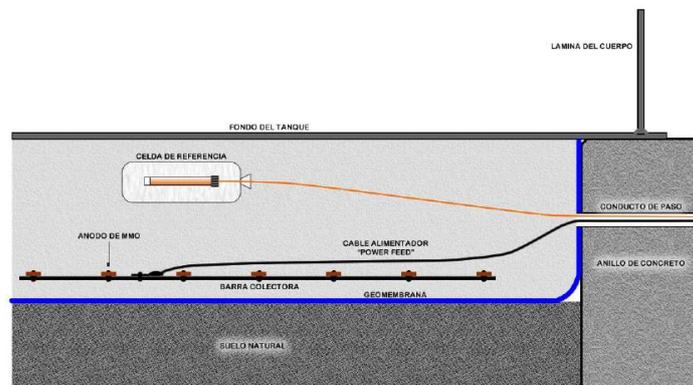


Figura 3: Protección catódica por malla grid

Fuente: (TECNAPERU, 2012)

2.2.2 Tanque atmosférico

Los tanques atmosféricos son recipientes utilizados para almacenar hidrocarburos en grandes cantidades. La presión que se obtiene en estos recipientes es igual a la presión atmosférica. Estos según su capacidad y tipo de producto que se busca almacenar se pueden clasificar por formas y tamaños.

Los productos que almacenan estos tanques son de naturalezas diferente, por lo que algunos necesitan cumplir con requerimientos específicos para una buena conservación, también disponen de formas dependiendo del espacio que se tenga disponible. En la figura 4 se observa un tanque atmosférico.



Figura 4: Tanque atmosférico

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Corrosión

La corrosión es definida como el deterioro de un material por ataque electroquímico originado en su entorno. De forma general, puede explicarse como la preferencia que tienen los materiales a descubrir su forma de mayor solidez o de mínima energía interna. Siempre cuando la corrosión se origine por una reacción electroquímica,

la velocidad de corrosión depende de alguna forma de la temperatura, de la presencia de sales, del fluido que se encuentre en contacto con el metal y las propiedades del metal en cuestión. En la figura 5 se puede ver un metal corroído.



Figura 5: Metal corroído

Fuente: (Moriber, 2015)

2.2.4 Rata de corrosión

En ingeniería se maneja mucho el término rata de corrosión o velocidad de corrosión. La unidad de medida de la velocidad de corrosión que se utilizar es el “mdd”, que indica la pérdida en peso de metal en miligramos tras evaluar el material corroído en un dm² y en un día. Se considera que es pérdida uniforme de peso. Existe también el “mpy”, que nos indica el valor de la velocidad de corrosión en milésimas de pulgada de penetración anual.

En la base de información se tiene como velocidad de corrosión para el hierro según NACE CP3, un valor de 0.463 mpy para una densidad de corriente de 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ como se muestra en la tabla 4.

2.2.5 Tipo de sistema de protección catódica

A partir de los requerimientos del cliente para mayor seguridad, el sistema de protección catódica requerido para la protección del fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31 será por un sistema de malla grid.

Tabla 4: Rata de corrosión para metales puros

Metal/Aleación	Elemento/ Estado de Oxidación	Densidad (g/cm ³)	Peso Equivalente (gm)	Velocidad de Penetración Equivalente a 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ^[1]	
				(mpy)	10 ⁻³ mm/año ^[2]
Metales Puros					
Hierro	Fe/2	7.87	27.93	0.463	11.5
Níquel	Ni/2	8.90	29.36	0.431	10.8
Cobre	Cu/2	8.96	31.77	0.463	11.6
Aluminio	Al/3	2.70	8.99	0.435	10.87
Plomo	Pb/2	11.3	103.6	1.20	29.9
Zinc	Zn/2	7.14	32.7	0.598	14.95
Estaño	Sn/2	7.26	59.35	1.07	26.7
Titanio	Ti/2	4.51	23.93	0.69	17.3
Zirconio	Zr/4	6.52	22.81	0.457	11.4

Fuente: (NACE CP3, 2005)

2.2.6 Configuración del sistema

El sistema de protección catódica que se utiliza es el de malla Grid, se instala en todos los tanques de almacenamiento debido a los altos requerimientos de corriente y la presencia de membrana aislante. Cada sistema es similar y consiste de un transformador-rectificador, un sistema de ánodos de MMO/Titanio, cables conductores, caja de conexiones, electrodos de referencia y demás dispositivos de conexión.

2.2.7 Vida útil de sistema

A partir de los requerimientos establecidos por SANTOS CMI S.A., la vida útil del sistema de protección catódica para los fondos del tanque es de 30 años.

2.2.8 Densidad de corriente

A partir de las recomendaciones internacionales descritas en la norma API 651 "Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks", una densidad de corriente entre 1 y 2 mA/ft² es aconsejable para la protección de fondos de tanques con fundación de material seleccionado.

2.2.9 Prueba de laboratorio

Para garantizar una clasificación adecuada del material de fundación del fondo del tanque, se suministrara muestras de arena sobre las cuales se elabora análisis químicos

para la determinación de elementos agresivos como cloruros y sulfatos, y para la obtener las características eléctricas que impacta sobre el diseño.

2.2.10 Aislamiento eléctrico

El sistema grid no requiere que los tanques se encuentren eléctricamente aislados de las estructuras foráneas. La posición de los ánodos entre el fondo y la membrana aislante mantiene la corriente de protección catódica adyacente a la estructura metálica.

2.2.11 Acometida DC

La acometida DC, correspondiente al cable positivo y negativo del rectificador que será instalado superficialmente usando tubería conduit soportadas por canales estructurales y abrazaderas ajustables.

2.2.12 Requerimiento de corriente

Según la norma NACE RP0193-2001 "External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms" la cual describe las necesidades para la instalación del sistema de protección catódica para la protección del fondo exterior del tanque, un requerimiento de corriente aproximado para su superficie inferior del fondo se encuentra en un rango de 1 a 2 mA/ft² (10.76 a 21.52 mA/m²). La selección de la densidad de corriente para el diseño se muestra en la ecuación 1, y dependerá de las características del material en la fundación del tanque, principalmente aquellas relacionadas con la corrosión: Humedad, Concentración de Sales, pH, etc.

$$I=17.5 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times A_f \quad I=17.5 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \quad (1)$$

Donde:

I: corriente requerida (A).

D: es el diámetro del fondo del tanque a proteger (m).

A_f: Área del fondo del tanque (m²).

2.2.13 Longitud mínima de ánodos para protección del tanque

A partir de las características físicas y eléctricas de los ánodos, se reemplaza los datos en la ecuación 2 para obtener la longitud mínima de los ánodos. L:

$$L_m = \frac{I \times 1000}{\delta \text{ mA/m}} \quad (2)$$

Donde:

L_m : longitud mínima de ánodos (m).

δ : densidad de corriente lineal del ánodo ($\delta = 59 \text{ mA/m}$).

I: corriente requerida (A).

2.2.14 Separación entre ánodos

La cobertura adecuada de una cinta anódica tipo Mesh sobre el fondo del tanque es equivalente a un ángulo de 120 grados visto desde la cinta hasta el fondo. Como se observa en la figura 6 esta cobertura permite que la cinta anódica abarque un área de protección con una separación equivalente a la ecuación 3:

$$S = 2 \times d \times \text{Tan}(60^\circ) \quad (3)$$

Donde:

S: separación entre ánodos (m).

d: es la distancia del fondo a la cinta anódica (m).

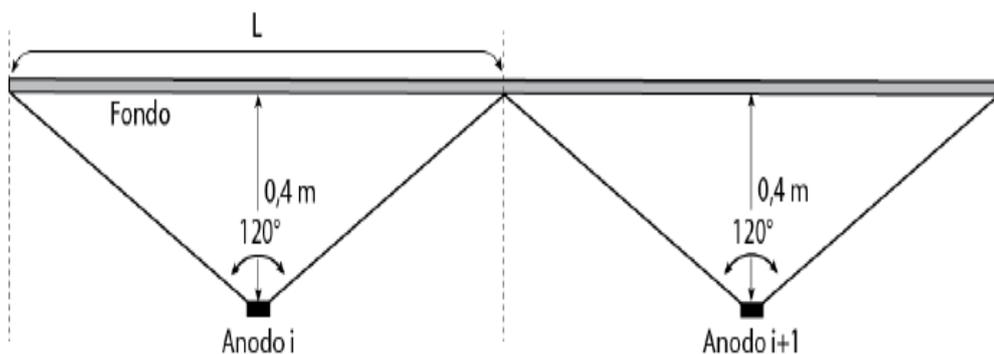


Figura 6: Distancia entre el fondo y la cinta anódica

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

Como se describe en la sección 6 de NACE 193-2001, los ánodos se instalan a una altura de 1 a 2 pulgadas sobre la geomembrana aislante, la que se instala a 0.4 metros de las láminas del fondo. Siendo mínima la separación entre la geomembrana y la malla, es posible aproximar la distancia d a 0,4 metros.

Para determinar el número de cintas se requiere dividir el diámetro del tanque con la separación de los ánodos con la ecuación 4.

$$N_a = \frac{D}{S} \quad (4)$$

Donde:

N_a = número de cintas.

D : es el diámetro del fondo del tanque a proteger (m).

S : separacion entre anodos (m).

2.2.15 Longitud de ánodos requerido por geometría

La longitud total del ánodo requerido para proteger el fondo del tanque se determina a partir de la distribución geométrica de cada una de las cintas sobre el fondo como se muestra en la figura 7. Con la ecuación 5 se puede determinar la longitud de cada ánodo.

$$L_i = 2 \times \sqrt{R^2 - (R - \sum S_i)^2} \quad (5)$$

Donde:

L_i : Longitud de ánodo (m).

R : es el radio del tanque (m)

S : es la separación de cada ánodo (m).

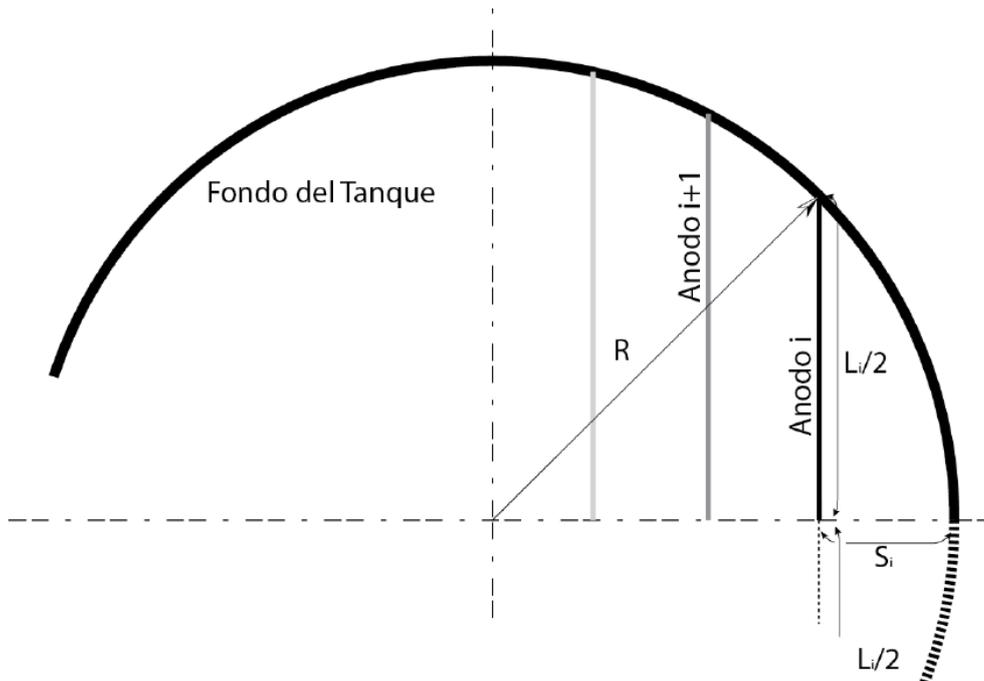


Figura 7: Determinación por geometría de la longitud de cada ánodo

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

2.2.16 Número y longitud de la barras conductoras

Las barras conductoras son las que permiten que la corriente de protección catódica se distribuya lo más uniformemente posible entre las doce cintas anódicas descritas en el diseño. Cada ánodo debe poseer al menos una conexión con una barra conductora instalada. Para garantizar una estabilidad del sistema a largo plazo, se requiere de al menos dos barras conductoras para cada sistema grid.

En suelos de baja resistividad, la caída óhmica de los ánodos y la barra conductora presente entre el punto de inyección de corriente y el extremo más alejado a proteger pueden afectar drásticamente la distribución de corriente sobre el fondo de tanque, impidiendo la protección en las zonas más alejadas a los Cables Alimentadores. Una manera para determinar si las condiciones del suelo afectan la distribución es a partir de la ecuación 6.

$$\frac{r_a \times L \times d}{2 \times \rho} \ll 1 \quad (6)$$

Donde:

r_a : es la resistencia lineal del ánodo (ohm/m)

L : es la mitad de la separación entre las barras conductoras (m).

d : es la profundidad entre el sistema grid y el ánodo en (m).

ρ : es la resistencia del terreno en (ohm/m).

2.2.17 Número de cables alimentadores “power feeds”

Para la alimentación adecuada del sistema de protección catódica se requiere de la instalación de cuatro Cables Alimentadores distribuidos homogéneamente sobre la superficie del tanque e instalado sobre las barras conductoras.

2.2.18 Número de celdas de referencia

Para el monitoreo adecuado de los niveles de protección catódica del fondo del tanque se instala cuatro celdas de referencia.

2.2.19 Resistencia de los ánodos

La resistencia que requiere vencer los ánodos para proteger adecuadamente el fondo del tanque se determina a partir de la ecuación 7. En la figura 8 se observa las variables para el cálculo de la resistencia de los ánodos.

$$R = \frac{\rho h}{L_i (S - w)} \ln \left(\frac{S}{w} \right) \quad (7)$$

Donde:

R : resistencia de los ánodos en ohm.

ρ : es la resistencia del material de la fundición en ohm.m.

h : es la separación entre el ánodo y el fondo del tanque (m).

S : es la separación entre ánodos (m).

w: es el ancho de la cinta anódica (m).

Li: es la longitud total de los ánodos instalados en el fondo (m).

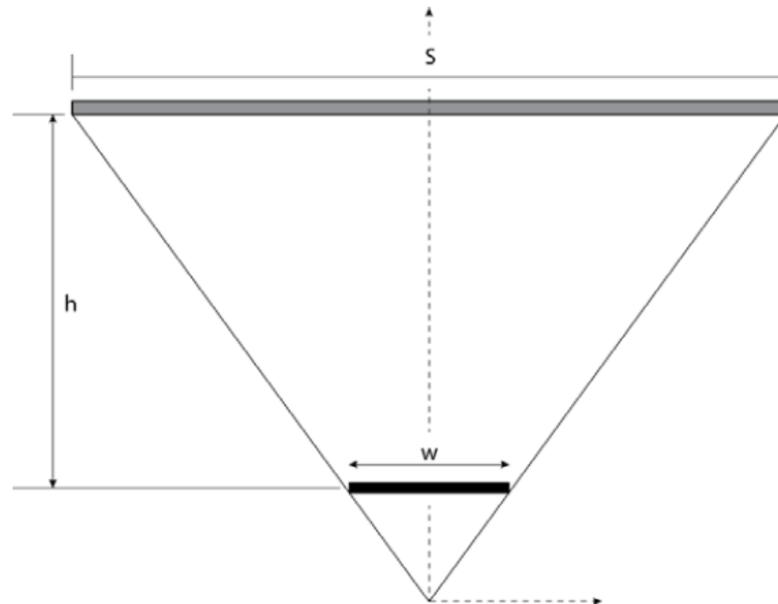


Figura 8: Variables para el cálculo de la resistencia de los ánodos

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

2.2.20 Resistencia lineal del ánodo.

La resistencia lineal de los ánodos que se obtiene de la ecuación 8.

$$r_a = \frac{L \times r_a}{4 \times N} + \frac{S \times r_d \times N}{4} \quad (8)$$

Donde:

L: es la mitad de la separación entre las barras conductoras en metros.

r_a: es la resistencia lineal del ánodo (ohm/m)

N: es el número de cintas anódicas que cubren un Power feed.

S: es la mitad de la separación de los ánodos en metros.

r_d: es la resistencia lineal de la barra conductora en (ohm/m)

2.2.21 Resistencia total del sistema

Al sumar las resistencias, se obtiene la resistencia total del sistema como se observa en la ecuación 9.

$$R_t = R + r_a + \left(\frac{r_a}{4}\right) + \left(\frac{2 \times R_{neta}}{4}\right) \quad (9)$$

R_t : resistencia total del sistema. (ohm/m)

r_a : es la resistencia lineal del ánodo (ohm)

$R_{equivalente}$: es igual a $r_a/4$ (ohm).

R_{neta} : resistencia de los cables positivos y negativos (ohm)

2.2.22 Voltaje requerido para el sistema

El voltaje requerido del sistema se obtiene al multiplicar la corriente requerida por la resistencia total del sistema como se observa en la ecuación 10.

$$V = I \times R_t \quad (10)$$

V: voltaje requerido para el sistema (V).

I: corriente requerida (A).

R_t : resistencia total del sistema. (ohm)

2.2.23 Tubería de monitoreo

Como una medida adicional a la instalación de celdas de referencias en el fondo del tanque, se requiere de la instalación de una tubería de monitoreo la cual consiste de un conducto no metálico de dos pulgadas de diámetro con alta resistencia mecánica.

2.2.24 Conversión de rata de corrosión

Para obtener la rata de corrosión en diferentes unidades se utiliza las ecuaciones 11,12 y 13.

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{mpy}} = \frac{1.44}{\text{S.G}} \cdot \text{Rata de Corrosión}_{\text{mdd}} \quad (11)$$

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{cm/día}} = \frac{\text{Rata de Corrosión}_{\text{mdd}}}{\text{S.G}} \quad (12)$$

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{mm/año}} = \frac{\text{En} - \text{Emm}}{\text{Número de años}} \quad (13)$$

Donde:

Rata de corrosión (mpy): velocidad de penetración de la corrosión en mili pulgadas por año.

Rata de corrosión (mdd): velocidad de corrosión del material en miligramos decímetro cuadrado por día.

S.G: Densidad del metal.

Rata de corrosión (cm/día): velocidad de corrosión del material en centímetros por día.

Rata de corrosión (mm/año): velocidad de corrosión del material en milímetros por año.

En: Espesor nominal.

Emm: Espesor mínimo medido.

Intervalo (años): año de inspección – año de fabricación

2.2.25 Espesor del fondo consumido

Es el espesor perdido comparado desde un espesor nominal a uno actual se obtiene en la ecuación 14.

$$E_c = E_i - E_m \quad (14)$$

Donde:

Ec: espesor consumido.

Ei: espesor inicial.

Em: espesor mínimo.

2.2.26 Vida remanente

Es el cálculo que se realiza para determinar la vida remanente a activos metálicos se obtiene por la ecuación 15 y 16.

$$VR = \frac{Ec}{\text{Rata de corrosión}_{\text{cm/día}}} \quad (15)$$

$$VR = \frac{Emm - Emr}{\text{Rata de corrosión}_{\text{mm/año}}} \quad (16)$$

Donde:

VR: vida remanente.

Ec: espesor consumido.

Rata de corrosión (cm/día): velocidad de corrosión del material en centímetros por día.

Rata de corrosión (mm/año): velocidad de corrosión del material en milímetros por año

Emm: Espesor mínimo medido

Emr: Espesor mínimo requerido

2.2.27 Criterios de protección

Para verificar que los tanques tienen protección catódica, se utilizan tres criterios que son los más utilizados según norma NACE:

- El primero criterio es de obtener un potencial mínimo de -850 mV con la protección catódica aplicada,
- El segundo criterio un potencial polarizado de al menos -850 mV con respecto al electrodo de referencia.
- Y el tercer criterio de obtener como mínimo -100 mV de diferencia entre el potencial Off y potencial natural del metal. (NACE CP1, 2000)

2.3 Definición de términos

Ánodo: Electrodo o metal de una estructura en la cual se produce la reacción de oxidación o corrosión. Opuesto a cátodo.

Ánodo galvánico: es un ánodo de sacrificio que no emite fuentes de energía externas. Los más utilizados para suelos son aleaciones de zinc o de magnesio y para superficies marinas aleaciones de aluminio.

Ánodo de corriente impresa: Ánodo de sacrificio que utiliza fuentes de energía externas. Se utilizan aleaciones de hierro, grafito, óxidos inertes, plomo / plata, titanio / platino entre, otras. Cualquier metal conductor puede servir como ánodo de corriente impresa.

Ataque localizado: Corrosión que se concentra en zonas pequeñas; hay dos tipos picadura pitting y en grietas crevice.

Cama de ánodos: Grupo de ánodos también llamado lecho de ánodos o en término en inglés groundbed.

Cátodo: Electrodo o parte de la estructura en que se produce la reacción catódica o de reducción. Opuesto al ánodo.

Corrosión: es la pérdida de propiedades que sufre un material por acción del ambiente. No es necesario la aparición de un producto de corrosión visible sobre la superficie, puede manifestarse como una reducción de resistencia mecánica.

Electrolito: es el medio conductor de la corriente que puede ser el suelo, agua industrial, agua potable o agua de mar.

Electrodo de referencia: Dispositivo de medición de potenciales. Se puede utilizar de dos maneras, en el suelo o en el mar. También llamado celda de referencia o media celda.

Potencial natural: Es el potencial que posee el metal en mV.

Potencial instant On: Es el potencial en mV que tiene el sistema cuando está en funcionamiento.

Potencial instant Off: Es el primer valor del potencial cuando el sistema es apagado.

Espesor nominal: Espesor de fabricación con el que fue instalado el fondo del tanque.

Espesor mínimo medido: Espesor mínimo medido el año que se realizó la inspección.

Espesor mínimo requerido: Espesor mínimo en el cual puede operar el fondo, esto se encuentra en la norma API 653.

CAPITULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla 5: Operación de variables

Variables	Variables conceptuales	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Diseño e instalación de un sistema de protección catódica	La protección catódica es una técnica para controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica	Diseño del sistema Tamaño del tanque	Ánodos Corriente requerida
Variable dependiente Controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos	Se busca controlar la corrosión en el fondo de los tanques, con el fin de evitar derrames de producto	Prueba de laboratorio Estudio de terreno	Bacterias Resistividad del terreno

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Definición conceptual de las variables

- Diseño e instalación de un sistema de protección catódica: El diseño e instalación de un sistema de protección catódica se basa según normas NACE International, que nos brinda información para realizar cálculos y diseño adecuado donde depende de muchas variables como el tamaño del tanque que se quiere proteger, el terreno en donde se instalara, por cuanto tiempo se quiere proteger el tanque etc.

- Evitar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos: Se busca evitar la corrosión que se origina en el fondo de los tanques de almacenamiento debido a que no se puede controlar solo colocándole un recubrimiento, al tener contacto con el suelo se busca controlarlo de una forma más segura con la implementación de ingeniería.

3.2. Metodología

3.2.1 Tipos de estudio

La investigación es de tipo descriptivo, se realizó un estudio de datos. Tomando en cuenta las variables independiente y dependiente las cuales están relacionadas con el objetivo del estudio. (Hernandez, 2014)

3.2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental cuantitativa debido a que la recolección de la información no va ser manipulada, solo será medida y comparada. (Hernandez, 2014)

3.2.3. Método de investigación

El método a utilizar será deductivo – analítico debido a que se revisa la información con el objeto de examinarla y estudiarla, también se partirá de principios conocidos para descubrir consecuencias desconocidas como datos generales para tener resultados específicos. (Hernandez, 2014)

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4.1. Análisis situacional

ENGIE Energía Perú se funda en 1996 bajo el nombre social de Powerfin Perú S.A. Al siguiente año, cambio su nombre a Energía del Sur S.A. y luego en el 2007, pasó a ser EnerSur S.A. Finalmente en el año 2016, adopta nuevamente el nombre de su grupo corporativo y pasó a nombrarse ENGIE Energía Perú S.A.

ENGIE en el Perú es una compañía de generación de energía eléctrica con una capacidad instalada de 2496 MW. Tiene ocho centrales de generación eléctrica, de las cuales seis son termoeléctricas y dos hidroeléctricas que se encuentran distribuidas en distintas regiones del país. Las centrales termoeléctricas se dividen en Ilo1, Ilo21, Ilo31 y Nodo Energético Ilo41, en Moquegua; la hidroeléctrica Yuncán, en Pasco; las termoeléctricas de ciclo combinado ChilcaUno y ChilcaDos, en Chilca-Lima; la hidroeléctrica Quitaracsa, en Ancash y la Solar Intipampa de 40 MW, en Moquegua.

En el terminal ILO 31 se tuvo la necesidad de construir 7 tanques para aumentar la capacidad de almacenamiento de sus productos, construyeron dos tanques de agua desmineralizada, dos tanques de diésel no tratado y tres de diésel tratado. Los que se utilizan para alimentar a la turbinas y obtener mayor cantidad de energía.

ENGIE Energía Perú S.A. contrato a la empresa Santos CMI para realizar la construcción de los 7 tanques de almacenamiento, el requisito de estos tanques es contar con protección catódica por maya grid, por lo que Santos CMI contrato a

TECNAPERU una empresa dedicada a este rubro, quienes son los encargados del diseño e instalación del sistema.

Al implementar un sistema de protección catódica se busca darle una mayor vida útil a los tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

4.2. Alternativas de solución

Realizando un diagrama de Ishikawa como se observa en la figura 9, se obtiene que el daño crítico se encuentra en el terreno altamente corrosivo.

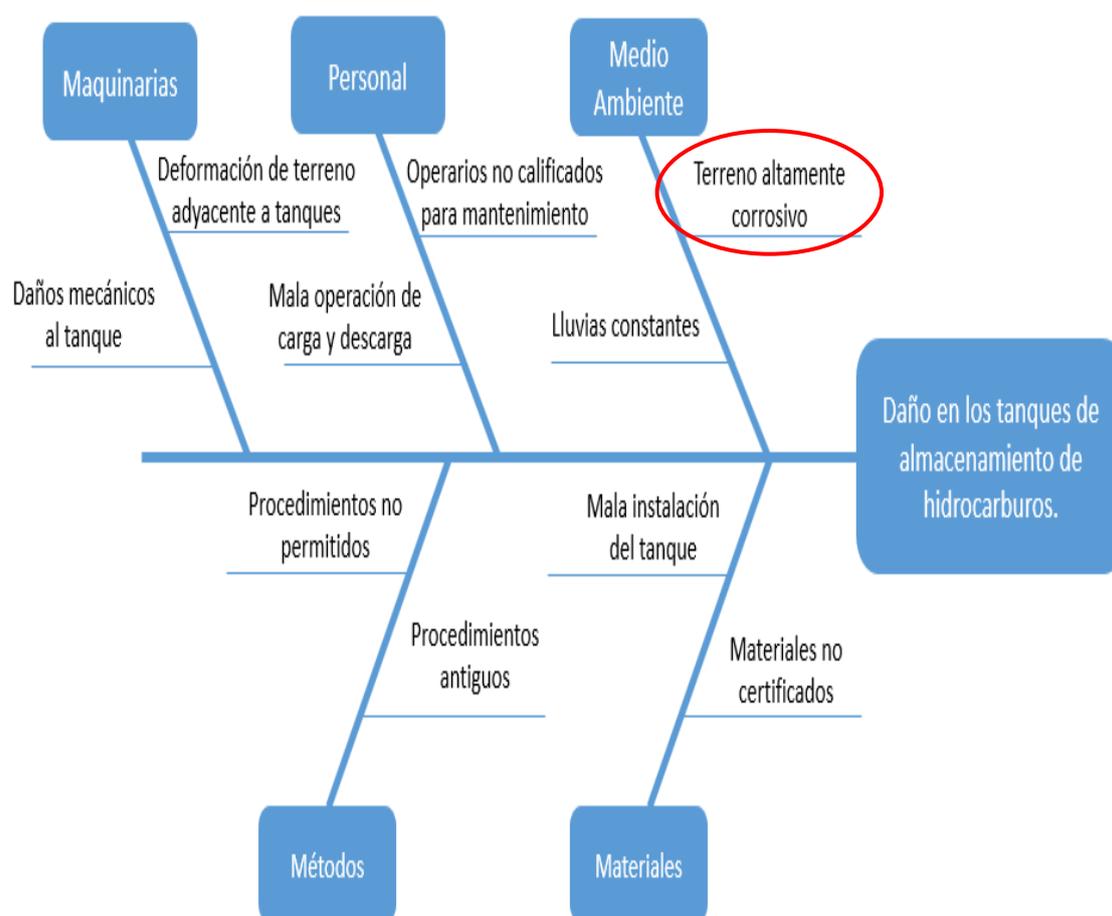


Figura 9: Diagrama Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

Al tener un terreno altamente corrosivo, el daño mayor se obtiene en el fondo del tanque que tendrá contacto con el terreno. Para controlar la corrosión en el fondo de los tanques se necesita protegerlo de alguna forma por lo que la meta es implementar un sistema o plan de mantenimiento.

Las alternativas de solución más importantes son:

a) ALTERNATIVA 1: Revestimiento del fondo, parte interna y externa

Cubrir la base del tanque de almacenamiento con un recubrimiento especial, en el lado base terreno y base producto, las ventajas y desventajas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Ventajas y desventajas alternativa 1

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Protege la plancha de metal contra la corrosión.- Es económico.- Es de fácil procedimiento.	<ul style="list-style-type: none">- La protección es por un corto periodo.- No es tan efectiva.- Igual se produce corrosión al desgastarse el recubrimiento.- Es necesario sacar el tanque de servicio para realizar el mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

b) ALTERNATIVA 2: Cambio de plancha del fondo cada 5 años.

Realizar un plan de mantenimiento que consta en cambiar el fondo de los tanques cada 5 años, debido a que este sufrirá corrosión porque el terreno es altamente corrosivo, las ventajas y desventajas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Ventajas y desventajas alternativa 2

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Se tiene un mejor panorama de cómo se encuentra el tanque.- Se colocaran planchas de buena calidad.- Procedimiento programado con fechas fijas.	<ul style="list-style-type: none">- Alto costo por cambio.- No es un buen plan de mantenimiento.- Es necesario sacar el tanque de servicio para volver a pintarla.- Al cambiar el fondo se produce contaminación al medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia

c) ALTERNATIVA 3: Diseño e instalación de un sistema de protección catódica
 Diseñar un sistema de protección catódica por malla grid, para controlar la corrosión en el fondo de los tanques, este sistema es instalado debajo del tanque, las ventajas y desventajas se muestran en la tabla 8.

Tabla 8: Ventajas y desventajas alternativa 3

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Protege el sistema por un mínimo de 20 años - Controla la corrosión en la parte fondo terreno. - Se puede realizar mantenimientos cada año para ver el estado de protección catódica sin sacar el tanque de servicio. - Se puede realizar inspecciones de integridad para ver el estado del fondo de los tanques. - Disminuye la velocidad de corrosión del acero usado para el fondo del tanque. 	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema consta de cables enterrados que podrían ser cortados. - - Se debe instalar antes de instalar el tanque de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

4.3 Solución del problema

De las tres alternativas presentadas o consideradas, la alternativa más adecuada para controlar el problema de corrosión en el fondo de los tanques es diseñar e instalación de un sistema de protección catódica.

Para realizar el diseño de un sistema de protección catódica se siguió un procedimiento encontrado en el manual NACE CP3 donde se indican los pasos a seguir, en la figura

10 se muestra un diagrama de flujo para realizar el diseño de un sistema de protección catódica para tuberías que puede usarse también en tanques de almacenamiento.

Para realizar el diseño de sistema de protección catódica por malla grid para los tanques de almacenamiento, primero se deben conocer las características como se muestra en la tabla 9.

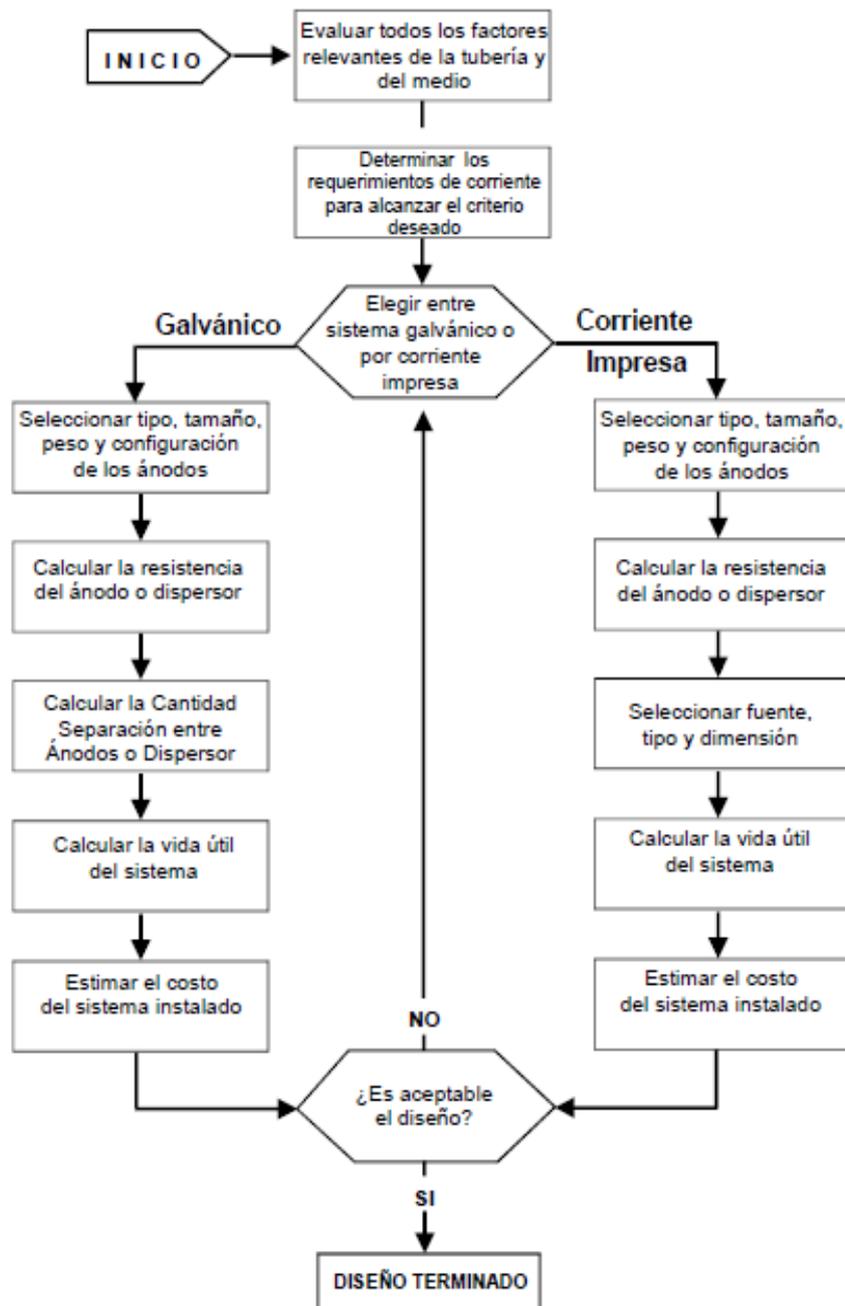


Figura 10: Procedimiento para el de diseño de Protección catódica – Ducto

Fuente: (NACE CP3, 2005)

Tabla 9: Tabla de tanques

Ítem	Código de Tanque	Producto	Diámetro (m)
1	10EGB 11 BB001	Diésel No Tratado	30
2	10EGB 12 BB001	Diésel No Tratado	30
3	10EGB 13 BB001	Diésel No Tratado	30
4	10GHC 11 BB001	Agua Desmineralizada	28.35
5	10GHC 12 BB001	Agua Desmineralizada	28.35
6	10EGB 51 BB001	Diésel Tratado	17.07
7	10EGB 52 BB001	Diésel Tratado	17.07

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Descripción de los tanques de diésel no tratado, agua desmineralizada y diésel tratado

- **Tanques de diésel no tratado**

El tanque de almacenamiento de diésel no tratado consiste de una estructura cilíndrica de 30 metros (98.4 pies) de diámetro y 14.6 metros (47.9 pies) de altura soportada sobre una base de arena consistente preseleccionada y un anillo de concreto reforzado de 0.6 metros de ancho.

La base de contención del fluido consiste de láminas de acero al carbono ASTM A36 o ASTM 283 Grado C de 7.94 mm (0.31 pulgadas) de espesor soldados de forma solapada. De los 30 metros de diámetro del tanque, 29.4 metros se encuentran expuestos a la superficie del suelo y el restante descansa sobre el anillo de concreto. A continuación se listan las características básicas del tanque en la tabla 10.

Tabla 10: Características de tanques de diésel no tratado

Características	Valor
No. Del Equipo	10EGB 11 BB001 10EGB 12 BB001 10EGB 13 BB001
Gravedad específica	0.86
Tipo de Techo	Domo
Tipo de Fondo	Cono en pendiente 1/120
Diámetro Nominal	30 m
Altura	14.6 m
Capacidad nominal	65194 gal
Temperatura de Diseño	50°C
Temperatura de Operación	28°C
Presión Interna	15.08 mbarg
MAWP	47.33 mbarg
Corrosion Allowance	1/16"

Fuente: Elaboración propia

El fondo del tanque presenta una forma cónica hacia arriba con una relación de pendiente de 120:1, lo cual permite que los fluidos corrosivos de alta densidad se ubiquen en la periferia del tanque.

Para el drenaje interior del tanque se ha instalado un sumidero en el fondo ubicado a 2.1 metros de la hoja, un diámetro de 1.219 metros y una profundidad de 0.61 metros, de la cual se desprende una tubería de 4" que sale por el primer anillo del tanque. En la figura 11 se muestra el del tanque de almacenamiento de diésel no tratado.



Figura 11: Tanque de almacenamiento del diésel no tratado.

Fuente: Elaboración propia

- **Tanques de agua desmineralizada**

El tanque de almacenamiento de Agua Desmineralizada consiste de una estructura cilíndrica de 28.35 metros (93 pies) de diámetro y 14.63 metros (48 pies) de altura soportada sobre en una fundación consistente de arena preseleccionada y un anillo de concreto reforzado de 0.6 metros de ancho.

La base de contención del fluido consiste de láminas de acero al carbono ASTM A36 o ASTM 283 Grado C de 7.94 mm (0.31 pulgadas) de espesor soldados de forma solapada. De los 28.35 metros de diámetro del tanque, 27.75 metros se encuentran expuestos a la superficie del suelo y el restante descansa sobre el anillo de concreto. A continuación se listan las características básicas del tanque en la tabla 11.

Tabla 11: Características de tanques de agua desmineralizada

Características	Valor
No. Del Equipo	10GHC 11 BB001 10GHC 12 BB001
Gravedad específica	1
Tipo de Techo	Domo
Tipo de Fondo	Cono en pendiente 1/120
Diámetro Nominal	28.35 m
Altura	14.6 m
Capacidad nominal	57830.3 gal
Temperatura de Diseño	50°C
Temperatura de Operación	28°C
Presión Interna	15.08 mbarg
MAWP	47.33 mbarg
Corrosion Allowance	1/16"

Fuente: Elaboración propia

El fondo del tanque presenta una forma cónica hacia arriba con una relación de pendiente de 120:1, lo cual permite que los fluidos corrosivos de alta densidad se ubiquen en la periferia del tanque.

Para el drenaje interior del tanque se ha instalado un sumidero en el fondo ubicado a 2.1 metros de la hoja, con un diámetro de 1.219 metros y una profundidad de 0.61 metros, de la cual se desprende una tubería de 4" que sale por el primer anillo del tanque. En la figura 12 se muestra el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada.

- **Tanques de diésel tratado**

El tanque de almacenamiento de diésel tratado consiste de una estructura cilíndrica de 17.07 metros (56 pies) de diámetro y 14.63 metros (48 pies) de altura soportada sobre

en una fundación consistente de arena preseleccionada y un anillo de concreto reforzado de 0.6 metros de ancho.

La base de contención del fluido consiste de láminas de acero al carbono ASTM A36 o ASTM 283 Grado C de 7.94 mm (0.31 pulgadas) de espesor soldados de forma solapada. De los 17.07 metros de diámetro del tanque, 16.47 metros se encuentran expuestos a la superficie del suelo y el restante descansa sobre el anillo de concreto. A continuación se listan las características básicas del tanque en la tabla 12.

Tabla 12: Características de tanques de diésel tratado

Características	Valor
No. Del Equipo	10EGB 51 BB001 10EGB 52 BB001
Gravedad específica	0.86
Tipo de Techo	Domo
Tipo de Fondo	Cono en pendiente 1/120
Diámetro Nominal	17.07 m
Altura	14.6 m
Capacidad nominal	21070.9 gal
Temperatura de Diseño	50°C
Temperatura de Operación	28°C
Presión Interna	15.08 mbarg
MAWP	47.33 mbarg
Corrosion Allowance	1/16"

Fuente: Elaboración propia

El fondo del tanque presenta una forma cónica hacia arriba con una relación de pendiente de 120:1, lo cual permite que los fluidos corrosivos de alta densidad se ubiquen en la periferia del tanque.



Figura 12: Tanque de almacenamiento del agua desmineralizada

Fuente: Elaboración propia

Para el drenaje interior del tanque se instala un sumidero en el fondo ubicado a 1.52 metros de la hoja, un diámetro de 0.91 metros y una profundidad de 0.45 metros, de la cual se desprende una tubería de 3" que sale por el primer anillo del tanque. En la figura 13 se muestra el tanque de almacenamiento de diésel no tratado.

4.3.2 Base de los tanques

La base del tanque consiste de una membrana impermeable a 0.4 metros de profundidad del fondo compuesta de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1.5 mm de espesor el cual permite el aislamiento entre el suelo natural y la base del tanque, evitando así la contaminación del terreno en caso de fugas y aislando eléctricamente el fondo del tanque con estructuras foráneas.

Como sistema de detección de fuga, se han instalado tubos pasantes de 2 pulgadas de diámetro alrededor del anillo de concreto con una inclinación del 0.5%.

El sistema por malla grid se instala a una altura de 1 a 2 pulgadas por encima de la geomembrana sobre una capa de arena que separa la malla de la geomembrana. En las figuras 14, 15 y 16 se observa la base de los tanques.



Figura 13: Esquema general del tanque de almacenamiento de diésel tratado

Fuente: Elaboración propia

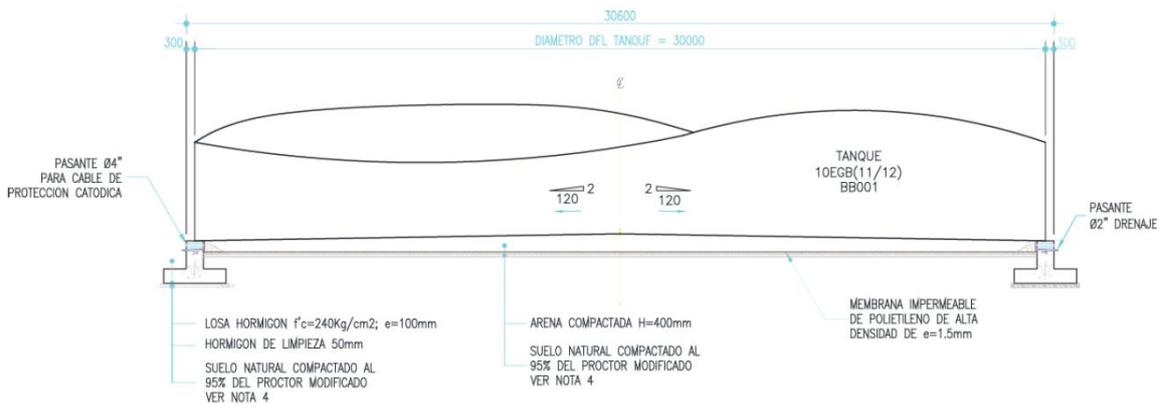


Figura 14: Fundación de los tanques de almacenamiento del diésel no tratado

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

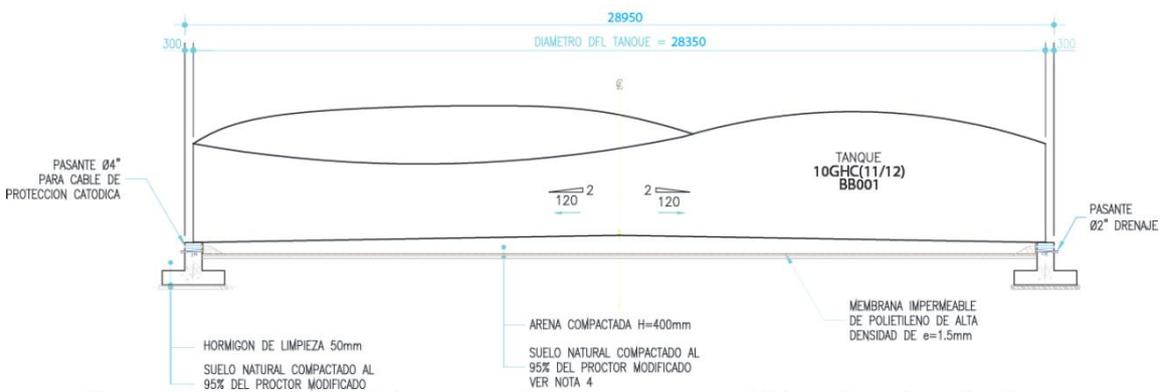


Figura 15: Fundación de los tanques de almacenamiento del agua desmineralizada

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

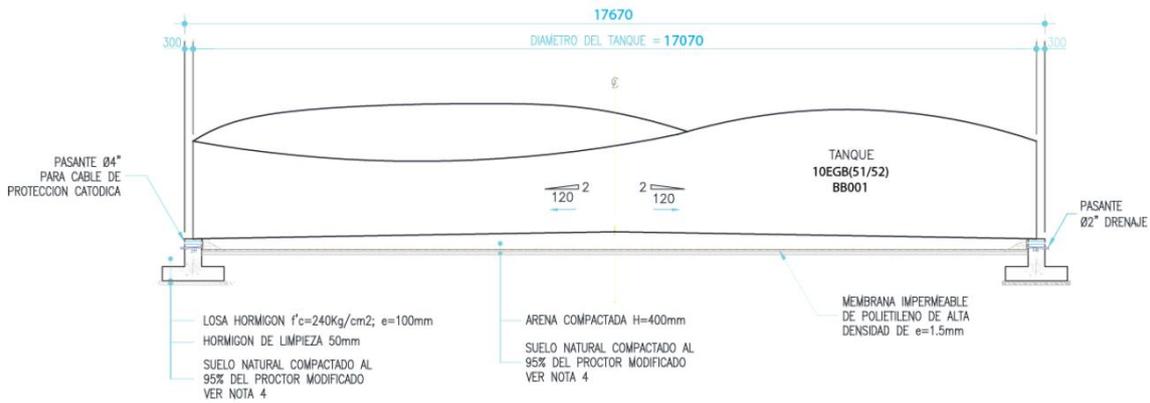


Figura 16: Fundación de los tanques de almacenamiento de diésel tratado

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

- **Análisis de las muestras de arena de relleno**

La selección de la arena de relleno para el fondo se realiza a partir de 3 muestras de arena suministradas por la empresa Santos CMI, las que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Muestra de Arena

Muestra	Cantera
Muestra N°1	km 9 vía Moquegua
Muestra N°2	Cantera Belú
Muestra N°3	San Pablo – km 42

Fuente: Elaboración propia

Las muestras son sometidas a análisis químicos de cloruros, sulfatos y pH, para determinar la agresividad del terreno.

De las tres muestras que se analizan, en la tabla 14 se observa que la muestra de la cantera San Pablo presenta las menores concentraciones de cloruros y sulfatos, lo cual se debe posiblemente a que el material se encuentra a varios metros por debajo del suelo, evitando así la contaminación por cloruros producida por los vientos marinos.

La muestra 2 y 3 presentan concentraciones de elementos iónicos similares y la concentración de cloruros se encuentra relativamente alta, sin superar los límites descritos para su uso en la fundación del tanque.

Tabla 14: Análisis químico de las muestra de arena

Descripción de la muestra	PH	Cloruros	Sulfatos
Muestra 1 Cantera San Pablo Tomada Km 42- ILO	10.4	55.22	7.024
Muestra 2 Cantera Belú Tomada Km 26 ILO- Tacna	8.72	243.98	58.14
Muestra 3 Cantera Km 9 Vía Moquegua	7.96	249.27	48.09

Fuente: Elaboración propia

- **Estudios de resistividad del material de la fundación**

Los estudios de resistividad de las arenas se realizan usando las composiciones de los aditivos agua y cemento obtenidas en las pruebas de compactación usadas para la fundación del tanque como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Aditivos usados en la compactación de la arena

N° Muestra	Cantera	% Cemento	% Humedad
1	km 9 vía Moquegua	1	1.863
2	Cantera Belú	1	3.595
3	San Pablo – Km 42	1	2.23

Fuente: Elaboración propia

La resistividad fue obtenida usando el equipo de resistividad de suelo, siguiendo los lineamientos descritos en la norma ASTM G57.

En conclusión, las arenas poseen una resistividad entre 10.000 y 30.000 ohm.cm, las cuales son las resistividades comúnmente encontradas en el fondo del tanque como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16: Resistividad de las arenas

N° Muestra	Cantera	Resistividad (Ω -cm)
1	km 9 vía Moquegua	26.000 – 27.000
2	Cantera Belú	10.000 – 11.600
3	San Pablo – Km 42	15.000 – 16.000

Fuente: Elaboración propia

La resistividad seleccionada para los cálculos de diseño es de 20.000 ohm.cm. Siendo un promedio de las resistividades obtenidas en las arenas analizadas.

- **Selección del material para la fundación**

A partir de los resultados de los análisis químicos de las arenas y las resistividades, se ha seleccionado la arena de la muestra 1, ubicada en la cantera de San Pablo. Antes de la instalación del material, éste debe ser zarandeado para eliminar rocas que superen una pulgada de diámetro.

La aplicación del material seleccionado debe seguir los lineamientos básicos descritos en el procedimiento adjunto a este diseño.

4.3.3 Mecanismo de corrosión

Debido a la amplia variedad de condiciones bajo el tanque, los fenómenos de corrosión varían significativamente según el sitio, diseño, fundación, condiciones de drenaje y muchos otros factores.

Cuando el nivel freático está cerca de la superficie del suelo, la humedad que se condensa en la fundación puede iniciar fenómenos de corrosión tipo picadura.

Hay muchas formas de corrosión en el fondo del tanque las cuales se puede clasificar en corrosión general y localizada (picadura). En corrosión general, cientos de celdas pequeñas ocurren en el fondo del tanque resultando en una pérdida de metal uniforme. En corrosión localizada, celdas de corrosión individuales de gran tamaño se forma en el fondo del tanque y la zona anódica presenta deterioro localizado.

La composición química del metal es un factor que determina que áreas en la superficie del metal se convierten en ánodos y cátodos. Diferencia de potencial electroquímico entre áreas adyacentes puede ocurrir debido a una distribución heterogénea de los elementos aleantes o contaminantes dentro del metal. La corrosión se puede presentar comúnmente entre el metal de soldadura, la zona afectada térmicamente y el metal base.

Las propiedades químicas y físicas del electrolito también tienen influencia en la localización de las zonas anódicas y catódicas en la superficie del metal. Por ejemplo, diferencia en concentraciones de oxígeno entre áreas en la superficie del metal puede crear diferencias de potencial. Áreas con concentraciones bajas de oxígeno se convierte en ánodos y las áreas con mayor concentración de oxígeno se convierten en cátodos. Este fenómeno puede causar corrosión en el fondo del tanque en una fundación de arena contaminada con arcilla u otros restos de suelo natural que no posee una consistencia uniforme.

Las características de suelo afectan sustancialmente el tipo y velocidad de corrosión en una estructura en contacto con el suelo. Por ejemplo las sales disueltas influyen la capacidad portadora de corriente del electrolito en el suelo y ayuda en la determinación de las velocidades de reacción en las zonas anódicas y catódicas. El contenido de humedad, pH, concentración de oxígeno, y otros factores interactúan de un modo complejo sobre la corrosión.

4.3.4 Descripción general del sistema de protección catódica

Es un sistema de protección catódica por malla grid, que se utiliza en todos los tanques de almacenamiento debido a los altos requerimientos de corriente y la presencia de membrana aislante. Cada sistema es similar y básicamente consiste de un transformador-rectificador, un sistema de ánodos de MMO/Titanio, cables conductores, caja de conexiones, electrodos de referencia y demás dispositivos de conexión.

Los ánodos de los sistemas de protección catódica son construidos de una cinta de titanio con un recubrimiento de óxidos de metales mezclados (MMO) e instalados en un patrón de cuadrícula (Grid) con las barras conductoras en la fundación del tanque. Los ánodos serán instalados directamente sobre el relleno de arena a aproximadamente 0.4 metros.

Barras conductoras de titanio serán instaladas perpendicularmente a los ánodos a intervalos que dependen de la atenuación de la corriente. La barra conductora será soldada al ánodo usando soldadura de punto (o resistencia) en cada cruce. La malla de ánodos y barras será conectada al circuito positivo del rectificador por múltiples cables alimentadores conectados a una caja de conexiones.

El transformador rectificador y la caja de conexiones se diseñan cumpliendo con las especificaciones NEMA para las áreas donde serán ubicadas. La clasificación de áreas, es suministrada por el cliente previo al diseño y selección de los equipos.

4.3.5 Criterios de protección catódica

El objetivo del uso del sistema de protección catódica para el fondo del tanque es controlar la corrosión en contacto con el electrolito. La selección de un criterio particular para lograr este objetivo depende en parte, en anteriores experiencias con fondos de tanque similares y en el ambiente en los cuales el criterio ha sido exitosamente usado.

La norma NACE RP0193-2001 define tres criterios de protección catódica aplicables a la protección exterior de fondos de tanques de los cuales dos son los más usados en campo. (NACE, 2001)

- Un potencial polarizado negativo de menos 850 mV relativos al electrodo de Cu/CuCO₄.
- Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie del fondo del tanque y un electrodo de referencia estable conteniendo el electrolito. La formación o decaimiento puede ser medido para satisfacer este criterio.

En caso de presencia de corriente parasita en el sector, un criterio diferente a los listados anteriormente debe ser aplicado.

4.3.6 Materiales para el sistema de protección catódica

A continuación se describen los materiales usados para la construcción del sistema de protección catódica por malla grid para los tres tipos diferentes de tanques.

- **Cintas anódicas**

Los ánodos requeridos para la protección del tanque de almacenamiento consiste de una cinta de sustrato metálico de titanio de 0.5 x 0.025 pulgadas de sección transversal con un revestimiento de óxidos de mezcla de metales catalizado (MMO) en su superficie. Debido a que el sustrato metálico es naturalmente pasivado por una película de óxido, la cinta anódica permanece dimensionalmente estable sobre el tiempo. La transferencia de corriente directa es lograda a través de óxido catalizado el cual posee una alta conductividad. Las características de las cintas anódicas se detallan en la tabla 17.

Tabla 17: Características de las cintas anódicas

Características	Valor
Espesor mínimo de la Capa Catalítica	7 micrones
Resistencia lineal del Ánodo	0.48 ohm/m
Composición del sustrato	Titanio ASTM B-265 Grado 1
Resistividad eléctrica	0.000056 ohm.cm
Esfuerzo Mínimo de Tensión	245 Mpa
Esfuerzo Mínimo de Fluencia	175 MPa

Fuente: Elaboración propia

La combinación de los materiales (sustrato y película) permite una densidad de corriente máxima de 18 mA/pie para una vida de diseño de 50 años.

- **Barra conductora**

Para la conexión eléctrica de los ánodos de MMO, se utiliza barras conductoras de titanio grado 1 según la ASTM B265 de 0.5 x 0.035 pulgadas de sección transversal. La

conexión entre la barra y el ánodo se realiza a partir de soldadura de punto, las características de la barra conductora se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Características de la barra conductora

Características	Valor
Dimensiones	0.5" x 0.035" (12.7 x 0.9 mm)
Resistencia lineal	0.049 ohm/m
Composición	Titanio Grado 1 según ASTM B265
Coefficiente de Expansión Térmica	$8.7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{K}$
Resistividad Eléctrica	0.000056 ohm.cm
Módulo de Elasticidad	105 GPa min
Esfuerzo Máximo Tensión	245 MPa min
Esfuerzo de fluencia	175 MPa

Fuente: Elaboración propia

- **Cables alimentadores “Power feeds”**

Los cables alimentadores son las uniones eléctricas entre las barras conductoras y el rectificador, las cuales consiste de un cable AWG #8 siete hilos con recubrimiento HMWPE para enterramiento directo el cual posee en uno de sus extremos una facilidad para conectar, por medio de soldadura de punto, el cable a la malla conformada por las barras conductoras. Esta facilidad está conectado por medio de un sistema BURNDY de compresión hidráulica a una barra de titanio de 0.5" de ancho y 12" de largo.

La unión “Barra Titanio-Cable de Cobre” está recubierta por una manga termo-contráctil de KYNAR colocada en la barra de titanio. Un sellante 3M es colocado sobre la manga termo-contráctil y toda la conexión está sellada con un empalme epóxico 3M-81F1.

- **Rectificador**

Cada sistema de protección catódica está alimentado por un rectificador de corriente AC de onda completa que es alimentado por un sistema trifásico. El rectificador es enfriado por aire y su encerramiento es en acero galvanizado con terminado en pintura

electrostática por lo que es clasificado NEMA 3R con un voltaje de operación de 480 VAC trifásico.

El voltaje y corriente nominal de salida depende de los requerimientos de corriente definitivos de cada uno de los fondos de los tanques; su ajuste es manual por medio de 6 TAP gruesos y 6 TAP finos para un total de 36 ajustes.

Los rectificadores deben tener un sistema de alarma para fallas en voltaje y corriente dispuestos en unos contactos para indicación remota, adicionalmente deberán tener módulos para la lectura de voltaje y corriente mediante una señal 4 a 20 miliamperios. Tanto la acometida AC de alimentación de corriente como la DC serán asegurados por dispositivos contra descargas eléctricas atmosféricas.

- **Caja de conexiones**

La caja de conexiones es fabricada en aluminio fundido con clasificación NEMA para la correcta organización de la corriente de protección catódica desde la unidad rectificadora hasta los cables que alimentan de corriente el sistema como se muestra en la figura 17, la caja es colocada sobre una estructura cerca al anillo de concreto por lo que todos sus componentes serán clasificación NEMA.

- **Cable negativo**

El tanque cuenta con una pequeña plancha de acero al carbono especial que estará unida a una distancia de 8" sobre anillo de concreto, el cual tiene un agujero, de manera que es posible conectar apropiadamente con la ayuda de un perno de acero inoxidable.

- **Electrodo de referencia**

Los tanques cuentan con electrodos de referencia fijos de cobre sulfato de cobre calificados para su instalación en el suelo. El electrodo de referencia es ubicado 0.20 metros del fondo del tanque y sobre de la malla anódica. Cuenta con un cable No. 10 AWG con aislante para que sea enterrado.

Todos los electrodos de referencia permanente especificados para los tanques serán para 40 años de vida útil, con una variación mínima de +/- 5 mV y con protección contra

la contaminación por iones provenientes del suelo, en el caso de los electrodos de referencia de sulfato de cobre.

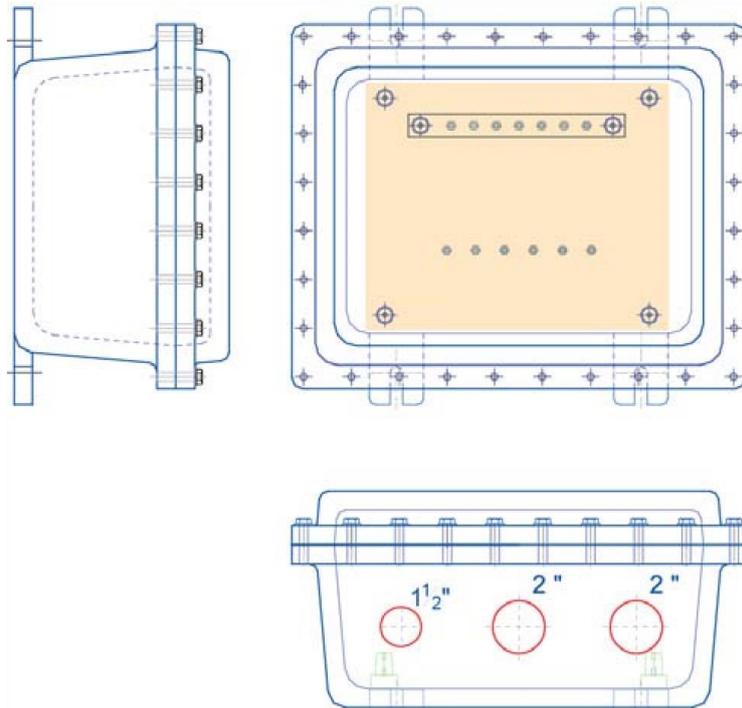


Figura 17: Cajas de conexión

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

4.3.7 Memoria de cálculo

En el anexo 1 se encuentra las memorias de cálculo para los 3 tipos de sistema por tipo de tanque según su diámetro.

- **Requerimiento de corriente**

a) Para tanques de diésel no tratado

De los 30 metros de diámetro del tanque, 29.4 metros se encuentra apoyados sobre la fundación y el resto sobre el anillo. Reemplazando los valores en la ecuación 1 se obtiene:

$$I = 17.5 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 29.4^2 = 11\,880.1 \text{ mA} \approx 12\text{A}$$

Debido a que los tanques se encuentran a temperatura ambiente, no se requiere de una corrección por temperatura. Aplicando un factor de seguridad del 10%, el requerimiento de corriente para los tanques será de 13.2 amperios como se observa en la tabla 19.

Tabla 19: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento del Diésel No Tratado

Tanque	Diámetro	I Requerida
10EGB11 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	13.2 A
10EGB12 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	13.2 A
10EGB13 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	13.2 A

Fuente: Elaboración propia

b) Para tanques de agua desmineralizada

De los 28.35 metros de diámetro del tanque, 27.75 metros se encuentra apoyados sobre la fundación y el resto sobre el anillo. Reemplazando los valores en la ecuación 1 se obtiene:

$$I = 17.5 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 27.5^2 = 10\,584.09 \text{ mA} \approx 11 \text{ A}$$

Debido a que los tanques se encuentran a temperatura ambiente, no se requiere de una corrección por temperatura.

Tabla 20: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento de agua desmineralizada

Tanque	Diámetro	I Requerida
10GHC11 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	12.1 A
10GHC12 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	12.1 A

Fuente: Elaboración propia

Aplicando un factor de seguridad del 10%, el requerimiento de corriente para los tanques será de 12.1 amperios como se muestra en la tabla 20.

c) Para tanques de diésel tratado

De los 17.07 metros de diámetro del tanque, 16.47 metros se encuentra apoyados sobre la fundación y el resto sobre el anillo. Reemplazando los valores en la ecuación 1 se obtiene:

$$I = 17.5 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 16.47^2 = 3\,728.3 \text{ mA} \approx 3.4 \text{ A}$$

Debido a que los tanques se encuentran a temperatura ambiente, no se requiere de una corrección por temperatura. Aplicando un factor de seguridad del 10%, el requerimiento de corriente para los tanques será de 4 amperios como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21: Requerimiento de corriente para los tanques de almacenamiento del Diésel No Tratado

Tanque	Diámetro	I Requerida
10EGB51 BB001	17.07 m (16.47 m sobre el terreno)	4 A
10EGB52 BB001	17.07 m (16.47 m sobre el terreno)	4 A

Fuente: Elaboración propia

4.3.8 Longitud Mínima de Ánodos para Protección del Tanque

a) Para tanques de diésel no tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 2, se obtiene una longitud de 223.75 metros de cinta anódica requerida para cada tanque de diésel no tratado como se observa en la tabla 22.

$$L_m = \frac{(13.2 \text{ A}) \cdot 1000}{59 \text{ mA/m}} = 223.75 \text{ m}$$

b) Para tanques de agua desmineralizada

Reemplazando los valores en la ecuación 2, se obtiene una longitud de 205.1 metros de cinta anódica requerida para cada tanque de agua desmineralizada como se observa en la tabla 23.

$$L_m = \frac{(12.1 \text{ A}) \times 1000}{59 \text{ mA/m}} = 205.01 \text{ m}$$

c) Para tanques de diésel tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 2, se obtiene una longitud de 67.8 metros de cinta anódica requerida para cada tanque e diésel tratado como se observa en la tabla 24.

$$L_m = \frac{(4 \text{ A}) \times 1000}{59 \text{ mA/m}} = 67.8 \text{ m}$$

Tabla 22: Longitud de ánodo requerida para tanques de diésel no tratado

Tanque	I Requerida (A)	Longitud mínima (m)
10EGB11 BB001	13.2 A	223.75
10EGB12 BB001	13.2 A	223.75
10EGB13 BB001	13.2 A	223.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Longitud de ánodo requerida para tanques de agua desmineralizada

Tanque	I Requerida (A)	Longitud mínima (m)
10GHC11 BB001	12.1 A	205.1
10GHC12 BB001	12.1 A	205.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Longitud de ánodo requerida para tanques de diésel tratado

Tanque	I Requerida (A)	Longitud mínima (m)
10EGB51 BB001	4 A	67.8
10EGB52 BB001	4 A	67.8

Fuente: Elaboración propia

4.3.9 Separación entre Ánodos

Se desarrollara para cada tipo de tanque.

a) Para tanques de diésel no tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 3, la máxima separación entre ánodos será de 1.385 metros.

$$S = 2 \times 0.4\text{m} \times \tan(60^\circ) = 1.385 \text{ m}$$

En vista que 1.385 metros no es múltiplo del diámetro del tanque, se requiere que los ánodos sean homogéneamente distribuidos sobre el fondo, por ello se determina

el múltiplo más cercano a la separación, el cual consiste de 1.4 metros, siendo este último el distancia de separación entre ánodo como se observa en la tabla 25.

Tabla 25: Separación entre ánodos para tanques de diésel no tratado

Tanque	Diámetro del fondo (m)	Separación entre ánodos (m)
10EGB11 BB001	30 m (29,4 m sobre el terreno)	1,4
10EGB12 BB001	30 m (29,4 m sobre el terreno)	1,4
10EGB13 BB001	30 m (29,4 m sobre el terreno)	1,4

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 4, el número de cintas será de 21 ánodos.

$$N_a = \frac{D}{S} = \frac{29.4 \text{ m}}{1.4 \text{ m}} = 21 \text{ ánodos}$$

b) Para tanques de agua desmineralizada

Reemplazando los valores en la ecuación 3, la máxima separación entre ánodos será de 1.385 metros.

$$S = 2 \times 0.4 \text{ m} \times \tan(60^\circ) = 1.385 \text{ m}$$

En vista que 1.38 metros no es múltiplo del diámetro del tanque, se requiere que los ánodos sean homogéneamente distribuidos sobre el fondo, por ello se determina el múltiplo más cercano a la separación, el cual consiste de 1.387 metros, siendo este último el distancia de separación entre ánodo como se observa en la tabla 26.

Tabla 26: Separación de los ánodos para tanques de agua desmineralizada

Tanque	Diámetro del fondo (m)	Separación entre ánodos (m)
10GHC11 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	1.387
10GHC12 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	1.387

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 4, el número de cintas será de 20 ánodos.

$$N_a = \frac{D}{S} = \frac{27.75 \text{ m}}{1.387 \text{ m}} = 20 \text{ ánodos}$$

c) Para tanques de diésel tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 3, la máxima separación entre ánodos será de 1.385 metros.

$$S = 2 \times 0.4 \text{ m} \times \tan(60^\circ) = 1.385 \text{ m}$$

En vista que 1.38 metros no es múltiplo del diámetro del tanque, se requiere que los ánodos sean homogéneamente distribuidos sobre el fondo, por ello se determina el múltiplo más cercano a la separación, el cual consiste de 1.372 metros, siendo este último el distancia de separación entre ánodo como se observa en la tabla 27.

Tabla 27: Separación entre ánodos para tanques de diésel tratado

Tanque	Diámetro del fondo (m)	Separación entre ánodos (m)
10EGB51 BB001	17,07 m (16,47 m sobre el terreno)	1,372
10EGB52 BB001	17,07 m (16,47 m sobre el terreno)	1,372

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 4, el número de cintas será de 12 ánodos.

$$N_a = \frac{D}{S} = \frac{16.47 \text{ m}}{1.372 \text{ m}} = 12 \text{ ánodos}$$

4.3.10 Longitud de Ánodos Requerido por Geometría

a) Para tanques de diésel no tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 5 para cada una de las veintiuno cintas anódicas.

$$L_i = 2 \times \sqrt{14.7^2 - (14.7 - \sum 1.385)^2}$$

La longitud total de cinta se obtiene a sumar todos los tramos individuales. En total se requieren 487 metros de cinta como se observa en la tabla 28. Comparando la longitud por geometría con la longitud por requerimiento de corriente, se acredita

que la longitud de ánodo por geometría garantizara la protección del tanque para los 30 años de vida útil.

Tabla 28: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de los tanques de diésel no tratado

Ítem (i)	Separación (m)	Longitud de la Cinta (m)
1	0.7	8.96
2	1.4	15.14
3	1.4	19.04
4	1.4	21.91
5	1.4	24.13
6	1.4	25.85
7	1.4	27.18
8	1.4	28.17
9	1.4	28.86
10	1.4	29.27
11	1.4	29.4
12	1.4	29.27
13	1.4	28.86
14	1.4	28.17
15	1.4	27.18
16	1.4	25.85
17	1.4	24.13
18	1.4	21.91
19	1.4	19.04
20	1.4	15.14
21	1.4	8.96
	Longitud total	487

Fuente: Elaboración propia

b) Para tanques de agua desmineralizada

Reemplazando los valores en la ecuación 5 para cada una de las veintiuno cintas anódicas.

$$L_i = 2 \times \sqrt{13.875^2 - (13.875 - \sum 1.385)^2}$$

La longitud total de cinta se obtiene a sumar todos los tramos individuales. En total se requieren 438 metros de cinta como se observa en la tabla 29. Comparando la longitud por geometría con la longitud por requerimiento de corriente, se acredita que la longitud de ánodo por geometría garantizara la protección del tanque para los 30 años de vida útil.

Tabla 29: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de los tanques de agua desmineralizada

Ítem (i)	Separación (m)	Longitud de la Cinta (m)
1	0.69	8.7
2	1.39	14.6
3	1.39	18.4
4	1.39	21.1
5	1.39	23.2
6	1.39	24.8
7	1.39	26.00
8	1.39	26.9
9	1.39	27.4
10	1.39	27.7
11	1.39	27.7
12	1.39	27.4
13	1.39	26.9
14	1.39	26.0
15	1.39	24.8
16	1.39	23.2
17	1.39	21.1
18	1.39	18.4
19	1.39	14.6
20	1.39	8.7
Longitud total		438

Fuente: Elaboración propia

c) Para tanques de diésel tratado

Reemplazando los valores en la ecuación 5 para cada una de las veintiuno cintas anódicas.

$$L_i = 2 \times \sqrt{8.235^2 - (8.235 - \sum 1.385)^2}$$

La longitud total de cinta se obtiene a sumar todos los tramos individuales. En total se requieren 157 metros de cinta como se observa en la tabla 30. Comparando la longitud por geometría con la longitud por requerimiento de corriente, se acredita que la longitud de ánodo por geometría garantizara la protección del tanque para los 30 años de vida útil.

Tabla 30: Longitud de cada cinta anódica sobre el fondo de diésel tratado

Ítem (i)	Separación (m)	Longitud de la Cinta (m)
1	0.69	6.58
2	1.37	10.89
3	1.37	13.38
4	1.37	14.97
5	1.37	15.95
6	1.37	16.41
7	1.37	16.41
8	1.37	15.95
9	1.37	14.97
10	1.37	13.38
11	1.37	10.89
12	1.37	6.58
	Longitud total	157

Fuente: Elaboración propia

4.3.11 Número y Longitud de la Barras Conductoras

a) Para tanques de diésel no tratado

Tomando como base una separación entre barras conductoras de 9,8 metros, y

reemplazando los valores en la ecuación 6, la relación anteriormente descrita se convierte en:

$$\frac{0.48 \frac{\text{ohm}}{\text{m}} \cdot 4.9 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m}}{2 \cdot 200 \text{ ohm.m}} \ll 1 \qquad 0.0023 \ll 1$$

Por lo que se puede considerar que la caída óhmica sobre los ánodos y la barra conductora no afecta la distribución de corriente y por ende, la separación de 9.8 metros entre las barras es viable para el diseño. Se observa esquemáticamente la ubicación de los ánodos y las barras conductoras con una separación de 9.8 metros entre ellas y una separación de 4.9 metros entre las barras excéntricas con el borde del tanque. Adicionalmente se ha incluido dos barras conductoras horizontal (Bv1 y Bv2) la cual actúa como reserva en el caso que ocurra algún daño causado sobre el sistema como se observa en la figura 18.

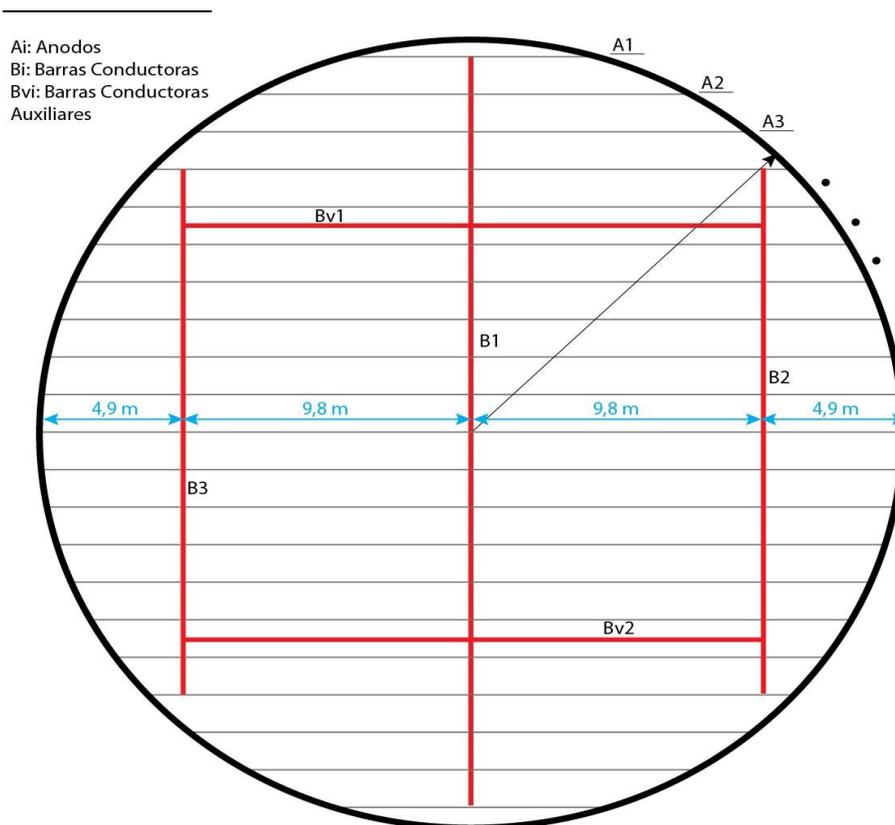


Figura 18: Distribución de los ánodos y las barras conductoras en el tanque de diesel no tratado

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

La longitud final de las barras conductoras se lista en la Tabla 31, y la longitud de barra conductora requerida para cada tanque se obtiene en la Tabla 32.

Tabla 31: Longitud de las barras conductoras

Barra conductora	Longitud (m)
B1	28
B2	19.6
B3	19.6
Bv1	19.6
Bv2	19.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Longitud de barra conductora para cada tanque de almacenamiento de diésel no tratado

Tanque	Diámetro del Fondo (m)	Longitud de barra (m)
10EGB11 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	107
10EGB12 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	107
10EGB13 BB001	30 m (29.4 m sobre el terreno)	107

Fuente: Elaboración propia

b) Para tanques de agua desmineralizada

Tomando como base una separación entre barras conductoras de 9,25 metros, y reemplazando los valores en la ecuación 6, la relación anteriormente descrita se convierte en:

$$\frac{0.48 \frac{\text{ohm}}{\text{m}} \cdot 4.625 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m}}{2 \cdot 200 \text{ ohm.m}} \ll 1 \qquad 0.0022 \ll 1$$

Por lo que se puede considerar que la caída óhmica sobre los ánodos y la barra conductora no afecta la distribución de corriente y por ende, la separación de 9.25 metros entre las barras es viable para el diseño. Se observa esquemáticamente la ubicación de los ánodos y las barras conductoras con una separación de 9.25 metros entre ellas y una separación de 4.62 metros entre las barras excéntricas con el borde del tanque.

Adicionalmente se ha incluido dos barras conductoras horizontal (Bv1 y Bv2) la cual actúa como reserva en el caso que ocurra algún daño causado sobre el sistema como se observa en la figura 19.

La longitud final de las barras conductoras se lista en la Tabla 33, y la longitud de barra conductora requerida para cada tanque se obtiene en la Tabla 34.

Tabla 33: Longitud de las barras conductoras

Barra conductora	Longitud (m)
B1	26.3
B2	19
B3	19
Bv1	18.5
Bv2	18.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Longitud de Barra Conductora para cada tanque de almacenamiento de Agua Desmineralizada

Tanque	Diámetro del Fondo (m)	Longitud de barra (m)
10GHC11 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	101.3
10GHC12 BB001	28.35 m (27.75 m sobre el terreno)	101.3

Fuente: Elaboración propia

c) Para tanques de diésel tratado

Tomando como base una separación entre barras conductoras de 5,5 metros, y reemplazando los valores en la ecuación 6, la relación anteriormente descrita se convierte en:

$$\frac{0.48 \frac{\text{ohm}}{\text{m}} \cdot 2.75 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m}}{2 \cdot 200 \text{ ohm.m}} \ll 1 \qquad 0.0013 \ll 1$$

Por lo que se puede considerar que la caída óhmica sobre los ánodos y la barra conductora no afecta la distribución de corriente y por ende, la separación de 5.5 metros entre las barras es viable para el diseño. Se observa esquemáticamente la ubicación de los ánodos y las barras conductoras con una separación de 5.5 metros entre ellas y una separación de 2.75 metros entre las barras excéntricas con el borde

del tanque. Adicionalmente se ha incluido dos barras conductoras horizontal (Bv1 y Bv2) la cual actúa como reserva en el caso que ocurra algún daño causado sobre el sistema como se observa en la figura 20.

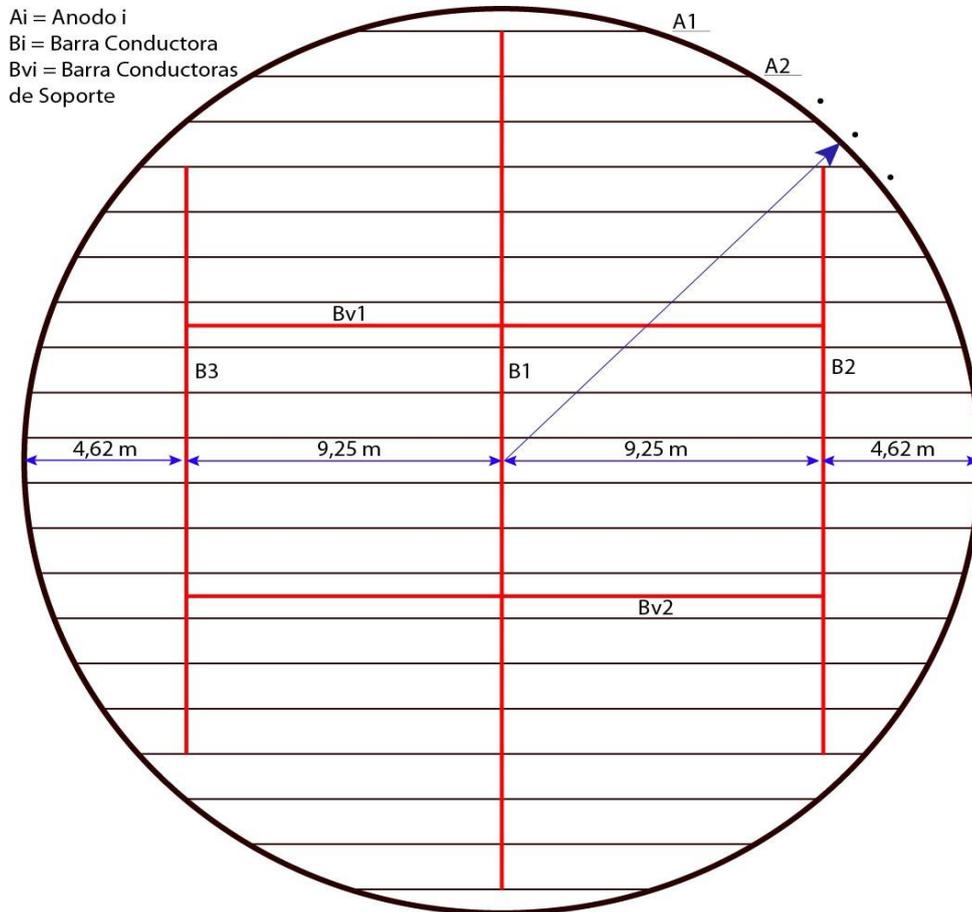


Figura 19: Distribucion de los anodos y las barras conductoras en el tanque de agua desmineralizada

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

La longitud final de las barras conductoras se lista en la Tabla 35, y la longitud de barra conductora requerida para cada tanque se obtiene en la Tabla 36.

Tabla 35: Longitud de las barras conductoras

Barra conductora	Longitud (m)
B1	15.1
B2	9.6
B3	9.6
Bv1	11
Bv2	11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Longitud de barra conductora para cada tanque de almacenamiento de diésel tratado

Tanque	Diámetro del Fondo (m)	Longitud de barra (m)
10EGB51 BB001	17.07 m (16.47 m sobre el terreno)	56.3
10EGB52 BB001	17.07 m (16.47 m sobre el terreno)	56.3

Fuente: Elaboración propia

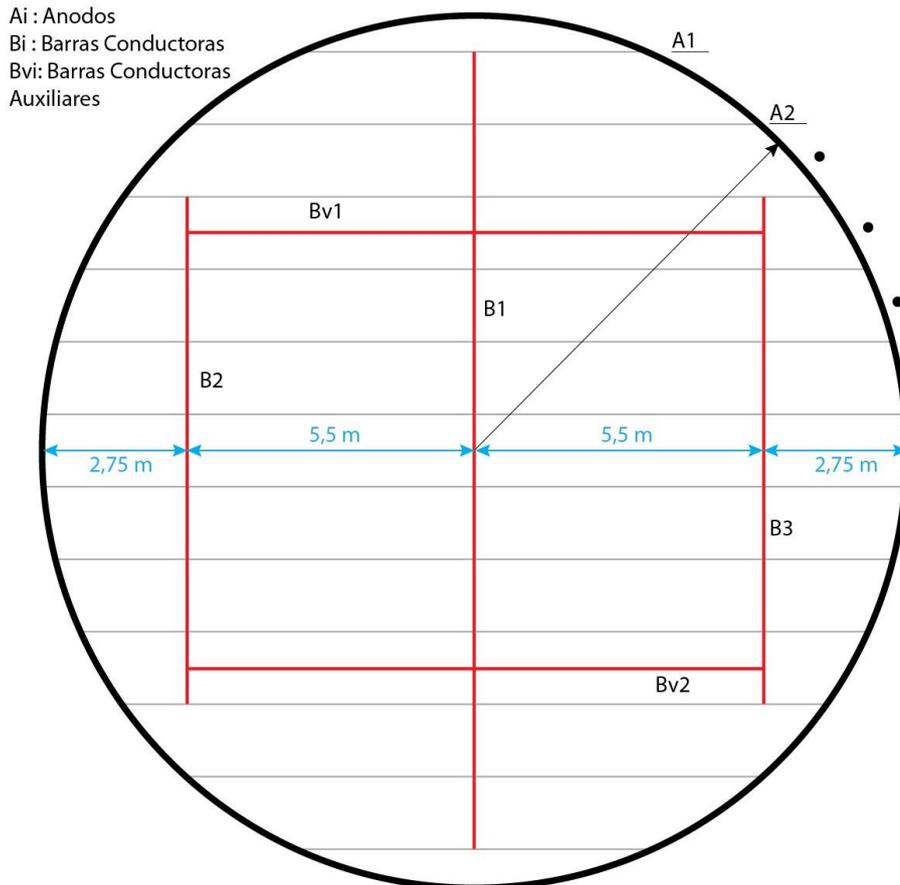


Figura 20: Distribución de los ánodos y las Barras conductoras en el tanque de diésel tratado

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

4.3.12 Número de Cables Alimentadores “power feeds”

Los Power Feed serán soldados a la barra usando soldadura de punto.

La longitud de cada uno de los cables de los Cables Alimentadores depende de la ubicación sobre la malla grid, la forma de tendido del cable sobre la malla, la ubicación de la caja de positivos y la ubicación de la tubería de paso sobre el anillo de concreto en relación a la configuración de la malla. Para evitar la formación de uniones sobre el

cable de power feed se ha adicionado una longitud al cable, de tal forma que abarque el diámetro total del tanque. En la Tabla 37 se muestra las longitudes de los Cables Alimentadores para el sistema grid para los tanques de diésel tratado y no tratado mientras que en la tabla 38 se encuentran los de diese tratado. En la figura 21 se observa la ubicación de los power feeds para todos los tanques.

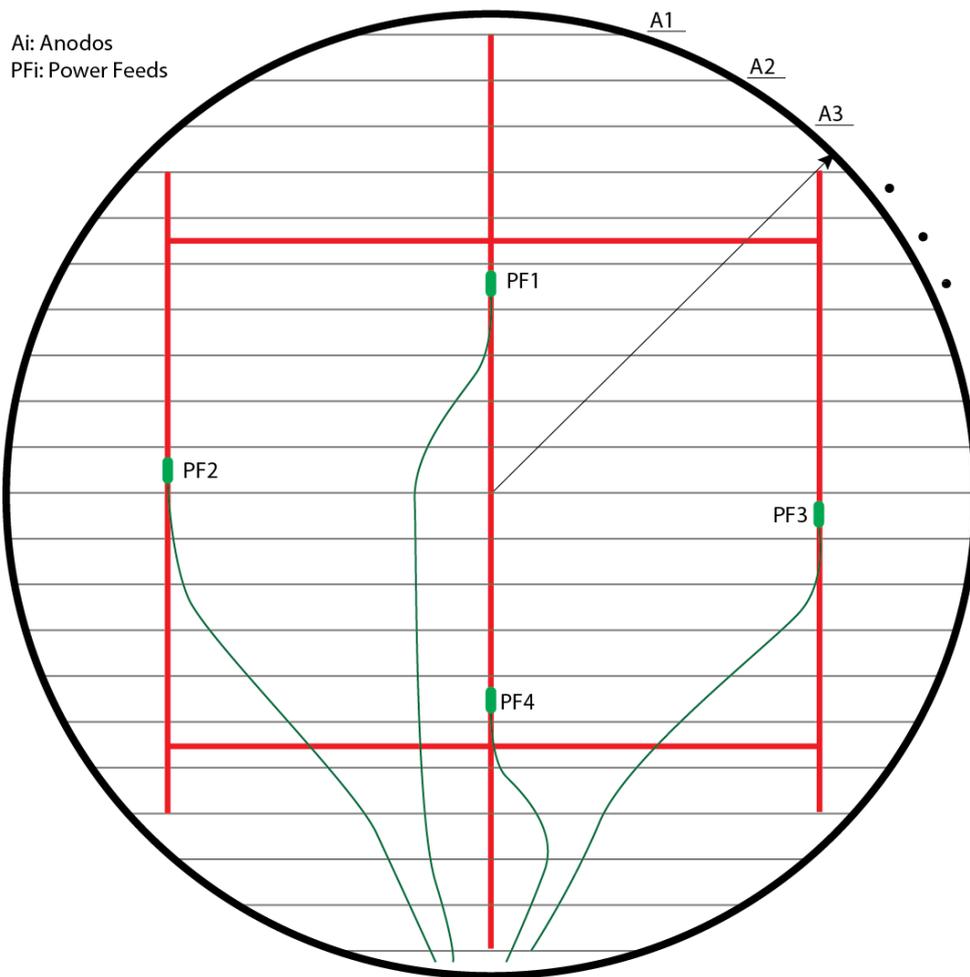


Figura 21: Ubicación de los power feeds sobre la malla grid

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

Tabla 37: Longitud de los cables para los power feed para los tanques de diésel no tratado y agua desmineralizada

Cables alimentadores	Longitud (m)
PF1	35
PF2	35
PF3	21.9
PF4	21.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 Longitud de los cables para los power feed para los tanques de diésel tratado

Cables alimentadores	Longitud (m)
PF1	21.9
PF2	21.9
PF3	14

Fuente: Elaboración propia

4.3.13 Número de Celdas de Referencia

Para el monitoreo adecuado de los niveles de protección catódica del fondo del tanque se instala cuatro celdas de referencia ubicadas a una separación de:

- Para los tanques de diésel no tratado a 3.67 metros en relación al radio.
- Para los tanques de agua desmineralizada a 3.46 metros en relación al radio.
- Para los tanques de diésel tratado a 2 metros en relación al radio.

La primera celda CR1 se ubica en el centro del tanque y las demás se ubicaran a la separación descrita anteriormente y en la mitad de separación entre ánodos, de tal forma que se pueda monitorear los sitios donde se recibe menos densidad de corriente como se observa en la figura 22.

4.3.14 Resistencia de los Ánodos

Reemplazando los valores hallados anteriormente en la ecuación 7, la resistencia de la cama anódica es:

a) Para tanques de diésel no tratado

$$R = \frac{200 \text{ ohm.m} \cdot 0.4 \text{ m}}{487 \text{ m} (1.4 \text{ m} - 0.0127 \text{ m})} \ln \left(\frac{1.4 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} \right) = 0.55 \text{ ohm}$$

b) Para tanques de agua desmineralizada

$$R = \frac{200 \text{ ohm.m} \cdot 0.4 \text{ m}}{438 \text{ m} (1.38 \text{ m} - 0.0127 \text{ m})} \ln \left(\frac{1.38 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} \right) = 0.62 \text{ ohm}$$

c) Para tanques de diésel tratado

$$R = \frac{200 \text{ ohm.m} \cdot 0.4 \text{ m}}{157 \text{ m} (1.37 \text{ m} - 0.0127 \text{ m})} \ln \left(\frac{1.37 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} \right) = 1.75 \text{ ohm}$$

Ai: Anodos
CRi: Celdas de Referencia

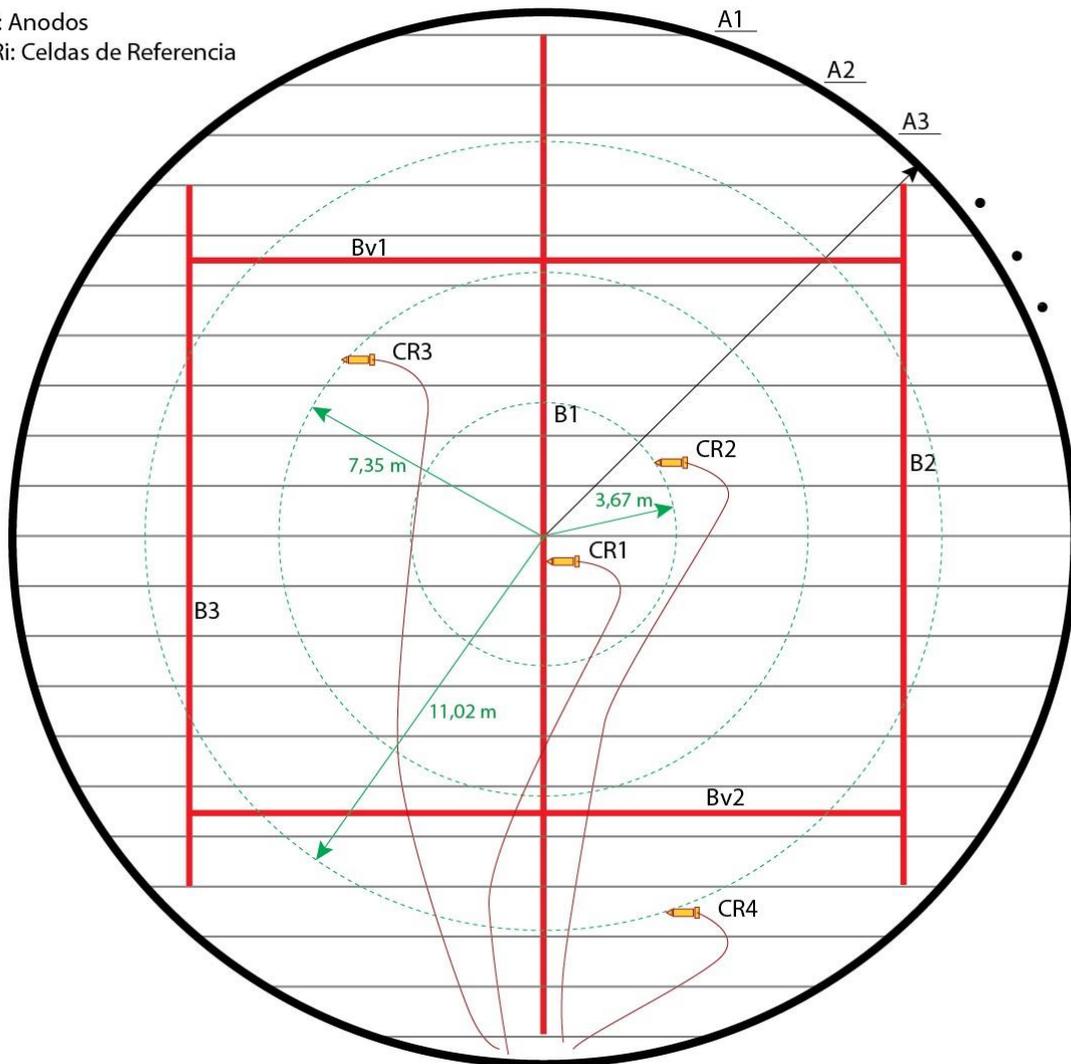


Figura 22: Ubicación de las celdas de referencia en el fondo del Tanque

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

4.3.15 Capacidad del Rectificador

La resistencia de los power feed se puede determinar a partir de la resistencia lineal de los cables, y debido a que estos se encuentran en paralelo, la resistencia equivalente será la resistencia neta a vencer.

a) Para tanques de diésel no tratado

El voltaje requerido por el rectificador de protección catódica debe ser capaz de vencer la resistencia de los ánodos, así como las resistencias de los cables de los

power feed, el cable positivo y negativo más la resistencia propia de los ánodos y las barras conductoras.

En la tabla 39 se muestra la resistencia neta de cada uno de los power feed con la resistencia equivalente al final.

Tabla 39: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de diésel no tratado

Power feed	Resistencia lineal (ohm/m)	Longitud (m)	Resistencia neta
PF1	0.00209	35	0.07315
PF2	0.00209	35	0.07315
PF3	0.00209	21.9	0.045771
PF4	0.00209	21.9	0.045771
Resistencia equivalente (ohm)			0.0140772

Fuente: Elaboración propia

La resistencia de los cables positivo y negativo depende de la distancia entre la caja de positivos y el rectificador. Tomando como base una longitud de 100 metros, la resistencia de los cables se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40: Resistencia de del cable positivo y negativo para tanques de diésel no tratado

Cable	Calibre	Longitud	Resistencia lineal (ohm/m)	Resistencia Neta (ohm)
Positivo	AWG #4	100	0.00083	0.083
Negativo	AWG #4	100	0.00083	0.083

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño propuesto, cada Cable Alimentador cubre en promedio 6 cintas anódicas para una longitud igual a la separación entre las cintas. Reemplazando los valores en la ecuación 8, la resistencia de los ánodos y las barras conductoras será:

$$R_a = \frac{4.9 \text{ m} \cdot 0.48 \text{ ohm/m}}{4 \cdot 6} + \frac{0.7 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ ohm/m} \cdot 6}{4} = 0.14 \text{ ohm}$$

La resistencia equivalente para los cuatro sectores será la resistencia individual dividida en cuatro, siendo 0,035 ohm para el caso descrito.

Al sumar todas las resistencias se obtiene la resistencia total del circuito al reemplazar los valores en la ecuación 9.

$$R_t = 0.55 \text{ ohm} + 0.014 \text{ ohm} + 0.035 \text{ ohm} + (2 \times 0.083 \text{ ohm}) = 0.76 \text{ ohm}$$

A partir del requerimiento de corriente descrito, el voltaje requerido para vencer la resistencia neta del circuito se determina de la ley de ohms reemplazando los valores en la ecuación 10.

$$V = 13.2 \text{ A} \times 0.76 \text{ ohm} = 10.03 \text{ V} \approx 10 \text{ V}$$

Además, como los ánodos de MMO presentan un potencial más electropositivo que el acero, se requiere de 2 voltios adicionales para compensar este fenómeno. En total, 12 voltios de corriente DC son necesarios para el sistema de protección catódica. Usando un factor de seguridad de 20%, se requiere de un voltaje final de 15 voltios.

Al momento de iniciar el sistema de protección catódica, es necesario suministrar una corriente mayor para reducir químicamente el oxígeno y elementos corrosivos presente en la fundación. El tiempo para lograr la protección total del tanque puede variar entre días a meses y por tanto se requiere que el rectificador posea la capacidad de suministrar esta corriente mayor.

Tabla 41: Características del rectificador de protección catódica para tanques de diésel no tratado

Características	Valor
Voltaje AC	480 V
Corriente AC	2.83 A
Voltaje DC	24 V
Corriente DC	28 A
Potencia Máxima	1296 W
Temperatura	30 a 60°C (Temperatura máxima del sector a instalar)
Enfriamiento	Aire

Fuente: Elaboración propia

Asumiendo una capacidad de corriente al inicio del sistema de 50% más de la requerida para proteger el tanque, el voltaje de sistema para alcanzar esta corriente debe ser de 24 voltios.

En la tabla 41 se podrá observar las características del rectificador de protección catódica requerido.

b) Para tanques de agua desmineralizada

El voltaje requerido por el rectificador de protección catódica debe ser capaz de vencer la resistencia de los ánodos, así como las resistencias de los cables de los power feed, el cable positivo y negativo más la resistencia propia de los ánodos y las barras conductoras.

En la Tabla 42 se muestra la resistencia neta de cada uno de los power feed con la resistencia equivalente al final.

Tabla 42: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de agua desmineralizada

Power feed	Resistencia lineal (ohm/m)	Longitud (m)	Resistencia neta
PF1	0.00209	35	0.07315
PF2	0.00209	35	0.07315
PF3	0.00209	21.9	0.045771
PF4	0.00209	21.9	0.045771
Resistencia equivalente (ohm)			0.0140772

Fuente: Elaboración propia

La resistencia de los cables positivos y negativos depende de la distancia entre la caja de positivos y el rectificador. Tomando como base una longitud de 100 metros, la resistencia de los cables se muestra en la tabla 43.

Tabla 43: Resistencia del cable positivo y negativo del power feeds para tanques de agua desmineralizada

Cable	Calibre	Longitud	Resistencia lineal (ohm/m)	Resistencia Neta (ohm)
Positivo	AWG #4	100	0.00083	0.083
Negativo	AWG #4	100	0.00083	0.083

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño propuesto, cada Cable Alimentador cubre en promedio 5 cintas anódicas para una longitud igual a la separación entre las cintas. Reemplazando los valores en la ecuación 8, la resistencia de los ánodos y las barras conductoras será:

$$R_a = \frac{4.625 \text{ m} \cdot 0.48 \text{ ohm/m}}{4 \cdot 5} + \frac{0.69 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ ohm/m} \cdot 5}{4} = 0.145 \text{ ohm}$$

La resistencia equivalente para los cuatro sectores será la resistencia individual dividida en cuatro, siendo 0.036 ohm para el caso descrito.

Al sumar todas las resistencias se obtiene la resistencia total del circuito al reemplazar los valores en la ecuación 9.

$$R_t = 0.62 \text{ ohm} + 0.014 \text{ ohm} + 0.036 \text{ ohm} + (2 \times 0.083 \text{ ohm}) = 0.83 \text{ ohm}$$

A partir del requerimiento de corriente, el voltaje del requerido para vencer la resistencia neta del circuito se determina de la ley de ohm reemplazando los valores en la ecuación 10.

$$V = 12.1 \text{ A} \times 0.83 \text{ ohm} = 10.04 \text{ V} \approx 10 \text{ V}$$

Además, como los ánodos de MMO presentan un potencial más electropositivo que el acero, se requiere de 2 voltios adicionales para compensar este fenómeno. En total, 12 voltios de corriente DC son necesarios para el sistema de protección catódica. Usando un factor de seguridad de 20%, se requiere de un voltaje final de 15 voltios.

Al momento de iniciar el sistema de protección catódica, es necesario suministrar una corriente mayor para reducir químicamente el oxígeno y elementos corrosivos presente en la fundación. El tiempo para lograr la protección total del tanque puede variar entre días a meses y por tanto se requiere que el rectificador posea la capacidad de suministrar esta corriente mayor.

Asumiendo una capacidad de corriente al inicio del sistema de 50% más de la requerida para proteger el tanque, el voltaje de sistema para alcanzar esta corriente es equivalente a 22 voltios.

En la tabla 44 se podrá observar las características del rectificador de protección catódica requerido.

Tabla 44: Características del rectificador de protección catódica tanques de agua desmineralizada

Características	Valor
Voltaje AC	480 V
Corriente AC	2.83 A
Voltaje DC	22 V
Corriente DC	28 A
Potencia Máxima	1296 W
Temperatura	30 a 60°C (Temperatura máxima del sector a instalar)
Enfriamiento	Aire

Fuente: Elaboración propia

Para cada tanque se requiere de un rectificador de las características descritas anteriormente.

c) Para tanques de diésel tratado

El voltaje requerido por el rectificador de protección catódica debe ser capaz de vencer la resistencia de los ánodos, así como las resistencias de los cables de los power feed, el cable positivo y negativo más la resistencia propia de los ánodos y las barras conductoras.

En la Tabla 45 se muestra la resistencia neta de cada uno de los power feed con la resistencia equivalente al final.

Tabla 45: Resistencia equivalente de los cuatro power feeds para tanques de diésel tratado

Power feed	Resistencia lineal (ohm/m)	Longitud (m)	Resistencia neta
PF1	0.00209	21.9	0.0457
PF2	0.00209	21.9	0.0457
PF3	0.00209	14	0.0292
Resistencia equivalente (ohm)			0.01281

Fuente: Elaboración propia

La resistencia de los cables positivos y negativos depende de la distancia entre la caja de positivos y el rectificador. Tomando como base una longitud de 100 metros, la resistencia de los cables se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46: Resistencia de del cable positivo y negativo para tanques de diésel tratado

Cable	Calibre	Longitud	Resistencia lineal (ohm/m)	Resistencia Neta (ohm)
Positivo	AWG #4	100	0,00083	0,083
Negativo	AWG #4	100	0,00083	0,083

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño propuesto, cada Cable Alimentador cubre en promedio 9 cintas anódicas para una longitud igual a la separación entre las cintas. Reemplazando los valores en la ecuación 8, la resistencia de los ánodos y las barras conductoras será:

$$R_a = \frac{2.75 \text{ m} \cdot 0.48 \text{ ohm/m}}{4 \cdot 9} + \frac{0.685 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ ohm/m} \cdot 9}{4} = 0.09 \text{ ohm}$$

La resistencia equivalente para los tres sectores será la resistencia individual dividida en tres, siendo 0.025 ohm para el caso descrito.

Al sumar todas las resistencias se obtiene la resistencia total del circuito al reemplazar los valores en la ecuación 9.

$$R_t = 1.75 \text{ ohm} + 0.0128 \text{ ohm} + 0.025 \text{ ohm} + (2 \times 0.083 \text{ ohm}) = 1.95 \text{ ohm}$$

A partir del requerimiento de corriente, el voltaje del requerido para vencer la resistencia neta del circuito se determina de la ley de ohms reemplazando los valores en la ecuación 10.

$$V = 4 \text{ A} \times 1.95 \text{ ohm} = 7.8 \text{ V} \approx 8 \text{ V}$$

Además, como los ánodos de MMO presentan un potencial más electropositivo que el acero, se requiere de 2 voltios adicionales para compensar este fenómeno. En total, 10 voltios de corriente DC son necesarios para el sistema de protección catódica. Usando un factor de seguridad de 20%, se requiere de un voltaje final de 12 voltios.

Al momento de iniciar el sistema de protección catódica, es necesario suministrar una corriente mayor para reducir químicamente el oxígeno y elementos corrosivos presente en la fundación. El tiempo para lograr la protección total del tanque puede

variar entre días a meses y por tanto se requiere que el rectificador posea la capacidad de suministrar esta corriente mayor.

Asumiendo una capacidad de corriente al inicio del sistema de 50% más de la requerida para proteger el tanque, el voltaje de sistema para alcanzar esta corriente debe ser el doble, equivalente a 18 voltios.

En la tabla 47 se podrá observar las características del rectificador de protección catódica requerido.

Tabla 47: Características del rectificador de protección catódica para tanques de diésel no tratado

Características	Valor
Voltaje AC	480 V
Corriente AC	1.05 A
Voltaje DC	18 V
Corriente DC	16 A
Potencia Máxima	480 W
Temperatura	30 a 60°C (Temperatura máxima del sector a instalar)
Enfriamiento	Aire

Fuente: Elaboración propia

Para cada tanque de diésel no tratado se requiere de un rectificador de las características descritas.

4.3.16 Tubería de Monitoreo

La tubería se instala encima la malla grid y debe poseer agujeros pasantes sobre el anillo de concreto del fondo de tal forma que sea posible insertar una celda de referencia la cual pueda viajar sobre toda la longitud del tubo como se observa en la figura 23.

Para establecer la conexión eléctrica entre la tubería y el fondo, se requiere que la tubería sea perforada con agujeros de 1/16" de diámetro distribuidos sobre toda la superficie.

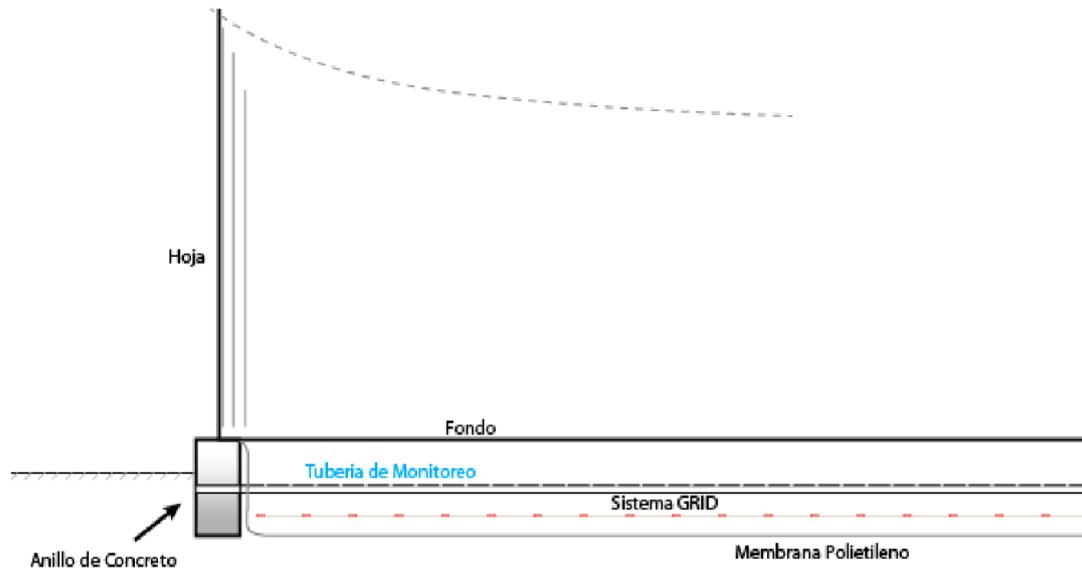


Figura 23: Ubicación de la tubería de monitoreo en la fundación para todos los tanques.

Fuente: (Tecnaperu, 2012)

En el anexo 2 se encontrara planos finales de los sistemas de protección catódica para los 3 tipos de sistema por tipo de tanque según su diámetro.

4.3.17 Instrucciones para la instalación del sistema de protección catódica por malla grid

a) Tuberías

Se instalan una o dos tuberías de entre 2"y 3" de PVC o metálicas como pasa muros para la conducción de los cables negativo y positivo. La profundidad de instalación de la tubería debe ser aproximadamente 0.8 metros como se observa en la figura 24. De la misma forma, debe ser instalada una tubería pasa-muros antes del vertimiento del concreto para el anillo del tanque y finalmente se prepara el dique.



Figura 24: Instalación de tuberías

Fuente: Elaboración propia

b) Barra conductora

Luego de construir el anillo de concreto y la geomembrana este correctamente instalada, se aplicara arena y deja a una distancia de 0.03 a 0.05 metros sobre la membrana. Se coloca las barras conductoras de manera continua sin dañar la cinta. Se mantiene la cinta anódica en su sitio con herramientas no metálicas y suaves. Luego se suelda la barra central a cada una de las barras conductoras en cuatro puntos como mínimo como se observa en la figura 25.

c) Cinta anódica de mmo

Tienda la cinta anódica de Titanio, soldar cada cinta anódica a las barras conductoras a dos puntos como mínimo.

Al soldar la cinta anódica y la barra conductora en dos puntos conectados entre sí el resultado de la instalación del sistema de tipo malla grid, será la parte vital para el buen funcionamiento del sistema grid; por lo que es de vital importancia verificar el correcto ajuste del equipo de soldadura. Por más que sea suficiente con solo una soldadura entre la barra y la cinta, mecánicamente, se recomienda unirlo por dos puntos de soldadura como se observa en la figura 26.



Figura 25: Soldadura entre barras conductoras

Fuente: Elaboración propia



Figura 26: Soldadura de barra conductora y cinta anódica

Fuente: Elaboración propia

d) Cables alimentadores “power feed”

Se instalan los cables alimentadores para el sistema. El largo de los cables alimentadores es extensos para que alcance a la caja de conexiones sin uniones ni empalmes. Se colocan los cables alimentadores por encima de las cintas anódicas y barras conductoras.

La unión del cable alimentador se realiza siempre a una barra conductora y no a un ánodo; dependiendo del tamaño de la circunferencia del tanque debe priorizarse instalar uno en el centro y los otros distribuidos en los bordes internos del fondo de tanque; ya que es necesario instalar también barras que conduzcan corriente en forma paralelas a los ánodos. Las soldaduras se realizan cada 0.75” a lo largo de la lámina de titanio que es parte del cable que alimenta corriente; para controlar el movimiento de esta lámina, se utilizara alicates de presión.



Figura 27: Instalación de “power feed”

Fuente: Elaboración propia

e) **Electrodos de referencia**

Antes de ser instalados, los electrodos de referencia fijos son probados junto con la zona semipermeable con la punta de material cerámico de un electrodo portátil cloruro sulfato de cobre (CSE) que se encuentre calibrado y así poder medir la caída de voltaje entre los dos electrodos.

Si el valor absoluto de la lectura no supera los 10 mV, se considera el electrodo de referencia permanente apropiado para la instalación.

Se instalan los electrodos de referencia permanentes en la arena compactada entre 0.15 y 0.20 metros del fondo exterior del tanque. Los electrodos de referencia fijos serán ubicados de tal manera que lleven relación con la magnitud del diámetro y de acuerdo con los planos de construcción.

f) Conexiones de cable al tanque

En las planchas metálicas, se conecta el cable negativo No. 2 AWG o No.4 AWG HMWPE y el cable que se utiliza como referencia de la estructura No. 8 AWG HMWPE por medio de pernos de acero inoxidable apropiada para cada una de las perforaciones. El largo de los cables que se utilizan como referencia y negativo deben largos para que llegue a la caja de conexiones y al rectificador sin problema, sin empalmes ni uniones. Luego de fijar la instalación de los pernos, se aplica el revestimiento seleccionado. (Ver figura 27)

g) Cables DC

Se sujetan todos los cables del sistema e ir por el pasa muros del anillo de concreto, usando aditivos especiales para evitar daños en el recubrimiento de los cables. Al terminar de pasar los cables, se termina con trabajos de relleno con la arena sobre el sistema grid.

h) Tubería pasante del anillo de concreto

Todos los tubos pasantes instalados para el sistema de protección catódica y los cuales no sean usados para el paso de cables o la tubería de monitoreo, se sellan usando un tapón metálico galvanizado. Para asegurar la hermeticidad del sellado, se aplica una resina o un sellante tipo teflón sobre la rosca del tapón antes de su instalación.

i) **Pruebas preliminares**

Al completar el relleno del anillo de concreto y su compactación, se realizan las siguientes pruebas que aseguran la operatividad de los componentes de protección catódica.

- Resistencia entre alimentadores
- Verificación de resistencia eléctrica entre barras
- Verificación de Potenciales entre celdas
- Potencial Alimentadores – Celdas

Adicionalmente, en la instalación de las tuberías de proceso, de agua y espuma contra incendio y de control e instrumentación se verifican la utilización de juntas de aislamiento en caso de que aplique.

• **Mediciones de Resistencia Eléctrica:**

Las mediciones de resistencia eléctrica se hacen entre los cables alimentadores o power feed conectados al sistema grid. Primero, se registra el valor de la medida de la resistencia poniendo en contacto los dos cables de medida del multímetro, el cual debe ser menor a 0.5 Ohmios. Luego, se mide y registra la medida de la resistencia eléctrica entre todos y cada uno de los cables alimentadores, valores que deben estar alrededor de cinco Ohmios.

Valores superiores de las mediciones de resistencia eléctrica mostrados en el párrafo anterior son indicativos de discontinuidades en la malla y por lo tanto, de daños en el sistema de protección catódica que ameritan su inmediata reparación.

• **Mediciones con los Electrodo de Referencia:**

Adicionalmente, se mide y registra el valor de potencial entre cada uno de los electrodos de referencia permanente de sulfato de cobre y todos los cables alimentadores. El valor de potencial medido estará alrededor de los -250 y 500 mVCSE.

Valores diferentes a los especificados en el párrafo anterior son indicativos de discontinuidades en la malla y/o en los cables de alimentación, por lo tanto, de daño en el sistema de protección catódica que amerita su inmediata reparación.

j) Pruebas y puesta en marcha

Se realiza la inspección visual al sistema para confirmar que está instalado correctamente para luego medir la resistencia eléctrica entre cada uno de los cables alimentadores y el fondo del tanque; los valores de resistencia medidos deben estar dentro del orden de los kohm o más altos.

Antes de la puesta en marcha, es necesario tomar un registro de los valores de potencial natural con cada uno de los electrodos fijos de referencia instalados. Si el tanque no cuenta con una geo-membrana, se deben registrar por lo menos ocho valores de potencial natural alrededor del anillo de concreto partiendo desde el eje 0° hasta 315° de 45° en 45°.

Luego de realizar el registro, se activa la unidad rectificadora en la opción mínima. A medida que aumenta la salida de corriente de la unidad rectificadora, se debe continuar con el registro de las medidas de potencial y de corriente para cada electrodo y cables, respectivamente.

El ajuste definitivo del rectificador se realiza de tal forma que se cumpla con el criterio objetivo mediante la utilización de los electrodos de referencia permanentes. Después de doce horas de funcionamiento continuo del sistema se registra las siguientes medidas:

- El potencial obtenido en los electrodos de referencia con los del sistema estando este encendido.
- Potencial en los electrodos de referencia con el sistema de protección catódica interrumpido cíclicamente: 12 segundos on, 3 segundos off. Si el tanque no cuenta con una geo-membrana, se deben registrar por lo menos ocho valores de potencial

de polarización alrededor del anillo de concreto partiendo desde el eje 0° hasta 315° de 45° en 45°.

- Corriente de funcionamiento de los cables alimentadores dispuestos en la caja de conexiones.

k) Arena de relleno

La arena de relleno del anillo proviene de una cantera de peña o lavada de río. Su resistividad después de la compactación y antes de instalar el fondo no debe superar el valor utilizado para el diseño (rango típico entre 15.000 y 80.000 ohm-cm) y no debe contener grandes cantidades de iones Cloruros (> 500 ppm) y Sulfatos (> 800 ppm).

El relleno se coloca de forma que no se dañe la integridad del sistema. Luego se compactar el restante, siempre con cuidado de no dañar el conjunto de cables del sistema ni componentes.

La primera capa de arena sobre la malla se realizar de manera manual para evitar daños sobre la malla. Posterior a la liberación de la malla anódica por parte de personal de construcción de la cama, se debe realizar el relleno total de la fundación usando maquinaria de tamaño menor como se observa en la figura 28. Para compactar adecuadamente la arena se usa comúnmente agua en poca proporción, evitando acumulación excesiva de ésta.

La toma de resistividad de la arena final se ejecuta durante la humectación de ésta para la compactación. En caso de que la resistividad de la arena quede por fuera del rango estipulado en el diseño, se debe realizar una modificación a las características del rectificador acorde a las nuevas condiciones del terreno.

Posterior al tapado de la malla y antes de instalar el fondo del tanque, se realiza una prueba de resistividad en la fundación. El valor de la resistividad se debe encontrar

cercano al descrito en el diseño del sistema de protección catódica como se observa en la figura 28.



Figura 28: Arena de relleno compactada

Fuente: Elaboración propia

4.4 Recursos humanos y equipamiento

Para realizar el diseño e implementación, se necesitaron de especialistas NACE que se encuentran calificados para realizar el diseño, instalación y puesta en marcha. Así como también equipos para la instalación.

4.4.1 Recursos humanos:

Los especialistas que fueron parte del proyecto se observa en la tabla 48.

Tabla 48: Tabla de recursos humanos

Recursos	Labor en el proyecto	Tiempo (mes)	Costo total (\$)
Ing. Metalúrgico, NACE CP4	Director de proyecto	7	10500,00
Ing. Materiales, NACE CP3	Diseñador	1	1000,00
Tecnólogo Electrónico, NACE CP2	Ingeniero de campo	7	8500,00

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Equipamiento:

Los equipos y herramientas utilizados para la instalación y puesta en marcha del sistema de protección catódica se observan en la tabla 49.

Tabla 49: Tabla de equipos y herramientas utilizados

Herramientas	Cant	Valor (\$)
Equipo Soldador de Resistencia EWALD	1	\$ 70
Interruptor Sincronizado por Satélite CORI-GPS	3	\$ 300
Pinza Amperimétrica Extech	2	\$ 180
Multímetro Digital FLUKE	2	\$ 240
DATALOGGER ICISS	2	\$ 300
Alicates de Presión	5	\$ 50

Fuente: Elaboración propia

Estos valores son de referencia ya que los equipos utilizados para el proyecto ya se encontraban en almacén de TECNAPERU.

4.5 Análisis económico - financiero

Para un análisis económico financiero claro, se verán 2 escenarios, en donde el escenario 1, se evaluara el fondo de un tanque que no tiene protección catódica. Y en un segundo escenario se evaluara un tanque implementado con un sistema de protección catódica por maya grid.

4.5.1 Escenario 1

En este escenario 1, se tiene un tanque que no tiene protección catódica, y lo que se busca es que tenga una vida útil de 30 años, por lo que se evaluara la vida remanente del fondo del tanque para así obtener costos de materiales, accesorios, manos de obra, servicios de reparación etc. Con la finalidad de que el tanque se encuentre en buen estado.

En este cálculo se tomó datos reales de rata de corrosión para base tanques de 30 metros de diámetro, que no contaba con protección catódica. Y se obtuvo una rata de corrosión igual a 9.4875 mpy. (API RBI, 2007)

Para este caso en específico la densidad del acero es de 7.85 gramos/cm³.

Reemplazando los valores en la ecuación 11, se obtuvo:

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{mpy}} = \frac{1.44}{7.85} \cdot 9.4875_{\text{mdd}}$$

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{mdd}} = 51.72_{\text{mdd}}$$

Ahora expresando el valor de rata de corrosión en cm/ día utilizando la ecuación 12, se obtuvo:

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{cm/día}} = \frac{51.72 \times 10^{-3} \times 10^{-2} \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \times \text{día}}}{7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 6.59 \times 10^{-5} \text{ cm/día}$$

El espesor nominal de la plancha es de 0.3125" (7.93 mm). Según la norma API653, el espesor mínimo de operación es de 0,25" (6,35 mm). Por lo tanto el espesor de consumo se puede calcular reemplazando los valores en la ecuación 14.

$$\text{Espesor consumido} = 7.93\text{mm} - 6.35\text{mm} = 1.58\text{mm}$$

Y finalmente para lograr calcular la vida remanente de la base del tanque se reemplazan los valores en la ecuación 15.

$$\text{Vida remanente} = \frac{1.58 \text{ mm}}{6.59 \times 10^{-4} \text{ cm/día}} = 2393.4 \text{ días} = 6.5 \text{ años}$$

La vida remanente me indica aproximadamente el año en el que el fondo del tanque fallaría, siendo estos 6,5 años. Estos valores corresponden a una corrosión uniforme

Las estadísticas API RBI indican que la mayoría de perforaciones en las planchas del fondo son de afuera hacia adentro y cercanos a los cordones de soldadura. Sin embargo no existen indicadores para predecir donde ocurrirá la corrosión y la información existente se maneja a base de reportes en sistemas con y sin protección catódica. (API RBI, 2007)

El promedio de daño es en la base de los tanques de almacenamiento, en un estudio realizado en diferentes tanques en Arabia Saudita se obtuvieron valores de porcentaje de área dañada por corrosión preocupante, que se muestra en la tabla 50. (BARNAWI, 2012)

Tabla 50: Comparación de daño corrosivo en tanques con y sin SPC

TANQUE	Diámetro (metro)	Protección Catódica	Electrolito	N° Holes	Año Construcción	Año Insp.	% Área base Dañada	
TANK J-1	114	Si	Arena, Cemento, bentonita, agua	23	1974	1989	8%	
TANK J-2	114	Si		14	1974	1984	9%	
TANK J-3	114	Si		30	1978	1986	5%	
TANK N-1	107	Si	Arena	23	1972	1985	3%	
TANK N-2	107	Si		10	1973	1986	3%	
TANK S-1	50	No	Arena-oil	-	1956	-	A los 10 años cambiado al 100%	
TANK S-2	50	No		-	1938	-		
TANK S-3	113	No		-	1974	1984		>50%
TANK S-4	113	No		3	1974	1984		15%

Fuente: (BARNAWI, 2012)

Tabla 51: Tabla de costos de materiales y accesorios

1. Costo de materiales y accesorios	Unidad medida	Cantidad	Valor unitario año 2000 (\$)	Valor total (\$)
1.1 Costos de planchas de acero A36 8.0x1520x6000	plancha	39	340.00	13175.70
Alternativa plancha de acero A36 6.4x1520x6000			274.93	
1.2 Soldaduras (6011,6012)	kg	48	2.50	121.10
1.3 Consumibles soldadura (Acetogen, Oxigeno)	m3	329	4.63	1525.09
1.4 Consumibles soldadura (piedra esmeril, otros)	std	-----	-----	20.00
1.5 Pintura (Anticorrosiva, esmalte, solvente, base)	gln	23	17.00	395.27
			Monto total (\$)	15237.16

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

Donde se observa que los tanques que no tenían protección catódica sufrieron daños considerables en el fondo del tanque.

En la tabla 51 se observa los costos de los materiales que se necesitara para la fabricación del fondo de tanque.

Tabla 52: Tabla de costos de mano de obra y servicios por reparación

2. Costo de mano de obra y servicios por reparación	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario año 2000 (\$)	Valor total (\$)
2.1 Desmontaje (corte y retiro) de planchas afectadas	horas/hombre	116	2.00	232.51
2.2 Armado y acomodo de planchas	horas/hombre	78	2.00	155.01
2.3 Operación soldeo (soldadores calificados)	horas/hombre	39	2.50	96.88
2.4 Ayudantes (soldador, montajista, peón)	horas/hombre	116	1.50	174.38
2.5 Costo fijo por soldador certificado	-----	-----	130.00	130.00
2.6.Coste horas y maquina (soldar/oxicorte/esmeril, etc.)	horas/hombre	116	100.00	11625.62
2.7.Montaje plancha	horas/hombre	116	2.60	302.27
2.8.Arenado	día	1	136.00	136.00
2.9.Pintado	m2	353	1.50	530.13
2.10.Costo horas - maquina pintado/arenado	horas/hombre	39	4.50	174.38
2.11.Equipo electrógeno	horas/hombre	39	15.00	581.28
2.12.Grua	horas/hombre	39	20.00	775.04
2.13.gruero	horas/hombre	39	2.00	77.50
2.14.Costo Inspección Técnica	8 horas de trabajo	15	60.00	871.92
2.15. Costo de Inspección HSE	8 horas de trabajo	15	35.00	508.62
			Monto total (\$)	16241.55

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

Y finalmente el costo de las inspecciones necesarias para asegurar que la reparación se realizado de la mejor manera evitando cualquier tipo de desperfecto en el fondo del tanque, como se observa en la tabla 53.

Tabla 53: Tabla de costos de inspección y pruebas

3. Costos de inspección y pruebas	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario año 2000 (\$)	Valor total (\$)
3.1 MFL previo a reparación	Base	1	8450	8,450.00
3.2. Prueba líquidos penetrantes	placa	39	50	1,937.60
3.3. Ensayo Radiográficos	placa	39	20	775.04
3.4. Prueba de caja de vacío	jgo	1	1275	1,275.00
3.5. Prueba Hidrostática	jgo	1	1020	1,020.00
			Monto total	13457.64

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

La suma de los costos de fabricación del fondo del tanque se detalla en la tabla 54.

Tabla 54: Costo total de fabricación de fondo

Costos	Valor
1. Costo de materiales y accesorios	15237.16
2. Costo de mano de obra y servicios por reparación	16241.55
3. Costos de inspecciones y pruebas	13457.64
Total (\$)	44936.35

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

Para dar una vida útil de 30 años al fondo del tanque que almacena hidrocarburos, se realizó el cambio de fondo 4 veces como se detalla en la tabla 55.

Tabla 55: Costo total de reparaciones de fondo para vida útil de 30 años a fondo de tanque

Tiempo de Vida Útil (30 años)	Costo en Reparación (\$)
Fecha de Fabricación	-
Después de 6.5 años (1era Reparación)	44936.35
Después de 13 años (2era Reparación)	44936.35
Después de 19.5 años (3era Reparación)	44936.35
Después de 26 años (Ultima Reparación)	44936.35
ESCENARIO 1 : TOTAL COSTOS (\$)	179745.40

Fuente: (Anco Lopez, 2016)

4.5.2 Escenario 2

En el escenario 2, se diseña e instala un sistema de protección catódica en un tanque con una vida útil de 30 años, Para comprobar que la protección catódica le da mayor vida útil al fondo de los tanques, se detallara la inspección del fondo de un tanque realizado por TECNAPERU en Eten el año 2015 donde cuenta con sistema de protección catódica.

Tabla 56: Características de tanques de gasolina

Características	Valor
Nombre	Tanque 5
Servicio	Gasolina 84
Año de construcción	1997
Año de inspección	2015
Espesor nominal del fondo	7.93 mm
Ubicación	Eten
Diámetro nominal	22.01m
Altura	12.29
Capacidad	26398 galones
Manufactura	soldado

Fuente: Elaboración propia



Figura 29: Tanque 5 ubicado en Eten

Fuente: Elaboración propia

Asegurando que el sistema de protección catódica está operando satisfactoriamente, se realiza la tabla 57, que es un resumen para calcular la vida remanente del fondo del tanque que fue fabricado en 1997 junto con la protección catódica, el tanque hasta el día de la inspección ya llevaba 18 años trabajando sin problemas. Por norma API el espesor mínimo requerido es de 6.35mm.

Utilizando la ecuación 13 para calcular la rata de corrosión en mm/año, se obtiene:

$$\text{Rata de Corrosión}_{\text{mm/año}} = \frac{7.93 \text{ mm} - 6.99 \text{ mm}}{18} = 0.0522 \text{ mm/año}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 16 para calcular la vida remanente, se obtiene:

$$\text{VR} = \frac{6.99 \text{ mm} - 6.35 \text{ mm}}{0.0522 \text{ mm/año}} = 12.3 \text{ años}$$

En la tabla 57 se observa un resumen de los cálculos obtenidos:

Tabla 57: Tabla resumen cálculos para vida remanente

Componente	Espesor Nominal (mm)	Espesor mínimo medido año 2015 (mm)	Espesor mínimo requerido (mm)	Rata de corrosión (mm/año)	Vida remanente (años)
Fondo	7.93	6.99	6.35	0.0522	12.3

Fuente: Elaboración propia

La vida remanente calculada es de 12 años para el fondo del tanque, más los 18 años que ya venía trabajando, es un total de 30 años en donde el fondo del tanque trabajara sin problemas hasta el 2027, de igual manera se necesita realizar mantenimiento preventivos al sistema de protección catódica para asegurarnos que esté trabajando bajo los criterios adecuados. En el anexo 3 se encontrara el registro de inspección del fondo de tanque realizado por TECNAPERU.

Se concluye que al tener un sistema de protección operativo, este reducirá la velocidad de corrosión en el fondo, teniendo mayor vida útil.

A continuación se detallara los costos del diseño y materiales del sistema de protección catódica (spc), como se observa en la tabla 58.

Tabla 58: Tabla de costos referenciales de diseño y materiales para el spc

1.- Costos referenciales diseño y materiales de spc	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (\$)
1.1. Elaboración de ingeniería básica y detallada del Sistema de protección catódica externa por corriente impresa para un tanque (costo incluye uso de patente y experiencia-el costo es más alto por un tanque y baja conforme aumentan los tanques)	Unid	1	4359.59	4359.59
1.2. Suministro de material anódico: cinta anódica, barra conductora, celdas de referencia permanentes, powerfeed y rectificador (costo incluye importación y pedido a proveedor)	Unid	1	18281.27	18281.27
1.3. Suministro de material eléctrico importado (área comercial aumenta un % para aumentar utilidades aprovechando uso de la patente)	Unid	1	5186.03	5186.03
1.4. Geomembrana, geotextil Y tubería HDPE	Unid	1	4000.00	8000.00
1.5. Suministro de material eléctrico local (área comercial aumenta un % para aumentar utilidades aprovechando uso de la patente)	Unid	1	3371.43	3371.43
			Monto total (\$)	39,198.32

Fuente: (Tecnaperu propuesta, 2012)

A continuación se detallara el costo de la construcción y puesta en marcha como se muestra en la tabla 59.

Tabla 59: Costo de construcción y puesta en marcha

2.- Costo de construcción y puesta en marcha	Unidad de medida	Cantidad (30 años de vida útil)	Valor unitario año 2012 (\$)	Valor total (\$)
2.1.-Instalación de geomembrana (trabajo civil especializado)	Unid	1	4500.00	4500.00
2.2.-Selección e instalación de arena	Unid	1	3000.00	3000.00
2.3.-Instalación de rectificador	día	1	200.00	200.00
2.4.-Instalación del Sistema de protección catódica de acuerdo al diseño e ingeniería (costo aumenta por personal especializado en soldadura)	Unid	1	3500.00	3500.00
2.5.-Pruebas y puesta en servicio del sistema de protección catódica (Medición y Calibración)	Unid	1	1000.00	1000.00
			Monto total (\$)	12200.00

Fuente: (Tecnaperu propuesta, 2012)

A continuación mostramos una tabla con la estimación de costos de inspecciones programadas de acuerdo a las recomendaciones que da la norma API653 (*API 653, 2001*). Las inspecciones requeridas se observan en la tabla 60.

Tabla 60: Tabla de costos de operación y mantenimiento del spc

3.- Costos de Operación y mantenimiento	Unidad de Medida	Cantidad (30 años de Vida Útil)	Valor Unitario año 2012 (\$)	Valor Total (\$)
3.1. Inspección general spc y relevamiento datos (costo incluye la administración del sistema de integridad)	día	90	200.00	18000.00
3.2. Equipos para Inspección de fuentes energía (Multímetro, Electrodo, cables, cámara, etc.)	día	90	30.00	2700.00
3.3. Equipos para Inspección General (Multímetro, Electrodo, cables, cámara, laptop, etc.)	día	30	60.00	1800.00
3.3. Movilización (camioneta, conductor)	día	120	110.00	13200.00
3.4. Informe (costo incluye la administración del sistema de integridad)	Por inspección	120	20.00	2400.00
			Monto total (\$)	38100.00

Fuente: (Tecnaperu propuesta, 2012)

La suma del diseño, materiales, instalación, puesta en marcha y mantenimiento del tanque de almacenamiento de hidrocarburos se detalla en la tabla 61.

Tabla 61: Costo total de diseño e instalación del spc

Costos	Valor
1. Costos referenciales diseño y materiales de spc	39,198.32
2. Costo de construcción y puesta en marcha	12200.00
3. Costos de Operación y mantenimiento	38100.00
ESCENARIO 2 : TOTAL COSTOS (\$)	89498.32

Fuente: (Tecnaperu propuesta, 2012)

CAPITULO 5

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis teórico de los datos y resultados obtenidos en relación con las bases teóricas de la investigación.

- Análisis teórico

En el escenario 1 con la evaluación de vida remanente del fondo de un tanque sin protección catódica se obtiene que es necesario cambiarlo cada 6.5 años, no es rentable para la empresa, tampoco es seguro para el terminal porque se debe estar evaluando y eso implica retirar el tanque de servicio constantemente. Por lo que se necesita dar una mayor vida útil al tanque sin hacer reparaciones, mientras que en el escenario 2, la vida útil del fondo del tanque es de 30 años lo que es bueno para un sistema de protección catódica que comúnmente por su diseño también tienen una vida útil entre 20 y 40 años.

Tabla 62: Comparación características escenario 1 con escenario 2

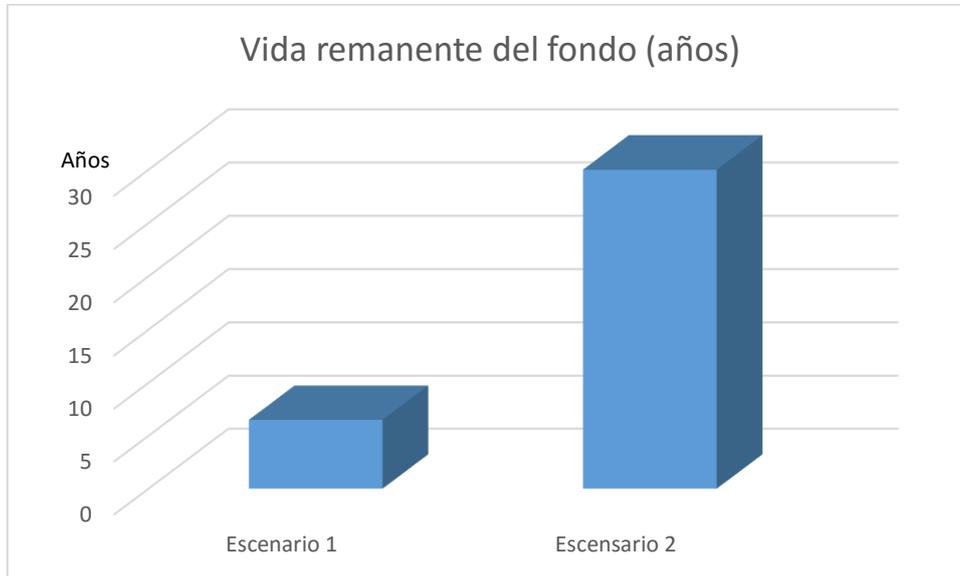
Características	Escenario 1	Escenario 2
Vida remanente del fondo	6.5	30
Rata de corrosión mm/año	0.2405 mm/año	0.0522 mm/año
Espesor nominal	7.93 mm	7.93 mm
Diámetro del fondo	30 m	30 m
Manufactura	soldado	soldado

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 62, obtener la vida remanente, mientras mayor sea, esto dará una mayor vida útil al fondo del tanque. En la tabla 63 se tiene un comparativo de la vida remanente

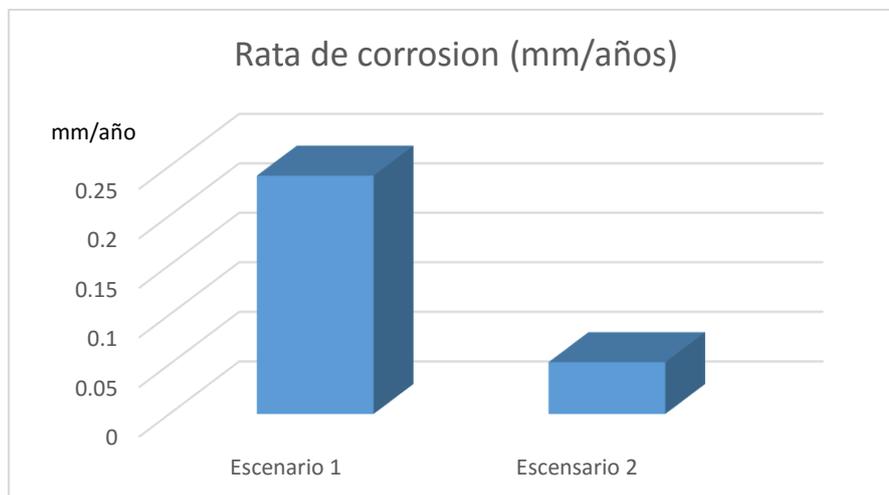
entre escenarios y finalmente en la tabla 64 un comparativo entre tasa de corrosión por escenarios.

Tabla 63: Vida remanente de Escenario 1 vs Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Rata de corrosión de Escenario 1 vs Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

Con esta información se confirma que tener un sistema de protección catódica es necesario para la protección de los tanques siempre respetándolos criterios de protección como se indicó en la página 29, existen 3 donde solo es necesario que

cumpla 1 criterio para concluir que el sistema de protección catódica está funcionando sobre el tanque.

En el anexo 4 se encuentra el reporte de inspección de mantenimiento preventivo realizado a los 7 tanques de almacenamiento de la empresa ENGIE Ilo 31 donde todos cumplen con el tercer criterio y se encuentran protegidos.

- **Análisis económico**

Según los escenarios propuestos, en la tabla 65 se observan los resultados.

Tabla 65: Resultados de costos según escenario

Costos de mantenimiento de la base del tanque durante su vida útil	Escenario 1: No implementar algún spc contra la corrosión	Escenario 2: Implementar un spc por mallas considerando la Integridad
1.- Costos referenciales diseño y materiales de spc.	-----	\$39,198.32
2.- Etapa de construcción y puesta en marcha de spc.	-----	\$12,200.00
3.- Costos de operación y mantenimiento de spc.	-----	\$38,100.00
4.-Costo de reparación de la base del tanque	\$179,745.40	-----
Total por Escenario:	\$179,745.40	\$89,498.32

Fuente: Elaboración propia

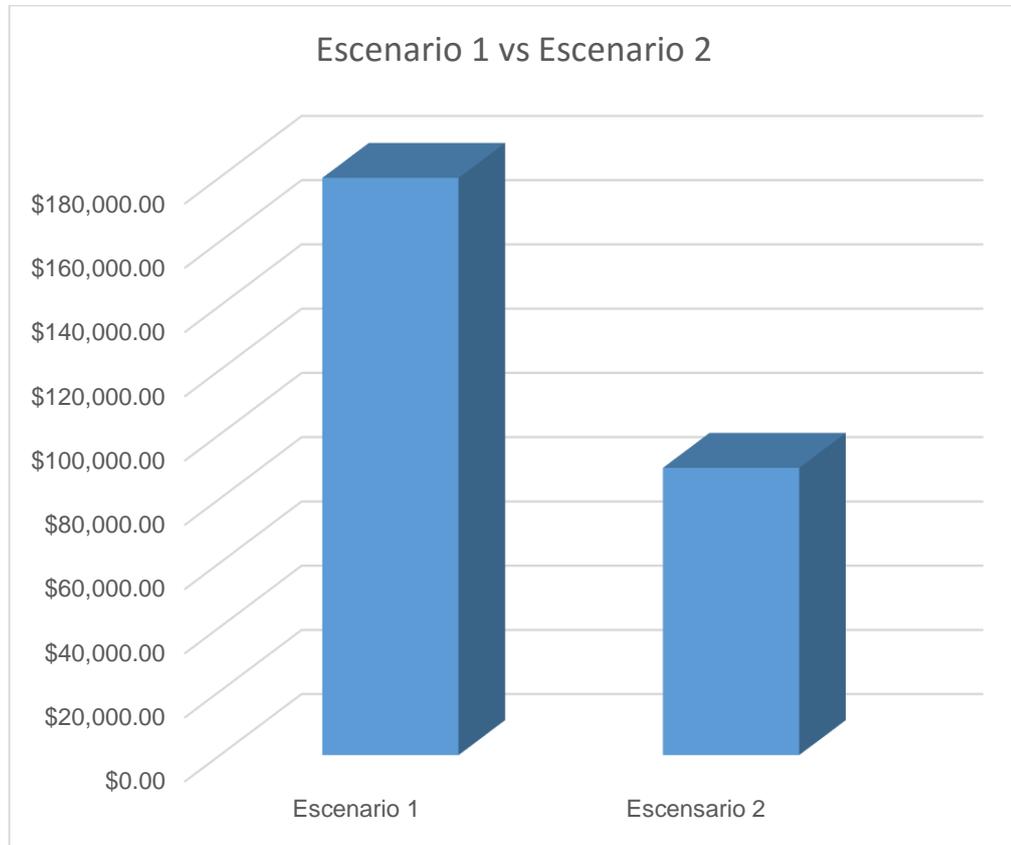
Los resultados de los dos escenarios para un tanque son:

En el escenario 1 tiene un costo total de \$ 179 745,40, que incluye costo de materiales, accesorios, mano de obra, servicios de reparación e inspecciones de prueba que será cada 6 años, un total de 4 reparaciones para cumplir con la vida útil de 30 años para el tanque. Adicional a esto, al realizar las reparaciones se produce contaminación.

A diferencia del el escenario 2 un costo total de \$ 89 498,32 que incluye el costo del diseño, materiales, construcción, puesta en marcha y mantenimiento donde no será

necesario realizar ninguna reparación al tanque durante los 30 años de vida útil del sistema. En la tabla 66 se observa una comparación de escenario 1 con escenario 2.

Tabla 66: Comparación de escenario 1 y escenario 2



Fuente: Elaboración propia

El proyecto es rentable dentro del escenario 2 teniendo como ventajas las siguientes:

- Gracias a la protección catódica la vida útil del tanque será de 30 años sin necesidad de ser reparado.
- El funcionamiento del sistema puede ser monitoreado sin necesidad de realizar excavaciones o reparaciones.
- El escenario 2 es 50.2% más económico a diferencia del escenario 1.

5.2 Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relevantes que produce (causa y efectos).

Tabla 67: Tabla de variables

Variables	Variables conceptuales	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Diseño e instalación de un sistema de protección catódica	La protección catódica es una técnica para controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica	Diseño del sistema Tamaño del tanque	Ánodos Corriente requerida
Variable dependiente Controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos	Se busca controlar la corrosión en el fondo de los tanques, con el fin de evitar derrames de producto	Prueba de laboratorio Estudio de terreno	Bacterias Resistividad del terreno

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el diseño e implementación, se puede controlar la rata de corrosión en el fondo de los tanques manteniendo los criterios de protección dentro de lo establecido por norma NACE, lo cual ayuda ya que no se necesita realizar reparaciones al fondo de los tanques, sin producir contaminación, también se controla el riesgo de catástrofes y no genera costos adicionales.

Solo se realizaran monitoreos al sistema de protección catódica cada año, verificando que el sistema esté protegido.

CONCLUSIONES

- Al diseñar un sistema de protección catódica la forma de monitorearlo para controlar la corrosión es mediante los criterios de protección indicados en la norma NACE CP 1 (página 29). El sistema de protección catódica para los 7 tanques cumple con el tercer criterio (anexo 4).

Donde se obtuvo como mínimo -100 mV de diferencia entre el potencial Off y potencial natural del metal.

- Para diseñar un sistema de protección catódica, se necesita como mínimo 4 componentes, el ánodo, el cátodo, el electrolito y una conexión metálica que conecte el ánodo con el cátodo. En este caso el cátodo es el fondo del tanque, el ánodo es el ánodo de sacrificio, el electrolito la tierra y finalmente la conexión metálica es el cable que une estos.
- Al determinar los costos para un sistema de protección catódica, se concluye que su implementación es positiva, porque se asegura un correcto funcionamiento de mínimo 30 años, donde no será necesario realizar ningún tipo de reparación al tanque, ya que solo se verificara el correcto funcionamiento del sistema para que proteja al tanque. Y también es 50% más económico que reparar un tanque durante 30 años.

SUGERENCIAS

1. Se recomienda realizar inspecciones anuales al sistema de protección catódica para ver su estado.
2. Tener una base de datos con toda la información obtenida en las inspecciones desde el año en que fue instalado.
3. Tener mucho cuidado cuando se realicen otros tipos de trabajo cerca a los tanques debido a que pueden cortar los cables y perjudicar el sistema.
4. Implementar el sistema de protección catódica a tanques que no lo tengan.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agency, E. p. (Noviembre de 1988). Estudio de corrosión en tanques.
2. Anco Lopez, A. R. (2016). Diseño de un sistema de protección catódica en fondos de tanques de almacenamiento dentro de un enfoque de integridad. 2016. Lima, Peru.
3. API 653. (2001). Tank inspection, repair, alteration and reconstruction.
4. API RBI. (2007). Tank Case Study.
5. Arroyave P, C. E. (09 de 09 de 2010). El impacto de la corrosión en la economía de los países latinoamericanos. Bogotá, Colombia: Universidad Antonio Mariño.
6. BARNAWI, I. (2012). Cathodic & Anodic Protection: Comparison of Corrosion Attack on Tank Bottoms with and without Cathodic Protection.
7. Engineers, F. H. (2001). Costo de la corrosión y estrategias preventivas en Estados Unidos.
8. Giron Callejas, R. O. (2005). Protección catódica y su aplicación en tanques de almacenamiento de productos petroleros en plantas guatemaltecas. Guatemala.
9. Hernandez, R. (2014). Metodología de la investigación.
10. Moriber, N. (2015). Forms of corrosion.
11. N. C. (2005). CP 4 - Cathodic Protection Specialist.
12. NACE. (15 de 06 de 2001). External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms.
13. NACE CP1. (2000). Cathodic Protection Manual.
14. NACE CP2. (2006). CP 2 - Cathodic Protection Technician.
15. NACE CP3. (2005). CP 3 – Cathodic Protection Technologist.
16. Orozco Ricardo, M. E. (2007). Corrosión: Fenómeno natural, visible y catastrófico. México: Revista de divulgación científica y tecnología de la universidad de veracruz.
17. Poma Montes, M. (2016). Corrosión en el sector eléctrico en la zona costera del Perú. Lima.
18. Pozo Loayza, R. C. (2003). Corrosión en tanques de almacenamiento de hidrocarburos - Refinería Talara. Lima, Peru.

19. TECNAPERU. (2012). Ingeniería Basica Diseños SPC Tanques.
20. Tecnaperu. (2012). Ingeniería de detalles tanques.
21. Tecnaperu propuesta. (2012). Propuesta económica.

ANEXOS

ANEXO 1

  SANTOS CMI	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110	Date / Page 03/05/2012 CODIGO KKS I196-E809-021
--	--	--

MEMORIAS DE CALCULO

INFORMACION GENERAL

Proyecto:	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110		
Código:	I196-E809-021	Ciudad:	ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110
Cliente:	SANTOS CMI S.A.	Pais:	Perú

INFORMACION DE LA ESTRUCTURA

Nombre:	10EGB(11/12/13) BB001		
Sustancia:	Diesel No Tratado	Temperatura Operación:	100 [°F]
Diámetro del Tanque:	98.4 [ft]	Temperatura Operación:	28 [°C]
Diámetro del Tanque:	30.00 [m]	Vida Util del SPC:	30 [Años]
Recubrimiento:	NINGUNO	Resistividad de la Arena:	20,000 [Ohm.cm]

CORRECCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE POR TEMPERATURA

Densidad de Corriente (J):	17.50 [mA/m ²]	Densidad de Corriente Corregida (J):	17.50 [mA/m ²]
$J = J' \times \left(1 + \frac{T_{oper} - 30}{40} \right)$			

CORRIENTE REQUERIDA

Area Externa del Fondo del Tanque (A):	678.87 [m ²]	Corriente Requerida Inicial (Ireq):	11.88 [A]
Factor Seguridad (%):	10 [%]	Corriente Requerida (Ireq):	13.20 [A]
$I_{req} = J \times A$			

ESPECIFICACIONES DEL ANODO Y DE LA BARRA CONDUCTORA

Ancho de la Cinta Anódica de MMO (w):	1.27E-02 [m]	Capacidad de la Cinta de MMO:	59.0 [mA/m]
Resistencia Lineal de la Cinta Anódica:	0.480 [Ohm/m]	Resistencia Lineal de la Barra Conductora:	0.049 [Ohm/m]

LONGITUD TOTAL DEL ANODO

Distancia Fondo del Tanque a la Malla (h):	0.35 [m]	Separación Máxima entre Ánodos (Smax):	1.41 [m]
Longitud Requerida de Anodo (Lreq):	486.99 [m]	Número de Ánodos Paralelos (n):	21.0
Longitud de Anodo por Distribución (L):	496.44 [m]	Espaciamiento Definitivo entre Ánodos (S):	1.40 [m]
$S_{MAX} > S$ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;">DISEÑO APROPIADO</div>			

MEMORIAS DE CALCULO

SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA

Resistencia del Sistema de PC (R):	0.55 [ohm]	Factor Seguridad (%):	20 [%]
Corriente Mínima Nominal (I):	13.20 [A]	Voltaje Mínimo Nominal (V):	10.03 [V]
$R = \frac{\rho \times h}{L \times (S - w)} \ln \left(\frac{S}{w} \right)$			

LONGITUD DE BARRA CONDUCTORA

Número de Cables Alimentadores:	4	Máxima Separación Permissible (Smax):	10.0 [m]
Separación Final de las Barras Conductoras:	9.8 [m]	Número de Barras:	3.0
Longitud de Barra Conductor (L):	106.4 [m]		

RESUMEN DE MATERIALES

Número de Cables Alimentadores con 115 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	2	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 115 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
Número de Cables Alimentadores con 72 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	2	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 72 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
	367.0 [ft]		1678.0 [ft]
Longitud de Barra Conductor:	2.0 [rollos X 250ft]	Longitud de Cinta Anódica MMO:	4.0 [rollos X 500ft]
Voltaje del rectificador:	24.0 [VDC]	Corriente del rectificador:	28.0 [ADC]

  SANTOS CMI	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110	Date / Page 03/05/2012 CODIGO KKS I196-E809-022
--	--	--

MEMORIAS DE CALCULO

INFORMACION GENERAL

Proyecto:	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110		
Código:	I196-E809-022	Ciudad:	ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110
Cliente:	SANTOS CMI S.A.	Pais:	Perú

INFORMACION DE LA ESTRUCTURA

Nombre:	10GHC(11/12) BB001		
Sustancia:	Agua Desmineralizada	Temperatura Operación:	100 [°F]
Diámetro del Tanque:	93.0 [ft]	Temperatura Operación:	28 [°C]
Diámetro del Tanque:	28.35 [m]	Vida Util del SPC:	30 [Años]
Recubrimiento:	NINGUNO	Resistividad de la Arena:	20,000 [Ohm.cm]

CORRECCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE POR TEMPERATURA

Densidad de Corriente (J):	17.50 [mA/m ²]	Densidad de Corriente Corregida (J):	17.50 [mA/m ²]
$J = J' \times \left(1 + \frac{T_{oper} - 30}{40} \right)$			

CORRIENTE REQUERIDA

Area Externa del Fondo del Tanque (A):	604.81 [m ²]	Corriente Requerida Inicial (Ireq):	11.00 [A]
Factor Seguridad (%):	10 [%]	Corriente Requerida (Ireq):	12.10 [A]
$I_{req} = J \times A$			

ESPECIFICACIONES DEL ANODO Y DE LA BARRA CONDUCTORA

Ancho de la Cinta Anódica de MMO (w):	1.27E-02 [m]	Capacidad de la Cinta de MMO:	59.0 [mA/m]
Resistencia Lineal de la Cinta Anódica:	0.480 [Ohm/m]	Resistencia Lineal de la Barra Conductora:	0.049 [Ohm/m]

LONGITUD TOTAL DEL ANODO

Distancia Fondo del Tanque a la Malla (h):	0.35 [m]	Separación Máxima entre Ánodos (Smax):	1.41 [m]
Longitud Requerida de Anodo (Lreq):	437.86 [m]	Número de Ánodos Paralelos (n):	20.0
Longitud de Anodo por Distribución (L):	446.96 [m]	Espaciamiento Definitivo entre Ánodos (S):	1.387 [m]
$S_{MAX} > S$ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;">DISEÑO APROPIADO</div>			

MEMORIAS DE CALCULO

SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA

Resistencia del Sistema de PC (R):	0.79 [ohm]	Factor Seguridad (%):	20 [%]
Corriente Mínima Nominal (I):	12.10 [A]	Voltaje Mínimo Nominal (V):	14.34 [V]

$$R = \frac{\rho \times h}{L \times (S - w)} \ln\left(\frac{S}{w}\right)$$

LONGITUD DE BARRA CONDUCTORA

Número de Cables Alimentadores:	4	Máxima Separación Permisible (Smax):	9.3 [m]
Separación Final de las Barras Conductoras:	9.25 [m]	Número de Barras:	3.0
Longitud de Barra Conductor (L):	101.3 [m]		

RESUMEN DE MATERIALES

Número de Cables Alimentadores con 115 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	2	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 115 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
Número de Cables Alimentadores con 72 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	2	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 72 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
Longitud de Barra Conductor:	349.0 [ft]	Longitud de Cinta Anódica MMO:	1509.0 [ft]
	2.0 [rollos X 250ft]		4.0 [rollos X 500ft]
Voltaje del rectificador:	24.0 [VDC]	Corriente del rectificador:	28.0 [ADC]

  SANTOS CMI	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110	Date / Page 03/05/2012 CODIGO KKS I196-E809-023
--	--	--

MEMORIAS DE CALCULO

INFORMACION GENERAL

Proyecto:	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA GRID – ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110		
Código:	I196-E809-023	Ciudad:	ILO PEAKY PROJECT I196-MR-71-110
Cliente:	SANTOS CMI S.A.	Pais:	Perú

INFORMACION DE LA ESTRUCTURA

Nombre:	10EGB(51/52) BB001		
Sustancia:	Diesel Tratado	Temperatura Operación:	100 [°F]
Diámetro del Tanque:	56.0 [ft]	Temperatura Operación:	28 [°C]
Diámetro del Tanque:	17.07 [m]	Vida Util del SPC:	30 [Años]
Recubrimiento:	NINGUNO	Resistividad de la Arena:	20,000 [Ohm.cm]

CORRECCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE POR TEMPERATURA

Densidad de Corriente (J):	17.50 [mA/m ²]	Densidad de Corriente Corregida (J):	17.50 [mA/m ²]
$J = J' \times \left(1 + \frac{T_{oper} - 30}{40} \right)$			

CORRIENTE REQUERIDA

Area Externa del Fondo del Tanque (A):	213.05 [m ²]	Corriente Requerida Inicial (Ireq):	3.70 [A]
Factor Seguridad (%):	10 [%]	Corriente Requerida (Ireq):	4.00 [A]
$I_{req} = J \times A$			

ESPECIFICACIONES DEL ANODO Y DE LA BARRA CONDUCTORA

Ancho de la Cinta Anódica de MMO (w):	1.27E-02 [m]	Capacidad de la Cinta de MMO:	59.0 [mA/m]
Resistencia Lineal de la Cinta Anódica:	0.480 [Ohm/m]	Resistencia Lineal de la Barra Conductora:	0.049 [Ohm/m]

LONGITUD TOTAL DEL ANODO

Distancia Fondo del Tanque a la Malla (h):	0.35 [m]	Separación Máxima entre Ánodos (Smax):	1.41 [m]
Longitud Requerida de Anodo (Lreq):	156.61 [m]	Número de Ánodos Paralelos (n):	12.0
Longitud de Anodo por Distribución (L):	162.52 [m]	Espaciamiento Definitivo entre Ánodos (S):	1.37 [m]
$S_{MAX} > S$ DISEÑO APROPIADO			

MEMORIAS DE CALCULO

SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA

Resistencia del Sistema de PC (R):	1.74 [ohm]	Factor Seguridad (%):	20 [%]
Corriente Mínima Nominal (I):	4.00 [A]	Voltaje Mínimo Nominal (V):	12.00 [V]

$$R = \frac{\rho \times h}{L \times (S - w)} \ln\left(\frac{S}{w}\right)$$

LONGITUD DE BARRA CONDUCTORA

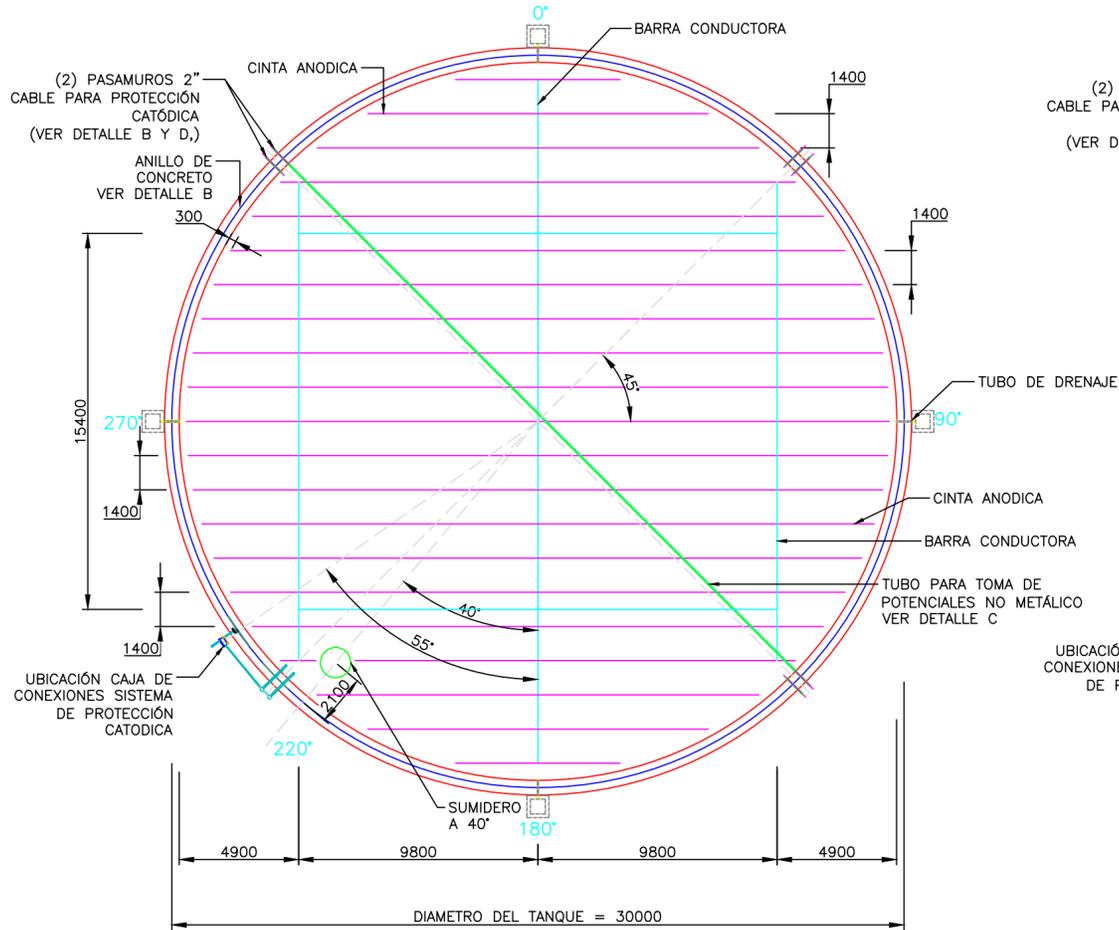
Número de Cables Alimentadores:	3	Máxima Separación Permisible (Smax):	5.7 [m]
Separación Final de las Barras Conductoras:	5.5 [m]	Número de Barras:	3.0
Longitud de Barra Conductor (L):	56.3 [m]		

RESUMEN DE MATERIALES

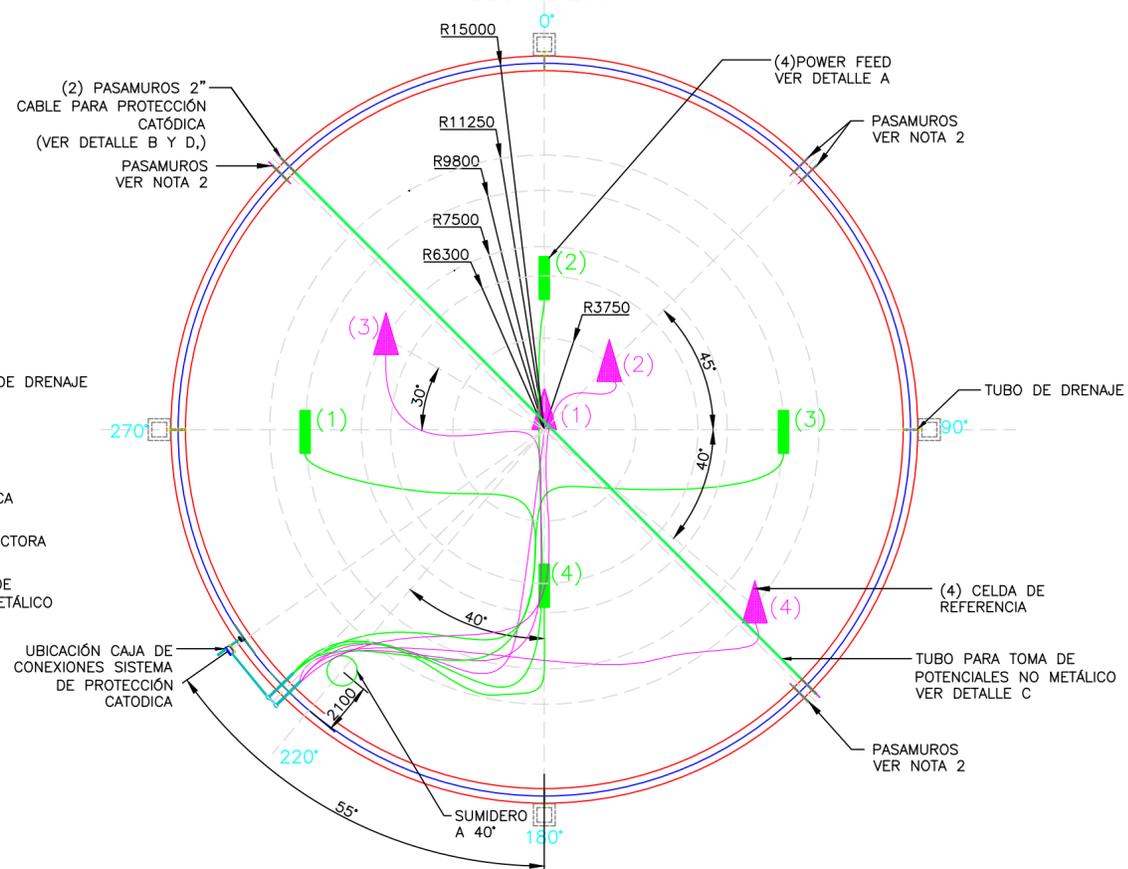
Número de Cables Alimentadores con 72 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	2	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 72 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
Número de Cables Alimentadores con 46 fts de cable No. 8 AWG HMWPE:	1	Número de Electrodo de referencia de Sulfato de Cobre con 46 ft de cable No. 10 AWG HMWPE:	2
Longitud de Barra Conductor:	194.0 [ft]	Longitud de Cinta Anódica MMO:	540.0 [ft]
	1.0 [rollos X 250ft]		2.0 [rollos X 500ft]
Voltaje del rectificador:	20.0 [VDC]	Corriente del rectificador:	16.0 [ADC]

ANEXO 2

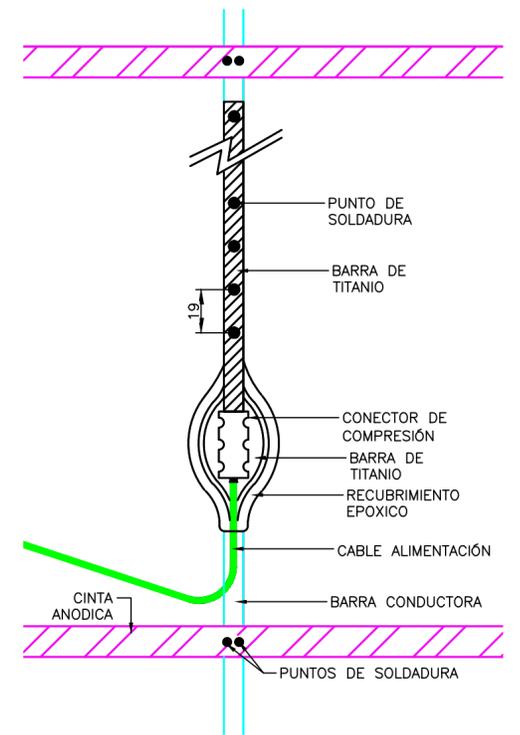
ESQUEMA No. 1
DISPOSICIÓN CINTA ANÓDICA Y BARRA CONDUCTORA
ESCALA: 1:200



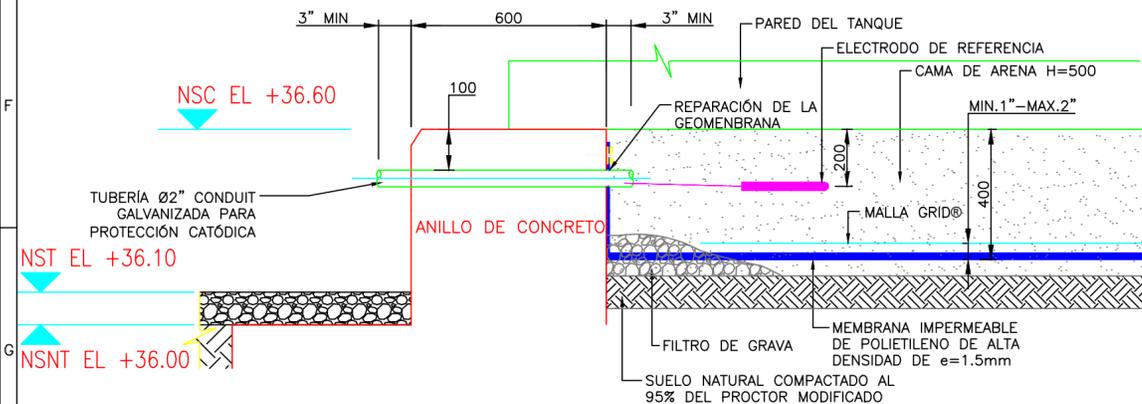
ESQUEMA No. 2
DISPOSICIÓN DE POWER FEED Y ELECTRODOS
DE REFERENCIA PERMANENTE
ESC. 1:200



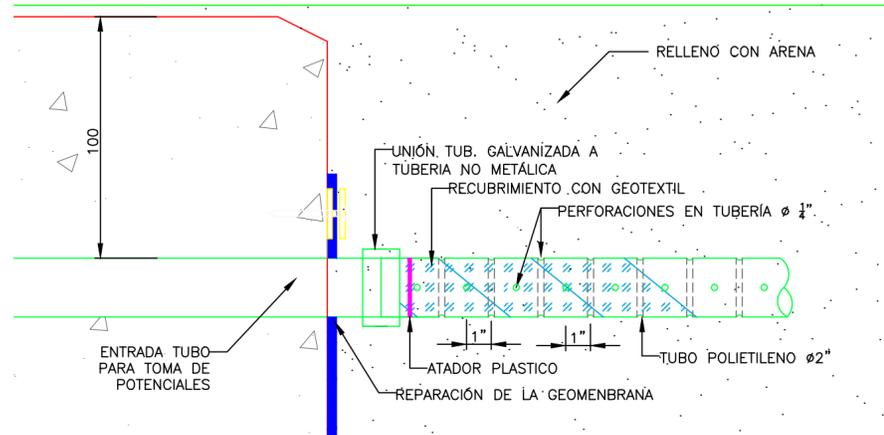
DETALLE A
CONEXIÓN DE POWERFEED A LA
BARRA CONDUCTORA
ESC. S/E



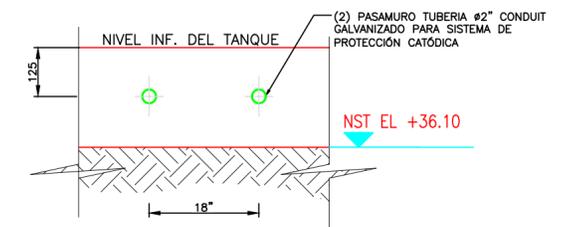
DETALLE A
INSTALACIÓN PASAMUROS DE $\phi 2$
ESC: 1:25



DETALLE C
TUBO PARA TOMA DE POTENCIALES
ESCALA: 1:5



DETALLE D
PASAMURO PROTECCIÓN CATÓDICA
ESCALA: 1:20



NOTAS GENERALES

1. TODAS LAS DIMENSIONES EN METROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUEN PULGADAS (").
2. LOS PASAMUROS QUE NO FUERON UTILIZADOS DEBEN SER SELLADOS ADECUADAMENTE CON RESINA Y UN TAPÓN PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA.

DIBUJOS DE REFERENCIA

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	REV.
1196-E604-001	HOJA DE PRESENTACIÓN, ÍNDICE DE PLANOS	A
1196-E604-002	INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10EGB11 BB001	B
1196-E604-003	DETALLES DE INSTALACIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES	0
1196-E604-004	DETALLES DE INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	
1196-E603-005	UBICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	

REVISIONES

FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
01/27/12	WAV	JAS	DGP	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
02/06/12	WAV	JAS	DGP	EMITIDO PARA APROBACIÓN Y/O COMENTARIOS CLIENTE
03/05/12	WAV	JAS	DGP	APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN

INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO

FECHA	FIRMA	ELABORADO POR :
09/05/12		WINGER VELEZ
09/05/12		ING. DE DISEÑO : JORGE SUAREZ
09/05/12		REVISADO POR : DANIEL PASQUARIELLO
		GERENTE TÉCNICO :



CLIENTE : EnerSur

PROYECTO : ILO PEAKY PROJECT

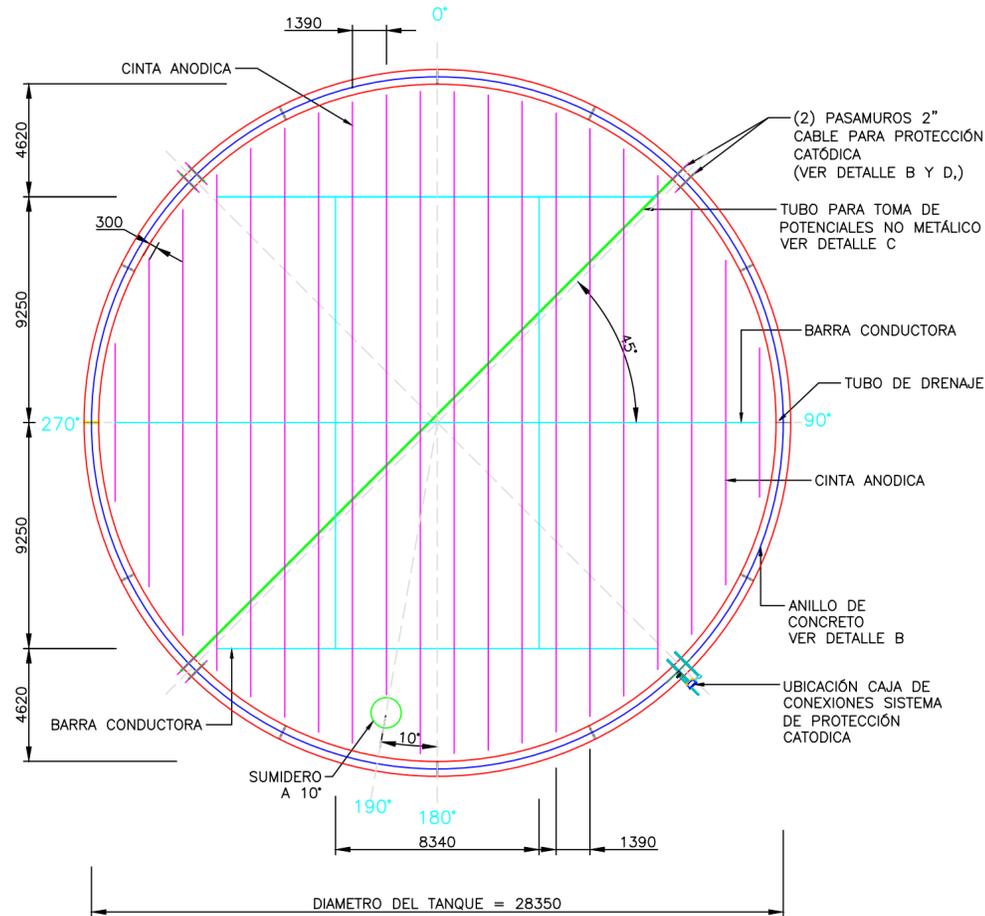
DESCRIPCIÓN : INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10EGB11 BB001

ESTE PLANO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL, PROPIEDAD DE SANTOS CMI. QUEDA EXPRESAMENTE PROHIBIDA SU DIFUSIÓN, COPIA O USO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE SANTOS CMI.
THIS DRAWING CONTAINS PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL INFORMATION, ANY DISCLOSURE OR USE OF IS THEREFORE EXPRESSLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SANTOS CMI.

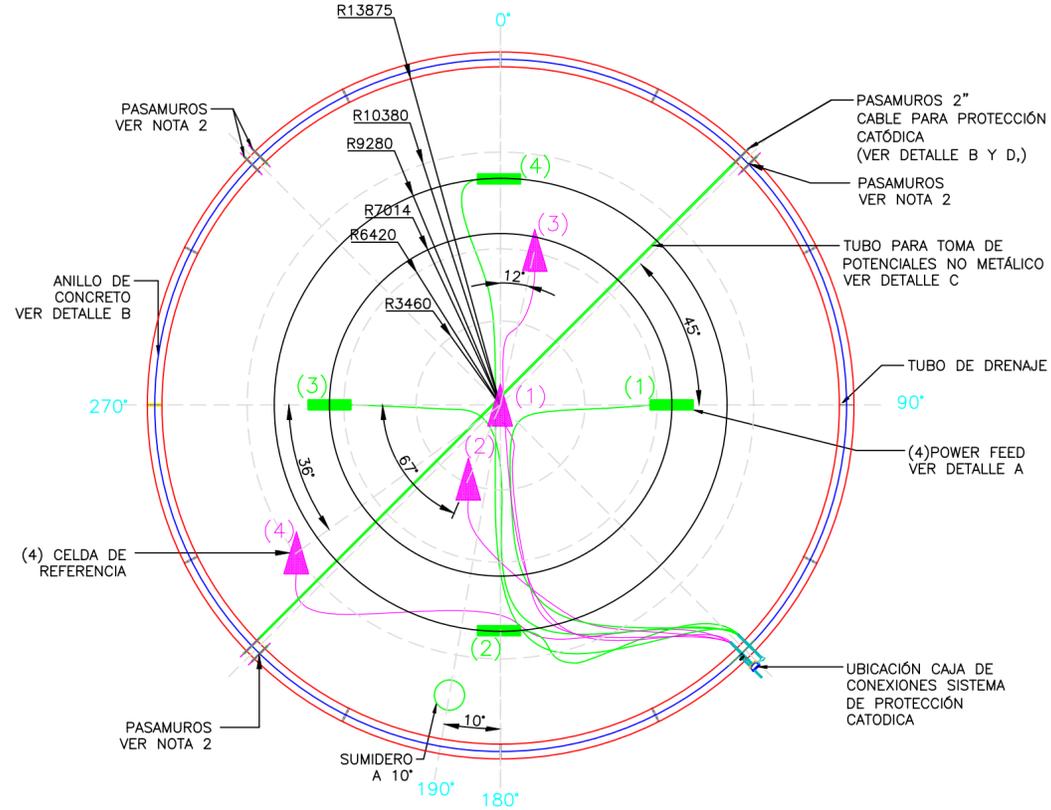
TAMAÑO : A2
ESCALA : LA INDICADA

DIBUJO N° : 1196-E604-002
HOJA : 2 DE 5
REV. : 0

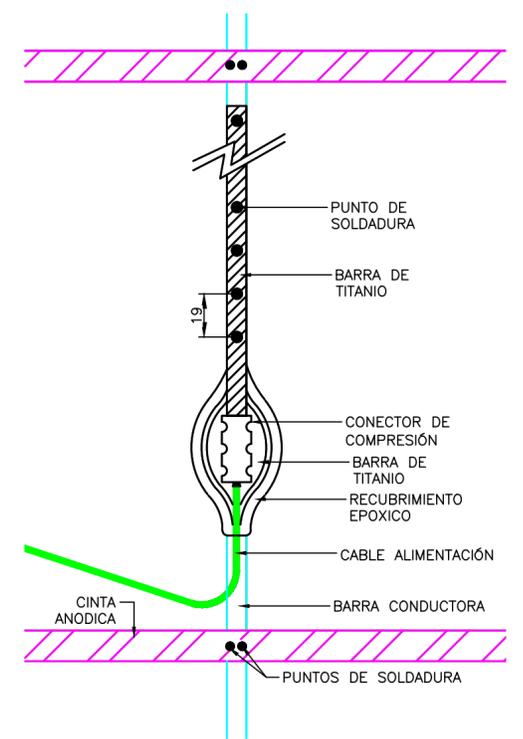
ESQUEMA No. 1
DISPOSICIÓN CINTA ANODICA Y BARRA CONDUCTORA
ESCALA: 1:200



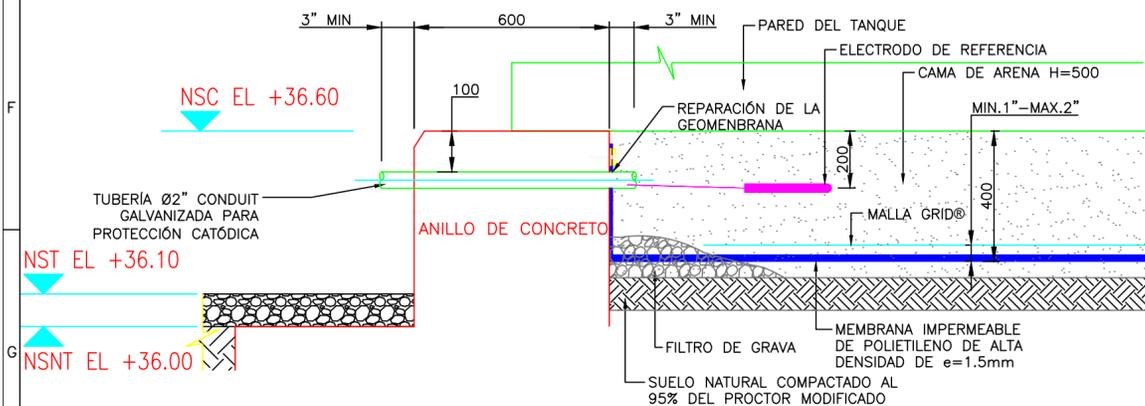
ESQUEMA No. 2
DISPOSICIÓN DE POWER FEED Y ELECTRODOS DE REFERENCIA PERMANENTE
ESC. 1:200



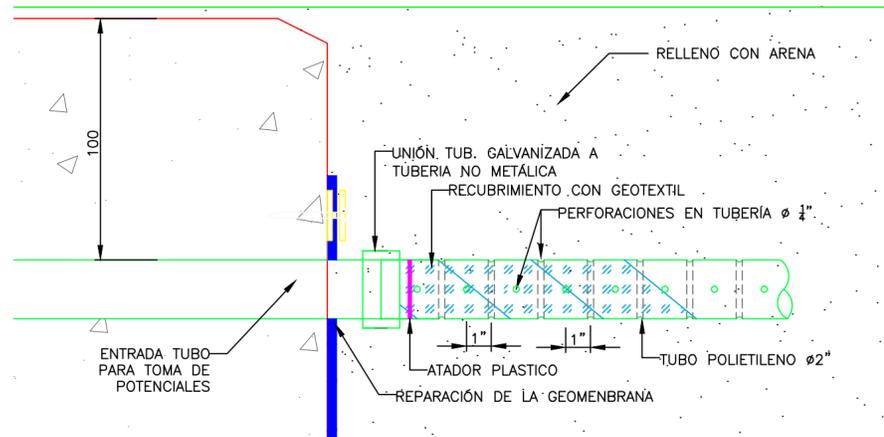
DETALLE A
CONEXIÓN DE POWERFEED A LA BARRA CONDUCTORA
ESC. S/E



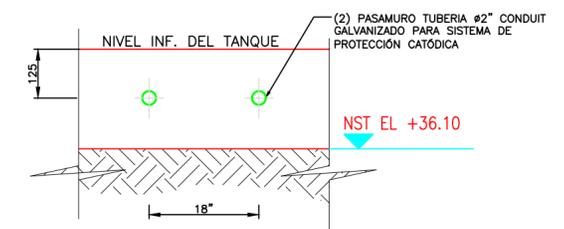
DETALLE A
INSTALACIÓN PASAMUROS DE Ø2
ESC: 1:25



DETALLE C
TUBO PARA TOMA DE POTENCIALES
ESCALA: 1:5



DETALLE D
PASAMURO PROTECCIÓN CATÓDICA
ESCALA: 1:20



NOTAS GENERALES

1. TODAS LAS DIMENSIONES EN METROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUEN PULGADAS (").
2. LOS PASAMUROS QUE NO FUERON UTILIZADOS DEBEN SER SELLADOS ADECUADAMENTE CON RESINA Y UN TAPÓN PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA.

DIBUJOS DE REFERENCIA

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	REV.
1190-2804-501	HOJA DE PRESENTACIÓN, ÍNDICE DE PLANOS	A
1190-2804-502	INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10GHC11 BB001	B
1190-2804-503	DETALLES DE INSTALACIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES	0
1190-2804-504	DETALLES DE INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	
1190-2803-505	UBICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	

REVISIONES

FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
01/27/12	WAY	JAS	DGP	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
02/06/12	WAY	JAS	DGP	EMITIDO PARA APROBACIÓN Y/O COMENTARIOS CLIENTE
03/05/12	WAY	JAS	DGP	APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN

INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO

ELABORADO POR :	FIRMA	FECHA
WINGER VELEZ		09/05/12
ING. DE DISEÑO :		
JORGE SUAREZ		09/05/12
REVISADO POR :		
DANIEL PASQUARIELLO		09/05/12
GERENTE TÉCNICO :		
APROBACION DEL CLIENTE :		



CLIENTE : EnerSur

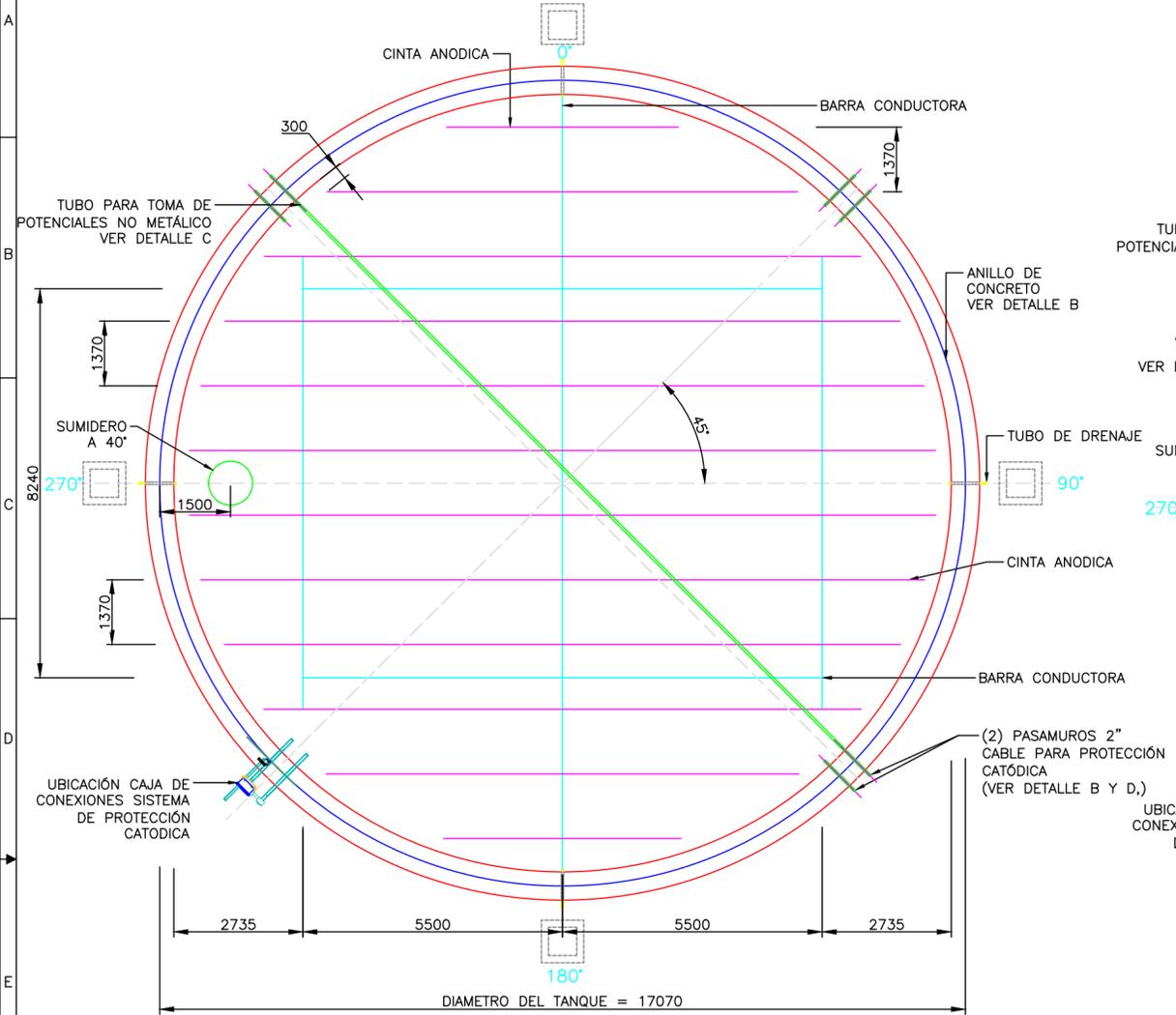
PROYECTO : ILO PEAKY PROJECT

DESCRIPCIÓN : INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10GHC11 BB001

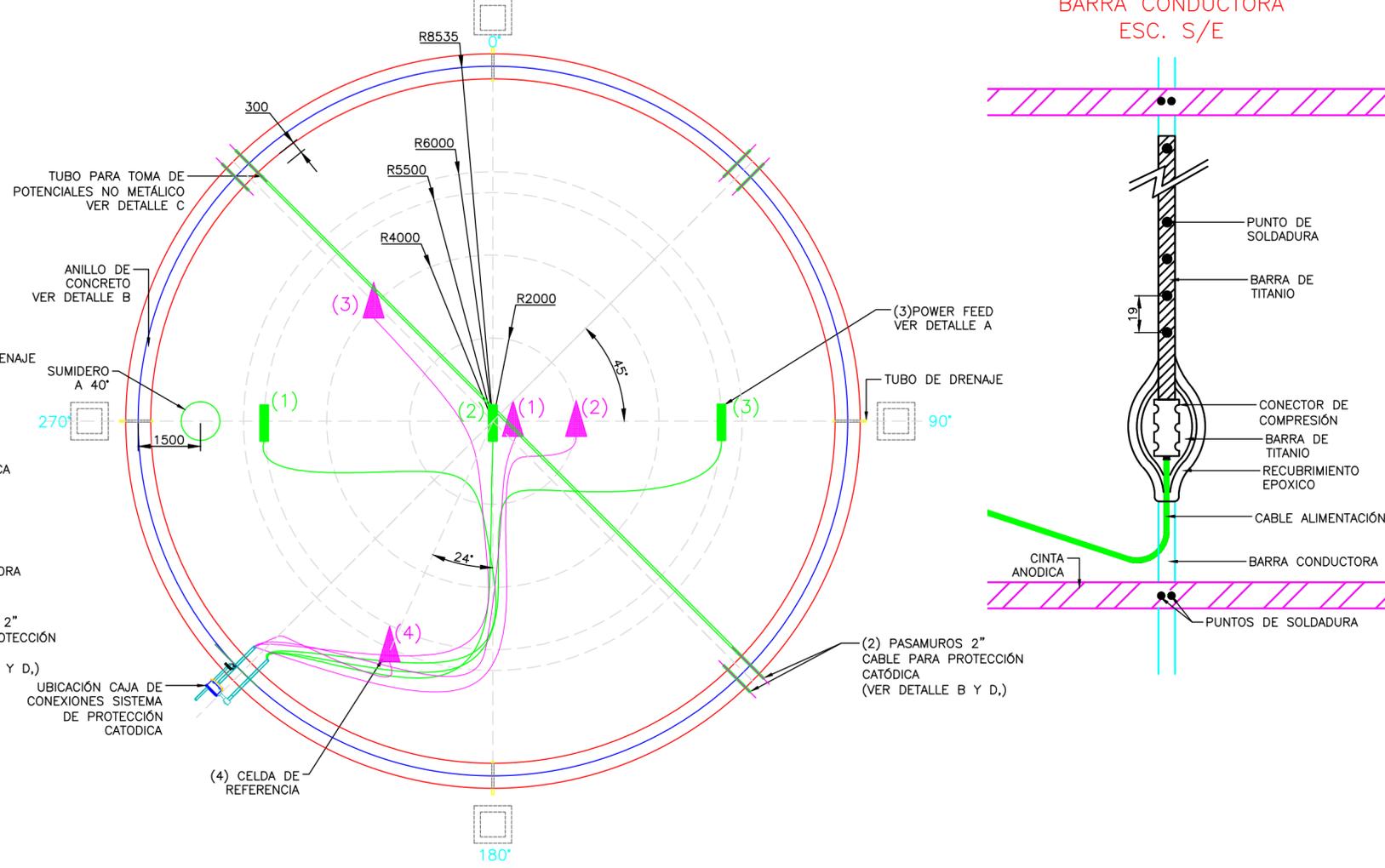
ESTE PLANO CONTIENE INFORMACION CONFIDENCIAL, PROPIEDAD DE SANTOS CMI. QUEDA EXPRESAMENTE PROHIBIDA SU DIFUSION, COPIA O USO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE SANTOS CMI.
THIS DRAWING CONTAINS PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL INFORMATION, ANY DISCLOSURE OR USE OF IS THEREFORE EXPRESSLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SANTOS CMI.

TAMAÑO : A2
ESCALA : LA INDICADA
DIBUJO N° : 1196-E604-502
HOJA : 2 DE 5
REV. : 0

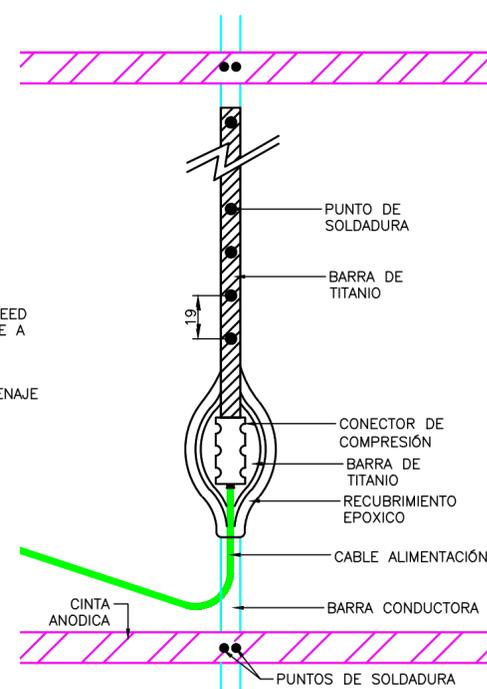
ESQUEMA No. 1
DISPOSICIÓN CINTA ANODICA Y BARRA CONDUCTORA
ESCALA: 1:100



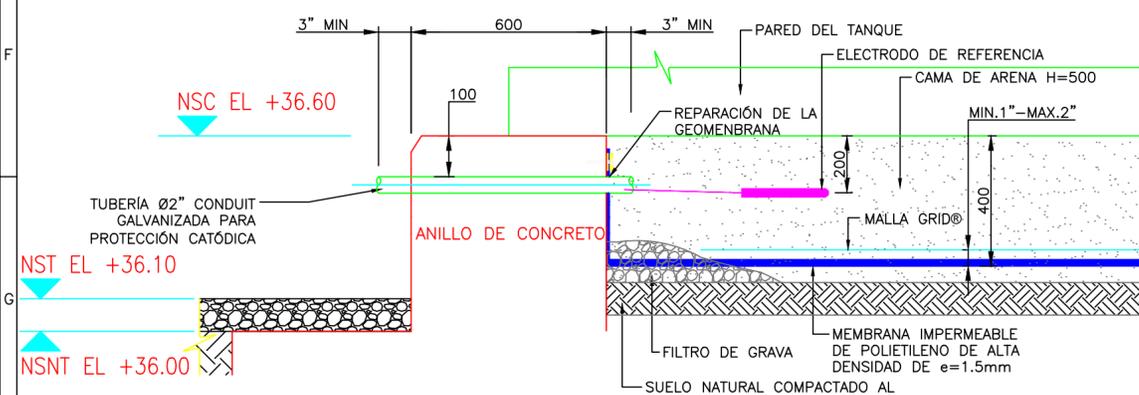
ESQUEMA No. 2
DISPOSICIÓN DE POWER FEED Y ELECTRODOS DE REFERENCIA PERMANENTE
ESC. 1:100



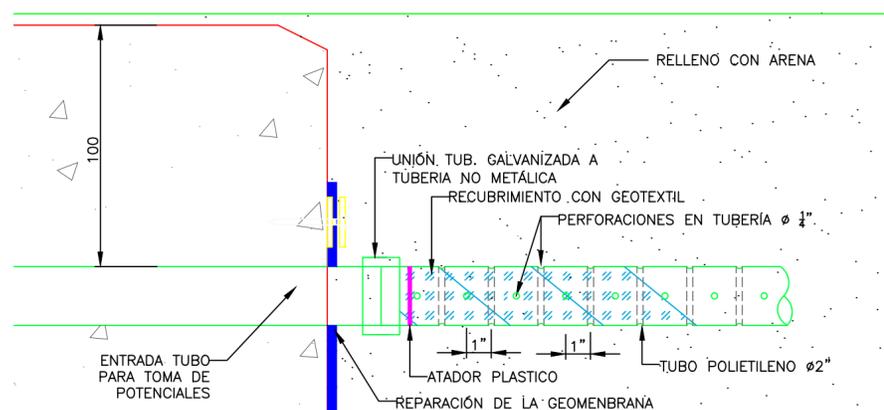
DETALLE A
CONEXIÓN DE POWERFEED A LA BARRA CONDUCTORA
ESC. S/E



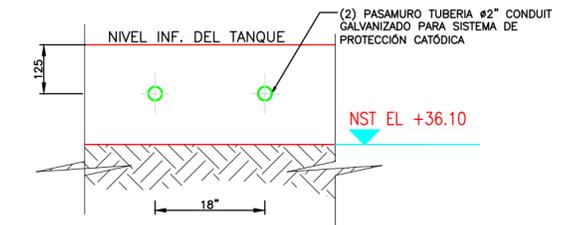
DETALLE A
INSTALACION PASAMUROS DE Ø2
ESC: 1:25



DETALLE C
TUBO PARA TOMA DE POTENCIALES
ESCALA: 1:5



DETALLE D
PASAMURO PROTECCIÓN CATÓDICA
ESCALA: 1.20



NOTAS GENERALES

1. TODAS LAS DIMENSIONES EN METROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUEN PULGADAS (").
2. LOS PASAMUROS QUE NO FUERON UTILIZADOS DEBEN SER SELLADOS ADECUADAMENTE CON RESINA Y UN TAPÓN PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA.

DIBUJOS DE REFERENCIA

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	REV.
1196-2804-401	HOJA DE PRESENTACIÓN, ÍNDICE DE PLANOS	A
1196-2804-402	INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10EGB52 BB001	B
1196-2804-403	DETALLES DE INSTALACIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES	0
1196-2804-404	DETALLES DE INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	
1196-2803-405	UBICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	

REVISIONES

FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
01/27/12	WAY	JAS	DGP	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
02/06/12	WAY	JAS	DGP	EMITIDO PARA APROBACIÓN Y/O COMENTARIOS CLIENTE
03/05/12	WAY	JAS	DGP	APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN

INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO

FECHA	FIRMA	ELABORADO POR
09/05/12		WINGER VELEZ
09/05/12		ING. DE DISEÑO: JORGE SUAREZ
09/05/12		REVISADO POR: DANIEL PASQUARIELLO
		GERENTE TÉCNICO:
		APROBACION DEL CLIENTE:



CLIENTE: EnerSur

PROYECTO: ILO PEAKY PROJECT

DESCRIPCIÓN: INSTALACIÓN DEL SISTEMA GRID TANQUE 10EGB52 BB001

TAMAÑO: A2
ESCALA: LA INDICADA

DIBUJO N°: 1196-E604-402
HOJA: 2 DE 5
REV. 0

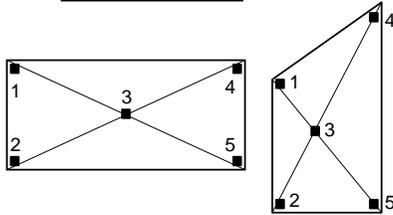
ANEXO 3

No de proyecto TECNA-TP/ETEN-2015-002P
 Cliente TP
 Lugar Terminal Eten
 Tanque No Tk 5



Anexo 1 Espesores del Fondo

Planchas Fondo



Por cada punto de medición, se reporta el valor mínimo.

Equipos usados:
Ultrasonido True Sonic digital flaw detector, palpador piezoeléctrico de diámetro: 1/4", frecuencia: 5Mhz.

Notas:
Mínimo espesor requerido por API653 sección 4.4.5.7= 2,54mm Mínimo ancho requerido= 9,52mm

Inspeccionado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Brayan Barja Zavala <small>NIVEL II SNT-TC-1A-UT-PEMT</small> Brayan Barja, inspector UT nivel II	 Alfredo Zúñiga, API653 No. 42275	 Alfredo Zúñiga, API653 No. 42275

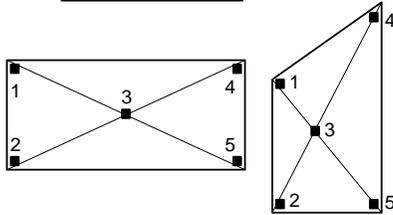
Espesores de plancha en mm							
Plancha Nº	1	2	3	4	5	Mínimo por Plancha	Promedio
1	7,75	7,71	7,61	7,50	7,62	7,50	7,64
2	7,70	7,75	7,89	7,60	7,55	7,55	7,70
3	7,64	7,67	7,60	7,66	7,71	7,60	7,66
4	7,55	7,54	7,74	7,59	7,64	7,54	7,61
5	7,78	7,42	7,69	6,99	7,35	6,99	7,45
6	7,47	7,59	7,42	7,46	7,64	7,42	7,52
7	7,67	7,45	7,57	7,63	7,73	7,45	7,61
8	7,71	7,63	7,65	7,66	7,52	7,52	7,63
9	7,67	7,54	7,45	7,32	7,63	7,32	7,52
10	7,69	7,48	7,38	7,52	7,64	7,38	7,54
11	7,47	7,65	7,70	7,63	7,69	7,47	7,63
12	7,70	7,35	7,38	7,49	7,40	7,35	7,46
13	7,54	7,69	7,58	7,66	7,57	7,54	7,61
14	7,49	7,55	7,50	7,46	7,56	7,46	7,51
15	7,59	7,70	7,67	7,60	7,72	7,59	7,66
16	7,56	7,56	7,65	7,65	7,64	7,56	7,61
17	7,50	7,43	7,71	7,72	7,70	7,43	7,61
18	7,44	7,88	7,50	7,51	7,66	7,44	7,60
19	7,53	7,50	7,52	7,60	7,40	7,40	7,51
20	7,35	7,44	7,54	7,60	7,50	7,35	7,49
21	7,45	7,64	7,79	7,67	7,48	7,45	7,61
22	7,75	7,63	7,79	7,66	7,62	7,62	7,69
23	7,39	7,66	7,80	7,65	7,45	7,39	7,59
24	7,50	7,60	7,43	7,30	7,40	7,30	7,45
25	7,70	7,40	7,26	7,45	7,35	7,26	7,43
26	7,70	7,58	7,66	7,60	7,59	7,58	7,63
27	7,70	7,30	7,23	7,40	7,30	7,23	7,39
28	7,60	7,50	7,70	7,60	7,70	7,50	7,62
29	7,57	7,43	7,39	7,23	7,28	7,23	7,38
30	7,55	7,63	7,54	7,55	7,54	7,54	7,56
31	7,56	7,48	7,23	7,41	7,35	7,23	7,41
32	7,36	7,52	7,39	7,60	7,70	7,36	7,51

No de proyecto TECNA-TP/ETEN-2015-002P
 Cliente TP
 Lugar Terminal Eten
 Tanque No Tk 5



Anexo 1 Espesores del Fondo

Planchas Fondo



Por cada punto de medición, se reporta el valor mínimo.

Equipos usados:
Ultrasonido True Sonic digital flaw detector, palpador piezoeléctrico de diámetro: 1/4", frecuencia: 5Mhz.

Notas:
Mínimo espesor requerido por API653 sección 4.4.5.7= 2,54mm Mínimo ancho requerido= 9,52mm

Inspeccionado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Brayan Barja, inspector UT nivel II	 Alfredo Zúñiga, API653 No. 42275	 Alfredo Zúñiga, API653 No. 42275

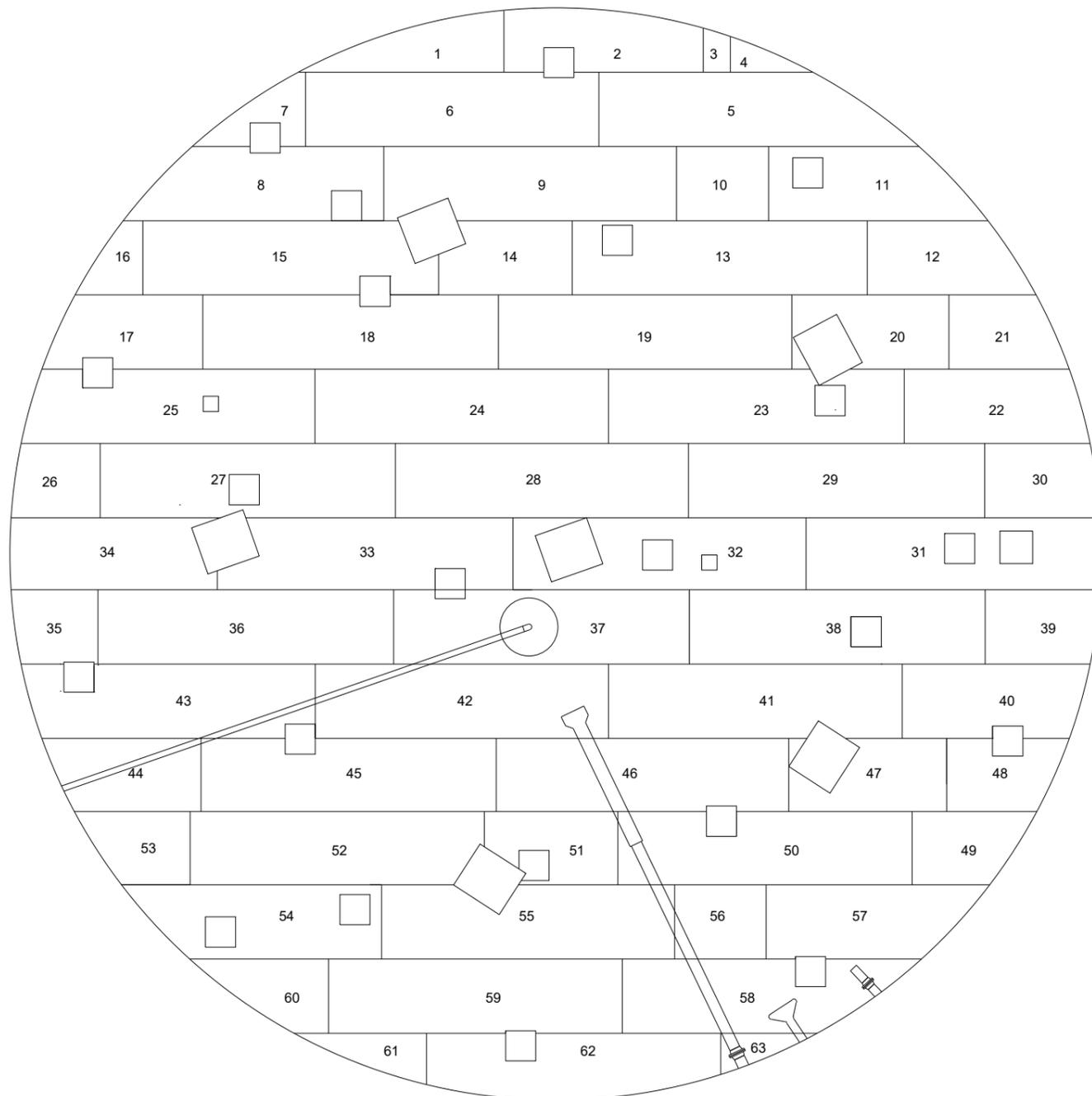
Espesores de plancha en mm							
Plancha Nº	1	2	3	4	5	Mínimo por Plancha	Promedio
33	7,43	7,50	7,45	7,50	7,48	7,43	7,47
34	7,35	7,63	7,48	7,69	7,62	7,35	7,55
35	7,35	7,75	7,51	7,46	7,67	7,35	7,55
36	7,43	7,53	7,46	7,50	7,39	7,39	7,46
37	7,67	7,38	7,40	7,45	7,52	7,38	7,48
38	7,38	7,64	7,58	7,43	7,34	7,34	7,47
39	7,63	7,71	7,63	7,61	7,68	7,61	7,65
40	7,45	7,63	7,63	7,76	7,51	7,45	7,60
41	7,35	7,28	7,53	7,47	7,60	7,28	7,45
42	7,37	7,63	7,60	7,66	7,49	7,37	7,55
43	7,45	7,73	7,53	7,45	7,58	7,45	7,55
44	7,60	7,60	7,68	7,68	7,50	7,50	7,61
45	7,76	7,68	7,68	7,55	7,51	7,51	7,64
46	7,76	7,63	7,76	7,58	7,48	7,48	7,64
47	7,46	7,68	7,36	7,42	7,62	7,36	7,51
48	7,46	7,69	7,80	7,63	7,58	7,46	7,63
49	7,63	7,57	7,60	7,46	7,55	7,46	7,56
50	7,72	7,62	7,45	7,65	7,57	7,45	7,60
51	7,65	7,49	7,78	7,51	7,51	7,49	7,59
52	7,69	7,83	7,76	7,69	7,59	7,59	7,71
53	7,59	7,50	7,52	7,63	7,47	7,47	7,54
54	7,89	7,79	7,67	7,69	7,56	7,56	7,72
55	7,71	7,80	7,50	7,58	7,57	7,50	7,63
56	7,69	7,43	7,75	7,49	7,65	7,43	7,60
57	7,62	7,72	7,39	7,49	7,63	7,39	7,57
58	7,43	7,63	7,49	7,56	7,40	7,40	7,50
59	7,69	7,56	7,69	7,80	7,71	7,56	7,69
60	7,76	7,46	7,44	7,57	7,64	7,44	7,57
61	7,44	7,65	7,69	7,62	7,53	7,44	7,59
62	7,63	7,58	7,65	7,62	7,69	7,58	7,63
63	7,56	7,61	7,44	7,48	7,60	7,44	7,54
PROMEDIO FINAL						6,99	7,57

REV. 0

NO. PLANO:
TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-01

DISTRIBUCIÓN DE PLANCHAS FONDO DE TANQUE

ESC: 1:110



NOTAS

DATOS DE ALMACENAMIENTO DEL TANQUE:

PRODUCTO: GAS 84
 ALT. MAX. RECEP.: 10'.97".3
 ALT. MAX. MED.: 13'.44".9

ALTURA SEGURA DE LLENADO POR API 653: 12.22 METROS

CONVENCIONES

PARCHE EXISTENTE

CLIENTE:



DISEÑO:



PROYECTO:

INSPECCIÓN DE TANQUES PARA EL CUMPLIMIENTO DEL API 510/ API 570/ API 653 Y DEL D.S. 017-2013-EM.

PLANO:

ANEXO 1
DISTRIBUCIÓN PLANCHAS DE FONDO TANQUE 5 TERMINAL ETEN

DIBUJÓ:

WIMER CARRASCO

ESCALA:

LA INDICADA

FECHA:

11-ABR-2016

REVISÓ:

ALFREDO ZUÑIGA

ARCHIVO:

TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-01.dwg

REV.

0

FORMATO

A3

APROBÓ:

ALFREDO ZUÑIGA

NO. PLANO:

TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-01

HOJA

1 DE 7

REVISIONES

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APR.
A	07-12-2015	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	W.C.	A.Z.	A.Z.
B	12-01-2016	EMITIDO PARA COMENTARIOS DEL CLIENTE	W.C.	A.Z.	A.Z.
O	11-04-2016	EMITIDO PARA INFORME FINAL	W.C.	A.Z.	A.Z.

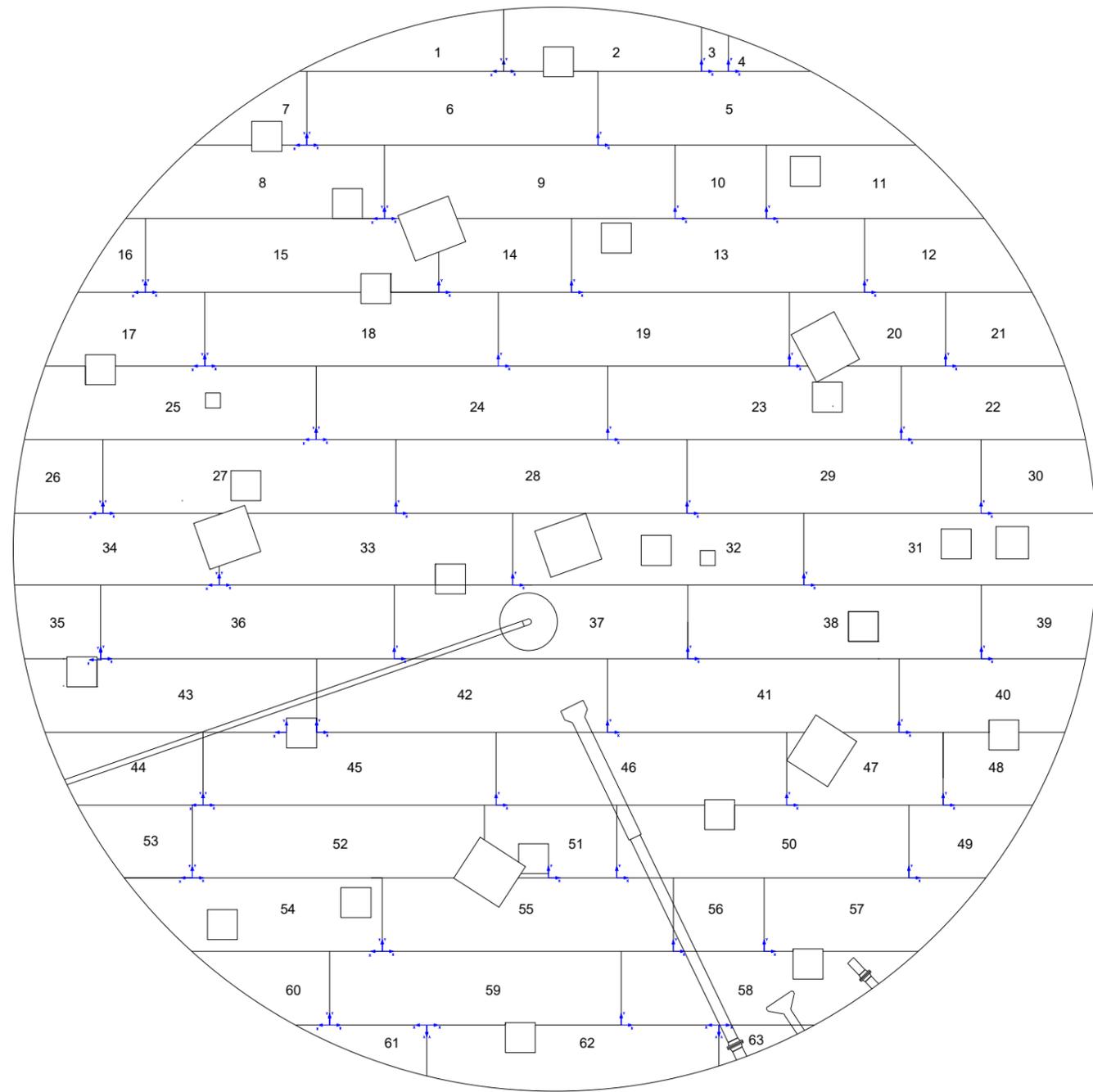
PLANOS DE REFERENCIA

No. DE PLANO	DESCRIPCIÓN

REV. 0

NO. PLANO:
TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-04

SISTEMA DE COORDENADAS INSPECCIÓN LFET FONDO DE TANQUE
ESC: 1:110



NOTAS

DATOS DE ALMACENAMIENTO DEL TANQUE:
 PRODUCTO: GAS 84
 ALT. MAX. RECEP.: 10'.97".3
 ALT. MAX. MED.: 13'.44".9
 ALTURA SEGURA DE LLENADO POR API 653: 12,22 METROS

CONVENCIONES

PARCHE EXISTENTE



PROYECTO:
INSPECCIÓN DE TANQUES PARA EL CUMPLIMIENTO DEL API 510/ API 570/ API 653 Y DEL D.S. 017-2013-EM.

PLANO: ANEXO 1
SISTEMA DE COORDENADAS INSPECCIÓN LFET DE FONDO TANQUE 5 TERMINAL ETEN

DIBUJÓ: WIMER CARRASCO ESCALA: LA INDICADA FECHA: 11-ABR-2016
 REVISÓ: ALFREDO ZUÑIGA ARCHIVO: TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-04.dwg REV. 0 FORMATO A3
 APROBÓ: ALFREDO ZUÑIGA NO. PLANO: TECNA-TP/ETEN-2015-002-PL-04 HOJA 4 DE 7

REVISIONES						PLANOS DE REFERENCIA	
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIB.	REV.	APR.	No. DE PLANO	DESCRIPCIÓN
A	07-12-2015	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	W.C.	A.Z.	A.Z.		
B	12-01-2016	EMITIDO PARA COMENTARIOS DEL CLIENTE	W.C.	A.Z.	A.Z.		
O	11-04-2016	EMITIDO PARA INFORME FINAL	W.C.	A.Z.	A.Z.		

ANEXO 4

	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO OPERACIONES		TP-O-ENR-2015001 Revisión B
	INFORME		
DOCUMENTO: TP-O-I-ENR-2015001	INFORME TECNICO EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SPC TANQUES		Pág. 12 de 23

Tabla N° 3: Datos de Evaluación del SPC de los 7 tanques después de Ajuste

TANQUE N° 11 DNT

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
21.05	B	2	3.2	CR1	-1422	-755	-181	574	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP0193
	B	2		CR2	-660	-235	-122	113	SI CUMPLE	
	B	2		CR3	-839	-478	-199	279	SI CUMPLE	
	B	2		CR4	-2235	-489	-298	191	SI CUMPLE	

TANQUE N° 12 DNT

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
14.23	B	1	3.6	CR1	-2050	-680	-266	414	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP0193
	B	1		CR2	-1513	-424	-273	151	SI CUMPLE	
	B	1		CR3	-723	-485	-343	142	SI CUMPLE	
	B	1		CR4	-3550	-530	-298	232	SI CUMPLE	

TANQUE N° 13 DNT

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
21.16	B	4	1.9	CR1	-2625	-512	-325	187	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP0193
	B	4		CR2	-898	-454	-263	191	SI CUMPLE	
	B	4		CR3	-1952	-658	-327	331	SI CUMPLE	
	B	4		CR4	-2625	-592	-328	264	SI CUMPLE	

TANQUE N° 51 DT

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
36.2	D	6	1.7	CR1	-1132	-688	-219	469	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP 0193
	D	6		CR2	-555	-488	-239	249	SI CUMPLE	
	D	6		CR3	-508	-316	-179	137	SI CUMPLE	
	D	6		CR4	-508	-333	-212	121	SI CUMPLE	

	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO OPERACIONES		TP-O-ENR-2015001 Revisión B
	INFORME		
DOCUMENTO: TP-O-I-ENR-2015001	INFORME TECNICO EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SPC TANQUES		Pág. 13 de 23

TANQUE N° 52 DT

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
20	C	2	5.2	CR1	-1509	-831	-328	503	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP 0193
	C	2		CR2	-488	-369	-265	104	SI CUMPLE	
	C	2		CR3	-623	-440	-291	149	SI CUMPLE	
	C	2		CR4	-2045	-901	-479	422	SI CUMPLE	

TANQUE N° 11 DEMI (El sistema se mantiene como estaba)

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	ANTES DE AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
25.76	B	6	3.5	CR1	-1253	-700	-341	359	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP0193
	B	6		CR2	-1923	-1200	-341	859	SI CUMPLE	
	B	6		CR3	-1858	-737	-429	308	SI CUMPLE	
	B	6		CR4	-1009	-727	-343	384	SI CUMPLE	

TANQUE N° 12 DEMI (El sistema se mantiene como estaba)

VOLTAJE ESTRUCTURA VS MALLA (VDC)	ANTES DE AJUSTE		VOLTAJE SHUNT (mVDC)	POTENCIAL (mV)			POTENCIAL NATURAL (mV)	POLARIZACION (mV)	3° Criterion: A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and electrode ($\Delta E_{100} = E_{off} - E_{depolarization}$)	OBSERVACIONES
	COURSE	FINE		CELDA	ON	INSTANT OFF				
37.44	E	1	5.2	CR1	-2830	-738	-425	313	SI CUMPLE	Se cumple con lo que establece la NACE Standard RP0193
	E	1		CR2	-3701	-572	-338	234	SI CUMPLE	
	E	1		CR3	-1201	-516	-381	135	SI CUMPLE	
	E	1		CR4	-1649	-525	-360	165	SI CUMPLE	