

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR  
CORRIENTE IMPRESA PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE  
LOS TANQUES ESTACIONARIOS DE ALMACENAMIENTO DE 5000  
Y 3000 GALONES EN EL GRIFO “SAN JUAN”-LAMBAYEQUE**

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

**AUTOR**

**NARDIN ANDERSON CELADA BUSTAMANTE**

**ASESOR**

**M.Sc. LUCIO ANTONIO LLONTOP MENDOZA**

**Chiclayo, 2020**

Este trabajo se lo dedico a Dios al creador de todas las cosas, quien ha sido mi columna de apoyo en toda en todos momentos difíciles de mi vida y a quien confié cada momento de mi vida. Porque nunca me ha abandonado y tener la seguridad que me llevo a culminar este trabajo.

A mis padres Sixto Celada Becerra y Paula Bustamante Asían, quien ha estado a mi lado y prestarme su apoyo incondicional pese a los obstáculos que se presenta durante mi carrera.

## RESUMEN

Actualmente existen gastos importantes en mantenimiento de los tanques cisternas, básicamente por alto índice de corrosión, debido a que los factores climáticos como temperatura y humedad son altos en nuestra ciudad.

Los procesos de mantenimiento de los tanques cisterna son complicados en su ejecución debido a que al entrar en funcionamiento se requiere de labores previas para el mantenimiento.

La programación de mantenimiento de los tanques cisterna no se realiza adecuadamente debido a la no existencia, muchas ocasiones de un plan de mantenimiento y solamente realiza la protección haciendo un mito correctivo, debido al alto costo del mantenimiento.

OSINERGMIN es el órgano regulador, que realiza labores de fiscalización y el Ministerio de Energía y Minas es el ente que emite las normas vigentes para el funcionamiento de los tanques de almacenamiento de combustibles; siendo éstas las que en las Inspecciones que realizan, generan las observaciones del deterioro de las Instalaciones Electromecánicas, pero son solo visuales y externas, por lo tanto, en algunas ocasiones no garantizan la correcta operatividad de las mismas.

Con respecto a los tanques de almacenamiento de combustibles es más conveniente trabajar la protección catódica por corriente impresa que la del ánodo sacrificado, porque hace uso de una fuente de energía.

En el presente proyecto realiza el diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa para incrementar la vida útil de los tanques estacionario de almacenamiento de 5000 Y 3000 galones en el grifo "San Juan"-Lambayeque, el cual permite seleccionar y calcular los componentes, y así, evaluar el impacto ambiental y los factores económicos.

**Palabras claves:** sistema de protección catódica, corriente impresa, ánodo sacrificado, fuente de energía.

## ABSTRACT

Currently there are important expenses in maintenance of tank tanks, basically because of high corrosion rate, because the climatic factors such as temperature and humidity are high in our city.

The maintenance processes of tank tanks are complicated in their execution because to enter in replacement requires previous work for the maintenance.

Maintenance scheduling of tank tanks can not be achieved, can not be performed, many times there is a maintenance plan and we only perform protection against a corrective myth, due to the high cost of maintenance.

OSINERGMIN is the regulatory regulator, which performs inspections and the Ministry of Energy and Mines is the one that comes into force the current regulations for the operation of fuel storage tanks; The inspections carried out by the electromechanical activities, but only the visual and external ones, therefore, in some occasions does not guarantee the correct operation of the same ones.

With respect to fuel storage tanks it is more convenient than cathodic protection by the current of the impression than that of the sacrificed anode, because it makes use of a power source

In the present project, the design of a cathodic protection system by printed current is carried out to increase the shelf life of the 5000 and 3000 gallon stationary storage tanks in the “San Juan” -Lambayeque tap, which allows selecting and calculating the components, and thus, assess the environmental impact and economic factors.

**Keywords:** cathodic protection system, printed current, sacrificed anode, power source.

## ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. HIPÓTESIS .....	18
II. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	19
2.1.1. Productos y problemáticas similares existentes .....	19
2.1.2. Planteamiento de problema .....	22
2.2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO .....	23
2.2.1. Parámetros previos al diseño.....	23
2.3. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS.....	25
2.3.1. Protección catódica .....	25
2.3.1.1. Elementos que interviene en la protección catódica son:.....	26
2.3.1.2. Clasificación de protección catódica, según su área a proteger: .....	27
III. MARCO METOLOGICO.....	30
3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.1.1. Tipo de investigación, .....	30
3.1.2. Variables, indicadores, población y muestra.....	30
3.1.2.1. Variable independiente.....	30
3.1.2.2. Variable dependiente.....	30
3.1.2.3. Población.....	31
3.1.2.4. Muestra.....	31
3.2. DIAGRAMA METODOLÓGICO PREVIO AL DISEÑO .....	31
IV. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LOS TANQUES.....	32
4.1. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNOSTICO .....	32
4.1.1. Técnica experimental para evaluar la corrosión.....	33
4.1.1.1. Pasos para el desarrollo experimental .....	33

4.1.2.	Cálculo del área total de la pieza.....	34
4.1.3.	Cálculo del peso que pierde el material por corrosión .....	34
4.1.4.	Cálculo de la velocidad lineal por corrosión .....	35
4.1.5.	Cálculo de la velocidad promedio lineal por corrosión.....	35
4.1.6.	Cálculo de la velocidad lineal promedio total de cada solución .....	35
4.1.7.	Cálculo del área total a proteger.....	36
4.1.8.	Cálculo de la masa de los tanques .....	36
4.1.9.	Cálculo de la masa promedio perdida por corrosión en los tanques .....	37
4.1.10.	Cálculo total de la masa de los tanques.....	37
4.1.11.	Cálculo total de las masas promedio perdida por corrosión en los tanques.	37
4.1.12.	Cálculo del porcentaje de la masa total promedio perdida por corrosión en los tanques .....	38
4.2.	RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO .....	39
4.2.1.	Definición de las características de la empresa .....	39
4.2.1.1.	Ubicación geográfica de la empresa.....	39
4.2.1.2.	Límites del terreno: .....	39
4.2.1.3.	Característica del suelo.....	40
4.2.2.	Cálculo de la velocidad lineal promedio total de cada solución .....	40
4.2.3.	Cálculo de la masa promedio perdida por corrosión en los tanques .....	46
4.2.4.	Cálculo total de las masas promedio perdida por corrosión y su porcentaje con respecto a los tanques .....	48
V.	SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA .....	50
5.1.	CONCEPTO DE LOS ELEMENTOS O PARTES .....	51
5.1.1.	Ánodo para corriente impresa .....	51
5.1.1.1.	Clasificación de ánodo, según forma geométrica y su uso .....	52
5.1.2.	Relleno anódico.....	53
5.1.3.	Cables .....	54
5.1.4.	Caja de distribución.....	54
5.1.5.	Estación de prueba o medición.....	55
5.1.6.	Fuente de poder .....	55
5.2.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA .....	56

5.2.1.	Descripción de las fases del proceso de diseño:.....	61
5.2.1.1.	Cálculo de la resistividad eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga .....	61
5.2.1.2.	Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo.....	65
5.2.1.3.	Cálculo de la resistencia eléctrica de los cables y su equivalencia resistiva de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos .....	68
5.2.1.4.	Cálculo de la capacidad del rectificador y del transformador .....	74
5.3.	ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO .....	76
5.3.1.	Ánodos tubulares.....	76
5.3.2.	Cables .....	76
5.4.	RESULTADO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	80
5.4.1.	Cálculo de la resistividad eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga .....	80
5.4.2.	Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo.....	83
5.4.3.	Cálculo de la resistencia eléctrica de los cables y su equivalencia resistiva de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos .....	85
5.4.4.	Cálculo de la capacidad del rectificador y del transformador .....	87
VI.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DURANTE Y DESPUÉS LA INSTALACION DEL SISTEMA DE PROTECCION.....	89
6.1.	DATOS ACTUALES DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES .....	89
6.1.1.	Suelo.....	89
6.1.2.	Sismicidad.....	89
6.1.3.	Hidrología.....	89
6.1.4.	Climatología .....	90
6.1.5.	Vientos .....	90
6.2.	ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	90
6.2.1.	El terreno: .....	90
6.3.	ACTIVIDADES PROPUESTAS .....	91
6.3.1.	Durante la instalación del sistema de protección .....	91
6.3.2.	Después de la instalación del sistema de protección.....	91
6.4.	COMPONENTES AMBIENTALES DEL ENTORNO SUSCEPTIBLE DE SER IMPACTADO .....	91
6.4.1.	Impacto al aire.....	91

6.4.2.	Impactos al suelo .....	92
6.4.3.	Impactos al agua.....	92
6.4.4.	Impactos a la salud .....	92
6.4.5.	Impacto social .....	92
6.5.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE Y DESPUES DE SU INSTALACIÓN.....	93
6.6.	RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO .....	96
6.6.1.	Durante la instalación del sistema de protección .....	96
6.6.2.	Después de la instalación del sistema de protección.....	103
VII.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	104
7.1.	METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO ... ..	104
7.1.1.	Diagrama de la metodología de la evaluación económica del proyecto ...	104
7.1.2.	Descripción del diagrama de la metodología de la evaluación económica del proyecto.....	106
7.1.2.1.	Cálculo del precio total del proyecto.....	106
7.1.2.2.	Cálculo del precio de los tanques .....	107
7.1.2.3.	Cálculo del precio por mantenimiento y consumo de energía .....	107
7.1.2.4.	Cálculo del flujo de caja y el valor actual neto .....	108
7.1.2.5.	Cálculo la tasa interna de retorno .....	110
7.2.	RESULTADO DE LA EVALUCIÓN ECONÓMICA.....	111
7.2.1.	Cálculo del precio total del proyecto.....	111
7.2.1.1.	Cálculo del precio total de los accesorios .....	111
7.2.1.2.	Cálculo del precio total del personal .....	112
7.2.1.3.	Cálculo del precio total del proyecto.....	112
7.2.2.	Cálculo del precio de los tanques .....	112
7.2.3.	Cálculo del precio por mantenimiento y consumo de energía .....	113
7.2.3.1.	Cálculo del precio por mantenimiento sin protección catódica .....	113
7.2.3.2.	Cálculo del precio por mantenimiento con protección catódica .....	114
7.2.4.	Cálculo del flujo de caja y el valor actual neto .....	115
7.2.4.1.	Cálculo del flujo de caja.....	115
7.2.4.2.	Cálculo de la tasa bienal promedia.....	116

7.2.4.3.	Cálculo el valor actual neto con respecto a los ingresos, egresos y al flujo de caja.....	117
7.2.5.	Cálculo la tasa interna de retorno .....	117
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
8.1.	CONCLUSIONES .....	118
8.2.	RECOMENDACIONES .....	119
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	120
X.	NORMAS RECOMENDADAS POR NACE.....	121
XI.	ANEXO.....	122

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Grado de corrosividad del suelo.....	24
Tabla 2. Identificación de variables y de indicadores. ....	30
Tabla 3. Características de las muestras con respecto a las piezas prueba (primera observación). ....	42
Tabla 4. Resultados del MPY con respecto a las piezas de prueba (segunda observación). ....	44
Tabla 5. Resultados del MPY con respecto a las piezas de prueba (tercera observación)... ..	45
Tabla 6. Resultados del MPY de cada solución. ....	45
Tabla 7. Resultados del $\Delta W1_{prom}$ de cada solución del tanque 1.....	47
Tabla 8. Resultados del $\Delta W2_{prom}$ de cada solución del tanque 2. ....	48
Tabla 9. Resultado de la pérdida de masa y su porcentaje del tanque 1 y 2 respecto a cada solución. ....	49
Tabla 10. Características del ánodo.....	76
Tabla 11. Característica del cable. ....	76
Tabla 12. Resistividad del cable con respecto a su calibre. ....	77
Tabla 13. Característica del cable. ....	77
Tabla 14. Resistividad del cable con respecto a su calibre. ....	78
Tabla 15. Característica del cable. ....	78
Tabla 16. Resistividad del cable con respecto a su calibre. ....	79
Tabla 17. Parámetros y valores ambientales .....	94
Tabla 18. Relevancia del impacto ambiental. ....	95
Tabla 19. Evaluación de la actividad de movimiento de tierra. ....	96
Tabla 20. Evaluación de la actividad de colocación del relleno. ....	97

Tabla 21. Evaluación de la actividad de la instalación de ánodo. ....	98
Tabla 22. Evaluación de la actividad de la instalación de tubería PVC y cableado.....	99
Tabla 23. Evaluación de la actividad de la instalación de la caja de distribución. ....	100
Tabla 24. Evaluación de la actividad de la instalación de la estación de prueba. ....	101
Tabla 25. Evaluación de la actividad de vaciado de concreto.....	102
Tabla 26. Evaluación de la actividad de monitoreo trimestral del sistema de protección. ....	103
Tabla 27. Lista de precios de los accesorios para el sistema de protección. ....	111
Tabla 28. Lista de precios según el tipo de personal calificado para el sistema de protección .....	112
Tabla 29. Lista de los precios de los tanques según su volumen. ....	113
Tabla 30. Lista de precios de las actividades de mantenimiento sin protección. ....	113
Tabla 31. Lista de precios de las actividades de mantenimiento con protección.....	114
Tabla 32. Flujo de caja del proyecto. ....	115
Tabla 33. Valor actual neto con respecto a los ingresos, egresos y al flujo de caja.....	117
Tabla 34. Tabla de densidad de corriente por su estado superficial del acero y su medio agresivo. ....	129
Tabla 35. Tabla de nivel de voltaje con respecto a las condiciones ambientales y el electrodo. ....	129
Tabla 36. Tabla de valores resistivo de los cables por su uso .....	130
Tabla 37. Tasas activas anual del sistema bancario. ....	133

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de protección catódica por ánodo de sacrificio. ....	28
Figura 2. Sistema de protección catódica de corriente impresa. ....	29
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de diseño. ....	31
Figura 4. Diagrama de proceso para el diagnóstico. ....	32
Figura 5. Diagrama de pasos para el desarrollo experimental. ....	33
Figura 6. Sección de la muestra. ....	34
Figura 7. Sección del tanque. ....	36
Figura 8. Vista de una pieza. ....	41
Figura 9. Vista de las muestras. ....	43
Figura 10. Esquema de diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa. .	50
Figura 11. Ánodos tubulares. ....	52
Figura 12. Ánodo de disco. ....	53
Figura 13. Cajas de toma de potencial en aleación de aluminio. ....	54
Figura 14. Estación de prueba. ....	55
Figura 15. Representación de la configuración eléctrica de sistema de protección. ....	56
Figura 16. Diagrama eléctrico del sistema de protección. ....	57
Figura 17. Diagrama simplificado del sistema de protección. ....	57
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso resistivo de la estructura a proteger. ....	58
Figura 19. Diagrama de flujo del proceso resistivo del relleno y del ánodo. ....	59
Figura 20. Diagrama de flujo del proceso resistivo de los cables. ....	59
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso para la capacidad del rectificador y del transformador. ....	60

Figura 22. Esquema de un diseño de balanceo de cargas eléctricas. ....	61
Figura 23. Sección del tanque .....	62
Figura 24. Esquema de la trayectoria del cable de balanceo de carga eléctrica.....	64
Figura 25. Representación de la configuración eléctrica .....	66
Figura 26. Sección de un cilindro hueco.....	66
Figura 27. Vista de planta de un sistema de protección con sus respectivas distancias de ubicación. ....	69
Figura 28. Vista lateral de un sistema de protección con sus respectivas distancias de ubicación. ....	70
Figura 29. Diagrama eléctrico del cable catódico. ....	72
Figura 30. Diagrama eléctrico del cable de medida. ....	73
Figura 31. Diagrama eléctrico de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos. ....	74
Figura 32. Diagrama eléctrico equivalente de un sistema de protección. ....	75
Figura 33. Conductor para los ánodos.....	77
Figura 34. Conductor para el tanque y para la unión entre tanques. ....	78
Figura 35. Conductor para media .....	79
Figura 36. Diagrama de flujo de la evaluación económica. ....	105

## I. INTRODUCCIÓN

La humedad y el cambio de temperatura son los factores principales que causan la corrosión u oxidación. Este fenómeno puede causar deterioro en los metales y traer como consecuencia desmonte de chatarra, los cuales generan un alto impacto en el ambiente, metas de producción, costos de operación, seguridad, ciclo de vida de los equipos, mantenimiento y salud.

También, por el uso de enseres inapropiados, que se utilizan en las industrias de bajos recursos económicos se produce en la salud como: problemas respiratorios y digestivos. En algunos casos puede ocasionar la muerte. Por ejemplo, por la perforación de un tanque producto de la oxidación, al liberarse su contenido se podrían producir como consecuencia heridas graves.

Se estima que, los gastos atribuidos son 6% del total de su producto interno bruto de las naciones desarrolladas, para resolver problemas relacionado a la corrosión. En Estado Unidos, esto asciende a unos 550 mil millones de dólares al año. Solamente hablado del acero, de cada 10 toneladas fabricada al año, se pierde 25% por corrosión.

El fenómeno de corrosión afecta muchas áreas importantes en las construcciones manufactura. La corrosión tiene normas estandarizadas son: ASTM (American Society for Testing and Materials) y G1(Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens).

El fenómeno de corrosión ocurre en presencia de un electrólito acuoso o ácido, ocasionando regiones identificadas, llamadas anódicas y catódica; una reacción de oxidación es una reacción anódica, en el cual los electrones son liberados dirigiéndose a la otra región catódica.

En la actualidad existen diferentes métodos para reducir la corrosión en los metales. Uno de ellos es la protección catódica. Que este método se clasifica en dos formas, por ánodo sacrificado y por corriente impresa. El más usado en el área de la industria y salud es el de corriente impresa por su eficacia.

La protección catódica tiene su fundamento teórico en la electroquímica. Este tema es una rama de la química que estudia el flujo de electrones, las reacciones químicas y las reacciones eléctricas. Su objetivo es la conversión de la energía eléctrica en energía química.

Las electroquímicas tienen elementos fundamentales que componen el proceso y estos son; ánodo, cátodo, zona electrolítica y zona conductora. El ánodo es la zona donde ocurre el deterioro o la oxidación. En el cátodo es una zona donde ocurre el consumo de los electrones. La zona electrolítica es el medio donde conducen corriente eléctrica y suele ser sustancia disuelta en agua como óxido metálicos, sales hidróxidos y ácido. La zona conductora es el medio donde permite el paso de los electrones.

Por eso es recomendable el uso de la protección catódica ya que es una técnica de control de corrosión que consiste en la aplicación de corriente directa de algunas fuentes (ánodo galvánico o de corriente impresa) hacia una estructura que desea proteger y con el fin de evitar el flujo de corriente de corrosión de dicha estructura.

La protección catódica tiene elementos fundamentales que la compone para su proceso de funcionamiento son: zona anódica que tiene a ser un metal activo que está dispuesto a oxidarse o mantenerse en estado inerte; zona catódica que viene a ser la estructura a proteger; zona electrolítica que viene a ser el medio donde fluye los protones en este caso puede ser el suelo o agua y zona conductora es un cable conductor que permite el pase de la corriente. Una vez conocidos sus elementos.

Hay tomar en cuenta el criterio de potencial que viene hacer el diagrama de Marcel Pourbaix. Este diagrama se encarga entre la relación de potencial de electrodo y pH de la disolución. La disolución viene hacer la zona electrolítica. Por lo tanto, es de suma importancia saber dónde se realizará la protección catódica. Porque el suelo vario su pH según su ubicación. Una vez conocido su criterio de potencial.

La protección catódica se clasifica en dos: por ánodo sacrificado y por corriente impresa. Por ánodo sacrificado hace uso de un metal activo como ánodo en presencia de otro metal menos activo como cátodo. Este sistema es usado para estructura de

pocas áreas a proteger. Los ánodos de sacrificio actúan como fuente de energía portátil, porque son muy útiles cuando no se dispone de una fuente de energía. Normalmente se emplea ánodos de zinc y aleaciones de aluminio. Mientras por corriente impresa hace uso de una fuente generadora de energía de corriente continua. El cátodo se toma en cuenta la estructura a proteger y el ánodo es el electrodo inerte.

Esta técnica de la protección catódica se ve su aplicación en las industrias, en las clínicas, etc. En las industrias alcoholeras se da en los tanques de procesamiento de bebidas En las clínicas es visto en el área de esterilización

Por lo tanto, lo indicado justifica ampliamente la utilización de la protección catódica, que conjuntamente con los revestimientos y otras técnicas, se encarga de la protección de las estructuras metálicas en contacto con el medio corrosivo.

## 1.1. **JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo de tesis se justifica, porque, controla la corrosión en los tanques estacionario de almacenamiento de combustible. Si se realiza adecuadamente; incrementara el desarrollo y el estudio de la protección catódica en los tanques.

Además, se justifica debido a que no existe un sistema de protección catódica por corriente impresa diseñado para tanques de almacenamiento. El que se utiliza actualmente es un sistema de protección catódica por ánodo sacrificado para combustibles en estado líquido.

- **Beneficio Económico:**

Reduce gastos de mantenimiento del equipo, así mismo se obvia el reemplazo del tanque. En cierto caso, las técnicas convencionales usadas para la reducción de corrosión son: pintado, cromado y cambio de material anticorrosivo, es por eso, la aplicación de dichas técnicas trae como consecuencia gastos elevados.

- **Beneficio Ambiental:**

Se trata de un sistema de protección catódica que controla los niveles de contaminación por emisión de óxido en los tanques estacionario de almacenamiento de combustible. Mientras que; su funcionamiento hace uso de una corriente continua; es por eso, no emite gases contaminantes.

- **Beneficio tecnológico:**

El desarrollo del sistema de protección catódica cada vez está tomando mayor interés, debido a que hace uso de una corriente continua. Se puede alimentar con energía renovable con paneles fotovoltaicos o con aerogeneradores.

## 1.2. **OBJETIVOS**

### 1.2.1. **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de protección catódica por corriente impresa para incrementar la vida útil de los tanques estacionarios de almacenamiento de 5000 y 3000 galones en grifo “San Juan”-Lambayeque.

### 1.2.2. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación actual de los tanques de combustibles del grifo “San Juan”-filial Pecsá, en cuanto a fallas que presenta por corrosión.
- Seleccionar y calcular los componentes del sistema de protección contra la corrosión; para los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados del Grifo “San Juan” filial Pecsá.
- Evaluar el impacto ambiental de la instalación del sistema de protección catódica en los tanques de 5000 y 3000 galones del Grifo “San Juan”.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema de protección catódica, a través de los criterios económico como VAN y TIR.

### 1.3. **HIPÓTESIS**

El diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa permite incrementar la vida útil en los tanques estacionarios de almacenamiento de 5000 y 3000 galones en el Grifo “San Juan”-Lambayeque”.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ESTADO DEL ARTE

#### 2.1.1. PRODUCTOS Y PROBLEMÁTICAS SIMILARES EXISTENTES

- En ámbito internacional:

Según la tesis “Evaluación de la distribución de corrientes y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías” del autor Jorge Luis Barrera Cruz en el año 2011 en la ciudad de Guayaquil se ejecutan continuamente obras que involucran tuberías enterradas debido principalmente a ser exportadores de petróleo y sus derivados. Así mismo, los nuevos proyectos de transporte de gas licuado de petróleo y la expansión horizontal de la población que conlleva a la creación de líneas de alcantarillado y agua potable, suman al sinnúmero de proyectos relacionadas con ductos y tubería que requieren protección apropiada contra la corrosión, no solo incrementar su vida útil sino también para evitar fallas que pueden llegar a ser catastrófica. La solución que propone es la siguiente comprobar las bondades de realizar el diseño de la protección catódica que se diferencia de los tradicionales y la metodología propuesta combina cálculo teórico tradicionalmente empleados de corriente de protección, resistencia eléctrica y dimensionamiento de la fuente poder conjuntamente con resultados de ensayos de campos de agresividad del electrolito y distribución de potencial sobre la estructura y describir el procedimiento de obtención de la conductividad eléctrica de una tubería mediante la impresión de corriente con una fuente de energía provisional. Con las pruebas de campos se optimizan los recursos en la implementación del sistema de protección catódica. Se cuenta con una apreciación real de la eficiencia del revestimiento y con esto se evita sobre dimensionamiento de rectificadores y dispersores.

Según la tesis “Selección y diseño de sistema de protección catódica para tuberías enterradas en el centro operacional Bare. El Tigre, Edo. Anzótégui” del autor Marlyn Carolina Rosas Brito, en el año 2012 en la ciudad Sartenejas existe presencia de corrosión en la tubería en la superficie exterior producto del contacto

con el medio (suelo). En algunos de los casos implica en hacer gastos considerables o el reemplazo de dicho tubo. La solución que se propone es la siguiente; recolectar, evaluar y analizar las condiciones actuales de la línea de tubería. Luego, seleccionar y diseñar el sistema de protección catódica más óptimo para el corredor de tubería principal, conformado por la línea del crudo diluyente y agua del centro operacional Bare. Mediante el análisis técnico – económico se llegó a la selección de un sistema de protección catódica más óptimo por ánodo poliméricos continuos.

Según la tesis “Protección catódica y su aplicación en tanques de almacenamiento de productos petroleros en la planta Gutemaltecas” del autor René Oswaldo Girón Callejas, en el año 2005 en la ciudad Guatemala existe corrosión en los tanques de almacenamiento productos petroleros. De los resultados obtenidos establece que para garantizar mejor funcionamiento en la instalación del sistema de protección catódica por corriente impresa en tanques se deben tener presente cuyos parámetros iniciales como clima, temperatura, resistividad del suelo, etc. Estos parámetros van a servir para realizar un mejor cálculo en la instalación. Si lo aplicamos conjuntamente con otro sistema de recubrimiento su efectividad se incrementará.

Según la tesis “Diseño del sistema de protección catódica para el gasoducto Arecuna –Westlejos” del autor Fernando José Ornes Poleo, en el año 2012 en la ciudad Sartenejas por la existencia de corrosión en los gaseoductos, por lo tanto, se implementará técnica de protección catódica desde los centros de compresión y tratamiento Arecuna, Bare y Melones, hasta el Gasoducto Anaco- Puerto Ordaz. La solución que se brinda un diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa, basado en las características del terreno, ambiente, tubería y revestimiento del mismo. Mediante el dimensionamiento del ánodo para que cumpla con el tiempo de vida estipulado. De los resultados obtenidos por los efectos de líneas de transmisión de alto voltaje con el método de cálculo propuesto arrojan que se deben utilizar método para reducir el potencial en las tuberías debido a que exceden los 15v de acuerdo a las normas N.A.C.E.RP0177.

Según la tesis “Diseño del sistema de protección catódica por ánodo profundo para un bosque de tanques de almacenamiento de combustible” del autor Willian Luis

Suque Cercado, en el año 2008 en la ciudad de Guayaquil, existe un problema que se aqueja en la vida útil en los tanques de almacenamiento de combustible causado por la corrosión. La solución es el uso de la protección catódica, donde se realizará bajo los principios y criterios contra la corrosión y así obtener los requerimientos de ánodos, transformadores, cables conductores, conexiones, aisladores y demás elementos que forme parte del sistema. Donde se hará un análisis de factibilidad técnico y económico haciendo uso empleado en concordancia con los trabajos mecánico y eléctrico, para así planificar de la mejor manera. Los resultados del sistema de protección catódica es el método más viable. Ya que existe un incremento del 11,56% del costo con referencia al costo por ánodo, esto se compensa una vez ejecutado su reemplazo al cabo de su vida útil. El sistema de ánodos profundos es ideal para una tasa de interferencia nula comparada con el sistema de ánodo superficial. Plantea una vida útil de 20 años con los materiales y características establecidas.

Según la tesis “Diseño de sistema eléctrico y control para el montaje de dos tanques de almacenamiento de crudo de petroproducción” del autor Richard Jesús Zamora Mero, en el año 2008 en la ciudad de Quito existe problema de confiabilidad de los tanques de almacenamiento de crudo. La solución es de realizar el diseño eléctrico y control e instrumentación para el montaje de tanque de almacenamiento del crudo siguiendo las normas internacionales por la presencia de líquido y gases explosivos. Los resultados arrojaron una resistividad de  $72\Omega\cdot m$ . De la cual posee un sistema de puesta a tierra lo cual determinaron un calibre de conductor de malla 2/0AWG. Para el sistema de protección catódica se utilizó el método de grilla, lo cual se determina que el sistema de protección catódica tiene diferentes configuraciones.

- En ámbito nacional:

Según la tesis “Sistema de protección catódica para tubería enterrada de transmisión de gas natural” del autor Carlos Cesar Clavijo Cáceres, en el año 2014 en la ciudad Lima existe un problema que la corrosión en las tuberías de gas de Lima y Callao. La solución que propone es el análisis de suelo y el tipo de protección catódica que tomara según la resistencia del suelo. En este caso se tomará por corriente impresa. Se hará uso de un método de Barnes. Se demostró

que mientras más profundo sea la capa más alta es la resistividad del suelo. Entonces, la resistencia que empleara es la más alta de una profundidad de 2m siendo 25.133ohmio-centrímetro. De esa manera se hará uso arena ya que tiene un comportamiento muy homogéneo y por sus características apropiadas.

### 2.1.2. **PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

El Grifo “San Juan” está ubicado en la Carretera Chiclayo – Pomalca 3.5 Km en el distrito Chiclayo en el departamento de Lambayeque. En el 2000 el Ministerio de Energía y Minas le otorga una constancia de venta de combustible para Diesel B5 y Gasohol 84.

En el 2011 la empresa MassTech realiza la inspección de hermeticidad en los tanques, con el objetivo de verificar que cumpla con el protocolo EPA(Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América). Los resultados obtenidos de las pruebas son:

- Para el tanque de 5000 galones al 58,4% de combustible ha pasado la prueba de los límites establecido por la EPA (0.38lt/hora) y en seco ha pasado la prueba dentro de los límites establecidos por la EPA (0,38lt/hora).
- Para el tanque de 3000 galones al 44,1% de combustible ha pasado la prueba de los límites establecido por la EPA (0.38lt/hora) y en seco ha pasado la prueba dentro de los límites establecidos por la EPA (0,38lt/hora).

En el 2012 la empresa TECHNICAL SOLUTIONS realiza inspección en los tanques y en las tuberías, de acuerdo al D.S. 064-2009 y a su modificatoria D.S.024- 2012-EM. Obteniendo de esta manera los siguientes resultados con respecto a los tanques. Concluye que los tanques no están protegidos por ningún revestimiento y por ningún método de protección, también presenta humedad, concentración de cloruro y de sulfato con respecto al suelo.

Actualmente los tanques enterrados de almacenamiento de hidrocarburo y sus derivados del Grifo “San Juan” filial Pecsca presenta el fenómeno de corrosión causado por diferentes agentes. Estos agentes son: humedad, temperatura, concentración de cloruro y sulfato.

Desde 2012 hasta la actualidad no se ha realizado ninguna prueba que garantice su operación correcta, ni tampoco se han realizado modificaciones que mejore su funcionamiento con respecto a los tanques de almacenamiento.

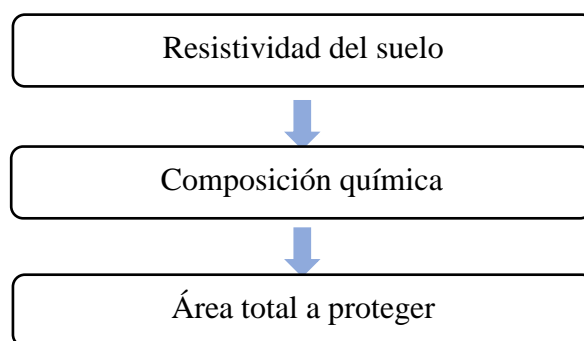
¿Cómo incrementar la vida útil de los tanques estacionario de almacenamiento de 5000 y 3000 galones en el Grifo “San Juan”-Lambayeque, si se realiza el diseño del sistema de protección catódica de manera adecuada?

## 2.2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Para la selección de materiales en la protección catódica por corriente se emplea diferentes parámetros físicos como los de resistividad del suelo, composición química y área total a proteger.

### 2.2.1. PARÁMETROS PREVIOS AL DISEÑO

La información de mayor importancia obtenida previa al diseño es:



### a) Resistividad del suelo

Cuando se requiera diseñar un sistema de protección catódica es importante tener en cuenta sus características del medio. Estas características guardan relación con el fenómeno de corrosión.

La resistividad es un indicador que tiene la capacidad de conducir una corriente a través de un cuerpo y depende de sus componentes como: sales disueltas y humedad presente.

La resistividad del suelo es numéricamente igual a la resistencia del terreno, cuya unidad de medida es el ohm-centímetro ( $\Omega$ -cm). Esto quiere decir que la resistencia es directamente proporcional resistividad.

De acuerdo a los valores establecido al libro “AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE” en el capítulo Cathodic Protection of aboveground Storage Tanks (5.3.1.2), se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 1. Grado de corrosividad del suelo.

Resistencia del suelo ( $\Omega$ -cm)	Grado de corrosividad
0- 500	Muy Corrosivo
500-1000	Corrosivo
1000-2000	Moderadamente corrosivo
2000-10000	Medianamente corrosivo
10000-mayor	Corrosivo insignificante

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

### b) Composición química del suelo

Otro factor de importancia para el diseño es el indicador de pH. El pH es un indicador que nos permite saber la concentración de iones de hidrogeno en el suelo o en un medio electrolítico. Cuando el pH es mayor a 7, mayor es la concentración de iones de hidrógeno; es decir, en condición ácida. En el caso que el pH sea menor a 7, menor es la concentración de iones de hidrógeno.

Otros factores como complemento al diseño son el contenido de cloruro y sulfato

### c) **Área total a proteger**

Es una superficie que está expuesta a la agresión del medio corrosivo y el cálculo de esta es fundamental para hallar el flujo de corriente de protección inducida por el rectificador.

## 2.3. **BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS**

### 2.3.1. **PROTECCIÓN CATODICA**

La protección catódica es una técnica que se utiliza para disminuir la velocidad de oxidación (o corrosión), haciendo que la estructura se comporte como un cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un medio electrolito. También, hace uso del diagrama de Marcel Pourbax, que indica la relación del potencial eléctrico suministrado a la estructura a proteger con respecto al pH de medio electrolito. Este diagrama nos permite saber, que cantidad de electronegatividad le falta a la estructura que se desea proteger; para llevarla desde la zona de corrosión hasta la zona de inmunidad.

La protección catódica se basa bajo un fundamento teórico que es la electroquímica. Este tema es la rama de la química que estudia el flujo del electrón entre un electrolito y un conductor. Parte de este tema también, se encarga del estudio de la relación de energía química con respecto a la energía eléctrica; dicho de otra forma, estudia la electricidad y las reacciones químicas. Su finalidad es la conversión de la energía eléctrica en energía química.

La electroquímica guarda una estructura fundamenta que lo compone, es la celda voltaica. También llamada celda galvánica, su funcionamiento de esta celda es debido a su reacción redox de forma espontánea. Muchas de las veces para la representación de esta celda, se suele usar al zinc como ánodo y al cobre como cátodo. Alguna celda suele utilizar puente salino para completar el circuito.

Además, las celdas se componen de cuatro elementos fundamentales para su funcionamiento son: ánodo, cátodo, contactor físico y electrolito. El ánodo es la

región donde ocurre la oxidación (pierde electrones) a través de una reacción química. En el cátodo es la región donde ocurre la reducción (ganan electrones) a través de una reacción química. En el contactor físico es la región donde se realiza el flujo de electrones del ánodo al cátodo. En el electrolito es la región que está en contacto con el ánodo y también con el cátodo; y proporciona los medios por los cuales los iones metálicos salen del ánodo hasta el cátodo.

Es por eso, hay que tomar en cuenta el criterio de potencial que viene hacer el diagrama de Marcel Pourbaix. Por lo tanto, es de suma importancia saber dónde se realizará la protección catódica. Porque el suelo varia su pH según su ubicación. Una vez conocido su criterio de potencial.

#### 2.3.1.1. **Elementos que interviene en la protección catódica son:**

##### **a) Ánodo**

El ánodo es la zona donde ocurre la oxidación con respecto a la protección catódica por ánodo sacrificado, y en caso de protección catódica por corriente impresa el ánodo no reacciona de manera química con respecto al electrolito (ánodo inerte).

##### **b) Cátodo**

El cátodo es la zona donde ocurre la reducción ya sea por sacrificado o por corriente impresa (estructura a proteger).

##### **c) Conductor**

En el caso del conductor es la zona donde ocurre el flujo eléctrico desde ánodo hasta el cátodo. Cable eléctrico que conecta al ánodo con el cátodo en el caso de la protección catódica por ánodo sacrificado. En el caso de la protección catódica por corriente impresa está conectada del ánodo a la fuente, luego, de la fuente al cátodo (estructura a proteger).

**d) Electrolito**

En electrolito es la zona que proporciona los medios por donde salen los iones metálicos. En algunos de estos medios son: agua salada, suelo salitroso, suelo húmedo, aire, etc.

**e) Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación es utilizada solo en el caso de la protección catódica por corriente impresa.

**2.3.1.2. Clasificación de protección catódica, según su área a proteger:**

**a) Protección catódica por ánodo sacrificado**

La protección catódica por ánodo sacrificado se compone de un sistema de pila galvánica en la que el ánodo está compuesto de un metal activo. El ánodo se encuentra conectado a la estructura donde la corriente de salida del ánodo puede ser medida. Algunos ánodos de mayor uso común son: ánodos de magnesio y zinc son usados en instalaciones subterráneas; mientras los ánodos de zinc y aleaciones de aluminio son usados en aguas saladas.

El ánodo sacrificado tiene que tener las siguientes características: potencial de disolución lo suficientemente negativo para polarizar la estructura, material de un elevado rendimiento eléctrico, debe corroerse uniformemente y debe tener un costo razonable.

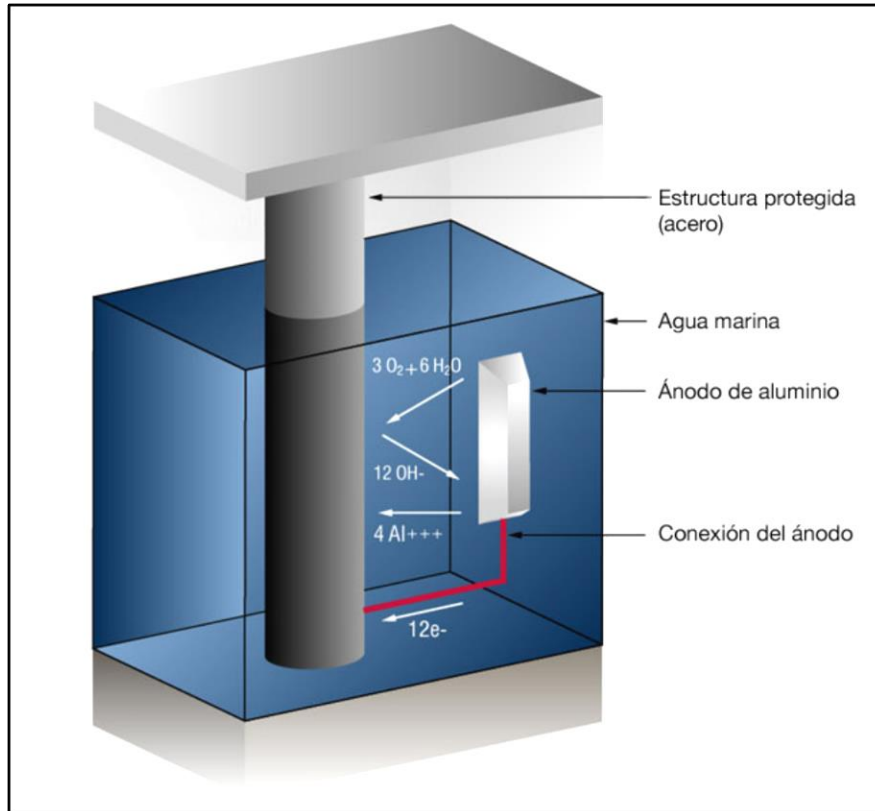


Figura 1. Sistema de protección catódica por ánodo de sacrificio.

Fuente: Deepwater

### b) Protección catódica por corriente impresa

En la protección catódica por corriente impresa se compone de una fuente de alimentación externa (en el caso una pila, batería, paneles solares, etc.). Estos sistemas son favorables en lugares de máxima de manda de corriente. En este sistema el ánodo no reacciona con el medio electrolito.

Es por eso, que el ánodo debe tener las siguientes características: debe tener un elevado rendimiento eléctrico, no debe corroerse cuando está en contacto con el medio electrolito y debe tener un costo razonable.

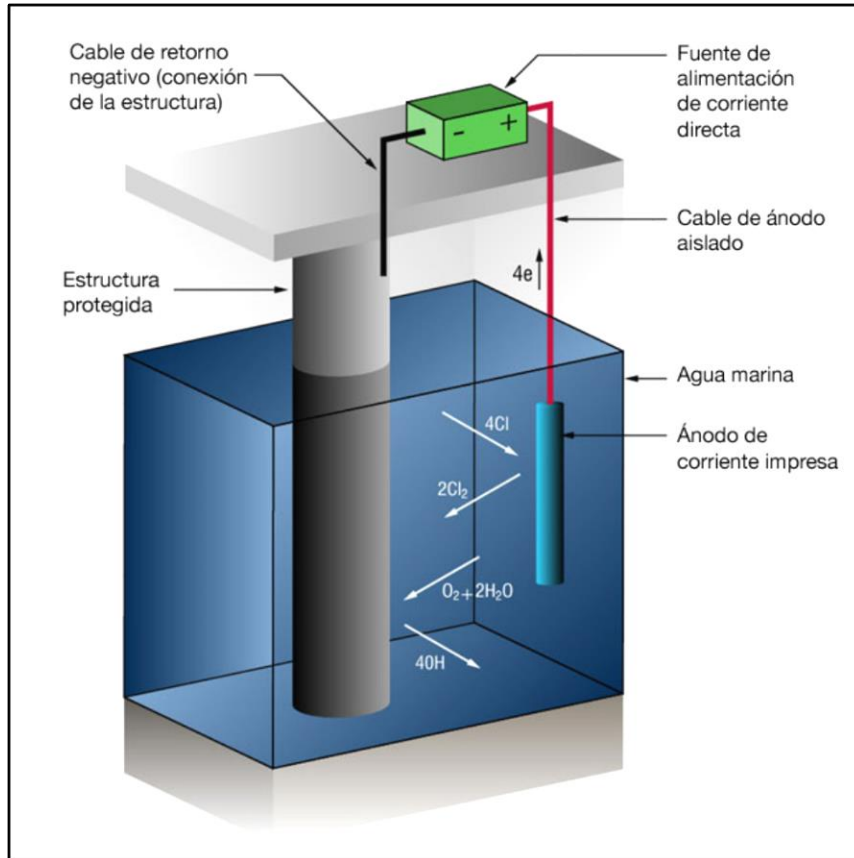


Figura 2. Sistema de protección catódica de corriente impresa.  
Fuente: Deepwater

### III. MARCO METOLÓGICO

La siguiente metodología propuesta es usada para detallar el procedimiento del diseño del sistema de protección catódica.

#### 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN,

- Por el propósito o finalidad: **Investigación Aplicada.**
- Por su medio para obtener los datos: **Investigación Documental.**
- Por su nivel de investigación: **Investigación explicativa.**

##### 3.1.2. VARIABLES, INDICADORES, POBLACIÓN Y MUESTRA

A partir del estudio realizado la identificación de variable son las siguientes:

###### 3.1.2.1. Variable independiente

La técnica a utilizar “Protección catódica por corriente impresa”.

###### 3.1.2.2. Variable dependiente

El incremento de la vida útil en los tanques estacionarios.

Tabla 2. Identificación de variables y de indicadores.

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Protección catódica por corriente impresa	Es una técnica que hace uso de corriente continua.	La cantidad de corriente que fluye por la estructura a proteger.	Intensidad de corriente	Amperio (A).
			Potencial eléctrico	Voltio (v).
			Resistividad eléctrica	Ohmio ( $\Omega$ ).
Vida útil	Tiempo estimado de un objeto para cumplir su función.	Duración de un objeto que cumple su función; para la cual asido creado.	Tiempo	Años

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2.3. Población

La población es igual a la muestra.

### 3.1.2.4. Muestra

Tanques estacionarios de almacenamiento de 5000 y 3000 galones de Diesel B5 y Gasohol 84 respectivamente en el grifo “San Juan”- Lambayeque.

## 3.2. DIAGRAMA METODOLÓGICO PREVIO AL DISEÑO

La figura 3. Se observa un diagrama de flujo del proceso, previo al diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa.

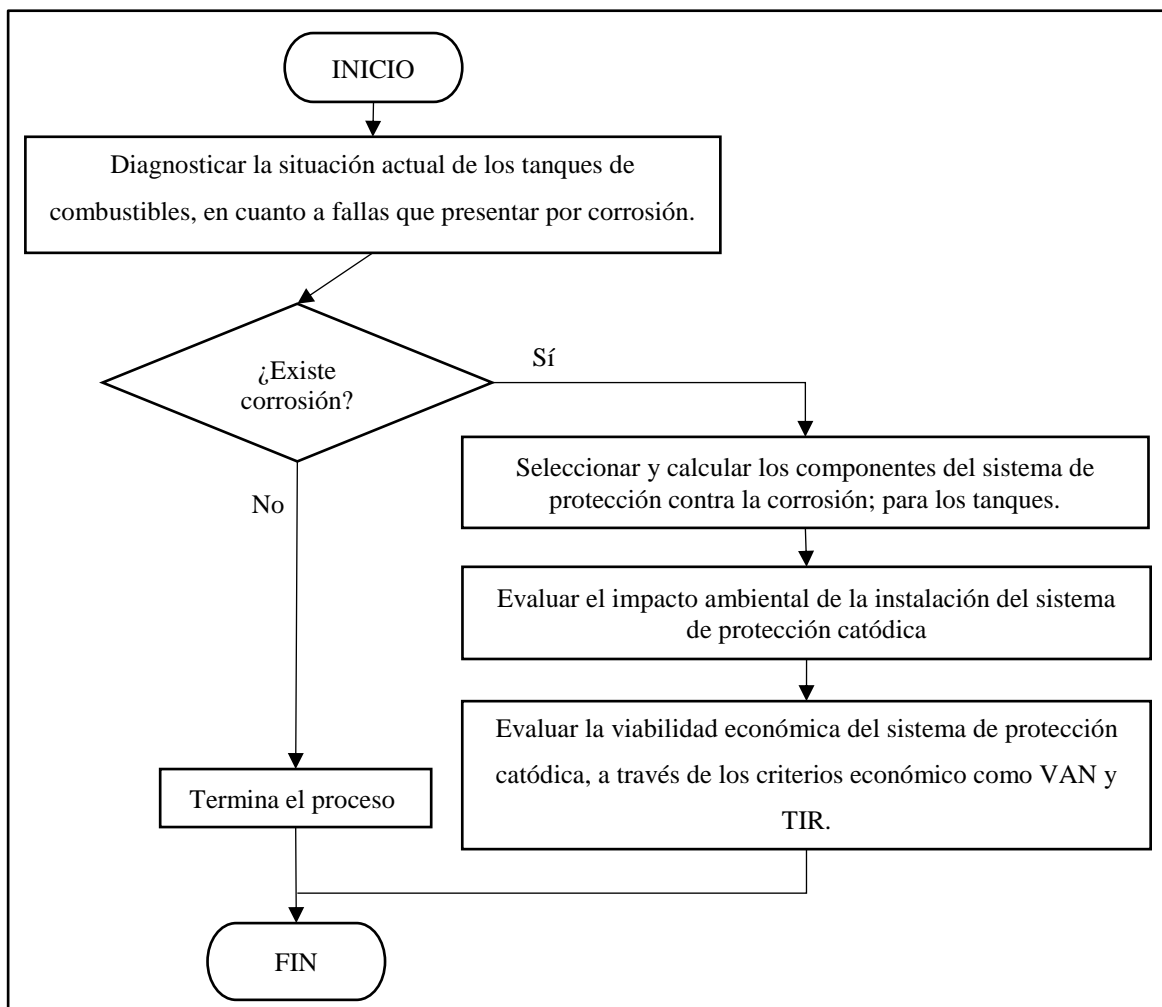


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

#### IV. DIAGNOSTICÓ DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS TANQUES

El siguiente diagnostico se justifica, para saber si existe corrosión en los tanques de almacenamiento.

##### 4.1. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNOSTICO

La siguiente metodología propuesta es usada para calcular el peso perdido de los tanques y el porcentaje.

La figura 4. Se observa un diagrama de flujo del proceso, previo al diagnóstico con respecto a la situación actual de los tanques.

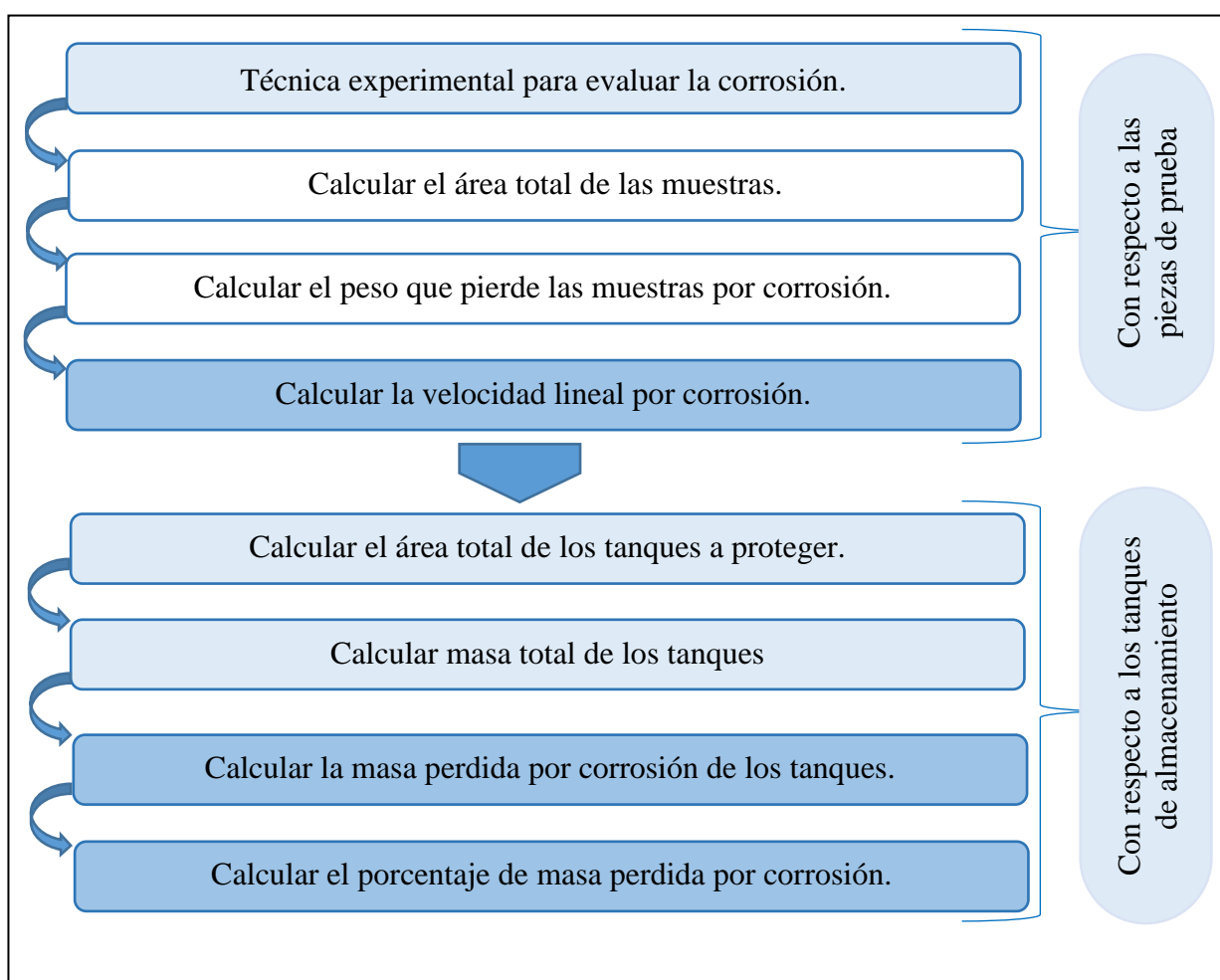


Figura 4. Diagrama de proceso para el diagnóstico.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1. TÉCNICA EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA CORROSIÓN

La siguiente técnica experimental propuesta es para evaluar la velocidad de corrosión con la que cuenta un material. Para esta investigación se usará una técnica experimental de forma en la que la muestra pierde de peso debido a la corrosión.

##### 4.1.1.1. Pasos para el desarrollo experimental

Los siguientes pasos para proceder al desarrollo experimental son:

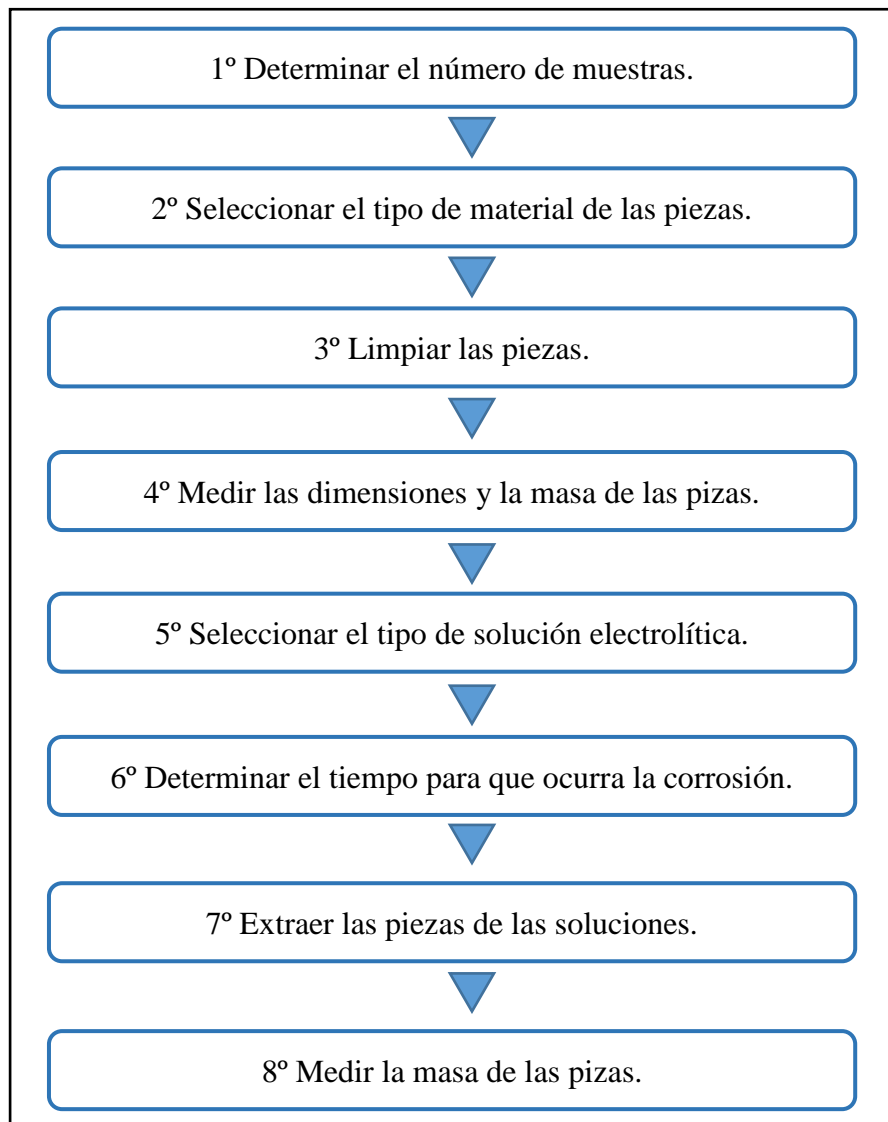


Figura 5. Diagrama de pasos para el desarrollo experimental.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE LA PIEZA

Para el cálculo del área expuesta en las muestras, se utiliza la siguiente ecuación:

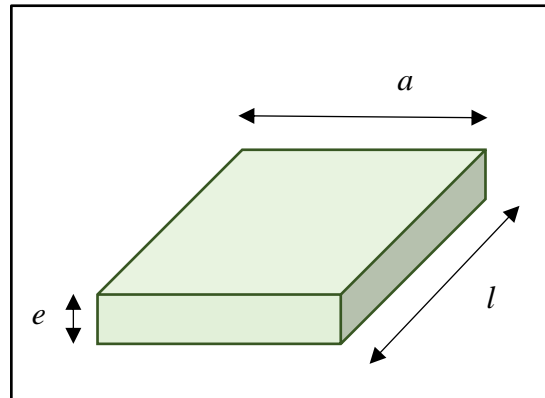


Figura 6. Sección de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

$$A_{\eta} = 2al + 2ae + 2el \quad (1)$$

Donde:

$\eta$ : Número de muestra (m).

$A_{\eta}$ : Superficie total de la muestra ( $m^2$ ).

$l$ : Longitud de la muestra (m).

$a$ : Ancho de la muestra (m).

$e$ : Espesor de la muestra (m).

#### 4.1.3. CÁLCULO DEL PESO QUE PIERDE EL MATERIAL POR CORROSIÓN

Para el cálculo del peso que se pierde del material por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta w_{pt} = w_{0t} - w_{pt} \quad (2)$$

Donde:

$p$ : numero de periodo.

$\Delta w_{pt}$ : Peso que pierdo la muestra (kg).

$w_{0t}$ : Peso inicial de la muestra (kg).

$w_{pt}$ : Peso final de la muestra (kg).

#### 4.1.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD LINEAL POR CORROSIÓN

Para el cálculo de la velocidad lineal por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$MPY_{pt} = \frac{22,8333 * \Delta w_{pt}}{D_{ens} * A_m * T} \quad (3)$$

Donde:

$p$ : numero de periodo.

$MPY_{pt}$ : Velocidad lineal (m/s).

$\Delta w_{pt}$ : Peso que pierdo la muestra(kg).

$D_{ens}$ : Densidad del material (kg/ m<sup>3</sup>).

$A_m$ : Superficie total de la muestra (m<sup>2</sup>)

$T$ : Tiempo que se expone el material al ambiente (s).

#### 4.1.5. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO LINEAL POR CORROSIÓN

Para el cálculo de la velocidad lineal promedia por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$MPY_{prom} = \frac{MPY_{1t} + \dots + MPY_{pt}}{p} \quad (4)$$

Donde:

$p$ : numero de periodo.

$MPY_{prom}$ : Velocidad lineal promedia (m/s).

$MPY_{1t}$ : Velocidad lineal del primer periodo (m/s).

$MPY_{nt}$ : Velocidad lineal del encimo periodo (m/s).

#### 4.1.6. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD LINEAL PROMEDIA TOTAL DE CADA SOLUCIÓN

Para el cálculo de la velocidad lineal promedia por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$MPY_{PT} = \frac{MPY_i + \dots + MPY_m}{m-i+1} \quad (5)$$

Donde:

"i" y "m": números inferior y superior de las muestras con respecto a una solución.

$MPY_{TP}$ : Velocidad lineal promedia (m/s).

$MPY_i$ : Velocidad lineal del primer periodo (m/s).

$MPY_m$ : Velocidad lineal del encimo periodo (m/s).

#### 4.1.7. CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL A PROTEGER

Para el cálculo del área expuesta de los tanques, se utiliza la siguiente ecuación:

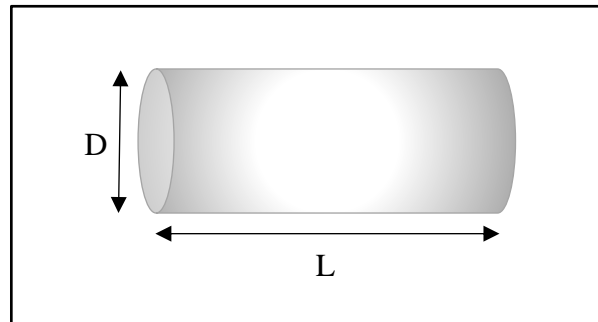


Figura 7. Sección del tanque.

Fuente: Elaboración propia.

$$A_n = \pi \frac{D_n^2}{2} + \pi D_n L_n \quad (6)$$

Donde:

$n$ : número de tanque.

$A_n$ : Superficie total del tanque (m<sup>2</sup>)

$D_n$ : Diámetro del tanque (m)

$L_n$ : Longitud del tanque (m)

#### 4.1.8. CÁLCULO DE LA MASA DE LOS TANQUES

Para el cálculo de la masa de los tanques, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_n = A_n * \varepsilon * D_{ens} \quad (7)$$

Donde:

$n$ : número de tanque.

$M_n$ : Masa del tanque (kg)

$A_n$ : Área del tanque (m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$ : Espesor del tanque (m<sup>2</sup>)

$D_{ens}$ : Densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.1.9. CÁLCULO DE LA MASA PROMEDIO PERDIDA POR CORROSIÓN EN LOS TANQUES

Para el cálculo de la masa promedio perdida por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta W_{nprom} = \frac{D_{ens} * A_n * T * MPY_{TP}}{22,8333} \quad (8)$$

Donde:

$n$ : número de tanque.

$\Delta W_{nprom}$ : Masa promedio perdida por corrosión (kg).

$MPY_{TP}$ : Velocidad lineal (m/s).

$D_{ens}$ : Densidad del material (kg/ m<sup>3</sup>).

$A_n$ : Superficie total del tanque (m<sup>2</sup>).

#### 4.1.10. CÁLCULO TOTAL DE LA MASA DE LOS TANQUES

Para el cálculo total de la masa total de los tanques, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_T = \sum M_n \quad (9)$$

Donde:

$M_T$ : Masa total de los tanques(kg)

$M_n$ : Masa del tanque (kg).

$n$ : número de tanque.

#### 4.1.11. CÁLCULO TOTAL DE LAS MASAS PROMEDIO PERDIDA POR CORROSIÓN EN LOS TANQUES

Para el cálculo total de la masa promedio perdida por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta W_T = \sum \Delta W_{nprom} \quad (10)$$

Donde:

$\Delta W_T$ : Masa total promedia perdida por corrosión (kg).

$\Delta W_{nprom}$ : Masa promedia perdida por corrosión (kg).

$n$ : número de tanque.

#### 4.1.12. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA MASA TOTAL PROMEDIO PERDIDA POR CORROSIÓN EN LOS TANQUES

Para el cálculo de la masa promedia por corrosión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \Delta W_T = \frac{\Delta W_T}{M_T} * 100\% \quad (11)$$

Donde:

$\% \Delta W_T$ : Porcentaje de la masa total promedia perdida por corrosión (%)

$\Delta W_T$ : Masa total promedia perdida por corrosión (kg).

$M_T$ : Masa total de los tanques (kg)

$n$ : número de tanque.

## 4.2. RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO

### 4.2.1. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA

#### 4.2.1.1. Ubicación geográfica de la empresa

El San Juan está ubicado en la Carretera Chiclayo- Pomalca KM 3.7, Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo y Departamento de Lambayeque.

#### 4.2.1.2. Límites del terreno:

##### a) Por el Norte:

Con la calle y propiedad de terceros, en línea quebrada de 02 tramos de 40 m y 10m respectivamente, haciendo una longitud total de 50m.

##### b) Por el Este:

Con propiedad de terceros, en línea quebrada de 02 tramos de 25 y 25 m, haciendo una longitud total de 50m.

##### c) Por el Sur:

Con la Carretera Chiclayo- Pomalca, con una longitud total de 50m.

##### d) Por el Oeste:

Con la calle Miguel Grau, con una longitud total de 50m.

- Se adjunta plano de Ubicación y Localización (**Anexo 08. Plano 01**).
- Se adjunta plano de Distribución General (**Anexo 09. Plano 02**).

#### 4.2.1.3. **Característica del suelo**

Cuando se diseñe un sistema de protección catódica, es importante saber si se encuentra totalmente protegido contra el fenómeno de corrosión. De esta manera la recopilación de datos del suelo nos proporciona el conocimiento empírico que se requiere para el diseño. Mientras más datos se tiene en cuenta, menor son los ajustes en el campo de ejecución.

En este caso los tanques son estructuras, al cual se le va a proteger de la corriente de corrosión. Los tanques están enterrados dentro del área de venta. En el 2012, la TECHNICAL SOLUTIONS realizó pruebas de suelo. El Grifo “SAN JUAN” se encuentra ubicado en suelo que tiene los siguientes factores:

- a. Existencia de agua subterránea a nivel del tanque: no presenta.
  - b. Clases de suelo: tiza/arena
  - c. Humedad del suelo: menor a 20%
  - d. Valor del pH del suelo: pH mayor que 7 (básico).
  - e. Contenido de cloruros del suelo: mayor de 350mg/kg.
  - f. Contenido de sulfato del suelo: entre 500 y 1000mg/kg.
  - g. Cuya resistividad específica del suelo es: 5000 - 10000 ohm-cm.
- Se adjunta el Índice de riesgo de los tanques y tubería (**Anexo 02**).
  - Se adjunta Informe de inspección de hermeticidad (**Anexo 01**).

#### 4.2.2. **CÁLCULO DE LA VELOCIDAD LINEAL PROMEDIO TOTAL DE CADA SOLUCIÓN**

En la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo en el laboratorio de microbiología de la facultad de medicina. Los días 09 y 23 de abril y 07 de mayo del 2019 año que se realizó la técnica experimental para la evaluación de la corrosión.

**a) El día 09 de abril**

El día 09 de abril se realiza las seis primeras actividades con respecto a la **técnica de desarrollo experimental que se indica en la metodología propuesta:**

- 1° El número de muestras, este caso es **9**.
- 2° El tipo de material de las piezas es **acero A-36**.
- 3° Las piezas debe quedar limpias como se muestra en la siguiente **figura 8**.

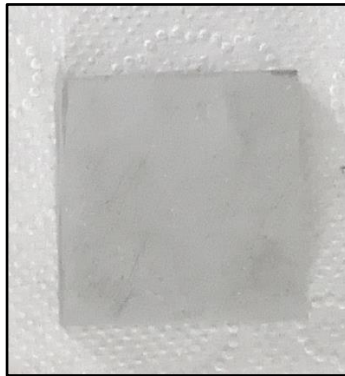


Figura 8. Vista de una pieza.  
Fuente: Elaboración propia.

4° Los resultados obtenidos de las medidas de las piezas con respecto a su masa y dimensiones se muestran en la siguiente **Tabla 3**.

5° Las soluciones seleccionadas son:

- a. **Cloruro de sodio 0,1N al 50 ml.**
- b. **Hidróxido de sodio 0,1N al 50 ml.**
- c. **Sulfato de cobre 0,1 M. al 50 ml.**

6° Para este caso se ha determinado **dos periodos de 14 días de duración cada uno.**

- a. Primera observación: **inicio el 09 de abril de 2019.**
- b. Segunda observación: **23 de abril de 2019.**
- c. Tercera observación: **fin el 07 de mayo de 2019.**

En este caso se utiliza una tabla para la descripción de los resultados obtenidos de los cálculos. En ese sentido, en las filas se considera números de muestras; mientras

que, en las columnas se considera características del medio electrolíticos y características de las piezas.

Para calcular el área de la piza, se utiliza la **Ec. (1)**.

Los resultados obtenidos de las muestras son:

Tabla 3. Características de las muestras con respecto a las piezas prueba (primera observación).

NÚMERO DE CADA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO		CARATERÍSTICAS DE LA PIEZA				
	VOLUMEN (ml)	SOLUCIÓN	$w_{0t}$ (kg)	DIMENSIONES			
				$l$ (m)	$a$ (m)	$e$ (m)	$A_m$ (m <sup>2</sup> )
1	50	Cloruro de sodio 0,1N.	0,0347830	0,03197	0,03165	0,00446	0,002591191
2			0,0339311	0,0323	0,03042	0,00452	0,002532121
3			0,0342457	0,03233	0,03044	0,00448	0,00253067
4	50	Hidróxido de sodio 0,1N.	0,0351143	0,03262	0,03132	0,00447	0,00261494
5			0,0338524	0,03212	0,03076	0,0045	0,002541942
6			0,0345435	0,0317	0,03162	0,00449	0,002573322
7	50	Sulfato de cobre 0,1 M.	0,0348589	0,03228	0,03175	0,00449	0,002624769
8			0,0348069	0,03197	0,03182	0,00448	0,002606129
9			0,0343525	0,03192	0,03131	0,00449	0,002566636

Fuente: Elaboración propia.

#### b) El día 23 de abril

El día 23 de abril se realiza las dos últimas actividades con respecto a la **técnica de desarrollo experimental que se indica en la metodología propuesta:**

7° Las piezas después de ser extraída debe colocarse como se observa en la **figura 9.**

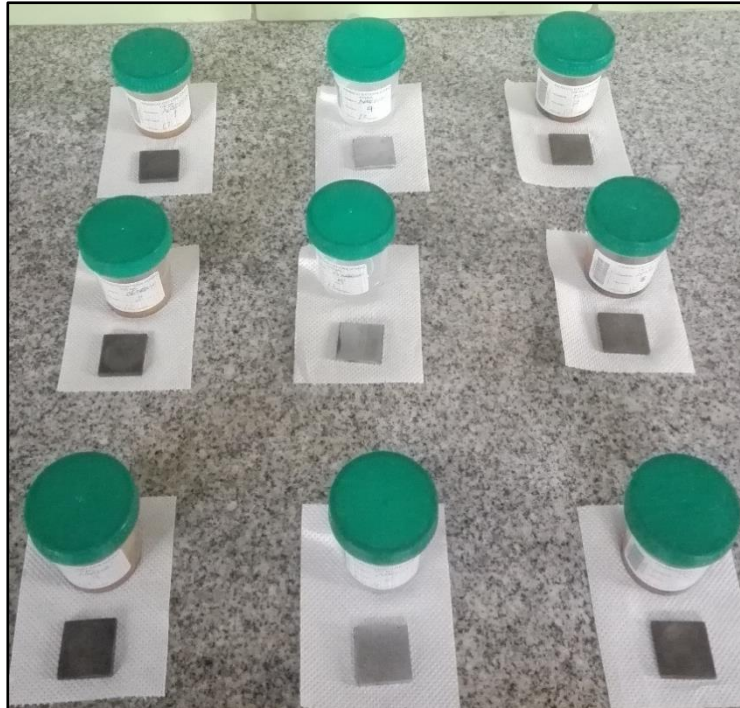


Figura 9. Vista de las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

8° Los resultados obtenidos de las medidas de las piezas con respecto a su masa se muestran en la siguiente **Tabla 4**.

En este caso se utiliza una tabla para la descripción de los resultados obtenidos de los cálculos. En ese sentido, en las filas se considera números de muestras: mientras que, en las columnas se considera características del medio electrolíticos, características las piezas y MPY

Para calcular el peso que pierden las piezas por corrosión, se utiliza la siguiente **Ec. (2)**.

Para calcular la velocidad lineal por corrosión, se utiliza la siguiente **Ec. (3)**. La densidad de la pieza de prueba es  **$7850 \text{ kg/m}^3$** .

Los resultados obtenidos de las muestras son:

Tabla 4. Resultados del MPY con respecto a las piezas de prueba (segunda observación).

NÚMERO DE CADA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO		CARATERÍSTICAS DE LA PIEZA		MPY <sub>1t</sub> (m/s)
	VOLUMEN (ml)	SOLUCIÓN	w <sub>1t</sub> (kg)	Δw <sub>1t</sub> (kg)	
1	50	Cloruro de sodio 0,1N.	0,0347593	0,0000237	2,20E-11
2			0,0339072	0,0000239	2,27E-11
3			0,0342210	0,0000247	2,35E-11
4	50	Hidróxido de sodio 0,1N.	0,0351141	0,0000002	1,84E-13
5			0,0338524	0,0000000	0,00E+00
6			0,0345432	0,0000003	2,80E-13
7	50	Sulfato de cobre 0,1 M.	0,0346507	0,0002082	1,91E-10
8			0,0345959	0,0002110	1,95E-10
9			0,0341424	0,0002101	1,97E-10

Fuente: Elaboración propia.

### c) El día 07 de mayo

El día 07 de mayo se realiza las dos últimas actividades con respecto a la técnica de desarrollo experimental que se indica en la metodología propuesta:

7° La extracción de las pizas se realiza como observa en la figura 9.

8° Los resultados obtenidos de las medidas de las piezas con respecto a su masa se muestran en la siguiente **Tabla 5**.

En este caso se utiliza una tabla para la descripción de los resultados obtenidos de los cálculos. En ese sentido, en las filas se considera números de muestras: mientras que, en las columnas se considera características del medio electrolíticos, características las piezas y MPY.

Para calcular el peso que pierden las piezas por corrosión, se utiliza la siguiente **Ec. (2)**.

Para calcular la velocidad lineal por corrosión, se utiliza la siguiente **Ec. (3)**. La densidad de la pieza de prueba es **7850 kg/m<sup>3</sup>**.

Los resultados obtenidos de las muestras son:

Tabla 5. Resultados del MPY con respecto a las piezas de prueba (tercera observación).

NÚMERO DE CADA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO		CARATERÍSTICAS DE LA PIEZA		$MPY_{2t}$ (m/s)
	VOLUMEN (ml)	SOLUCIÓN	$w_{2t}$ (kg)	$\Delta w_{1t}$ (kg)	
1	50	Cloruro de sodio 0,1N.	0,0347354	0,0000476	2,21E-11
2			0,0338829	0,0000482	2,29E-11
3			0,0341947	0,0000510	2,42E-11
4	50	Hidróxido de sodio 0,1N.	0,0351137	0,0000006	2,76E-13
5			0,0338518	0,0000006	2,84E-13
6			0,0345425	0,0000010	4,67E-13
7	50	Sulfato de cobre 0,1 M.	0,0345994	0,0002595	1,19E-10
8			0,0345436	0,0002633	1,21E-10
9			0,0340885	0,0002640	1,24E-10

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la velocidad lineal promedio total de cada solución. Se utilizan las siguientes ecuaciones **Ec. (4)** y **Ec. (5)**.

Los resultados obtenidos de las muestras se resumen en la siguiente **Tabla 6**. De acuerdo a los cálculos obtenidos.

Tabla 6. Resultados del MPY de cada solución.

NÚMERO DE CADA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO		$MPY_{Prom}$ (m/s)	$MPY_{TP}$ (m/s)
	VOLUMEN (ml)	SOLUCIÓN		
1	50	Cloruro de sodio 0,1N.	2,20E-11	2,29E-11
2			2,28E-11	
3			2,39E-11	
4	50	Hidróxido de sodio 0,1N.	2,30E-13	2,49E-13
5			1,42E-13	
6			3,74E-13	
7	50	Sulfato de cobre 0,1 M.	1,55E-10	1,58E-10
8			1,58E-10	
9			1,60E-10	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. CÁLCULO DE LA MASA PROMEDIA PERDIDA POR CORROSIÓN EN LOS TANQUES

Una vez que se obtiene la velocidad lineal se procede al cálculo del área total de la estructura (área del tanque).

El área a proteger depende directamente de la eficiencia del recubrimiento y del área expuesta (sin recubrimiento), como es en este caso el estado de recubrimiento de los tanques está en malas condiciones. De manera teórica se estima el 100% de área desnuda.

Generalmente el sistema de protección se emplea para proteger áreas expuestas sin recubrimiento que guarden contacto con el medio electrolítico. Una vez estimada el área a proteger se dimensiona el sistema de protección. Este parámetro nos indica la manera de la peor condición con que puede trabajar.

##### **Para 5000 galones:**

El área total a proteger del tanque de 5000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (6)** de la superficie:

Dimensiones del tanque:

- Diámetro del tanque

$$D_1 = 2,5 \text{ m}$$

- Longitud del tanque

$$L_1 = 5,5 \text{ m}$$

Para calcular la masa y la masa promedio perdida por corrosión del tanque de 5000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (7)** y **Ec. (8)** respectivamente.

Una vez calculada el área, la masa y la masa promedio perdida del tanque, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 7. Resultados del  $\Delta W_{1prom}$  de cada solución del tanque 1.

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO	$MPY_{TP}$ (m/s)	CARATERÍSTICAS DEL TANQUE 1			SITUACIÓN ACTUAL
SOLUCIÓN		$\varepsilon$ (m)	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$M_1$ (kg)	$\Delta W_{1prom}$ (kg)
Cloruro de sodio 0,1N.	2,29E-11	0,0047625	53,01438	1981,975582	131,5919
Hidróxido de sodio 0,1N.	2,49E-13	0,0047625	53,01438	1981,975582	1,4285
Sulfato de cobre 0,1 M.	1,58E-10	0,0047625	53,01438	1981,975582	906,5130

Fuente: Elaboración propia.

**Para 3000 galones:**

El área total a proteger del tanque de 3000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (6)** de la superficie:

Dimensiones del tanque:

- Diámetro del tanque

$$D_2 = 2 \text{ m}$$

- Longitud del tanque

$$L_2 = 5 \text{ m}$$

Para calcular la masa y la masa promedio perdida por corrosión del tanque de 3000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (7)** y **Ec. (8)** respectivamente.

Una vez calculada el área, la masa y la masa promedio perdida del tanque, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados del  $\Delta W_{2prom}$  de cada solución del tanque 2.

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO	$MPY_{TP}$ (m/s)	CARATERÍSTICAS DEL TANQUE 2			SITUACIÓN ACTUAL
SOLUCIÓN		$\varepsilon$ (m)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$M_2$ (kg)	$\Delta W_{2prom}$ (kg)
Cloruro de sodio 0,1N.	2,29E-11	0,0047625	37,69911	1409,404858	93,5764
Hidróxido de sodio 0,1N.	2,49E-13	0,0047625	37,69911	1409,404858	1,0158
Sulfato de cobre 0,1 M.	1,58E-10	0,0047625	37,69911	1409,404858	644,6315

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. CÁLCULO TOTAL DE LAS MASAS PROMEDIAS PERDIDA POR CORROSIÓN Y SU PORCENTAJE CON RESPECTO A LOS TANQUES

- Una vez que se obtiene la masa del tanque se procede al cálculo de la masa total de los tanques 1 y 2. Se utiliza la siguiente **Ec. (9)**.
- Luego se procede a calcular la masa total promedio perdida por corrosión de los tanques. Se utiliza la siguiente **Ec. (10)**.
- Finalmente se calcula el porcentaje de la masa total promedio perdida por corrosión en los tanques. Se utiliza la siguiente **Ec (11)**.

En la siguiente **Tabla 9**. se resume el cálculo justificativo de la **Ec (9)**, **Ec (10)** y **Ec (11)**.

Tabla 9. Resultado de la pérdida de masa y su porcentaje del tanque 1 y 2 respecto a cada solución.

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO	CARATERÍSTICAS DE LOS TANQUES 1 Y 2			SITUACIÓN ACTUAL DE LOS TANQUES			
SOLUCIÓN	$M_1$ (kg)	$M_2$ (kg)	$M_T$ (kg)	$\Delta W_{1prom}$ (kg)	$\Delta W_{2prom}$ (kg)	$\Delta W_T$ (kg)	$\% \Delta W_T$
Cloruro de sodio 0,1N.	1981,97558 2	1409,40486	3391,38044	131,5919	93,5764	225,1683	6,64%
Hidróxido de sodio 0,1N.	1981,97558 2	1409,40486	3391,38044	1,4285	1,0158	2,4443	0,07%
Sulfato de cobre 0, 1 M.	1981,97558 2	1409,40486	3391,38044	906,5130	644,6315	1551,1445	45,74%

Fuente: Elaboración propia.

## V. SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

En esta etapa se procede al cálculo y selección de los componentes del sistema de protección catódica por corriente impresa de acuerdo a la metodología.

La figura 10. Brinda una visión de un esquema de un sistema de protección catódica por corriente impresa.

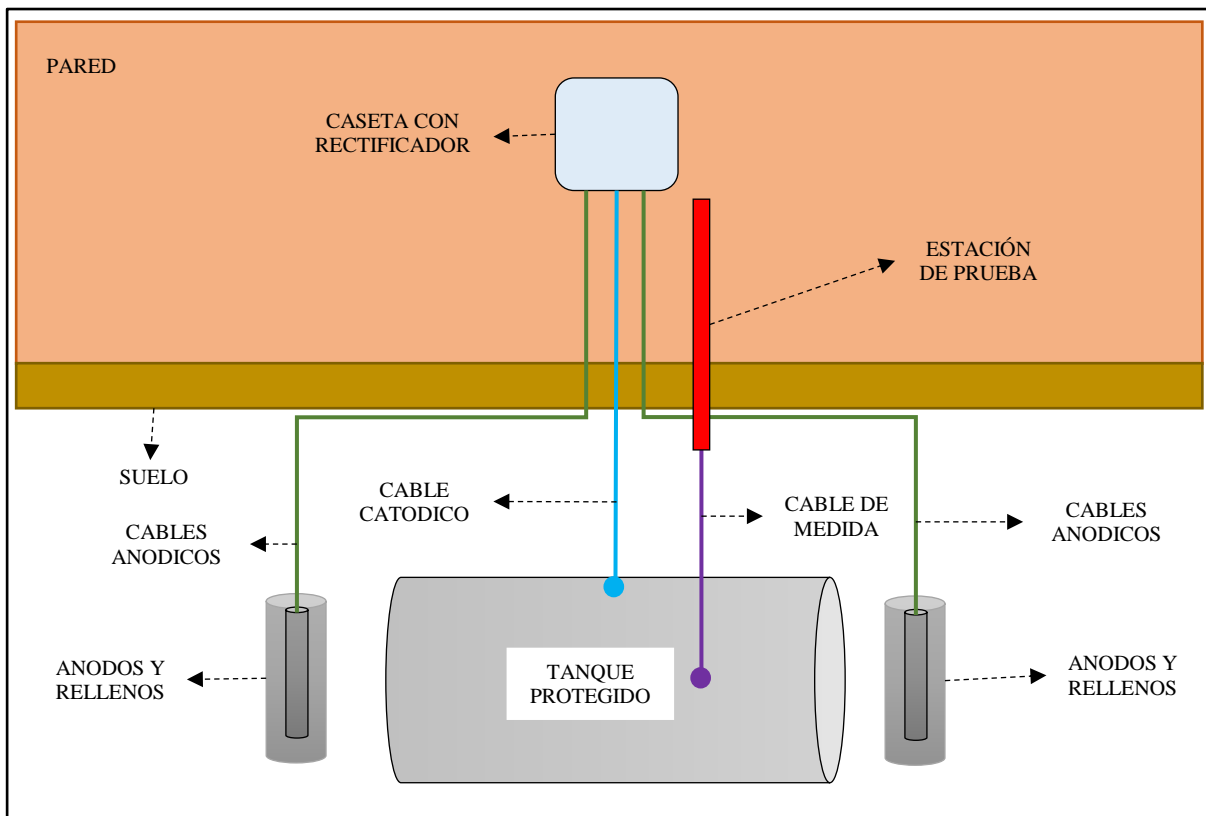


Figura 10. Esquema de diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.1. CONCEPTO DE LOS ELEMENTOS O PARTES

Los elementos que conforma el sistema de protección catódica por corriente impresa son:

### 5.1.1. ÁNODO PARA CORRIENTE IMPRESA

La selección del material anódico para el diseño de la protección dependerá del medio donde se instala y el tiempo de vida útil.

En la teoría cualquier material conductor se puede utilizar como ánodo, pero en el sistema de protección por corriente impresa los ánodos son materiales inertes. Estos materiales que los componen prolongan la vida útil del sistema.

Los materiales anódicos son:

- Grafito
- Hierro-Silicio-Cromo
- Titanio-Platinizado y Tantalio
- Mezcla de oxido

#### 5.1.1.1. Clasificación de ánodo, según forma geométrica y su uso

##### a) Ánodos tubulares

La mayoría de estos ánodos están compuesto de sustrato de titanio que le permite una mayor duración. Mientras que su capa externa está compuesta de óxido de metal mixto permitiéndole una baja tasa de consumo. Se fabrica bajo la norma ASTM B265 Grado 1.



Figura 11. Ánodos tubulares.  
Fuente: MNELECTRODES

## b) **Ánodo disco**

Los ánodos de disco están fabricados por la norma ASTM B265 Grado 1. Permittedo funcionar en lugares como: agua fresca, agua salobre y agua de mar. En agua salada puede conducir como máximo de corriente 600 A/m<sup>2</sup>.



Figura 12. Ánodo de disco.  
Fuente: MNELECTRODES.

### 5.1.2. **RELLENO ANÓDICO**

Una vez seleccionado el tipo de ánodo. Se procede a la selección de los tipos de materiales de relleno. La composición de los materiales en rellenos para ánodos está constituida por:

- **Yeso:** Es también conocido como Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ). Le brinda una mejor conductividad eléctrica.
- **Bentonita:** Es una arcilla que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua y mantener húmedo el suelo.
- **Sulfato de Sodio:** Es otra sal que ayuda a mejorar la conductividad eléctrica.

La función del relleno es:

- Reducir la resistividad del paso de la corriente del ánodo - suelo.
- Mejorar la eficiencia del ánodo, y disminuir el fenómeno de corrosión.
- Disminuir la humedad del suelo en el ánodo.

### 5.1.3. CABLES

La selección de cable dependerá de la cantidad de corriente que maneja, de la temperatura de operación y de las condiciones del medio donde se instalen.

Comúnmente los cables para la protección catódica son:

- TTU (Thermoplastic Underground)
- THW (Temperatura Humidity Water)
- HMWPE (Hight Molecular Weight Polyethylene)

### 5.1.4. CAJA DE DISTRIBUCIÓN

La selección de la caja de distribución depende de la forma como se distribuyen la corriente de protección. Esta corriente de protección que proviene del rectificador hacia la estructura.

En algunos casos la corriente de protección es calibras por una resistencia llamada shunts. Esta resistencia está alojada en la caja de distribución, también facilitan la medición de paso de corriente.



Figura 13. Cajas de toma de potencial en aleación de aluminio.

Fuente: ARGO S.A.

### 5.1.5. ESTACIÓN DE PRUEBA O MEDICIÓN

Son estaciones que sirven para medir el nivel de protección en una estructura enterrada o sumergida, por lo general consta de uno o dos cables provenientes de la estructura.



Figura 14. Estación de prueba  
Fuente: AEGION CORRPRO

### 5.1.6. FUENTE DE PODER

Una vez que se ha determinado el potencial de la fuente. Se dada la necesidad de proceder a la selección de la fuente, no se trata de diseñar una fuente se recomienda recurrir a catálogo de diseño con parámetros ya probados por el fabricante.

En algunos casos la capacidad de la fuente se determina a partir de la corriente máxima o total de protección que tendrá la estructura, más 20% de la capacidad máxima.

De acuerdo a su capacidad y al lugar de instalación debe contener un sistema de enfriamiento que permita su operación normal.

## 5.2. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Para realizar el diseño del sistema de protección catódica, se procede a determinar la resistencia de los siguientes elementos.

- a. Tanque de almacenamiento.
- b. Relleno y ánodo
- c. Conductores (cables)

La figura 15. Brinda una visión general de como esta instalados las resistencias de los elementos del sistema de protección.

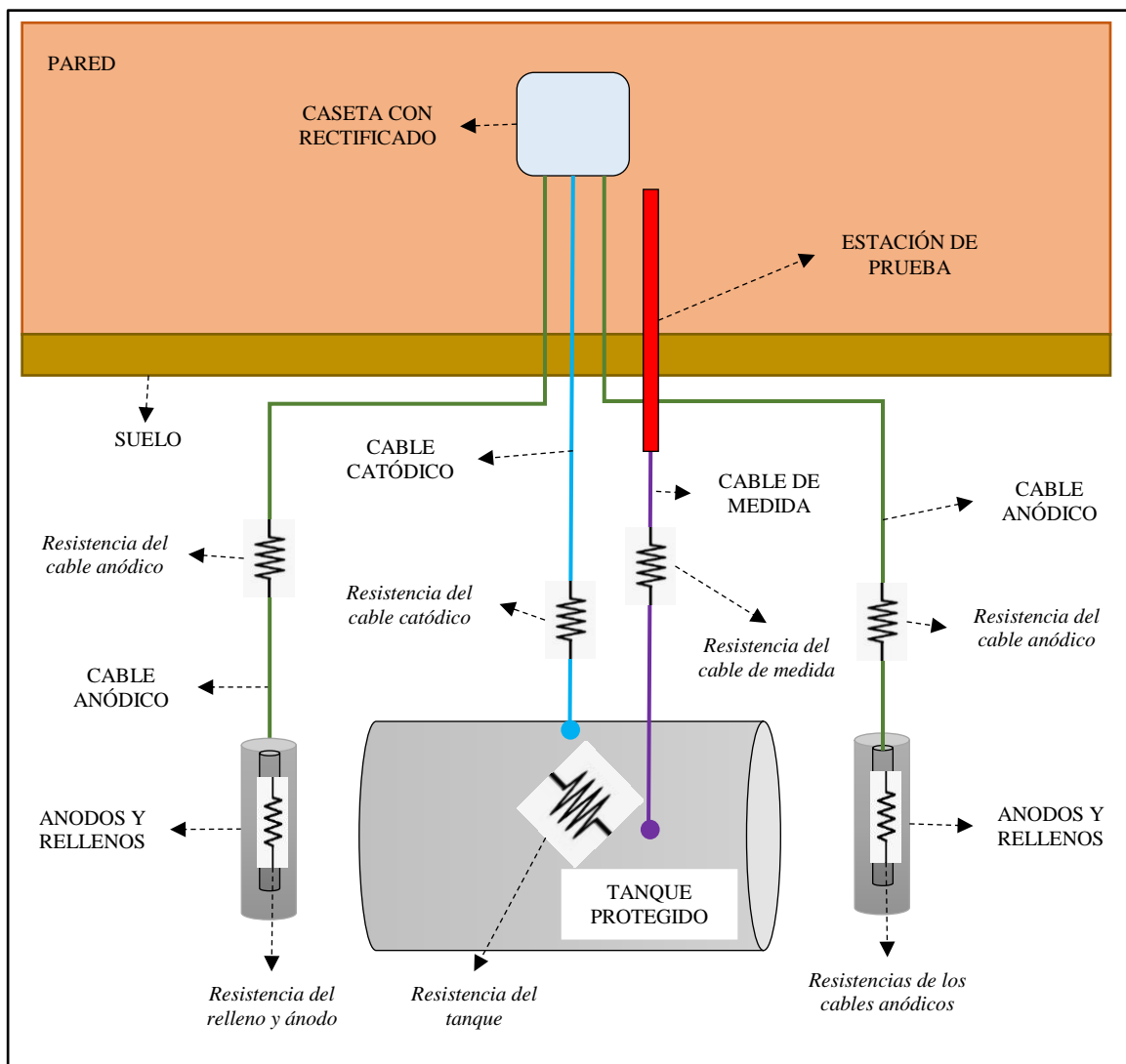


Figura 15. Representación de la configuración eléctrica de sistema de protección.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 16. Se observa de cómo funciona el diagrama eléctrico del sistema de protección.

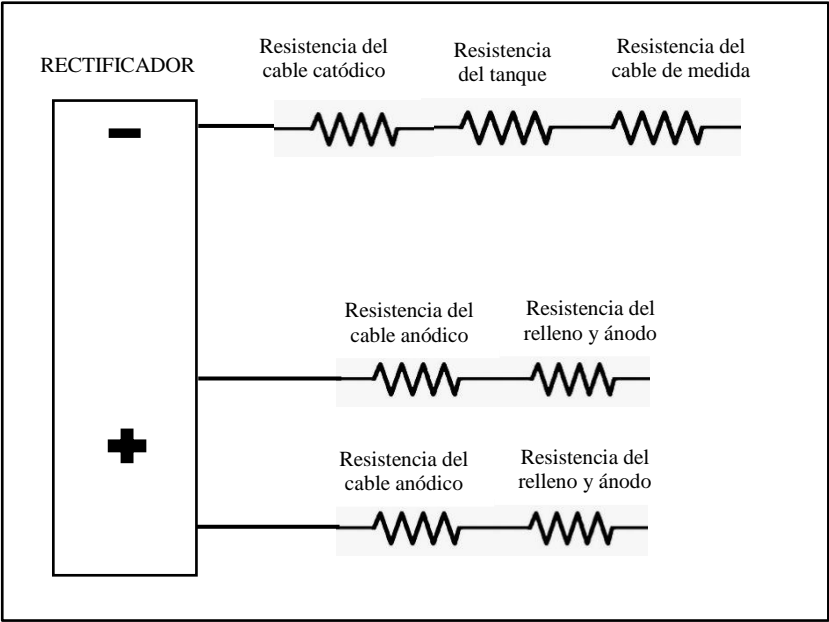


Figura 16. Diagrama eléctrico del sistema de protección  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 17. Se observa el diagrama eléctrico simplificado del sistema de protección.

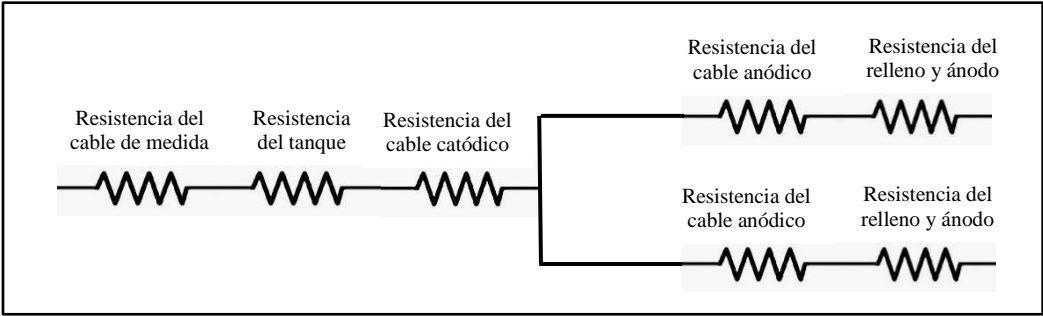


Figura 17. Diagrama simplificado del sistema de protección  
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente metodología propuesta es usada para calcular la capacidad del rectificador y del transformador. Para dos tanques que están ubicados de forma

paralelas uno del otro con respecto a su longitud. En la figura 22, se observa la forma como están ubicados los tanque.

En las figuras 18, 19 y 20. Se observa diagramas de flujo del proceso resistivo de los elementos; previo al diseño del sistema de protección catódica.

En la figura 21. se observa el procedimiento para calcular la capacidad del rectificador y del transformador.

**a) Cálculo de la resistencia eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga**

Para calcular la resistencia de la estructura, se procede de la siguiente manera:

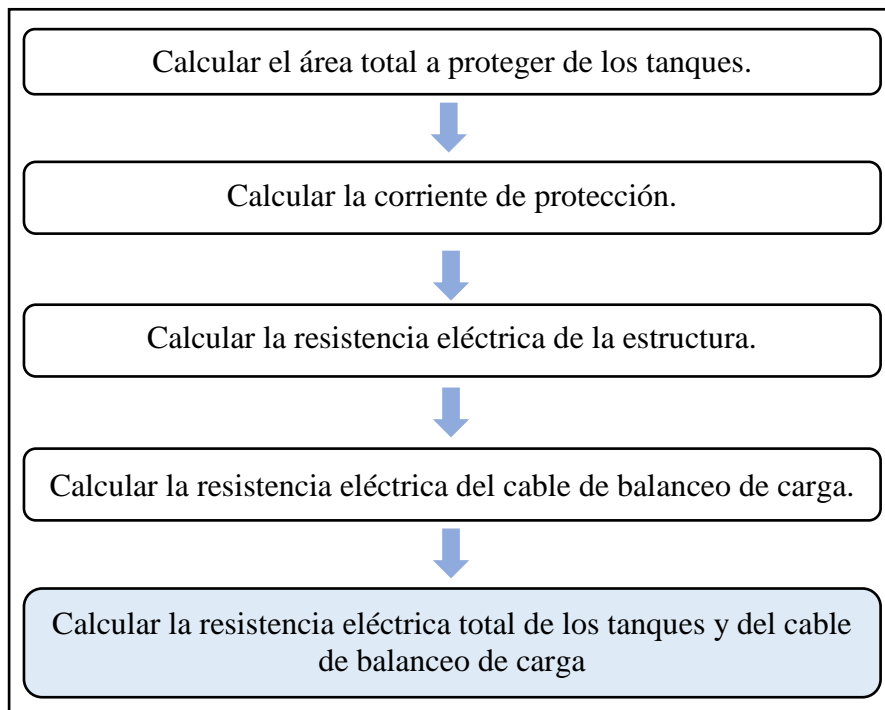


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso resistivo de la estructura a proteger.

Fuente: Elaboración propia.

**b) Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo**

Para calcular la resistencia del relleno y del ánodo, se procede de la siguiente manera:

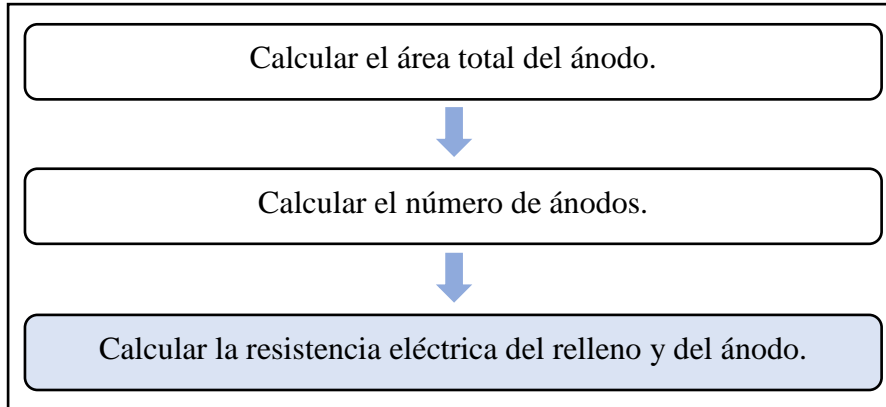


Figura 19. Diagrama de flujo del proceso resistivo del relleno y del ánodo.  
Fuente: Elaboración propia.

**c) Cálculo de la resistencia eléctrica de los cables y su equivalencia resistiva de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos**

Para calcular la resistencia del cable, se procede de la siguiente manera:

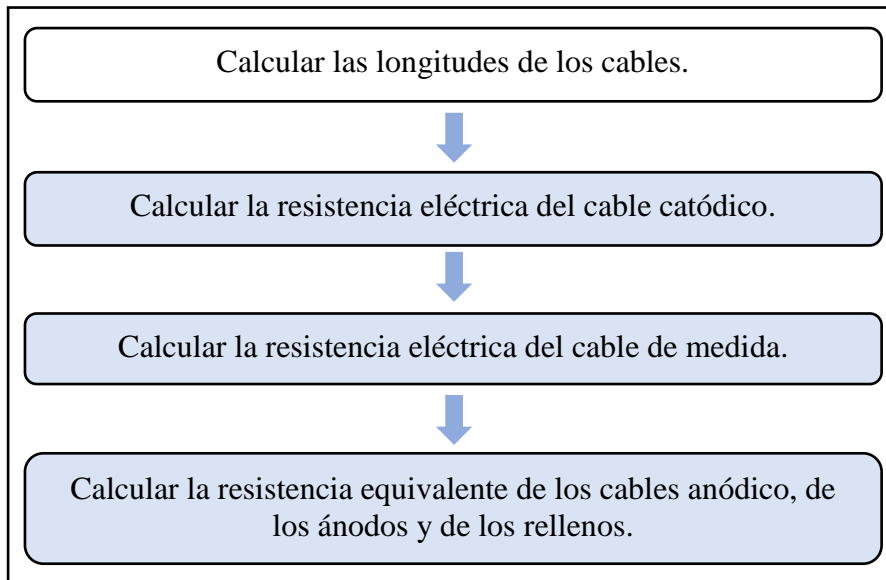


Figura 20. Diagrama de flujo del proceso resistivo de los cables.  
Fuente: Elaboración propia.

**d) Cálculo del potencial de la fuente**

Para calcular la capacidad del rectificador, se procede de la siguiente manera:

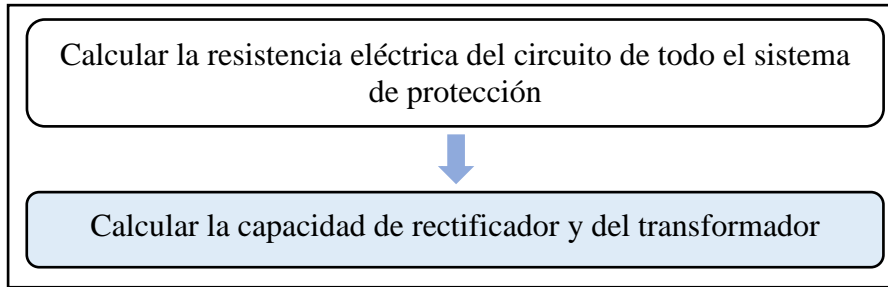


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso para la capacidad del rectificador y del transformador.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL PROCESO DE DISEÑO:

### 5.2.1.1. Cálculo de la resistividad eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga

La figura 22. se visualiza la forma de balancear cargas eléctricas de dos estructuras de diferentes dimensiones.

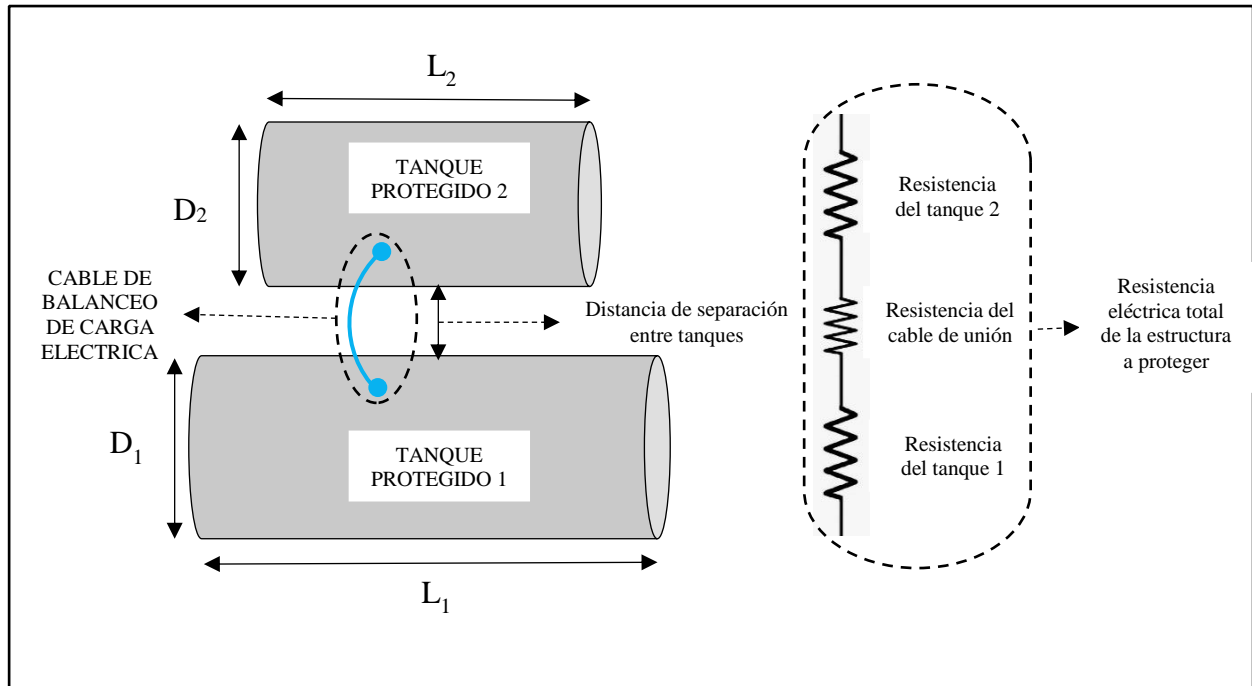


Figura 22. Esquema de un diseño de balanceo de cargas eléctricas.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la resistencia de la estructura, se procede de la siguiente manera:

**a) Cálculo del área total a proteger**

Para este caso, primero se calcula el área de cada tanque. Utilizando la siguiente ecuación:

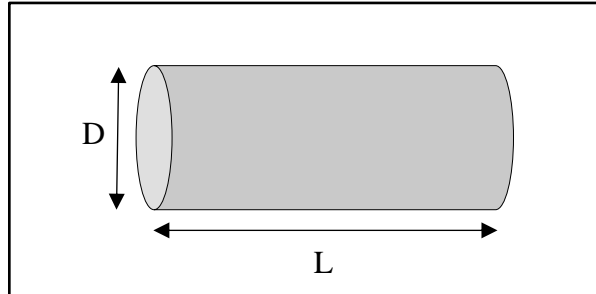


Figura 23. Sección del tanque

Fuente: Elaboración propia.

$$A_n = \pi \frac{D_n^2}{2} + \pi D_n L_n \quad (12)$$

Donde:

$n$ : Número de tanque.

$A_n$ : Superficie total del tanque ( $m^2$ ).

$D_n$ : Diámetro del tanque (m).

$L_n$ : Longitud del tanque (m).

Para el cálculo total del área expuesta de los tanques. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_T = \sum A_n \quad (13)$$

Donde:

$A_T$ : Área total de los tanques ( $m^2$ )

$A_n$ : Área de cada tanque ( $m^2$ ).

$n$ : Número de tanque.

**b) Cálculo de la corriente de protección**

Para el cálculo de la corriente requerida a proteger, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_T = I_r A_T \gamma + I_d A_T (1 - \gamma) \quad (14)$$

Donde:

$I_T$ : Corriente total de protección (A).

$I_r$ : Corriente de protección en el área revestida (A/ m<sup>2</sup>).

$I_d$ : Corriente de protección en el área desnuda (A/ m<sup>2</sup>).

$A_T$ : Superficie total de los tanques (m<sup>2</sup>).

$\gamma$ : Estimación del área revestida (%).

**c) Cálculo de la resistencia eléctrica de la estructura**

Para el cálculo de la resistencia eléctrica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{est} = \frac{V_p}{I_T} \quad (15)$$

Donde:

$R_{est}$ : Resistencia eléctrica de la estructura a proteger ( $\Omega$ ).

$V_p$ : Potencial de protección (V).

$I_T$ : Corriente total de protección (A).

**d) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable de balanceo de carga**

Primero se calcula la longitud del cable de unión entre tanques. En la figura 24. se observa la trayectoria del cable de balanceo de carga eléctrica.

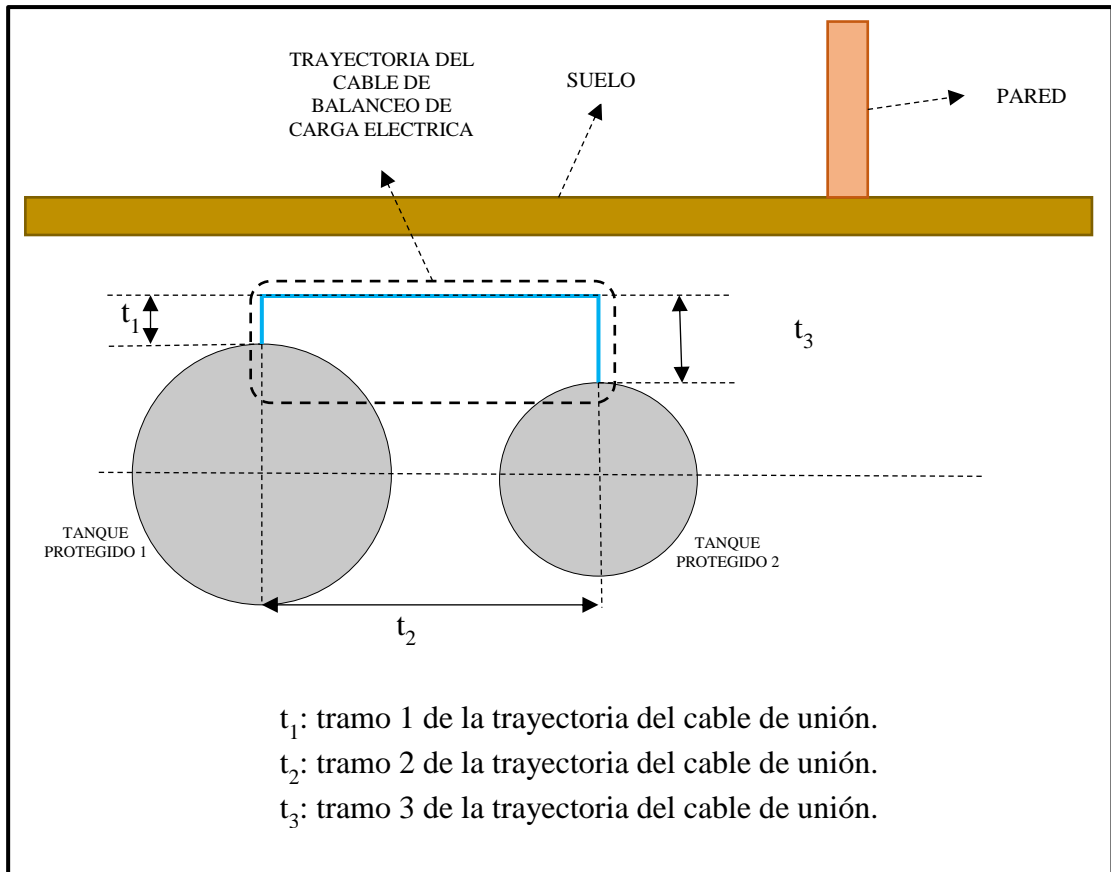


Figura 24. Esquema de la trayectoria del cable de balanceo de carga eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la siguiente ecuación se calcula la longitud del cable de unión.

$$L_{est-est} = t_1 + t_2 + t_3 \quad (16)$$

Donde:

$L_{est-est}$ : Longitud del cable de unión desde la estructura a proteger hasta la otra estructura a proteger (m)

$t_1$ : tramo 1 de la trayectoria del cable de unión (m).

$t_2$ : tramo 2 de la trayectoria del cable de unión (m).

$t_3$ : tramo 3 de la trayectoria del cable de unión (m).

Luego; se calcula la resistencia eléctrica del cable de unión, utilizando la siguiente ecuación:

$$R_{unión.} = R_{est-est} * L_{est-est} \quad (17)$$

Donde:

$R_{unión.}$ : Resistencia del cable de unión entre tanques( $\Omega$ ).

$R_{est-est}$ : Resistividad del cable de unión entre tanques ( $\Omega/m$ )

$L_{est-est}$ : Longitud del cable de unión desde la estructura a proteger hasta la otra estructura a proteger (m)

**e) Cálculo de la resistencia eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga**

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del cable de unión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{est.total} = R_{est} + R_{unión.} \quad (18)$$

Donde:

$R_{est.total}$ : Resistencia total de la estructura a proteger ( $\Omega$ ).

$R_{est}$ : Resistencia eléctrica de la estructura a proteger ( $\Omega$ ).

$R_{unión.}$ : Resistencia del cable de unión entre tanques( $\Omega$ ).

**5.2.1.2. Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo**

Para calcular la resistencia del relleno y del ánodo. La figura 25. brinda una visión general de como está instalado el ánodo con respecto al relleno.

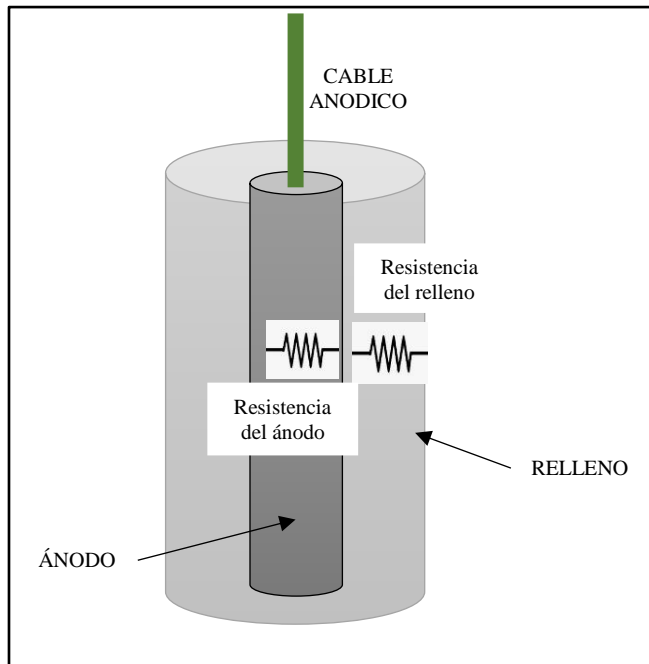


Figura 25. Representación de la configuración eléctrica de un ánodo con respecto al relleno.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego, se procede de la siguiente manera:

**a) Cálculo del área total del ánodo**

Para calcular el área del ánodo. La figura 26. nos brinda una visión de la forma que tiene el ánodo.



Figura 26. Sección de un cilindro hueco.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego, se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_a = \pi D_a L_a \quad (19)$$

Donde:

$A_a$ : Superficie total del ánodo (m<sup>2</sup>)

$D_a$ : Diámetro del ánodo (m)

$L_a$ : Longitud del ánodo (m)

### b) Cálculo del número de ánodos

Para el cálculo del número de ánodos, se utilizando la siguiente ecuación:

$$N_a = \frac{I_T}{A_a I_a} \quad (20)$$

Donde:

$N_a$ : Número de ánodos.

$I_T$ : Corriente total de protección (A)

$A_a$ : Superficie total del ánodo (m<sup>2</sup>)

$I_a$ : Corriente máxima permitida (A/ m<sup>2</sup>)

### c) Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo

Para este caso, primero se calcula la longitud del ánodo a instalar, estableciendo el número de ánodos para la protección.

$$L_{anod.inst} = \frac{L_a}{N_t} \quad (21)$$

Donde:

$L_{anod.inst}$ : Longitud del ánodo a instalar (m)

$L_a$ : Longitud del ánodo (m)

$N_t$ : Estimación de la cantidad de ánodos.

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo, se utiliza la formula completa de Dwight:

$$R_{lec,a} = \frac{0.00159\rho}{N_t L_l} \left( 2.3 \log \left( \frac{8L_l}{D_l} \right) - 1 + \frac{2L_l}{E} (2.3 \log 0.658N_t) \right) \quad (22)$$

Donde:

$R_{lec,a}$ : Resistencia de un ánodo y la vez, resistencia del lecho en posición vertical y en paralelo con otros( $\Omega$ )

$\rho$ : Resistividad del medio más el material de relleno ( $\Omega$ -cm)

$N_t$ : Estimación de la cantidad de ánodos.

$L_l$ : Longitud vertical de ánodo más el espacio de relleno (m)

$D_l$ : Diámetro del ánodo más el espacio de relleno (m)

$E$ : Espacio entre ánodos (m)

### 5.2.1.3. **Cálculo de la resistencia eléctrica de los cables y su equivalencia resistiva de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos**

Para el cálculo de la resistencia eléctrica de los cables, se procede de la siguiente manera:

#### **a) Cálculo de las longitudes de los cables**

La figura 27 y 28. Brinda una visión del esquema donde se ubica de los elementos de protección con respecto a los tanques.

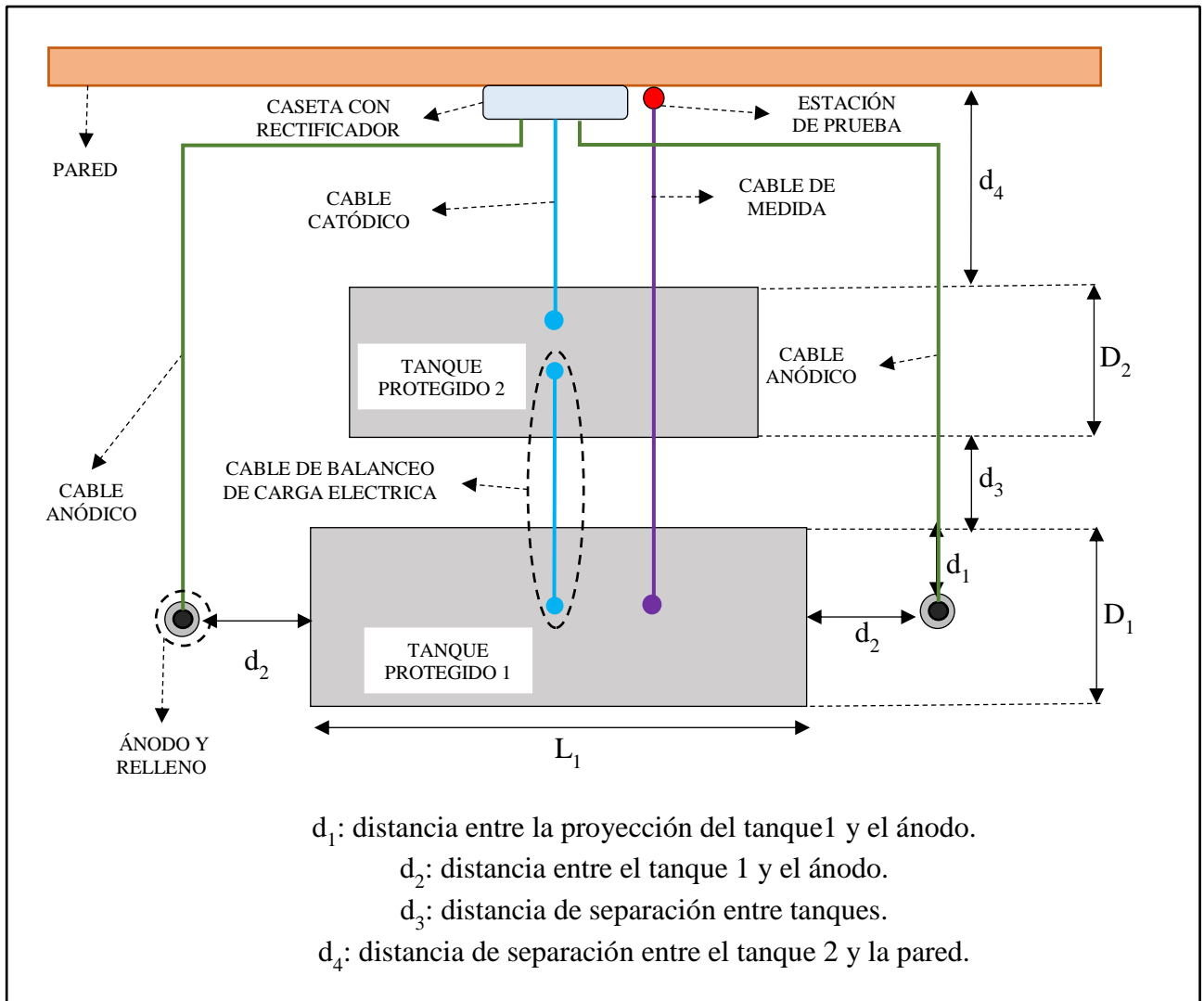


Figura 27. Vista de planta de un sistema de protección con sus respectivas distancias de ubicación.

Fuente: Elaboración propia.

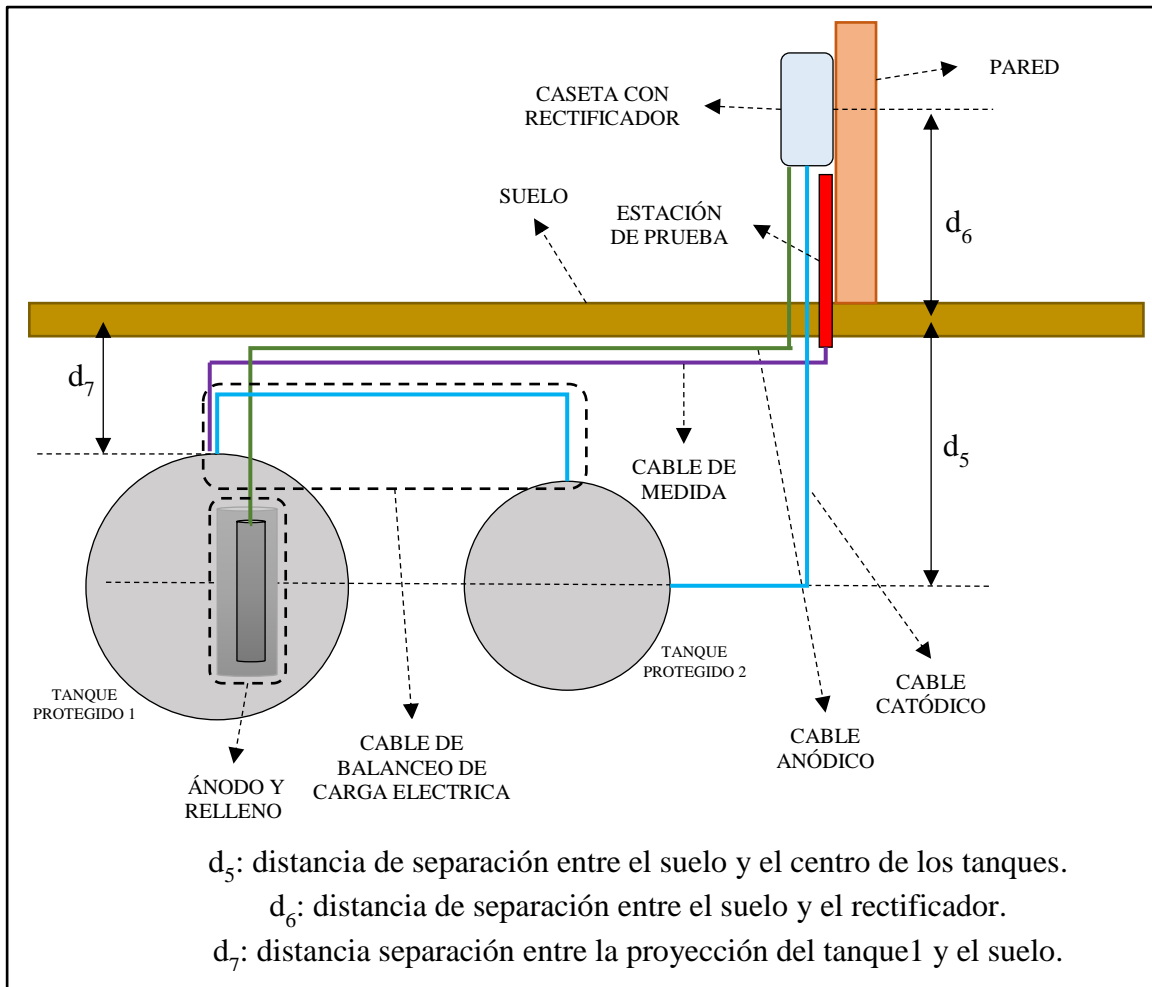


Figura 28. Vista lateral de un sistema de protección con sus respectivas distancias de ubicación.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la figura 27 y 28; los ánodos están ubicados en los extremos de los tanques.

- Longitud del cable catódico desde el rectificador hasta la estructura a proteger

Se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_{rect-est} = d_6 + d_4 + d_5 \quad (23)$$

Donde:

$L_{rect-est}$ : Longitud del cable catódico desde el rectificador hasta la estructura a proteger (m)

$d_6$ : Distancia de separación entre el suelo y el rectificador (m).

$d_4$ : Distancia de separación entre el tanque 2 y la pared (m).

$d_5$ : Distancia de separación entre el suelo y el centro de los tanques (m).

- Longitud del cable de medida desde la estructura a proteger hasta la estación de prueba

Se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_{est-post} = d_6 + d_4 + D_2 + d_3 + D_1/2 + d_7 \quad (24)$$

Donde:

$L_{est-post}$ : Longitud del cable de medida desde la estructura a proteger hasta la estación de prueba (m).

$d_6$ : Distancia de separación entre el suelo y el rectificador (m).

$d_4$ : Distancia de separación entre el tanque 2 y la pared (m).

$D_2$ : Diámetro del tanque 2 (m).

$d_3$ : Distancia de separación entre tanques (m).

$D_1$ : Diámetro del tanque 1 (m).

$d_7$ : Distancia de separación entre la proyección del tanque 1 y el suelo (m).

- Longitud de los cables anódico desde los ánodos hasta el rectificador

Se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_{anod-rect} = d_6 + L_1/2 + d_2 + d_4 + D_2 + d_3 + d_1 + d_5 \quad (25)$$

Donde:

$L_{anod-rect}$ : Longitud de los cables anódico desde los ánodos hasta el rectificador (m).

$d_6$ : Distancia de separación entre el suelo y el rectificador (m).

$L_1$ : Longitud del tanque 1 (m).

$d_2$ : Distancia entre el tanque 1 y el ánodo (m).

$d_4$ : Distancia de separación entre el tanque 2 y la pared. (m).

$D_2$ : Diámetro del tanque 2 (m).

$d_3$ : Distancia de separación entre tanques. (m).

$d_1$ : Distancia entre la proyección del tanque1 y el ánodo (m).

$d_5$ : Distancia de separación entre el suelo y el centro de los tanques (m).

## b) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable catódico

La figura 29. Brinda una visión del diagrama eléctrico del cable catódico.

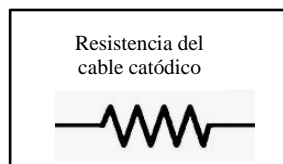


Figura 29. Diagrama eléctrico del cable catódico.

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{cat.} = L_{rect-est} R_{rect-est} \quad (26)$$

Donde:

$R_{cat.}$ : Resistencia del cable catódico ( $\Omega$ )

$R_{rect-est}$ : Resistividad del cable catódico ( $\Omega/m$ )

$L_{rect-est}$ : Longitud del cable catódico desde el rectificador hasta la estructura a proteger (m)

**c) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable de medida**

La figura 30. brinda una visión del diagrama eléctrico del cable de medida.

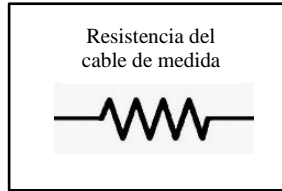


Figura 30. Diagrama eléctrico del cable de medida.

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{med.} = R_{est-post} L_{est-post} \quad (27)$$

Donde:

$R_{med.}$ : Resistencia del cable de medida ( $\Omega$ ).

$R_{est-post}$ : Resistividad del cable de medida ( $\Omega/m$ )

$L_{est-post}$ : Longitud del cable de medida desde la estructura a proteger hasta la estación de prueba (m)

**d) Cálculo de la resistencia equivalente de los cables anódico, de los ánodos y de los rellenos**

La figura 31. Brinda una visión del diagrama eléctrico de dos resistencias balanceadas en cada tramo

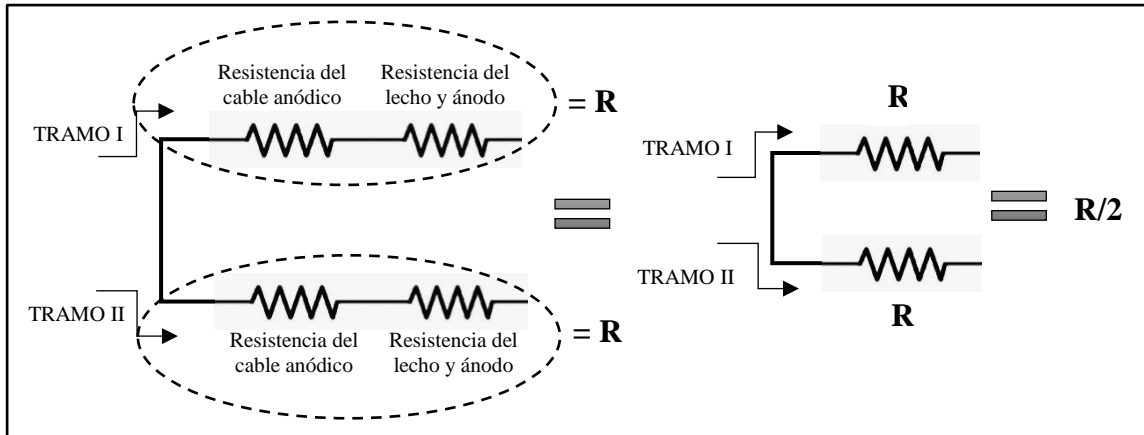


Figura 31. Diagrama eléctrico de los cables anódicos, de los ánodos y de los rellenos.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{equiv} = \frac{R_{anod-rect} L_{anod-rect} + R_{lec,a}}{N_t} \quad (28)$$

Donde:

$R_{equiv}$ : Resistencia equivalente de los cables anódico, de los ánodos y de los rellenos ( $\Omega$ ).

$R_{anod-rect}$ : Resistividad de los cables anódicos ( $\Omega/m$ ).

$L_{anod-rect}$ : Longitud de los cables anódico desde los ánodos hasta el rectificador (m)

$R_{lec,a}$ : Resistencia de un ánodo y la vez, resistencia del lecho en posición vertical y en paralelo con otros( $\Omega$ ).

$N_t$ : Estimación de la cantidad de ánodos.

#### 5.2.1.4. Cálculo de la capacidad del rectificador y del transformador

Para calcular la capacidad del rectificador, se procede de la siguiente manera:

##### a) Cálculo de la resistencia eléctrica del circuito de todo el sistema de protección

La figura 32. Brinda una visión del diagrama eléctrico de las resistencias.

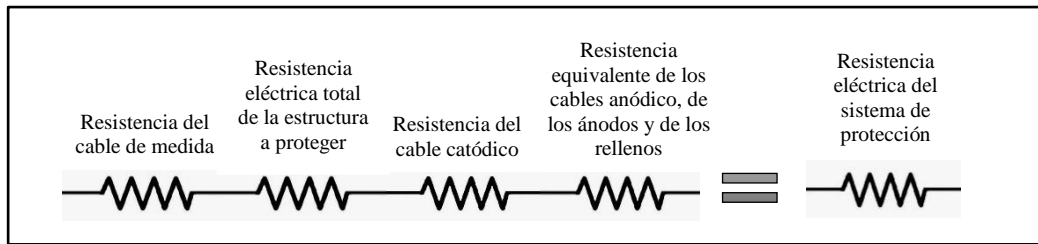


Figura 32. Diagrama eléctrico equivalente de un sistema de protección.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del circuito de todo el sistema de protección, se utilizando la siguiente ecuación:

$$R_{Total} = R_{med.} + R_{est.total} + R_{cat.} + R_{equiv.} \quad (29)$$

Donde:

$R_{Total}$ : Resistencia eléctrica del sistema de protección ( $\Omega$ ).

$R_{med.}$ : Resistencia del cable de medida ( $\Omega$ ).

$R_{est.total}$ : Resistencia total de la estructura a proteger ( $\Omega$ ).

$R_{cat.}$ : Resistencia del cable catódico ( $\Omega$ ).

$R_{equiv.}$ : Resistencia equivalente de los cables anódico, de los ánodos y de los rellenos ( $\Omega$ ).

## b) Cálculo de la capacidad del rectificador y del transformador

Para dimensionar el rectificador se utiliza dos parámetros: la resistencia eléctrica total y la corriente de protección.

$$P_{Total} = I_T R_{Total} S \quad (30)$$

Donde:

$P_{Total}$ : Potencial del rectificador (V).

$I_T$ : Corriente total de protección (A).

$R_{Total}$ : Resistencia eléctrica del sistema de protección ( $\Omega$ ).

$S$ : Factor de seguridad (%).

### 5.3. ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO

Para este caso la selección de partes que conforma el sistema de protección es:

#### 5.3.1. ÁNODOS TUBULARES

Para este caso se selecciona ánodos de tipo **hierro-silicio**, cuyas características son:

Tabla 10. Características del ánodo

Ánodo	LKFSC260F
Dimensiones	(mm)
Diámetro	51
Longitud	1524
Pesos	Kg.
Peso Neto	20
Propiedades Electromecánicas	
Tasa de Consumo	0.12 Kg/Amp-Año
Densidad de Corriente Recomendada	1 A/ft <sup>2</sup>

Fuente: LAIKEN

#### 5.3.2. CABLES

Para este caso se seleccionan cables de calibres (AWG), cuyas características son

##### a) Para la conducción anódica

Se selecciona el siguiente cable, con las siguientes características

Tabla 11. Característica del cable.

Calibre	6 AWG.
Tensión de servicio	600 V
Temperatura de operación	105° C

Fuente: INDECO

De acuerdo a la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). Nos brinda una referencia de la resistividad del conductor con respecto a su calibre (AWG).

Tabla 12. Resistividad del cable con respecto a su calibre.

Tamaño del cable (AWG)	Resistencia del cable en Ohmios por pie ( $\Omega$ - ft)	Resistencia del cable en Ohmios por metro ( $\Omega$ - m)
6	$0,41 \times 10^{-3}$	0,001345144

Fuente: NEMA

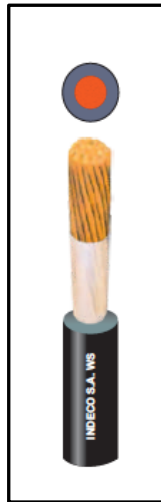


Figura 33. Conductor para los ánodos.

Fuente: INDECO

**b) Para la conducción catódica y para la unión entre tanques**

Se selecciona el siguiente cable, con las siguientes características

Tabla 13. Característica del cable.

Calibre	4 AWG.
Tensión de servicio	600 V
Temperatura de operación	105° C

Fuente: INDECO

De acuerdo a la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). Nos brinda una referencia de la resistividad del conductor con respecto a su calibre (AWG).

Tabla 14. Resistividad del cable con respecto a su calibre.

Tamaño del cable (AWG)	Resistencia del cable en Ohmios por pie ( $\Omega$ - ft)	Resistencia del cable en Ohmios por metro ( $\Omega$ - m)
4	$0,259 \times 10^{-3}$	0,000849738

Fuente: NEMA

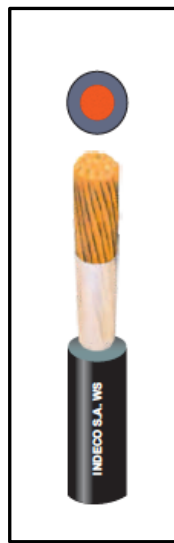


Figura 34. Conductor para el tanque y para la unión entre tanques.

Fuente: INDECO

**c) Para la conducción de medida**

Se selecciona el siguiente cable, con las siguientes características.

Tabla 15. Característica del cable.

Calibre	12 AWG.
Tensión de servicio	300 V
Temperatura de operación	75° C

Fuente: INDECO

De acuerdo a la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). Nos brinda una referencia de la resistividad del conductor con respecto a su calibre (AWG).

Tabla 16. Resistividad del cable con respecto a su calibre.

Tamaño del cable (AWG)	Resistencia del cable en Ohmios por pie ( $\Omega$ - ft)	Resistencia del cable en Ohmios por metro ( $\Omega$ - m)
12	$1,65 \times 10^{-3}$	0,005413386

Fuente: NEMA



Figura 35. Conductor para media

Fuente: INDECO

- Se adjunta la tabla de referencia por NEMA (**Anexo 05**).

## 5.4. RESULTADO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

En este caso se procede al diseño del sistema de protección catódica de acuerdo con la metodología.

### 5.4.1. CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS TANQUES Y DEL CABLE DE BALANCEO DE CARGA

Para calcular la resistencia de la estructura, se procede de la siguiente manera:

#### a) Cálculo del área total a proteger

##### Para 5000 galones:

El área total a proteger del tanque de 5000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (12)** de la superficie. En plano 03 se observa para el Tanque 1 (**Anexo 10**).

Las dimensiones del tanque 1:

- Diámetro del tanque

$$D_1 = 2,5 \text{ m}$$

- Longitud del tanque

$$L_1 = 5,5 \text{ m}$$

Una vez calculada el área del tanque, se obtuvo el siguiente resultado:

$$A_1 = 53,014 \text{ m}^2$$

##### Para 3000 galones:

El área total a proteger del tanque de 3000 galones del grifo “San Juan” se utilizará la **Ec. (12)** de la superficie. En plano 04 se observa para el Tanque 2 (**Anexo 11**).

Las dimensiones del tanque 2:

- Diámetro del tanque

$$D_2 = 2 \text{ m}$$

- Longitud del tanque

$$L_2 = 5 \text{ m}$$

Una vez calculada el área del tanque, se obtuvo el siguiente resultado:

$$A_2 = 37,699 \text{ m}^2$$

Luego; se calcula el área total a proteger utilizando la **Ec. (13)**. Se obtuvo el siguiente resultado:

$$A_T = 90,713 \text{ m}^2$$

#### b) Cálculo de la corriente de protección

La corriente requerida a proteger se calcula teniendo en cuenta el revestimiento del tanque. El uso de los tanques durante los **24 años** se aproxima en un **100% de la superficie desnuda** teniendo en cuenta las condiciones por las cuales se protegerá las estructuras. De acuerdo a la **tabla (Anexo 03)**, se selecciona un **medio agresivo de suelo neutro o estéril**.

La densidad de corriente protectora en el tanque se determina utilizando la siguiente **Ec. (14)**.

- La corriente de protección en el área desnuda es:

$$I_d = 17 \text{ mA/m}^2$$

Dato obtenido según el cálculo anterior:

- Área total expuesta de los tanques:

$$A_T = 90,713 \text{ m}^2$$

Se obtuvo una densidad de corriente de protección:

$$I_T = 1,542 \text{ A}$$

#### c) Cálculo de la resistencia eléctrica de la estructura

La resistencia de la estructura se determina utilizando la siguiente **Ec. (15)**. Se establece el potencial igual o mayor de polarización para el acero al carbono es **0,950v**, con respecto a un electrodo de referencia sulfato de cobre.

Dato respecto a **tabla (Anexo 04)**:

- Potencial de protección

$$V_p = 0,95 \text{ v}$$

Dato obtenido según el cálculo anterior:

- Corriente de protección en la estructura

$$I_T = 1,542 \text{ A}$$

El resultado de la resistencia eléctrica de la estructura a proteger es:

$$R_{est} = 0,616 \Omega$$

**d) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable de balanceo de carga**

Primero se calcula la longitud del cable de balanceo de carga eléctrica. Utilizando la siguiente **Ec. (16)**.

Datos obtenidos del plano del Sistema de protección catódica por corriente impresa (**Anexo 16**):

- Tramo 1 de la trayectoria del cable de unión.

$$t_1 = 0,6479 \text{ m}$$

- Tramo 2 de la trayectoria del cable de unión.

$$t_2 = 3,225 \text{ m}$$

- Tramo 3 de la trayectoria del cable de unión.

$$t_3 = 0,3556 \text{ m}$$

El resultado de la longitud del cable de balanceo de carga es:

$$L_{est-est} = 4,2285 \text{ m}$$

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del cable de unión, se utiliza la siguiente **Ec. (17)**:

El calibre seleccionado del conductor es: **4AWG**.

Dato respecto a la **tabla 14**.

- Resistividad del cable de unión entre tanques

$$R_{est-est} = 0,000849738 \text{ } \Omega/\text{m}$$

- Longitud del cable de unión desde la estructura a proteger hasta la otra estructura a proteger

$$L_{est-est} = 4,2285 \text{ m}$$

El resultado de la resistencia eléctrica del cable de unión es:

$$R_{unión.} = 0,00359 \text{ } \Omega$$

**e) Cálculo de la resistencia eléctrica de los tanques y del cable de balanceo de carga**

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del cable de unión, se utiliza la siguiente **Ec. (18)**:

Datos obtenidos del cálculo anterior:

- Resistencia eléctrica de la estructura a proteger

$$R_{est} = 0,616 \Omega$$

- Resistencia del cable de unión entre tanques

$$R_{unión.} = 0,00359 \Omega$$

El resultado de la resistencia eléctrica total de la estructura a proteger es:

$$R_{est.total} = 0,61962 \Omega$$

**5.4.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL RELLENO Y DEL ÁNODO**

Para calcular la resistencia del relleno y del ánodo, se procede de la siguiente manera:

**a) Cálculo del área total del ánodo**

Según las características del suelo y el tiempo de vida útil, se selecciona el tipo de ánodo.

Para calcular la superficie del ánodo se utiliza la siguiente **Ec. (19)**.

Dimensiones del ánodo con respecto a **tabla 10**.

- Diámetro del ánodo

$$D_a = 0,051 m$$

- Longitud del ánodo

$$L_a = 1,524 m$$

El resultado de la superficie anódica es:

$$A_a = 0,244 m^2$$

## b) Cálculo del número de ánodos

El número de ánodos se calcula según su densidad de corriente recomendada por el fabricante, se utiliza la siguiente **Ec. (20)**.

Datos de obtenido:

- Superficie anódica:

$$A_a = 0,244 \text{ m}^2$$

- Corriente total de protección en las estructuras

$$I_T = 1,542 \text{ A}$$

Densidad de corriente recomendada para el ánodo con respecto a la **tabla 10**:

- Densidad de corriente recomendada:

$$I_a = 10,764 \text{ A/m}^2$$

El resultado de numero de ánodos es:

$$N_a = 0,58674$$

## c) Cálculo de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo

Primero se calcula la longitud del ánodo a instalar, estableciendo el número de ánodos para la protección, se utiliza la siguiente **Ec. (21)**.

Datos obtenidos del ánodo en la **tabla 10**:

- Longitud del ánodo:

$$L_a = 1,524 \text{ m}$$

- La estimación de la cantidad de ánodos es:

$$N_t = 2$$

La longitud del ánodo a instalar es de:

$$L_{anod.inst} = 0,762 \text{ m}$$

Una vez obtenido las dimensiones del ánodo a instalar, se incluyen **15 cm adicionales** de relleno, de cada lado **7,5 cm** de manera lineal en el diámetro como a la longitud.

Luego, se utiliza formula completa de Dwight **Ec. (22)**. Para calcular la resistencia del relleno y del ánodo:

Dato obtenido respecto al grado de corrosión del suelo en la **tabla 1**:

- Resistividad del medio más el material de relleno:

$$\rho = 10000 \text{ } \Omega - \text{cm}$$

Datos

- Longitud vertical de ánodo más el espacio de relleno

$$L_l = 0,912 \text{ m}$$

- Diámetro del ánodo más el espacio de relleno

$$D_l = 0,201 \text{ m}$$

- Espacio entre ánodos según el **plano 09 del Sistema de protección catódica (Anexo 16)**.

$$E = 7,2435 \text{ m}$$

- La estimación de la cantidad de ánodos es:

$$N_t = 2$$

El resultado de la resistencia eléctrica del relleno y del ánodo es:

$$R_{lec,a} = 23,1597 \Omega$$

#### 5.4.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LOS CABLES Y SU EQUIVALENCIA RESISTIVA DE LOS CABLES ANÓDICOS, DE LOS ÁNODOS Y DE LOS RELLENOS

Para el cálculo de la resistencia eléctrica de los cables, se procede de la siguiente manera:

##### a) Cálculo de las longitudes de los conductores

Distancias asignadas con respecto al **plano 09 del Sistema de protección catódica por corriente impresa (Anexo 16)**.

- Distancia entre la proyección del tanque1 y el ánodo.

$$d_1 = 1,25 \text{ m}$$

- Distancia entre el tanque 1 y el ánodo.

$$d_2 = 0,62825 \text{ m}$$

- Distancia de separación entre tanques.

$$d_3 = 0,975 \text{ m}$$

- Distancia de separación entre el tanque 2 y la pared.

$$d_4 = 1,01 \text{ m}$$

- Distancia de separación entre el suelo y el centro de los tanques.

$$d_5 = 2,5 \text{ m}$$

- Distancia de separación entre el suelo y el rectificador.

$$d_6 = 1,3 \text{ m}$$

- Distancia separación entre la proyección del tanque1 y el suelo.

$$d_7 = 1,25 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos del cálculo son:

- Longitud del cable catódico desde el rectificador hasta la estructura a proteger

Se utiliza la siguiente **Ec. (23)**.

$$L_{rect-est} = 4,81 \text{ m}$$

- Longitud del cable de medida desde la estructura a proteger hasta la estación de prueba

Se utiliza la siguiente **Ec. (24)**

$$L_{est-post} = 7,785 \text{ m}$$

- Longitud de los cables anódico desde los ánodos hasta el rectificador

Se utiliza la siguiente **Ec. (25)**

$$L_{est-post} = 12,4133 \text{ m}$$

#### b) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable catódico

Se utiliza la siguiente **Ec. (26)**:

Dato obtenido de **tabla 14**:

- Resistividad del cable catódico

$$R_{rect-est} = 0,000849738 \text{ } \Omega/m$$

El resultado obtenido del cálculo es:

$$R_{cat.} = 0,004087238 \text{ } \Omega$$

#### c) Cálculo de la resistencia eléctrica del cable de medida

Se utiliza la siguiente **Ec. (27)**:

Dato obtenido de **tabla 16**:

- Resistividad del cable de medida

$$R_{est-post} = 0,005413386 \text{ } \Omega/m$$

El resultado obtenido del cálculo es:

$$R_{med.} = 0,042143209 \Omega$$

**d) Cálculo de la resistencia equivalente de los cables anódico, de los ánodos y de los rellenos**

Se utiliza la siguiente **Ec. (28)**

Dato obtenido de **tabla 12**:

- Resistividad de los cables anódicos

$$R_{anod-rect} = 0,001345144 \Omega/m$$

El resultado obtenido del cálculo es:

$$R_{equiv.} = 11,588209 \Omega$$

#### 5.4.4. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL RECTIFICADOR Y DEL TRANSFORMADOR

Para calcular el potencial de la fuente, primero se calcula la resistencia eléctrica de todo el sistema de protección.

**a) Cálculo de la resistencia eléctrica del circuito de todo el sistema de protección**

Para el cálculo de la resistencia eléctrica del circuito, se utilizando la siguiente ecuación **Ec. (29)**.

El resultado de la resistencia eléctrica del circuito de todo el sistema de protección es:

$$R_{Total} = 12,2541 \Omega$$

**b) Cálculo de la capacidad del rectificador y del transformador**

Para dimensionar el rectificador se utiliza tres parámetros: la resistencia eléctrica total circuito, la corriente de protección y el factor de diseño. En este caso el factor de diseño a considerar es un 25% de la potencia.

Utilizamos la ecuación **Ec. (30)**

Datos obtenidos según los cálculos anteriores:

- Corriente total de protección (A)

$$I_T = 1,542 A$$

- Resistencia eléctrica total ( $\Omega$ )

$$R_{Total} = 12,2541 \Omega$$

- Factor de seguridad (%)

$$S = 125 \%$$

El potencial del rectificador y del transformador es:

$$P_{Total} = 23,622 V$$

Se selecciona un rectificador y un transformador con las siguientes características:

- **1 transformador de 220/24v, 2A y de 48watts.**
- **1 rectificador de 24v de 2A.**

## **VI. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DURANTE Y DESPUÉS LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

La siguiente evaluación se justifica, porque, las actividades que se realicen para la instalación de un sistema de protección catódica en los tanques de almacenamiento son para que no exista derramamiento de combustible y otros eventos que causen daños.

### **6.1. DATOS ACTUALES DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES**

#### **6.1.1. SUELO**

De acuerdo al mapa de Regionalización de suelo del Perú. El área de estudio, corresponde a la asociación de suelos denominado Typic Haplocalcids (Tabernas) y Áreas no edáficas.

#### **6.1.2. SISMICIDAD**

De acuerdo al mapa de Regionalización Sísmica del Perú, es una zona con sismicidad activa del presente siglo, con sismos superficiales <20 Km., asociados con fallamiento superficial. Mediante intensidades, preparado por el Instituto Geofísico del Perú en 1975, la zona se halla con sismicidad intermedia, en donde se puede esperar sismos con intensidades entre 6 y 7 en la escala de Mercalli modificada.

#### **6.1.3. HIDROLOGÍA**

Por su ubicación del establecimiento, se puede considerar como un riesgo potencial muy improbable que se produzca una inundación por un Tsunami; pero si por precipitaciones pluviales intensas que podrían producirse por el Fenómeno del Niño. Por encontrarse el grifo en una zona no muy lejana de las redes de agua y desagüe, no se debe descartar la posibilidad de una inundación.

#### 6.1.4. CLIMATOLOGÍA

Los tanques de almacenamiento de combustibles líquidos trabajan a presión atmosférica; sin embargo, la temperatura ambiental no tendría mayor significación, pero el incremento de la temperatura por cambios muy pronunciados ocasiona la evaporación de los combustibles más volátiles, como el gasoholes, produciéndose una mayor evacuación de vapores al exterior, situación que en el lugar es poco probable, ya que la temperatura promedio son de aproximadamente 25°C.

#### 6.1.5. VIENTOS

Chiclayo se caracteriza por vientos moderados que se incrementan por las tardes. Existe la frecuencia de brisas de la tierra. Los vientos son uniformes, durante casi todo el año, con dirección de este a oeste. La dirección de los vientos está relacionada directamente a la posición del Anticiclón del Pacífico. Con una velocidad en promedio de 50km/h.

### 6.2. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

El área de influencia está inmersa en un área urbana, ubicada en la Carretera Chiclayo- Pomalca KM 3.7, Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo y Departamento de Lambayeque, como se encuentra los servicios de agua, desagüe, energía eléctrica y telefonía, son existentes.

El grifo, el cual está funcionando correctamente para tal fin se ha delimitado un ámbito descriptivo que alcance como área de influencia directa, al área que puede ser vulnerable a los impactos ambientales negativos y positivos que se puedan generar por el desarrollo de las modificaciones que se realizaran por lo tanto esta área está circunscrita a la extensión del terreno donde se ubicará la modificación del grifo de servicios de combustible Líquido.

#### 6.2.1. EL TERRENO:

El terreno tiene un área total de 2225,00 m<sup>2</sup> y cuenta con las siguientes características:

- a. Área del terreno: 2 225,00m<sup>2</sup>.
- b. Área del Proyecto: 100 m<sup>2</sup>.
- c. Área Construida: 319.73m<sup>2</sup> (Primer Nivel).
- d. Área de Canopy: 176.70 m<sup>2</sup>
- e. Perímetro del grifo: 180m.
- f. Perímetro total de terreno: 200m.

### **6.3. ACTIVIDADES PROPUESTAS**

#### **6.3.1. DURANTE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

El presente proyecto plantea las siguientes actividades a realizar:

- a. Movimiento de tierras (excavaciones)
- b. Colocación del relleno anódico.
- c. Instalación de ánodos para la protección
- d. Instalación de tubería de PVC y cableado
- e. Instalación de la caja de distribución
- f. Instalación de la estación de prueba
- g. Vaciado de concreto

#### **6.3.2. DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

El presente proyecto plantea la siguiente actividad a realizar:

- a. Monitorea trimestral del sistema de protección.

### **6.4. COMPONENTES AMBIENTALES DEL ENTORNO SUSCEPTIBLE DE SER IMPACTADO**

Los componentes ambientales impactados son:

#### **6.4.1. IMPACTO AL AIRE**

La contaminación del aire por emisiones de los escapes de los equipos motorizados utilizados en las obras. También, la emisión atmosférica de partículas (polvo), por la excavación de las fosas para el relleno del ánodo y su instalación. El impacto a la calidad del aire se considera directo, negativo, de corta duración (mientras dure

la instalación del sistema de protección), reversible, de extensión local y de baja magnitud.

#### **6.4.2. IMPACTOS AL SUELO**

La generación elementos no peligrosos como bolsas de cemento y yeso, restos de tubería de PVC, maderas, etc. El impacto se considera directo, negativo, reversible, de extensión local.

En el caso de un derrame de combustible de los equipos motorizados, aceites para maquinarias, fluidos hidráulicos, solventes, etc. El impacto a la calidad de suelo se considera directo, negativo y de baja magnitud.

Además, se producirá una cantidad mínima de desmonte.

#### **6.4.3. IMPACTOS AL AGUA**

La contaminación del agua con respecto al abastecimiento se realiza desde la red pública por la empresa concesionaria de la localidad. No existen fuentes de agua superficial dentro del área de influencia del establecimiento que pueda ser afectada. La napa freática podría ser afectada si se producen derrames de productos contaminantes y logren penetrar hasta el acuífero.

#### **6.4.4. IMPACTOS A LA SALUD**

Los impactos a la salud por posibles accidentes del personal que labora en la construcción. La emisión de ruido ambiental, por la operación de equipos motorizados como la excavadora y mezcladora de concreto. El impacto sobre los niveles de ruido y vibraciones, se considera directo, negativo, de corta duración.

#### **6.4.5. IMPACTO SOCIAL**

Por la ejecución del proyecto impulsará en cierto modo la economía de la zona en la generación de empleo, fortalecimiento de capacidades, nivel de actividad económica, y por la generación de la mano de obra no calificada. El impacto se considera directo y positivo.

## **6.5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE Y DESPUÉS DE SU INSTALACIÓN**

En este caso se utiliza la matriz de Leopold para la evaluación de los impactos ambientales en la etapa de instalación, se han tenido en cuenta una matriz cuantitativa, basada en cuadro de doble entrada. En ese sentido, en las filas se considera los factores ambientales, mientras que, en las columnas se considera las diferentes actividades de desarrollo del proyecto, permitiendo la interacción de los dos ejes, estableciendo el grado de impacto ambiental que podría ocasionar determinada actividad sobre el factor ambiental y empleando, para la valorización de los impactos identificados, los siguientes parámetros y valores son:

Tabla 17. Parámetros y valores ambientales

PARAMETROS		VALORES
Naturaleza (N)	Positiva	(+1)
	Negativo	-1
Intensidad (I)	Baja	1
	Media	2
	Alta	4
	Muy Alta	8
	Total	12
Extensión (EX)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extensa	4
	Total	8
	Crítica	(+4)
Momento (MO)	Menor de un año	1
	1 a 10 años	2
	Más de 10 años	3
	Crítica	4
Persistencia (PE)	Fugaz	1
	1 a 10 años	2
	11 a 15 años	3
	Más de 15 años	4
Reversibilidad (RV)	Menos de un año	1
	5 a 10 años	2
	11 a 15 años	3
	Mas de 15 años	4
Recuperabilidad (RC)	Inmediatamente	1
	Menor de un año	2
	5 a 10 años	3
	Mitigable o compensable	4
	Irrecuperable	8
Sinergia (SI)	No Sinergismo	1
	Sinérgico	2
	Muy Sinérgico	4
Acumulación (AC)	Simple	1
	Acumulativo	4
Efecto (EF)	Indirecto	1
	Directo	4
Periodicidad (PR)	Aperiódico o Esporádico	1
	Cíclico o Intermitente	2
	Continuo	4

Fuente: TABLA DE LEOPOLD

Para determinar el valor de la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental se utilizará la siguiente ecuación en función a los valores asignado a los parámetros antes mencionados, la cual se detalla a continuación:

$$Cal. Imp = N(3I + 2(EX + MO) + PE + RV + RC + SI + AC + EF + PR)$$

Donde:

*Cal. Imp*: Calificación de la importancia

*N*: Naturaleza

*I*: Intensidad

*EX*: Extensión

*MO*: Momento

*PE*: Persistencia

*RV*: Reversibilidad

*RC*: Recuperabilidad

*SI*: Sinergia

*AC*: Acumulación

*EF*: Efecto

*PR*: Periodicidad

Según el valor obtenido de la calificación, será evaluado por la siguiente tabla de acuerdo a su relevancia que tiene en el impacto.

Tabla 18. Relevancia del impacto ambiental.

Calificación de la importancia	Relevancia del Impacto Ambiental
0 < Cal. Imp	Positivo
-20 < -Cal. Imp	Leve o No significativo
-21 > -Cal. Imp > -42	Moderado o Significativo
-Cal. Imp < -42	Crítico o Muy significativo

Fuente: TABLA DE LEOPOLD

## 6.6. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO

### 6.6.1. DURANTE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

Tabla 19. Evaluación de la actividad de movimiento de tierra.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Movimiento de tierras (excavaciones)											Valor	Relevancia	
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR			
Aire	Por emisión de gases de los equipos motorizados	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
	Por emisión de partículas de polvo a la atmósfera	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
Suelo	Contaminación del suelo por desmonte	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
	Contaminación del suelo por derrame de combustible de los equipos motorizado	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidentes laborales	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
	Incremento del nivel de ruido	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Evaluación de la actividad de colocación del relleno.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación	
		Colocación del relleno											Valor	Relevancia
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR		
Aire	Por emisión de partículas de polvo por la mezcla de relleno	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
Suelo	Contaminación del suelo por la mezcla de relleno	-1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidente por ingerir la mezcla de relleno	-1	2	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-20	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Evaluación de la actividad de la instalación de ánodo.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Instalación del ánodo													
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR	Valor	Relevancia	
Suelo	Contaminación del suelo por desechos sólidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidente por corte de materiales sólidos	-1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-20	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Evaluación de la actividad de la instalación de tubería PVC y cableado.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Instalación de tubería de PVC y cableado											Valor	Relevancia	
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR			
Suelo	Contaminación del suelo por desechos sólidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidente por corte de materiales solidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Evaluación de la actividad de la instalación de la caja de distribución.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Instalación de la caja de distribución											Valor	Relevancia	
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR			
Suelo	Contaminación del suelo por desechos sólidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidente por corte de materiales sólidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
	Riesgo de accidente por electrocución	-1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-20	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Evaluación de la actividad de la instalación de la estación de prueba.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Instalación de la estación de prueba											Valor	Relevancia	
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR			
Suelo	Contaminación del suelo por desechos sólidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	-20	Leve
Salud	Riesgo de accidente por electrocución	-1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-20	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	17	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Evaluación de la actividad de vaciado de concreto.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Vaciado de concreto													
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR	Valor	Relevancia	
Suelo	Contaminación del suelo por el concreto	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	-17	Leve
Salud	Riesgo de accidente por corte de materiales solidos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-14	Leve
	Riesgo de accidentes laborales	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-14	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	1	20	Positivo	
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	1	20	Positivo	

Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.2. DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

Tabla 26. Evaluación de la actividad de monitoreo trimestral del sistema de protección.

Componentes Ambientales Impactados	Factores Ambientales	Actividad del Proyecto											Evaluación		
		Monitoreo trimestral del sistema de protección											Valor	Relevancia	
		N	I	EX	MO	PE	RV	RC	SI	AC	EF	PR			
Salud	Riesgo de accidentes laborales	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-17	Leve
	Riesgo de accidente por electrocución	-1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	-20	Leve
Sociedad	Generación de empleo	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	1	20	Positivo	
	Fortalecimiento de capacidades	1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	1	20	Positivo	

Fuente: Elaboración propia

## **VII. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA**

La siguiente evaluación económica se justifica; porque, los elementos y servicios para la instalación de un sistema de protección catódica en los tanques son para medir su rentabilidad del proyecto.

### **7.1. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

La siguiente metodología propuesta es usada para calcular el VAN y el TIR del proyecto en un periodo determinado.

#### **7.1.1. DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

El siguiente diagrama brinda una visión general de como se calcula el VAN y el TIR del siguiente proyecto.

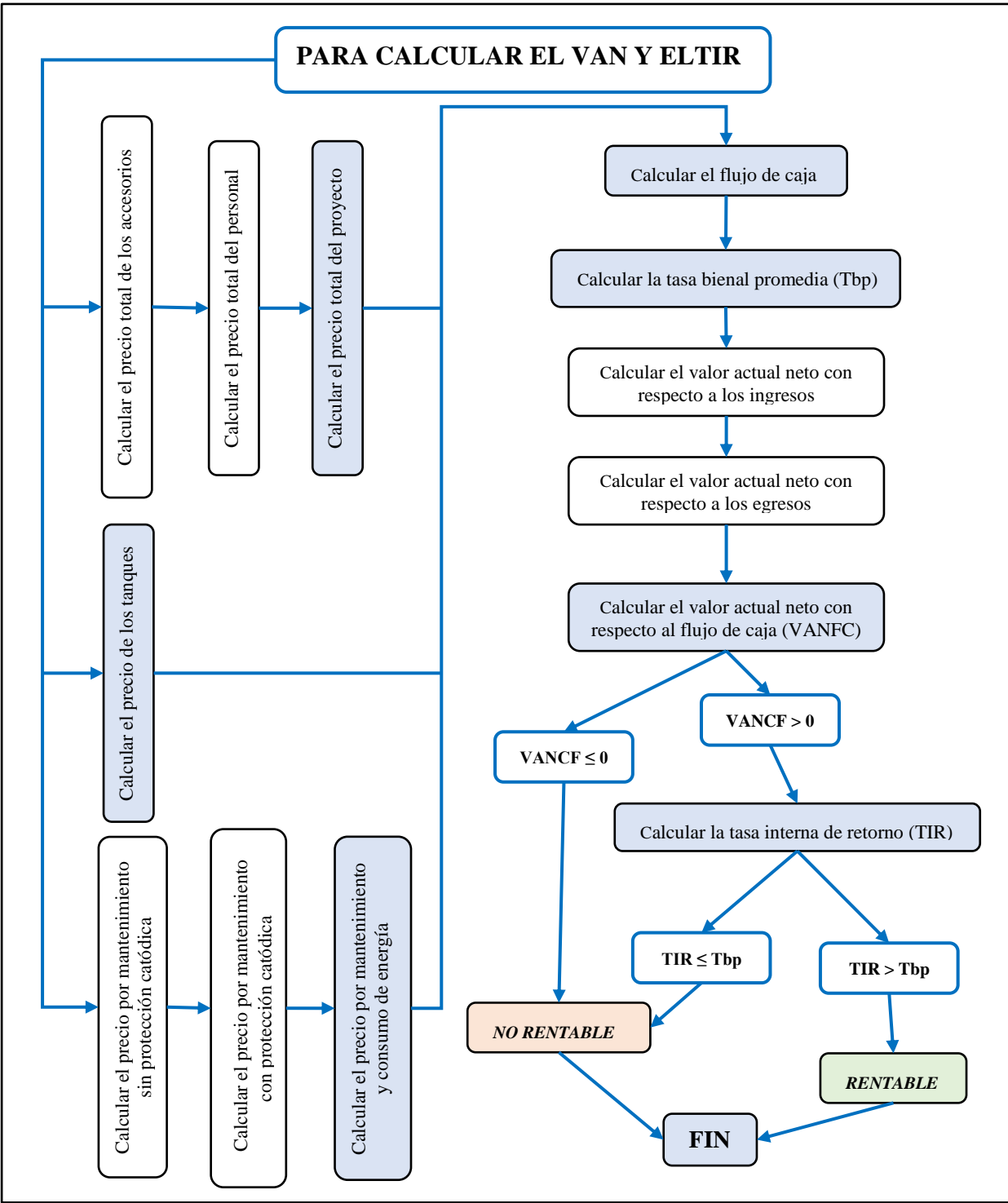


Figura 36. Diagrama de flujo de la evaluación económica.  
Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.2. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

### 7.1.2.1. Cálculo del precio total del proyecto

Primero se calcula precio total de los accesorios; luego el precio del personal calificado y por último se suma las dos cantidades anteriores para obtener precio total del proyecto.

#### a) Cálculo del precio total de los accesorios

Para el cálculo del precio total de los accesorios, se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Prec.Total_{Item} = Cant * Prec.Unidad \quad (31)$$

Luego; se utiliza la siguiente ecuación

$$PREC.TOTAL_A = \sum_{Item=1}^n Prec.Total_{Item} \quad (32)$$

Donde:

*Cant*: Número de accesorios.

*Prec.Unidad*: Precios por unidad de los accesorios (s/)

*Prec.Total<sub>Item</sub>*: Precios totales de cada tipo de accesorio (s/)

*PREC.TOTAL<sub>A</sub>*: Precio total de accesorios (s/)

#### b) Cálculo del precio total del personal

Para el cálculo del precio total del personal, se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Prec.Total_{Item} = Cant * Periodo * Prec.Unidad \text{ por día} \quad (33)$$

Luego; se utiliza la siguiente ecuación

$$PREC.TOTAL_P = \sum_{Item=1}^n Prec.Total_{Item} \quad (34)$$

Donde:

*Cant*: Número de personal.

*Periodo*: Tiempo de trabajo (días)

*Prec.Unidad por día*: Precios de unidad por día del personal (s/)

*Prec.Total<sub>Item</sub>*: Precios totales personal de acuerdo a sus habilidades (s/)

*PREC.TOTAL<sub>p</sub>*: Precio total del personal(s/)

### c) Cálculo del precio total del proyecto

Para el cálculo del precio total del proyecto, se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$PRECIO\ TOTAL\ DEL\ PROYECTO = PREC.TOTAL_A + PREC.TOTAL_P \quad (35)$$

#### 7.1.2.2. Cálculo del precio de los tanques

Para el cálculo del precio total de los tanques, se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Prec.Total_{Item} = Vol * Prec.Unidad\ por\ vol \quad (36)$$

Luego; se utiliza la siguiente ecuación

$$PREC.TOTAL_T = \sum_{item=1}^n Prec.Total_{Item} \quad (37)$$

Donde:

*Vol*: Número de volúmenes de los tanques.

*Prec.Unidad por vol*: Precio por unidad con respecto al volumen (s/)

*Prec.Total<sub>Item</sub>*: Precio total de cada tanque (s/)

*PREC.TOTAL<sub>T</sub>*: Precio total de los tanques (s/)

#### 7.1.2.3. Cálculo del precio por mantenimiento y consumo de energía

Para calcular el precio por mantenimiento y de consumo de energía. Primero se calcula el precio de mantenimiento sin protección; luego, se calcula el precio por mantenimiento con protección.

##### a) Cálculo del precio por mantenimiento sin protección catódica

Para calcular el precio por mantenimiento sin protección, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P.Total_T = Prec.(MTT)_T + Prec.(IH)_T \quad (38)$$

Donde:

$Prec. (IH)_T$ : Precio de inspección de hermeticidad de cada periodo (s/).

$Prec. (MTT)_T$ : Precio de monitoreo de tanques y tuberías de cada periodo (s/).

$T$ : Número de periodo

$P. Total_T$ : Precio total de mantenimiento por periodo (s/).

#### b) Cálculo del precio por mantenimiento con protección catódica

Para calcular el precio por mantenimiento con protección, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P. Total_T = Prec. (MSPC)_T + Prec. (GEESPC)_T + Prec. (IH)_T + Prec. (MTT)_T \quad (39)$$

Donde:

$Prec. (MSPC)_T$ : Precio del monitoreo del sistema protección catódica de cada periodo (s/).

$Prec. (GEESPC)_T$ : Precio del gasto del sist. protección catódica de cada periodo (s/).

$Prec. (IH)_T$ : Precio de inspección de hermeticidad de cada periodo (s/).

$Prec. (MTT)_T$ : Precio de monitoreo de tanques y tuberías de cada periodo (s/).

$T$ : Número de periodo

$P. Total_T$ : Precio total de mantenimiento por periodo (s/).

#### 7.1.2.4. Cálculo del flujo de caja y el valor actual neto

##### a) Cálculo del flujo de caja

Para calcular la caja de flujo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$CF_T = ING_T - EGR_T \quad (40)$$

Donde:

$CT_T$ : Caja de flujo por periodo (s/).

$ING_T$ : Ingreso de cada periodo (s/)

$EGR_T$ : Egresos de cada periodo(s/)

$T$ : Número de periodo

**b) Cálculo de la tasa bienal promedia (Tbp)**

Para calcular tasa bienal promedia, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Tbp = (1 + Tap)^2 - 1 \quad (41)$$

Donde:

$Tbp$ : Tasa bienal promedia (%)

$Tap$ : Tasa anual promedia (%)

**c) Cálculo el valor actual neto con respecto a los ingresos**

Para calcular valor actual neto con respecto a los ingresos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN(ING) = \sum_{T=0}^n \frac{ING_T}{(1+Tbp)^T} \quad (42)$$

Donde:

$VAN(ING)$ : Valor actual neto con respecto a los ingresos (s/)

$ING_T$ : Ingresos de cada periodo (s/)

$Tbp$ : Tasa bienal promedia (%)

$T$ : Número de periodo

**d) Cálculo el valor actual neto con respecto a los egresos**

Para calcular valor actual neto con respecto a los ingresos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN(EGR) = \sum_{T=0}^n \frac{EGR_T}{(1+Tbp)^T} \quad (43)$$

Donde:

$VAN(EGR)$ : Valor actual neto con respecto a los egresos (s/)

$EGR_T$ : Egresos de cada periodo (s/)

$Tbp$ : Tasa bienal promedia (%)

$T$ : Número de periodo

**e) Cálculo el valor actual neto con respecto a la caja de flujo**

Para calcular valor actual neto con respecto a la caja de flujo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN(CF) = VAN(ING) - VAN(EGR) \quad (44)$$

Donde:

$VAN(CF)$ : Valor actual neto con respecto a la caja de flujo (s/)

$VAN(ING)$ : Valor actual neto con respecto a los ingresos (s/)

$VAN(EGR)$ : Valor actual neto con respecto a los egresos (s/)

**7.1.2.5. Cálculo la tasa interna de retorno**

Para calcular la tasa interna de retorno, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sum_{T=0}^n \frac{CF_T}{(1+TIR)^T} = 0 \quad (45)$$

Donde:

$CF_T$ : Caja de flujo de cada periodo (s/)

$TIR$ : Tasa interna de retorno (%)

$T$ : Número de periodo

## 7.2. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este caso se procede a la evaluación económica de acuerdo con la metodología.

### 7.2.1. CÁLCULO DEL PRECIO TOTAL DEL PROYECTO

#### 7.2.1.1. Cálculo del precio total de los accesorios

Para este caso, se utiliza las siguientes **Ec. (31)** y **Ec. (32)**. En la siguiente tabla se observa la lista de accesorio que se requiere para la instalación de sistema de protección catódica por corriente impresa. Los precios son actuales según el mercado.

Tabla 27. Lista de precios de los accesorios para el sistema de protección.

Ítem	Cant.	Mag.	Accesorios	Prec.Unidad	Prec.Total(Ítem)
1	1	und.	Ánodo de hierro- silicio de 1,524 m	S/500,00	S/500,00
2	26	m	Cable de calibre 6 AWG	S/5,00	S/130,00
3	10	m	Cable de calibre 4 AWG	S/6,50	S/65,00
4	8	m	Cable de calibre 12 AWG	S/2,00	S/16,00
5	1	und.	Tablero de distribución de 20x30x10cm - PVC	S/15,00	S/15,00
6	4	und.	Cinta aislante	S/2,00	S/8,00
7	12	und.	Empalmes termo-contráctiles	S/3,00	S/36,00
8	1	und.	Rectificador de 24v de 2A	S/25,00	S/25,00
9	2	und.	Bolsa de cemento de 42.5kg	S/25,00	S/50,00
10	22	und.	Tubo de luz de PVC 1"	S/6,00	S/132,00
11	12	und.	Codo de luz de PVC 1"	S/3,00	S/36,00
12	1	und.	Transformador de 220/24v, 2A y de 48Watts	S/200,00	S/200,00
13	4	und.	Bolsa de yeso	S/4,00	S/16,00
14	2	und.	Bolsa de bentonita	S/25,00	S/50,00
15	1	und.	Poste de prueba	S/20,00	S/20,00
16	2,5	kg	Soldadura cuproaluminotérmica	S/15,00	S/37,50
<b>PREC. TOTAL<sub>A</sub></b>					<b>S/1 336,50</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.1.2. Cálculo del precio total del personal

Para este caso, se utiliza las siguientes **Ec. (33)** y **Ec. (34)**. En la siguiente tabla se observa la lista según el tipo personal que se requiere de acuerdo a su preparación para la instalación de sistema de protección catódica por corriente impresa. Los precios son actuales según el mercado.

Tabla 28. Lista de precios según el tipo de personal calificado para el sistema de protección

Ítem	Cant.	Periodo (días)	Personal calificado para la instalación del sistema de protección	Prec.Unidad por día	Prec.Total <sub>(Item)</sub>
1	2	1	Operario para la excavación	S/100,00	S/200,00
2	1	1	Operario para el mezclado	S/80,00	S/80,00
3	2	3	Albañil	S/70,00	S/420,00
4	1	5	Ing. Mecánico eléctrico	S/250,00	S/1 250,00
5	2	2	Técnico electricista	S/100,00	S/400,00
<b>PREC. TOTAL<sub>P</sub></b>					<b>S/2 350,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.1.3. Cálculo del precio total del proyecto

Para calcular precio total del proyecto, se utiliza la siguiente **Ec. (35)**.

- Precio total de accesorios

$$PREC. TOTAL_A = S/1 336,50$$

- Precio total del personal

$$PREC. TOTAL_P = S/2 350,00$$

Una vez calculado precio total del proyecto, se obtuvo el siguiente resultado:

$$PRECIO TOTAL DEL PROYECTO = S/3 686,50$$

### 7.2.2. CÁLCULO DEL PRECIO DE LOS TANQUES

Para calcular el precio total de los tanques, se utiliza las siguiente **Ec. (36)** y **Ec. (37)**. En la siguiente tabla se observa los precios de los tanques según su volumen con respecto mercado. La siguiente tabla es un resumen de los precios de los tanques con respecto a su volumen

Tabla 29. Lista de los precios de los tanques según su volumen.

Ítem	Vol.	Mag.	Accesorios	Prec.Unidad por vol.	Prec.Total <sub>(Ítem)</sub>
1	27	m <sup>3</sup>	Tanque para Diesel B5	S/1 000,00	S/27 000,00
2	16	m <sup>3</sup>	Tanque para Gasohol 84	S/1 100,00	S/17 600,00
<b>PREC. TOTAL<sub>T</sub></b>					<b>S/44 600,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3. CÁLCULO DEL PRECIO POR MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE ENERGÍA

Para este caso el periodo de mantenimiento se realizará cada dos años durante la vida útil de los tanques.

#### 7.2.3.1. Cálculo del precio por mantenimiento sin protección catódica

La vida promedia para tanques de combustible es de treinta años para este caso los tanques le quedan seis años de vida útil. De acuerdo a la norma para la inspección periódica de hermeticidad de tubería y tanques, que almacenan combustible líquido y otros derivados de los hidrocarburos por D.S. 064-2009-EM y sus modificaciones por D.S. 024-2012.

En la siguiente tabla se observa los precios de las actividades de mantenimiento que se realiza con frecuencia a condiciones normales sin protección. Para calcular el precio de mantenimiento, se utiliza la siguiente **Ec. (38)**.

Tabla 30. Lista de precios de las actividades de mantenimiento sin protección.

Periodo (T)	Número de año	Monitoreo de los tanques y tuberías	Inspección de hermeticidad	P. TOTAL <sub>T</sub>
		Prec. (MTT) <sub>T</sub>	Prec. (IH) <sub>T</sub>	
1	2	S/1 500,00	S/2 200,00	S/3 700,00
2	4	S/1 510,00	S/2 285,00	S/3 795,00
3	6	S/1 520,00	S/2 370,00	S/3 890,00

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3.2. Cálculo del precio por mantenimiento con protección catódica

Para este caso se estimará diez años de vida útil adicional a los tanques según la NACE (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión) de acuerdo a su practicas recomendadas RP-0572 sobre Design, Installation, Operation and Maintenance of Impressed Current Deep Groundbeds.

- Según su tarifa eléctrica **BT5B-NO RESIDENCIAL** el cargo por energía activa: **S/0,5821por kw.h.**
- Según su potencia del sistema de protección catódica por corriente impresa la energía suministrada: **1,152 kw.h/día.**
- Entonces, el importe de cada dos año es de **S/489,52 incluyendo IGV es de S/577,64.**

En la siguiente tabla se observa los precios de las actividades de mantenimiento y de consumo de energía que realiza con frecuencia el sistema de protección. Para calcular el precio de mantenimiento y de consumo de energía, se utiliza la siguiente **Ec. (39)**.

Tabla 31. Lista de precios de las actividades de mantenimiento con protección.

Periodo (T)	Número de año	Monitoreo del sistema de protección catódica	Gasto de energía eléctrica para el sistema de protección catódica por corriente impresa	Monitoreo de los tanques y tuberías	Inspección de Hermeticidad	P. TOTAL <sub>T</sub>
		Prec.(MSPC) <sub>T</sub>	Prec.(GEESPC) <sub>T</sub>	Prec.(MTT) <sub>T</sub>	Prec.(IH) <sub>T</sub>	
1	2	S/300,00	S/577,64	S/1 500,00	S/2 200,00	S/4 577,64
2	4		S/577,64	S/1 510,00	S/2 285,00	S/4 372,64
3	6	S/310,00	S/577,64	S/1 520,00	S/2 370,00	S/4 777,64
4	8		S/577,64	S/1 530,00	S/2 455,00	S/4 562,64
5	10	S/320,00	S/577,64			S/897,64
6	12		S/577,64	S/1 540,00	S/2 540,00	S/4 657,64
7	14	S/330,00	S/577,64			S/907,64
8	16		S/577,64	S/1 550,00	S/2 625,00	S/4 752,64

Fuente: Elaboración propia.

## 7.2.4. CÁLCULO DEL FLUJO DE CAJA Y EL VALOR ACTUAL NETO

Para este caso se considera los precios calculados en los pasos anteriores.

### 7.2.4.1. Cálculo del flujo de caja

Para calcular el flujo de caja se tendrá en consideración los siguientes valores:

- El precio total del proyecto.
- El precio de total de los tanques.
- El precio por mantenimiento con protección catódica.

Luego, estos valores serán incluido dentro de un periodo:

- El precio total del proyecto será en el periodo cero ( $T=0$ ) con respecto a la columna de los **EGRESOS**.
- El precio total de los tanques será en el periodo tercero ( $T=3$ ) con respecto a la columna de los **INGRESOS**.
- El precio por mantenimiento con protección catódica será desde el periodo primero hasta el octavo ( $T=1$  a  $8$ ) con respecto a la columna de los **EGRESOS**.

En la siguiente tabla se observa la forma como están ubicado los precios. Finalmente, se utiliza la siguiente **Ec. (40)**.

Tabla 32. Flujo de caja del proyecto.

<i>Periodo (T)</i>	<i>Número de año</i>	<i>INGRESOS (ING<sub>T</sub>)</i>	<i>EGRESOS (EGR<sub>T</sub>)</i>	<i>FLUJO DE CAJA (FC<sub>T</sub>)</i>
0	0		S/3 686,50	-S/3 686,50
1	2		S/4 577,64	-S/4 577,64
2	4		S/4 372,64	-S/4 372,64
3	6	S/44 600,00	S/4 777,64	S/39 822,36
4	8		S/4 562,64	-S/4 562,64
5	10		S/897,64	-S/897,64
6	12		S/4 657,64	-S/4 657,64
7	14		S/907,64	-S/907,64
8	16		S/4 752,64	-S/4 752,64

Fuente: Elaboración propia.

#### 7.2.4.2. Cálculo de la tasa bienal promedia

Para calcular la tasa bienal promedia, se consideración algunos aspectos con respecto a la empresa y las entidades bancarias.

- Según el régimen tributario **registrado en la SUNAT**.
- El tiempo de pago que desea estimar.
- El reporte de la tasa activa anuales de las operaciones en moneda nacional en los último 30 días por la Superintendencia de Banca y Seguro del Perú (SBS).

Para este caso:

- Su régimen tributario registrado en la SUNAT es **MYPE**; entonces es una **pequeña empresa**.
- La empresa decide pagar su préstamo en **dieciséis años**; entonces ese es el periodo de vida que le queda a los tanques con sistema de protección.
- Con respecto a la tabla de **ANEXO 6** se observa el reporte de las empresas bancaria y sus tasas activas anuales. La tasa seleccionada será de **17,42% anual**.
- Finalmente, se utiliza la **Ec. (41)**.

Los datos obtenidos son:

- Tasa anual promedia:

$$T_{ap} = 17,42 \%$$

El resultado de la tasa bienal promedia:

$$T_{bp} = 37,87 \%$$

### 7.2.4.3. Cálculo el valor actual neto con respecto a los ingresos, egresos y al flujo de caja

Para calcular el valor actual neto con respecto a los ingresos, egresos y al flujo de caja, se considera los datos obtenido de la caja de flujo y la tasa bienal promedia. Además, se utiliza las siguientes **Ec. (42)**, **Ec. (43)** y **Ec. (44)**.

En la siguiente tabla se observa el resumen de los valore actuales con respecto a los ingresos, egresos, al flujo de caja.

Tabla 33. Valor actual neto con respecto a los ingresos, egresos y al flujo de caja.

<i>Periodo (T)</i>	<i>Número de año</i>	<i>INGRESOS (ING<sub>T</sub>)</i>	<i>EGRESOS (EGR<sub>T</sub>)</i>	<i>FLUJO DE CAJA (FC<sub>T</sub>)</i>
0	0		S/3 686,50	-S/3 686,50
1	2		S/4 577,64	-S/4 577,64
2	4		S/4 372,64	-S/4 372,64
3	6	S/44 600,00	S/4 777,64	S/39 822,36
4	8		S/4 562,64	-S/4 562,64
5	10		S/897,64	-S/897,64
6	12		S/4 657,64	-S/4 657,64
7	14		S/907,64	-S/907,64
8	16		S/4 752,64	-S/4 752,64
<b>VAN</b>		<b>S/17 016,98</b>	<b>S/13 710,45</b>	<b>S/3 306,53</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.5. CÁLCULO LA TASA INTERNA DE RETORNO

Para la tasa interna de retorno, se considera los datos obtenido del **flujo de caja y el número de periodo** (*el periodo para este caso es bienal durante la vida útil restante de los tanques con protección, T=8*). Entonces, se utiliza la siguiente **Ec. (45)**.

Se obtuvo una tasa interna de retorno:

$$TIR = 62,56 \%$$

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

- Actualmente se concluye que los tanques presentan el fenómeno de corrosión, en diversas zonas de la superficie externa, de acuerdo a la experimentación de **las piezas del 7 al 9** con respecto a la solución **sulfato de cobre 0,1 M** que se ha determinado el total de masa promedia perdida y su porcentaje se obtuvo **225,1683 kg** que equivale **45,74%** de la masa total de los tanques.
- Los elementos seleccionados para el sistema de protección. Son fabricado bajo la norma ASTM. Se ha seleccionado los siguientes elementos: **un ánodo de hierro-silicio de 1,524 m, 26m de cable de calibre 6 AWG(4,11mm), 10m de cable de calibre 4AWG(5,19mm), 8m de cable de calibre 12 AWG(2,05mm), un tablero de distribución de 20x30x10cm PVC y un poste de prueba.**
- El método de diseño que se utilizó para determinar la capacidad del transformador y del rectificador; presenta un diagrama de flujo, basados en los parámetros resistivos de los elementos que lo conforma el sistema de protección, se ha calculado la **capacidad del transformador que es 220/24v, 2A y de 48watts** y; también, se ha calculado la **capacidad del rectificador que es 24v de 2A.**
- Para la evaluación de los impactos ambientales, se utilizó la matriz de Leopold. Los resultados obtenidos de las actividades durante la instalación son:
  - a. Movimiento de tierras, se obtuvo **leve y positivo.**
  - b. Colocación del relleno anódico, se obtuvo **leve y positivo.**
  - c. Instalación de ánodos para la protección, se obtuvo **leve y positivo.**
  - d. Instalación de tubería de PVC y cableado, se obtuvo **leve y positivo.**
  - e. Instalación de la caja de distribución, se obtuvo **leve y positivo.**
  - f. Instalación de la estación de prueba, se obtuvo **leve y positivo.**
  - g. Vaciado de concreto, se obtuvo **leve y positivo.**

Los resultados obtenidos de las actividades después de la instalación son:

- a. Monitoreo trimestral del sistema de protección, **se obtuvo leve y positivo.**

Se concluye que los impactos de las actividades durante y después de la instalación son **leves y positivos.**

- Para la evaluación económica, se realizó siete tablas: dos tablas para el precio del del proyecto, una tabla para el precio de los tanques, dos tablas para la lista de precio por mantenimiento, una tabla para calcular el flujo de caja y una tabla para calcular el VAN. Se obtuvo como **precio total del proyecto de S/3 686,50.** Por lo que se realizó los criterios de evaluación económica:
  - a. El **VAN**, se obtuvo **S/3 306,53.**
  - b. El **TIR**, se obtuvo **62,56%.**

Se concluye que el sistema de protección catódica es rentable durante **16 años.**

## 8.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del sistema de protección catódica por corriente impresa para tanque ubicados en zonas rurales. Utilizando como fuente de alimentación, energía renovable (energía solar, eólica, etc.).
- Se recomienda el uso del sistema de protección catódica por corriente impresa para redes de tuberías (acueducto, oleoductos, tuberías de distribución de combustible en una estación de servicio, etc.).
- Se recomienda el uso del sistema de protección catódica por corriente impresa para industrias petroquímicas.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] A. Charles y S. Matthew, *Fundamento de Circuito Eléctricos*, Mexico: McGraw-Hill Companies, 2013.
- [2] J. Newell, *Ciencia de Materiales. Aplicaciones en Ingeniería*, México: Alfaomega, 2010.
- [3] T. Brown, H. E. LeMay y B. E. Bursten, *Química. La Ciencia Central*, Mexico: Pearson Educación, 2004.
- [4] J. E. Brady y G. E. Humiston, *Química Básica. Principios y Estructura*, Mexico: Limusa, 2015.
- [5] N. Sapag Chain, *Proyecto de Inversión, Formulación y Evaluación*, Santiago Chile: Pearson Educación, 2011.
- [6] J. Shackelford, *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, Madrid: Pearson Educación, 2007.
- [7] V. A. Ojeda Gil, «Avances en la medida de la protección catódica de estructuras metálicas enterradas mediante métodos de desconexión cíclica.», España, 2016.
- [8] F. J. Ornés Poleo, «Diseño del sistema de protección catódica para el gasoducto Arecuna- Westlejos,» Sartenejas, 2012.
- [9] M. C. Rosas Brito, «Selección y diseño de sistema de protección catódica para tuberías enterradas en el centro operacional Bare. El tigre, Edo. Anzoátegui.,» Sartenejas, 2012.
- [10] W. L. Suque Cercado, «Diseño del sistema de protección catódica por ánodo profundo para un bosque de tanques de almacenamiento de combustible,» Guayaquil, 2008.
- [11] G. Liberato Lopez, «Diseño de protección catódica por corriente impresa para ducto submarino,» Lima, 2014.
- [12] C. C. Clavijo Cáceres, «Sistema de protección catódica para tuberías enterradas de transmisión de gas natural,» Lima, 2014.
- [13] R. O. Girón Callejas, «Protección catódica y su aplicación en tanques de almacenamiento de productos de petroleros en plantas Guatemaltecas,» Guatemala, 2005.
- [14] R. J. Zamora Mero, «Diseño del sistema de eléctrico y control para el montaje de dos tanques de almacenamiento de crudo de petroproducción,» Quito, 2008.
- [15] J. L. Barrera Cruz, «Evaluación de la distribución de corriente y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías,» Guayaquil, 2011.
- [16] Y. Adames Montenegro, M. E. Casas Vázquez, J. D. Harriett y I. Rizo Alvarez, «Solución alternativa para la protección interior de tanques,» *CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 41, p. 13, 2010.
- [17] S. R. Francia, «Protección catódica- Diseño de ánodo de sacrificio,» *Instituto de Investigación FIGMMG*, vol. 7, p. 8, 2004.

## **X. NORMAS RECOMENDADAS POR NACE**

1. NACE, Standard Recommended Practice RP0176 “Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Structure Associated With Petroleum Production”
2. NACE, Standard Recommended Practice RP0285 “Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection”
3. NACE, Standard Recommended Practice RP0285 “Impressed Current Cathodic Protection of Internal Submerged Surfaces of Carbon Steel Water Storage Tanks”
4. NACE, Standard Recommended Practice RP0575 “Internal Cathodic Protection Systems in Oil- TreatingVessels”
5. NACE, Standard Recommended Practice RP0572 “Desing, Installation, Operation and Maintenance of Impressed Current Deep Groundbeds”
6. NACE, Standard Recommended Practice RP0497 “Standard Test Method Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”
7. NACE, Standard Recommended Practice RP0193 “External Cathodic Protection of On-Grade Metallic Storage Tank Bottoms”

## XI. ANEXO

### Anexo 01. Informe de inspección de hermeticidad.



## INFORME DE INSPECCIÓN DE HERMETICIDAD DE STE N° MTP07-12-2011/II177

### I. OBJETIVO

Inspeccionar y verificar la hermeticidad del STE mediante los Métodos y Procedimientos que cumplen los Estándares de los Protocolos: Prueba Volumétrica (húmeda) EPA /530/UST90/004 y Prueba No Volumétrica (seca) EPA/530/UST90/005.

### II. ALCANCE

Involucra todas las actividades realizadas por el personal de MASSTECH INTERNATIONAL PERU S.A. que se ejecuten en las Pruebas de Hermeticidad del Sistema de Tanques Enterrados (STE) desde su llegada a la empresa o estación de servicio, finalización de la prueba de campo, la emisión del informe, análisis de riesgo (a solicitud del cliente) y certificado de inspección si el objeto evaluado pasara la prueba.

### III. ANTECEDENTES

Este informe cubre la ejecución de los trabajos realizados para la Empresa Grifo San Juan S.A.C, ubicada en Car. Pomalca km. 3.7 C.H. San Francisco, Lambayeque - Chiclayo - Pomalca; ejecutada el 19 de Noviembre del 2011 de acuerdo a la cotización N° MTP17-11-2011/CT1037. La tecnología y metodología empleada en las Pruebas de Hermeticidad de tanques y líneas cumplen con el D.S.064-2009-EM: Norma Para la Inspección Periódica de Hermeticidad de Tuberías y Tanques Enterrados que Almacenan Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

### IV. DESARROLLO

#### 4.1 DE LA PRUEBA

Se probaron dos (02) tanques de combustible (Diesel B5 y Gasohol 84) siguiendo los procedimientos que cumplen los Estándares de los Protocolos: Prueba Volumétrica (húmeda) EPA /530/UST90/004 y Prueba No Volumétrica (seca) EPA/530/UST90/005, los cuales se detallan a continuación:

#### Prueba Volumétrica (húmeda)

Se instala la cámara nathan en una entrada directa del tanque la cual lleva en su interior una sonda que se anclara en el fondo del tanque, la cual quedará sumergida en el combustible; a través de esta ingresará nitrógeno el cual emitirá burbujas; las burbujas producirán unas ondas de choque al subir, estas ondas dependerán de la masa del líquido en el tanque. Si se detectaran fugas la masa del líquido en el tanque cambiará (ingreso o egreso).

#### Prueba No Volumétrica (seca)

Se sellan (taponean) todas las entradas del tanque en evaluación y tuberías interconectadas (venteo, llenado, recuperación de vapores, etc.), luego se presuriza el tanque con un gas inerte



(nitrógeno) a una presión entre 7 kpa. y 10 kpa., si hay una fuga variara la presión de nitrógeno en el tanque.

Durante la realización de las pruebas solo se dejó de despachar combustible del tanque en evaluación, esto para no afectar la venta de los demás productos.

#### 4.2 TRABAJOS PREVIOS.

El personal llegó a las instalaciones de la estación de servicio y coordinó con el administrador el inicio de los trabajos a ejecutar, los cuales se realizaron siguiendo los siguientes pasos:

- Hora Llegada (09:30 am): Reconocimiento de la zona de trabajo, llenado de permisos de trabajo y ATS, colocación de cerco de seguridad, ubicación de equipos y herramientas, instalación del equipo portátil (laptop).
- Hora Inicio de la Prueba (11:53 am): Verificación del sistema, acondicionamiento del programa, preparación del objeto a inspeccionar e inicio de la prueba.

#### 4.3 DEL INDICE DE RIESGO

- No solicitado por el cliente.

#### V. ANÁLISIS

Resumen de los resultados de las pruebas de hermeticidad a los tanques

Primera ronda de prueba			
Tanque 1	Prueba	Resultado	Rango
Tanque de Diesel B5 de 5,000 galones y se encontró al 58.4 % de combustible durante la prueba. Fecha: 19/11/11	Prueba Húmeda Prueba Seca	PASÓ PASÓ	0.03 l/hr 6.2 veces EPA

Primera ronda de prueba			
Tanque 2	Prueba	Resultado	Rango
Tanque de Gasohol 84 de 3,000 galones y se encontró al 44.1 % de combustible durante la prueba. Fecha: 19/11/11	Prueba Húmeda Prueba Seca	PASÓ PASÓ	0.05 l/hr 6.0 veces EPA

- Una fuga en la parte vacía del tanque de 6.5 veces representa la pérdida de presión de nitrógeno equivalente a una fuga de líquido de 0.38 l/hr para lo que establece como límite la EPA.



## VI. CONCLUSIONES

### Tanque N° 01 de Diesel B5 de 5,000 gls

- Prueba Volumétrica (Húmeda): El tanque enterrado para almacenamiento de combustible ha pasado la Prueba de Hermeticidad al 58.4% de combustible por encontrarse dentro de los límites establecidos por la EPA (0.38 lt/hora).
- Prueba No Volumétrica (Seca): El tanque enterrado para almacenamiento de combustible ha pasado la Prueba de Hermeticidad por encontrarse dentro de los límites establecidos por la EPA (0.38 lt/hora).

### Tanque N° 02 de Gasohol 84 de 3,000 gls

- Prueba Volumétrica (Húmeda): El tanque enterrado para almacenamiento de combustible ha pasado la Prueba de Hermeticidad al 44.1% de combustible por encontrarse dentro de los límites establecidos por la EPA (0.38 lt/hora).
- Prueba No Volumétrica (Seca): El tanque enterrado para almacenamiento de combustible ha pasado la Prueba de Hermeticidad por encontrarse dentro de los límites establecidos por la EPA (0.38 lt/hora).
- Todas las partes visibles del sistema fueron selladas por el técnico representante de MasTech International Perú S.A. y puestas a prueba con agua jabonosa (para detectar pérdida visible de presión).

## VII. OBSERVACIONES DURANTE LAS PRUEBAS

- Los tanques de DB5 y Gasohol 84 se probaron incluyendo sus tuberías de medición, venteo y descarga remota.
- Los tanques de DB5 y Gasohol 84 trabajan con líneas de succión.

## GLOSARIO DE SIGLAS

- EPA (Environmental Protection Agency United States): Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América.
- Prueba de Hermeticidad: Procedimiento por el cual se determina si el objeto en evaluación es hermético según los criterios establecidos por la EPA.
- STE: Es el conjunto de instalaciones que comprende a tanque, tuberías y conexiones que se encuentren instalados por debajo de la superficie. Se incluye en esta definición a los tanques instalados totalmente bajo superficie, tanques monticulados y tanques tapados.
- Parte Húmeda: Parte del tanque que se encuentra ocupada por un líquido o combustible.
- Parte Seca: Parte del tanque que no se encuentra ocupada por un líquido o combustible.
- Línea de Despacho (línea de abastecimiento): En el almacenamiento de hidrocarburos, es la tubería instalada para la salida o descarga de los fluidos almacenados.
- Línea de Llenado (línea de carga): En el almacenamiento de hidrocarburos, es la tubería que conduce la producción de un proceso a tanque o tanques de almacenamiento.

- Rango de Determinación de Fuga: Rango de comparación por el cual se determina la pérdida de líquido o combustible en un sistema de tanque enterrado por unidad de tiempo.
- Tanques Sifoneados: Dos o más tanques unidos mediante un sifón.
- Cámara Nathan: Dispositivo que se conecta directamente al tanque con el fin facilitar la regulación del ingreso o salida de aire de y hacia el interior del tanque en evaluación. Sirve para realizar las pruebas de parte húmeda y parte seca del tanque.
- Venteo: Tubería de ventilación con la que cada tanque debe estar dotado.
- PASÓ: pérdida o egreso menor a 0.09 lt/hr
- Pasó: pérdida o egreso menor a 0.19 lt/hr
- weep: pérdida o egreso menor a 0.29 lt/hr
- drip: pérdida o egreso menor a 0.38 lt/hr
- Fuga: Pérdida de líquido contenido en tanque o línea de combustible.

#### APENDICE 1:

##### CERTIFICADO DE INSPECCION DE HERMETICIDAD DE STE

- CERTIFICADO N° MTP07-12-2011-CI408
- CERTIFICADO N° MTP07-12-2011-CI409

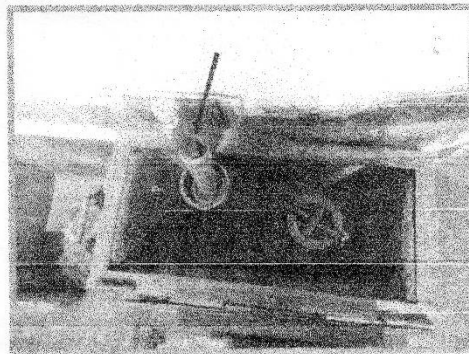
#### APENDICE 2:

##### CALCULO DE LA PERIODICIDAD DE LA HERMETICIDAD DE STE

- No solicitado por el cliente.

##### REGISTRO FOTOGRAFICO

- Registro Fotográfico Durante el Momento de la Evaluación



Se sellaron las entradas a los tanques para realizar las pruebas de parte seca

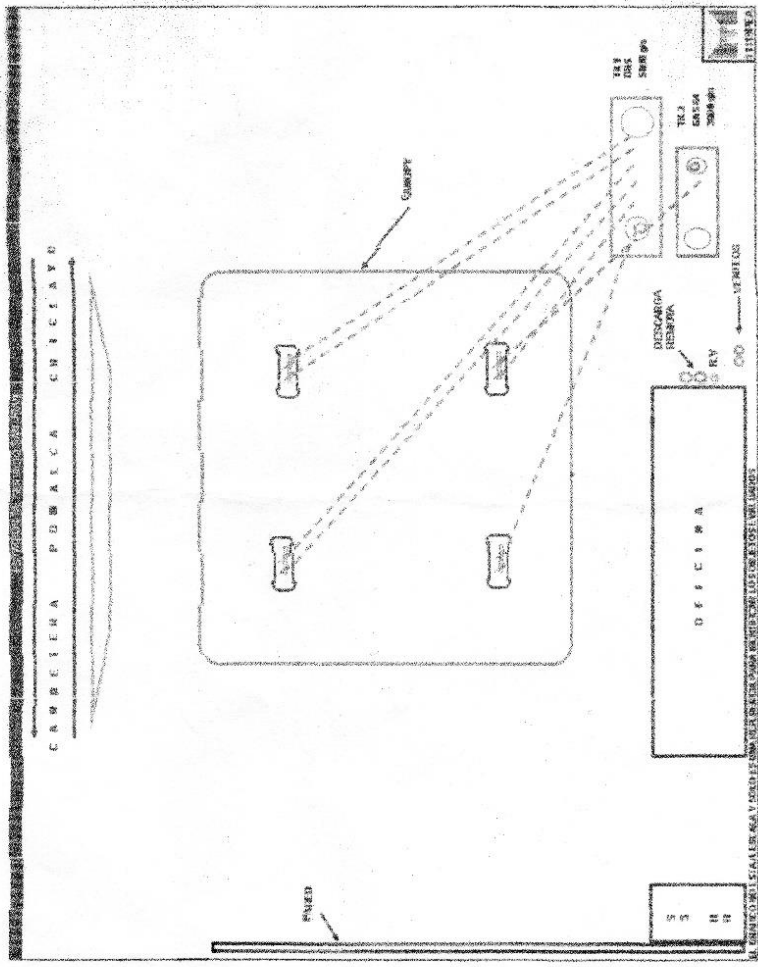


McsSTech

DIAGRAMA DE LA ESTACIÓN



THE REGIONE



Anexo 02. Índice de riesgo de los tanques y tuberías.



INDICES DE RIESGOS PARA TANQUES Y TUBERIAS  
N° TS 27-12-2013/IR176

De acuerdo al D.S. 064-2009-EM y a su modificatoria D.S. 024-2012 -EM; norma para la inspección periódica de hermeticidad de tuberías y tanques enterrados, que almacenan combustible líquido y otros productos derivados de los Hidrocarburos, publicada en 8 de Setiembre del 2009

Razón Social	GRIFO SAN JUAN S.A.C.
Dirección	Carretera Chiclayo - Pomaica Km 3.7 - Chiclayo
Tipo de Instalación	Establecimiento de Venta al público de combustible
N° Cotización	TS- 0960

N° de Tanque y Tubería	Tipo de Combustible	Capacidad (galones)	Antigüedad (años)
1	Diesel B5	5,000	18 años
2	Gasohol 84	3,000	18 años

Ítem	Factor de Riesgo	Puntaje	Puntaje Obtenido
1	<b>Tanque Metálico</b> Metálico con Protección Catódica según API RP 1632, de fibra de vidrio o metálico de doble pared Metálico con revestimiento asfáltico o pintura epóxica interior y/o exterior, metálico con revestimiento de fibra de vidrio. Metálico sin protección catódica o revestimiento asfáltico o pintura epóxica interior y/o exterior o revestimiento de fibra de vidrio.	0	2
		1	
		2	
		2	
2	<b>El tanque es:</b> Nuevo Usado	0	4
		4	
3	<b>Existencia de agua subterránea a nivel del tanque</b> No presenta Presenta Variable	0	0
		1	
		1	
		1	
4	<b>Resistividad específica del suelo:</b> Mayor a 10,000 ohm/cm. Entre 10,000 y 5,000 ohm/cm. Entre 5,000 y 2,300 ohm/cm. Entre 2,300 y 1,000 ohm/cm. Menor a 1,000 ohm/cm.	0	1
		1	
		2	
		3	
		4	
5	<b>Clase de suelo</b> Tiza o Arena Greda, arena gredosa o arena arcillosa Arena limosa Arcilla, tierra vegetal Cieno, fango o suelo pantanoso	0	0
		1	
		2	
		4	
		5	
6	<b>Humedad del suelo</b> Menor a 20% Mayor o igual a 20%	0	0
		1	
7	<b>Valor de pH del suelo</b> pH mayor que 7 (básico) pH menor que 7 (ácido)	0	0
		1	
8	<b>Contenido de cloruros del suelo</b> Menos a 100 mg/Kg Entre 100 y 350 mg/Kg Mayor de 350 mg/Kg	0	2
		1	
		2	
9	<b>Contenido de Sulfatos del suelo</b> Menor a 200 mg/Kg Entre 200 y 500 mg/Kg Entre 500 y 1000 mg/Kg Mayor a 1000 mg/Kg	0	2
		1	
		2	
		3	



**INDICES DE RIESGOS PARA TANQUES Y TUBERIAS**  
N° TS 27-12-2013/IR176

10	Existencia de ríos cercanos a menos de 1 km.		
	No	0	0
11	Existencia de aguas de mar a menos de 200mts.		
	No	0	0
12	Existencia de pozos de agua potable a menos de 1 km.		
	No	0	0
13	Existencia de edificaciones cercanas a los STE a menos de 50m.		
	No	0	
14	Antigüedad del tanque	1	1
	De 0 a 5 años	0	
	De 5 a 10 años	1	
	De 10 a 15 años	2	
	De 15 a 20 años	3	3
	De 20 a 25 años	4	
	De 25 a 30 años	5	
<b>Puntaje Total</b>			<b>15</b>

**Nota:**

Cuando no se disponga de información con respecto a alguno de los índices, se deberá considerar el máximo puntaje del índice correspondiente.

**I. MATRIZ DE ACCION DE TANQUES METALICOS ENTERRADOS EXISTENTES FRECUENCIA DE MONITOREO**

EDAD	PUNTAJE (INDICE DE RIESGO)			
	HASTA 12	DE 13 A 20	21 A 27	MAYOR O IGUAL A 28
0 a 15 años	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
de 15 a 25 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
de 25 a 30 años	Cada 2 años	Cada 1 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar
Mayores de 30 años	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar	Retirar/ Reparar/ Reemplazar

Edad del tanque	Puntaje Índice de Riesgo	Frecuencia de Monitoreo	Fecha de Próximo Monitoreo
18 años	15	Cada 3 años	Octubre 2014

**II. MATRIZ DE ACCION DE TANQUES NUEVOS FRECUENCIA DE MONITOREO**

EDAD	PUNTAJE (INDICE DE RIESGO)			
	HASTA 12	DE 13 A 20	21 A 27	MAYOR O IGUAL A 28
Tanque metálico con revestimiento asfáltico	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 años	Cada 1 años
Tanque metálico revestido y con anodos de sacrificio	Cada 7 años	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 1 años
Tanque metálico revestido con fibra de vidrio	Cada 10 años	Cada 7 años	Cada 5 años	Cada 3 años
Tanque de fibra de vidrio	Cada 12 años	Cada 10 años	Cada 10 años	Cada 10 años
Tanque metálico con doble pared	Cada 15 años	Cada 15 años	Cada 15 años	Cada 15 años

Anexo 03. Valores de densidad de corriente con respecto al medio agresivo.

Tabla 34. Tabla de densidad de corriente por su estado superficial del acero y su medio agresivo.

Estado Superficial	Medio Agresivo	Densidad de Corriente (mA/m <sup>2</sup> )
Acero desnudo	Suelo neutro o estéril	5 - 17
Acero desnudo	Suelo aereado y seco	5 - 17
Acero desnudo	Suelo húmedo	28 - 66
Acero desnudo	Suelo muy ácido	56 - 170
Acero desnudo	Suelo con bacteria	450
Acero bien revestido	Suelo normal	0,1 – 0,2
Acero muy bien revestido	Suelo normal	0,01

Fuente: HERRUMBRE AVILA

Anexo 04. Nivel de voltaje con respecto a las condiciones ambientales.

Tabla 35. Tabla de nivel de voltaje con respecto a las condiciones ambientales y el electrodo.

Metal o Aleación	Electrodo de referencia (y condiciones de uso)	
	Hierro y acero	Cobre/Sulfato de cobre
En suelo y agua dulce		En agua de mar
Ambiente aeróbico	-0.850 Volts	-0,800 Volts
Ambiente anaeróbico	-0.950 Volts	-0,900 Volts

Fuente: NEMA

Anexo 05. Lista de calibre de conductores con respecto a su función.


Tabla 36. Tabla de valores resistivo de los cables por su uso

Uso Habitual	Tamaño del cable (AWG)	Resistencia del cable en Ohmios por pie ( $\Omega$ - ft)
Cama de corriente impresa	4/0	$0,0509 \times 10^{-3}$
	3/0	$0,0642 \times 10^{-3}$
	2/0	$0,0811 \times 10^{-3}$
	1/0	$0,102 \times 10^{-3}$
	1	$0,129 \times 10^{-3}$
	2	$0,162 \times 10^{-3}$
	4	$0,259 \times 10^{-3}$
Ánodos galvánicos	6	$0,410 \times 10^{-3}$
	8	$0,654 \times 10^{-3}$
Estación de prueba	10	$1,04 \times 10^{-3}$
	12	$1,65 \times 10^{-3}$
Cables para instrumentos	14	$2,62 \times 10^{-3}$
	16	$4,18 \times 10^{-3}$
	18	$6,66 \times 10^{-3}$
	20	$10,6 \times 10^{-3}$
	22	$17,0 \times 10^{-3}$

Fuente: NEMA

## Anexo 06. Catálogo de cable INDECO.

WS	
<b>Descripción</b> Conductor de cobre electrolítico blando formando torones en haz. Los torones cableados concéntricamente. Cubierta de goma termoplástica.	
<b>Usos</b> En extensión de equipos de soldadoras eléctricas por arco, de corriente alterna o continua, entre el transformador o el convertidor y la pinza para sujetar el electrodo.	
<b>Norma de Fabricación</b> ICEA S-19-81	<b>Temperatura de Operación</b> 105°C.
<b>Tensión de Servicio</b> 600 voltios.	<b>Calibre</b> 8 AWG - 4/0 AWG.

A vertical image of a cable WS. It shows a cross-section at the top with a red outer sheath and a central copper conductor. Below that is a full-length view of the cable with a black outer sheath and a copper conductor. The text 'INDECO S.A. WS' is printed vertically on the black sheath.



INDECO  
empresa *AV* AVANC

---

### GPT-3

**Usos**

Conductor de cobre flexible de dimensiones reducidas para cableado en el interior de tableros donde hay poco espacio. Esto se logra por la calidad del aislamiento de PVC, cuya temperatura de operación es de 75°C y por sus excelentes propiedades dieléctricas que superan los ensayos eléctricos exigentes a que son sometidos.

---

**Descripción**

Conductor de cobre electrolítico blando, flexible cableado en haz. Aislado con cloruro de polivinilo (PVC).

**Características**

Resistente a vibraciones, combustibles, lubricantes y solución electrolítica del acumulador, resistente a la abrasión, dobleces, etc. Retardante a la llama.

**Marca**

INDECO S.A. GPT-3 300 V – Sección (AWG) – Año

**Calibres**

20 – 8 AWG.

**Embalaje**

En rollos estándar de 100 metros.

**Colores**

Amarillo, azul, blanco, negro, rojo, marrón, rosado, gris  
Violeta, naranja y verde.

A vertical image of a cable GPT-3. It shows a cross-section at the top with a black outer sheath and a central copper conductor. Below that is a full-length view of the cable with a blue outer sheath and a copper conductor. The text 'INDECO S.A. GPT' is printed vertically on the blue sheath.

**Normas de Fabricación**  
UL 62, SAE J1128

**Tensión de servicio**  
300 V

**Temperatura de operación**  
75°C

**TABLA DE DATOS TECNICOS GPT-3**

SECCION	SECCION NOMINAL	Nº HILOS	DIÁMETRO HILO	ESPEJOR AISLAMIENTO	DIÁMETRO PREVISTO	PESO PREVISTO	CAPACIDAD CORRIENTE
AWG	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	Kg/Km	A
20	0.52	15	0.204	0.46	1.87	7	9
18	0.82	24	0.204	0.46	2.11	10	14
16	1.31	24	0.255	0.46	2.40	15	19
14	2.08	39	0.255	0.46	2.79	23	29
12	3.31	61	0.255	0.51	3.36	35	33
10	5.26	98	0.255	0.62	4.20	55	48
8	8.37	154	0.255	0.73	5.41	89	67

Anexo 07. Tasas Activas Anuales de las Operaciones en Moneda Nacional Realizadas en los Últimos Treinta Días Útiles.  
 Información remitida por las empresas bancarias de acuerdo al tipo de crédito, aprobado por la Resolución SBS N°11356-2008.

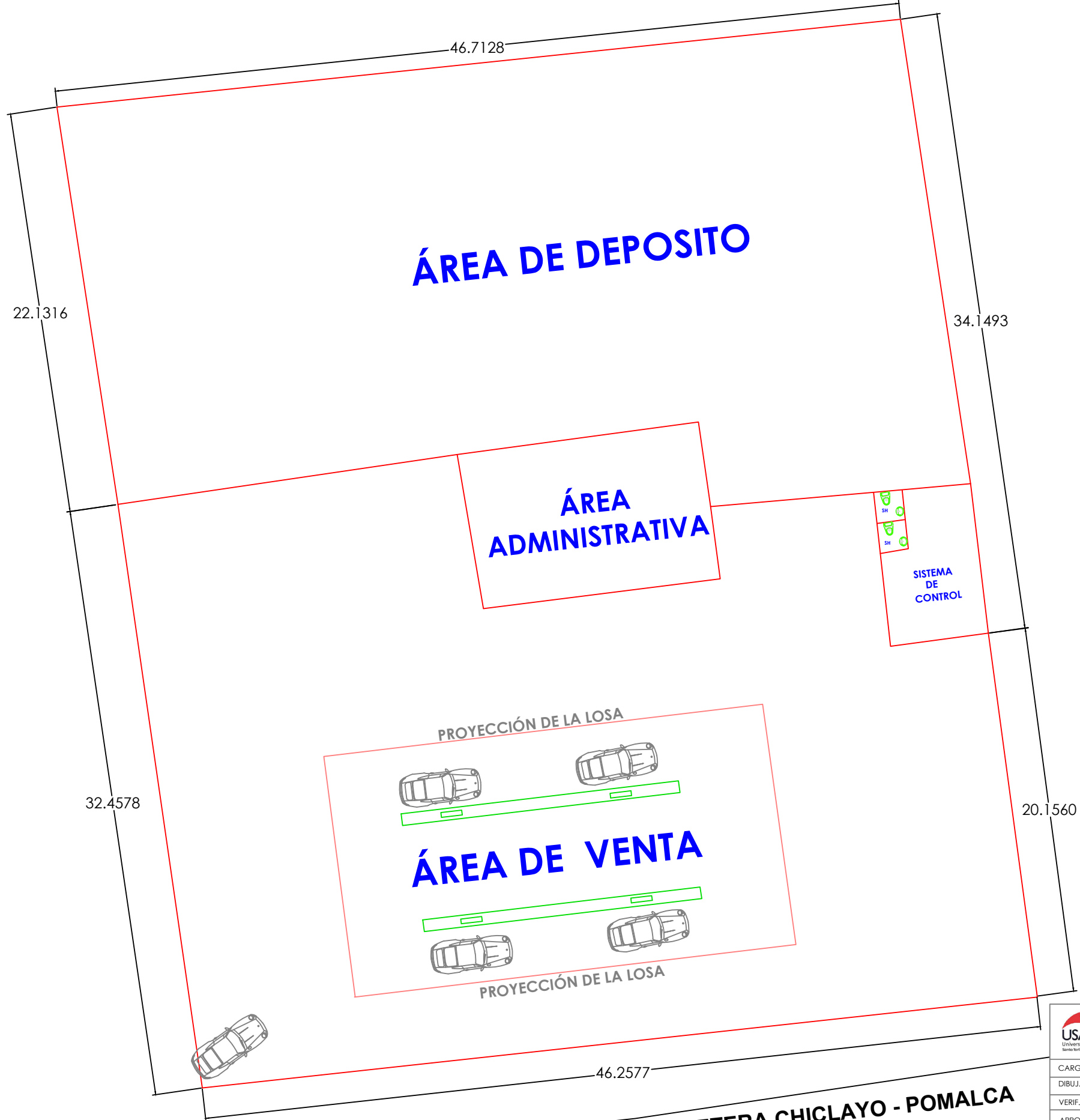
Tabla 37. Tasas activas anual del sistema bancario.

Tasa Anual (%)	BBVA	Comercio	Crédito	Pichincha	BIF	Scotiabank	Citibank	Interbank	Mibanco	GNB	Falabella	Santander	Ripley	Azteca	ICBC	Promedio
<b>Corporativos</b>	3,37	-	3,15	4,91	4,38	3,57	5,40	3,48	-	6,13	-	5,52	-	-	4,42	3,46
Descuentos	4,04	-	3,96	4,94	4,17	4,29	-	4,94	-	-	-	5,76	-	-	-	4,83
Préstamos hasta 30 días	3,46	-	2,96	-	-	2,79	6,41	2,92	-	-	-	5,00	-	-	3,73	3,05
Préstamos de 31 a 90 días	3,08	-	3,23	-	4,52	2,80	5,27	4,18	-	4,30	-	5,16	-	-	4,50	3,33
Préstamos de 91 a 180 días	3,51	-	2,84	4,90	4,49	3,19	5,98	3,85	-	4,90	-	4,95	-	-	4,58	3,21
Préstamos de 181 a 360 días	3,22	-	4,09	-	-	3,99	-	-	-	6,50	-	7,00	-	-	-	4,24
Préstamos a más de 360 días	3,42	-	3,07	-	4,45	4,43	-	-	-	6,74	-	5,36	-	-	-	3,82
<b>Grandes Empresas</b>	6,80	7,06	5,48	8,42	7,19	5,42	5,66	6,08	-	5,48	-	7,11	-	-	-	6,03
Descuentos	9,73	5,51	4,85	10,69	6,86	5,89	-	6,72	-	9,71	-	6,75	-	-	-	6,66
Préstamos hasta 30 días	4,07	7,50	5,45	5,59	6,52	4,64	5,58	4,49	-	4,45	-	6,50	-	-	-	5,00
Préstamos de 31 a 90 días	6,27	8,56	5,77	7,70	7,48	4,88	6,08	6,86	-	4,82	-	7,25	-	-	-	6,04
Préstamos de 91 a 180 días	6,81	6,92	5,41	7,20	6,97	4,78	6,64	6,47	-	5,79	-	7,12	-	-	-	5,97
Préstamos de 181 a 360 días	6,68	7,50	4,83	9,31	8,32	5,40	-	7,87	-	10,96	-	7,07	-	-	-	5,38
Préstamos a más de 360 días	6,77	-	7,26	7,05	7,10	7,17	-	5,48	-	-	-	7,41	-	-	-	6,63
<b>Medianas Empresas</b>	9,47	10,87	10,97	8,47	8,64	10,02	6,57	8,71	14,33	9,11	-	5,99	-	-	-	9,90
Descuentos	11,55	19,16	7,77	7,71	9,20	9,03	-	7,79	-	9,04	-	-	-	-	-	9,07
Préstamos hasta 30 días	5,69	9,30	10,98	8,86	7,86	9,63	7,10	6,67	-	4,90	-	3,47	-	-	-	8,05
Préstamos de 31 a 90 días	9,99	10,98	9,90	8,70	9,57	9,74	6,05	6,45	67,07	8,45	-	5,36	-	-	-	9,27
Préstamos de 91 a 180 días	9,50	10,90	12,72	7,70	9,65	9,18	-	12,04	18,49	10,53	-	8,79	-	-	-	10,76
Préstamos de 181 a 360 días	10,38	8,00	14,33	8,86	9,43	9,63	-	8,67	16,31	9,80	-	-	-	-	-	11,28
Préstamos a más de 360 días	8,70	-	11,29	11,63	6,53	10,71	-	14,30	13,47	8,16	-	6,92	-	-	-	10,01
<b>Pequeñas Empresas</b>	12,20	13,88	17,74	19,42	10,78	16,92	-	17,03	22,15	-	-	-	-	-	-	18,54
Descuentos	14,20	-	11,24	10,90	11,07	12,19	-	9,91	-	-	-	-	-	-	-	11,86
Préstamos hasta 30 días	13,80	-	17,79	30,62	10,25	11,64	-	7,22	45,85	-	-	-	-	-	-	15,45
Préstamos de 31 a 90 días	13,14	13,88	13,08	16,55	11,49	14,08	-	15,02	29,84	-	-	-	-	-	-	15,08
Préstamos de 91 a 180 días	13,16	-	21,89	19,90	11,12	14,91	-	17,43	31,14	-	-	-	-	-	-	20,97
Préstamos de 181 a 360 días	13,99	-	22,89	19,75	9,97	14,76	-	26,24	25,89	-	-	-	-	-	-	23,37
Préstamos a más de 360 días	11,55	-	14,78	19,96	10,55	17,21	-	16,88	20,59	-	-	-	-	-	-	17,42
<b>Microempresas</b>	26,47	-	23,19	31,42	-	17,55	-	15,79	37,90	-	-	6,50	-	-	-	32,70
Tarjetas de Crédito	35,88	-	24,46	40,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,21
Descuentos	14,88	-	13,41	12,00	-	13,50	-	4,91	-	-	-	-	-	-	-	7,30
Préstamos Revolventes	15,17	-	-	-	-	-	-	16,16	-	-	-	-	-	-	-	16,13
Préstamos a cuota fija hasta 30 días	17,30	-	-	58,00	-	-	-	-	56,95	-	-	-	-	-	-	46,41
Préstamos a cuota fija de 31 a 90 días	14,76	-	23,99	33,48	-	23,00	-	18,56	59,85	-	-	6,50	-	-	-	28,09
Préstamos a cuota fija de 91 a 180 días	11,80	-	19,80	38,06	-	10,42	-	28,67	54,70	-	-	-	-	-	-	47,73
Préstamos a cuota fija de 181 a 360 días	15,40	-	20,84	42,12	-	18,48	-	28,67	44,79	-	-	-	-	-	-	44,03
Préstamos a cuota fija a más de 360 días	11,91	-	16,87	30,35	-	17,60	-	19,10	29,42	-	-	-	-	-	-	27,90
<b>Consumo</b>	36,92	16,52	31,69	41,37	20,13	31,88	-	45,89	51,09	36,17	49,67	-	62,84	139,23	-	39,97
Tarjetas de Crédito	51,00	22,61	37,78	42,13	30,00	40,71	-	50,09	-	45,11	49,67	-	72,98	152,16	-	46,58
Préstamos Revolventes	11,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,64
Préstamos no Revolventes para automóviles	11,95	-	10,57	8,99	10,96	9,81	-	10,51	-	-	-	-	-	-	-	10,75
Préstamos no Revolventes para libre disponibilidad hasta 360 días	7,70	11,82	64,63	26,78	13,74	12,31	-	19,17	66,58	9,00	11,22	-	42,56	139,36	-	58,51
Préstamos no Revolventes para libre disponibilidad a más de 360 días	14,82	16,49	16,36	40,86	15,52	16,14	-	19,51	38,18	14,56	11,22	-	27,73	137,99	-	20,85
Créditos pignoraticios	-	61,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61,58
<b>Hipotecarios</b>	6,90	9,16	6,86	9,27	8,17	7,14	-	6,95	14,26	8,42	-	-	-	-	-	7,15
Préstamos hipotecarios para vivienda	6,90	9,16	6,86	9,27	8,17	7,14	-	6,95	14,26	8,42	-	-	-	-	-	7,15

Fuente: Superintendencia de Banca y Seguro (SBS).

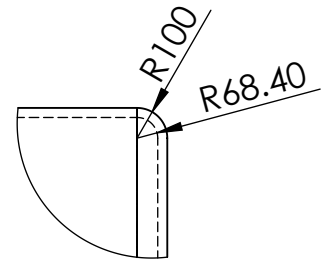
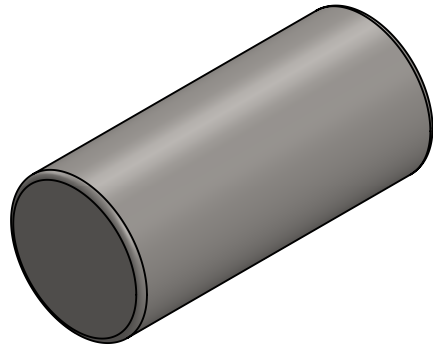
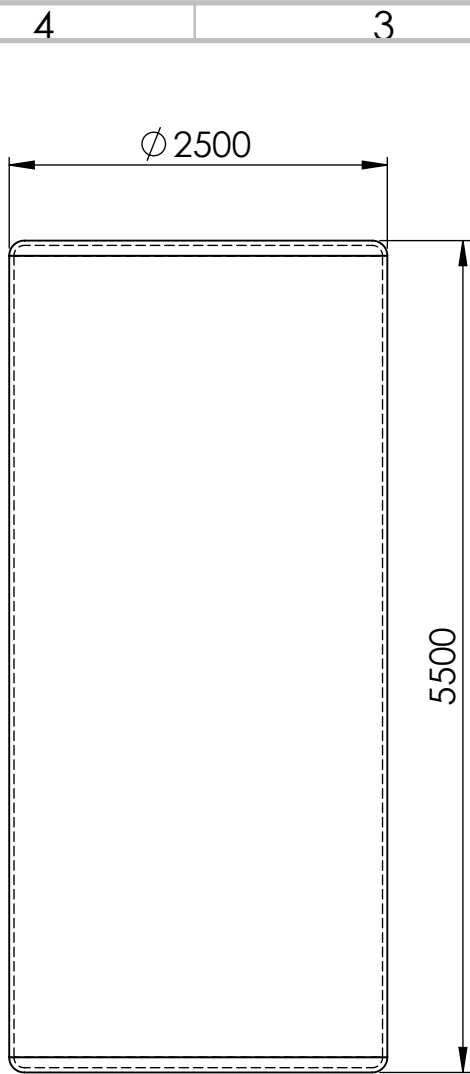
- Anexo 08. Plano 01 Planta, ubicación y localización.
- Anexo 09. Plano 02 Distribución del primer piso.
- Anexo 10. Plano 03 Tanque 1.
- Anexo 11. Plano 04 Tanque 2.
- Anexo 12. Plano 05 Estación de prueba.
- Anexo 13. Plano 06 Ánodo tubular.
- Anexo 14. Plano 07 Caja de distribución.
- Anexo 15. Plano 08 Relleno.
- Anexo 16. Plano 09 Sistema de protección catódica por corriente impresa.



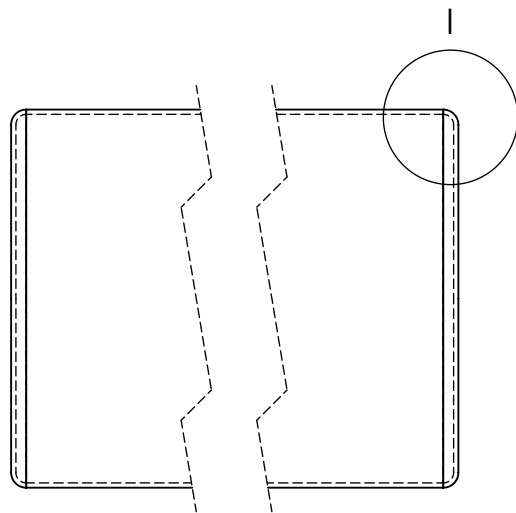
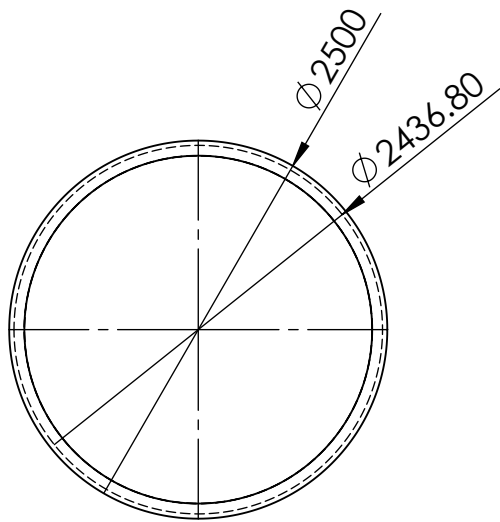


CARGO		NOMBRE	FIRMA	FECHA	CANTIDAD
DIBUJ.		NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	1
VERIF.		LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.		LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.		JONY VILLOBO CABRERA		31/10/2019	
APROB.		HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

NOTA / NOTAS		A3	TÍTULO:
LAS COTAS SE EXPRESA COMO INDICA LA ESCALA			DISTRIBUCIÓN DEL PRIMER PISO
SISTEMA DE REFERENCIA		1	DIB. Nº:
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA			02
ESCALA: 1/100		HOJA 1 DE 1	



DETALLE I  
ESCALA 1 : 25



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# TANQUE 1

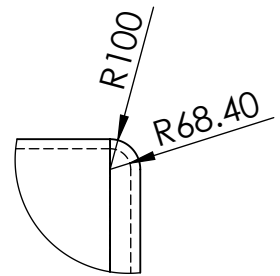
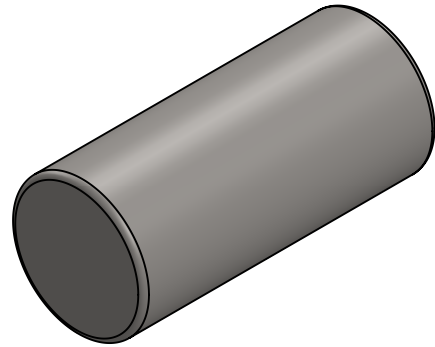
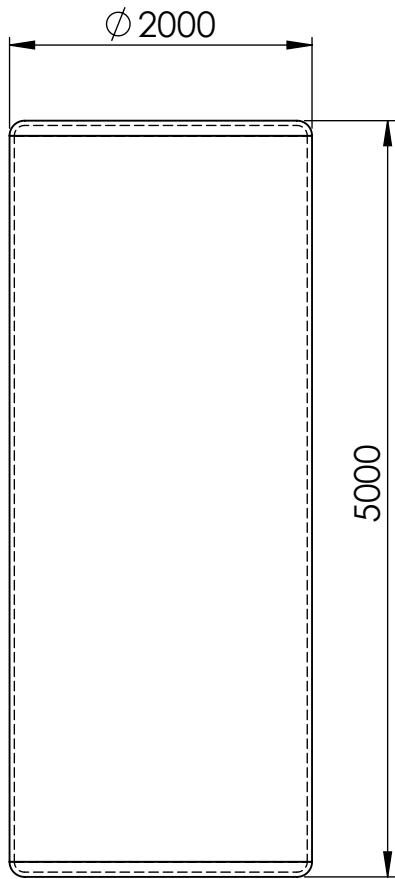
CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	ACERO A-36
VERIF.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERA		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
POR CORRIENTE IMPRESA

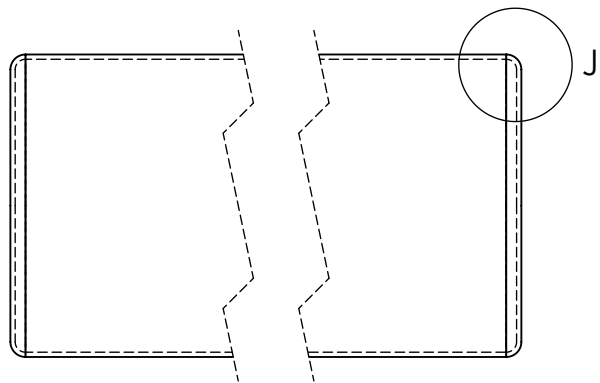
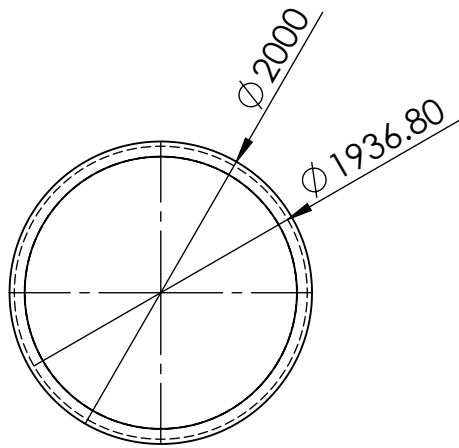
DIB. N°:  
03

ESCALA: 1:100

HOJA 1 DE 1



DETALLE J  
ESCALA 1 : 25



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# TANQUE 2

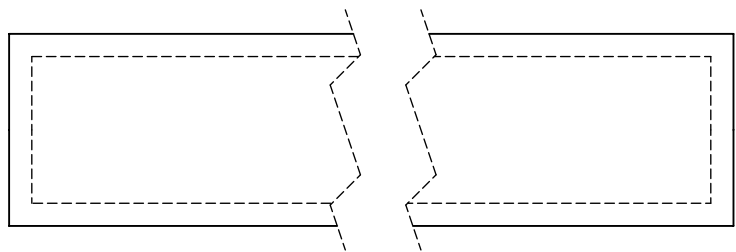
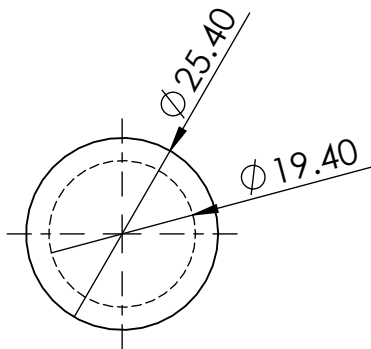
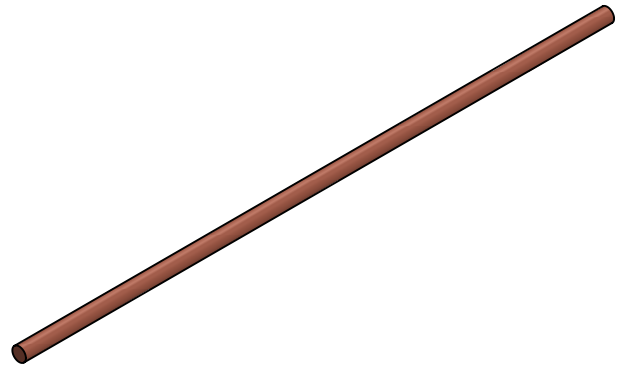
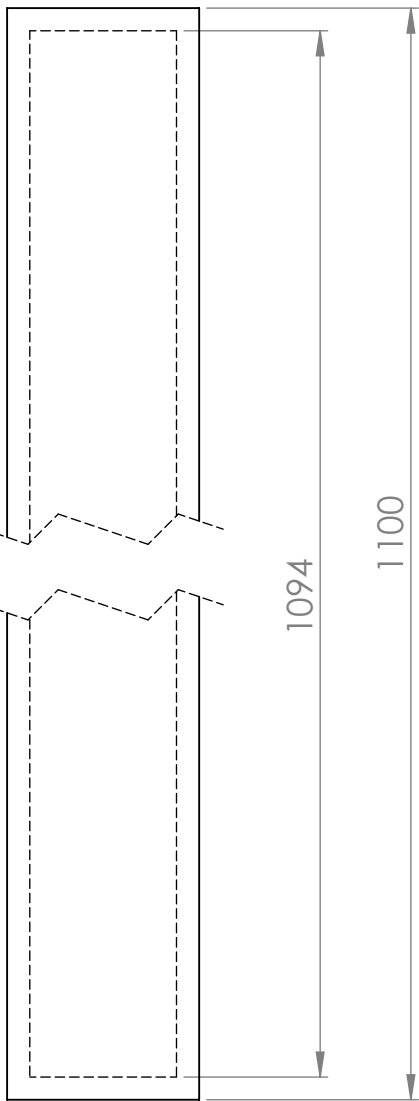
CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	ACERO A-36
VERIF.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERA		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
POR CORRIENTE IMPRESA

DIB. Nº:  
04

ESCALA: 1:100

HOJA 1 DE 1



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# ESTACIÓN DE PRUEBA

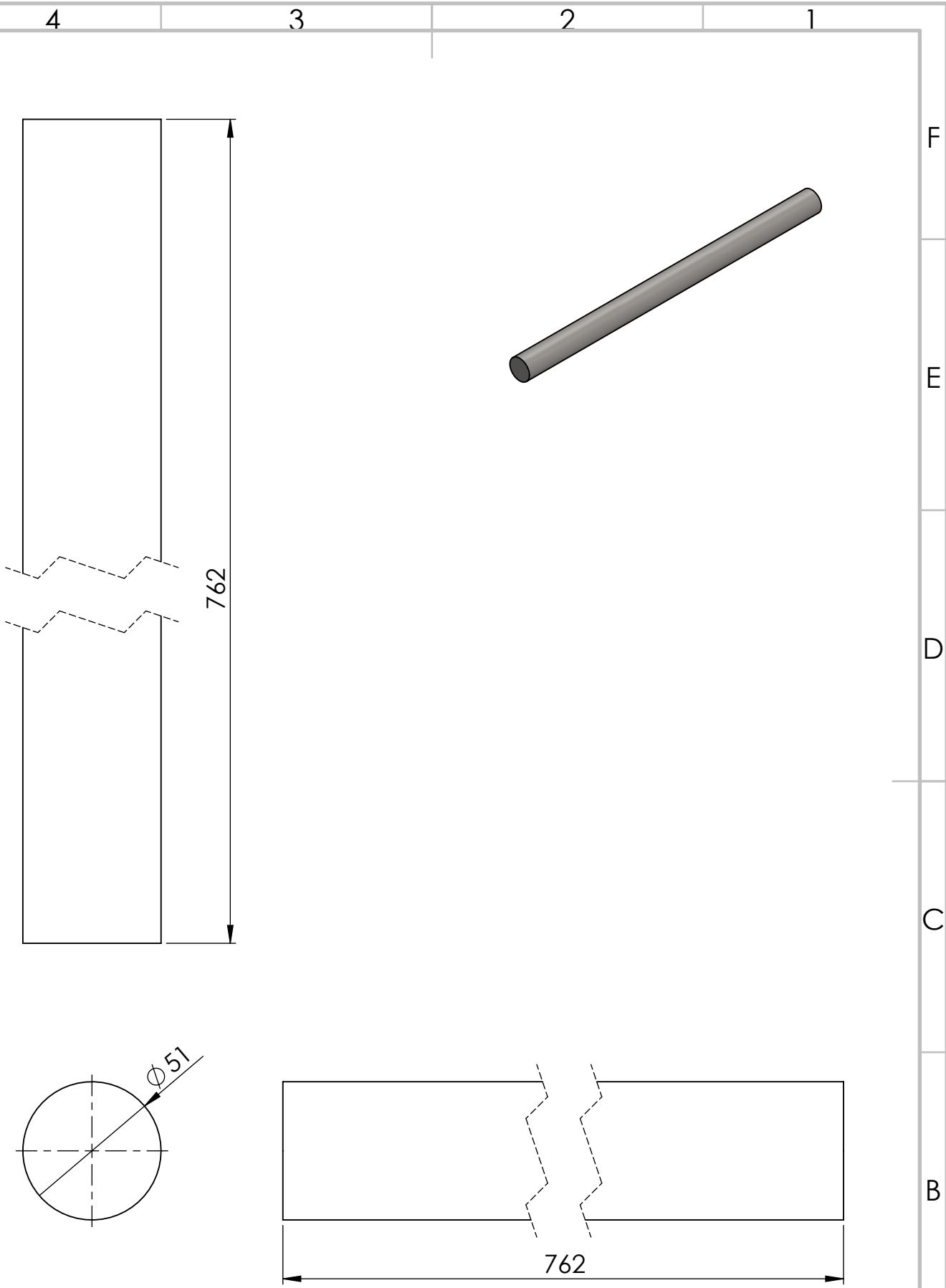
CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	ACERO GALVANIZADO
VERIF.	LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERA		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

DIB. N°:  
05

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# ÁNODO TUBULAR

CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	HIERRO-SILICIO
VERIF.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERA		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
POR CORRIENTE IMPRESA

DIB. N°:  
06

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

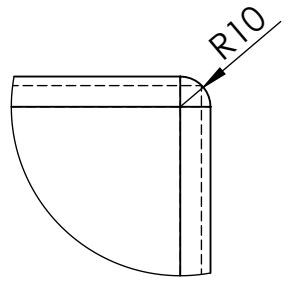
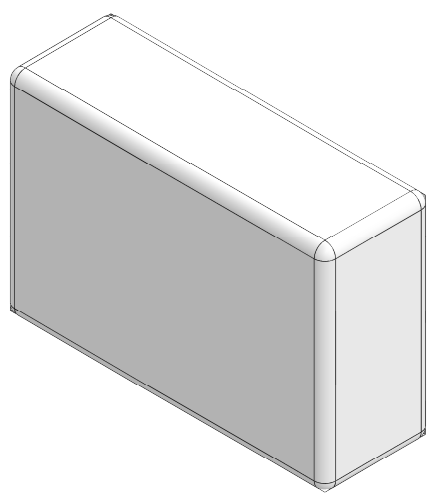
D

C

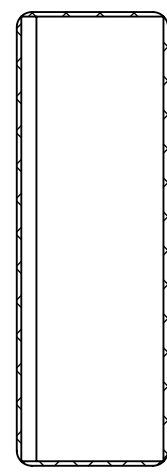
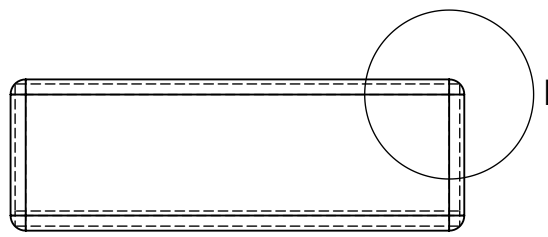
C

B

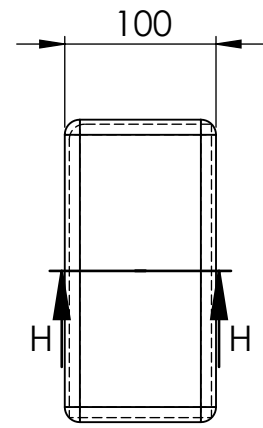
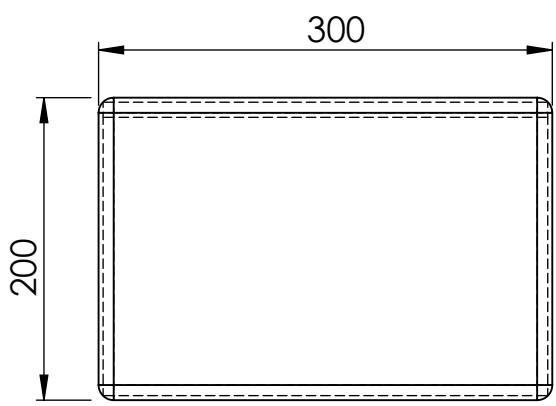
B



DETALLE I  
ESCALA 2 : 5



SECCIÓN H-H



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# CAJA DE DISTRIBUCIÓN

A

A

CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	PVC-RÍGIDO
VERIF.	LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOP MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERAS		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
POR CORRIENTE IMPRESA

DIB. Nº:  
07

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

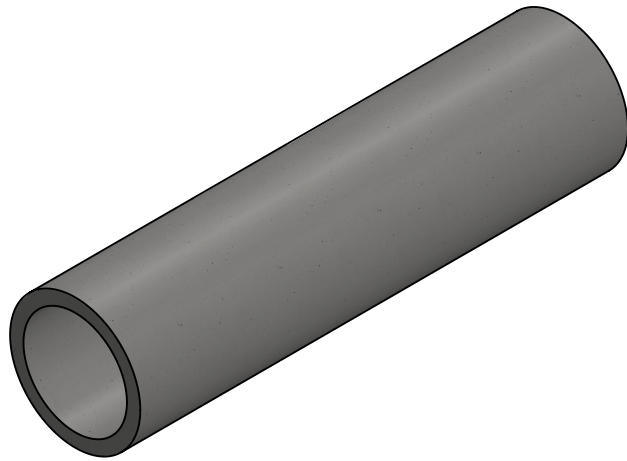
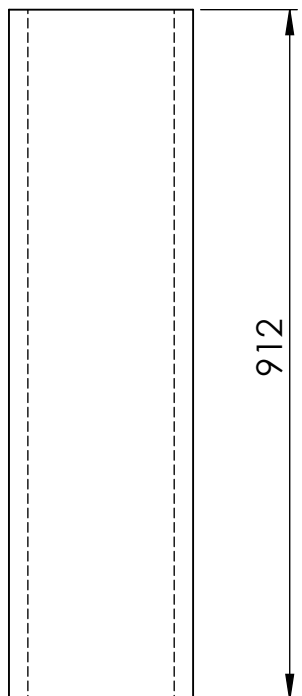
F

E

E

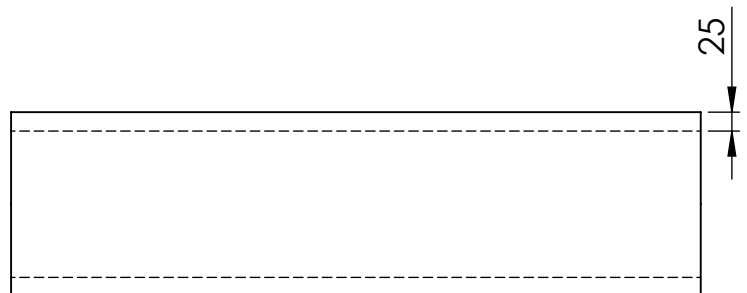
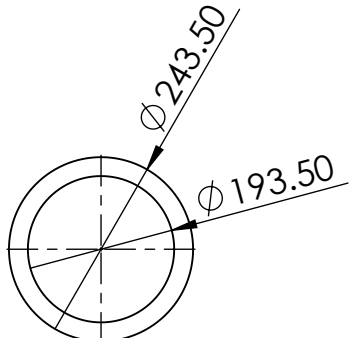
D

D



C

C



B

B



NOTA / NOTAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

A4

TÍTULO:

# RELLENO

A

A

CARGO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL / MATERIALES
DIBUJ.	NARDIN CELADA BUSTAMANTE		31/10/2019	BENTONITA-YESO
VERIF.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	LUCIO LLONTOPE MENDOZA		31/10/2019	
APROB.	JONY VILLALOBOS CABRERA		31/10/2019	
APROB.	HUGO MUNDACA GUERRA		31/10/2019	

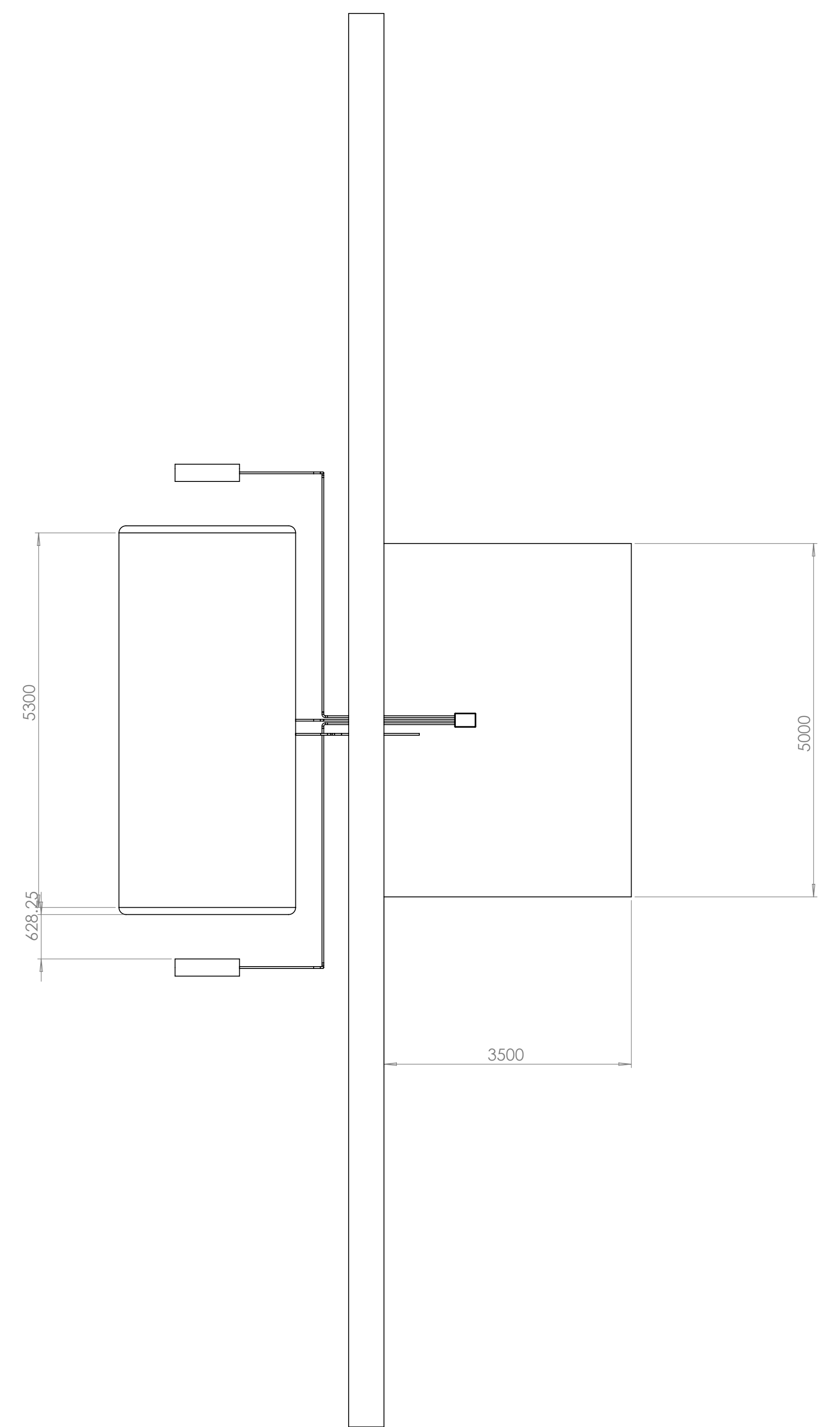
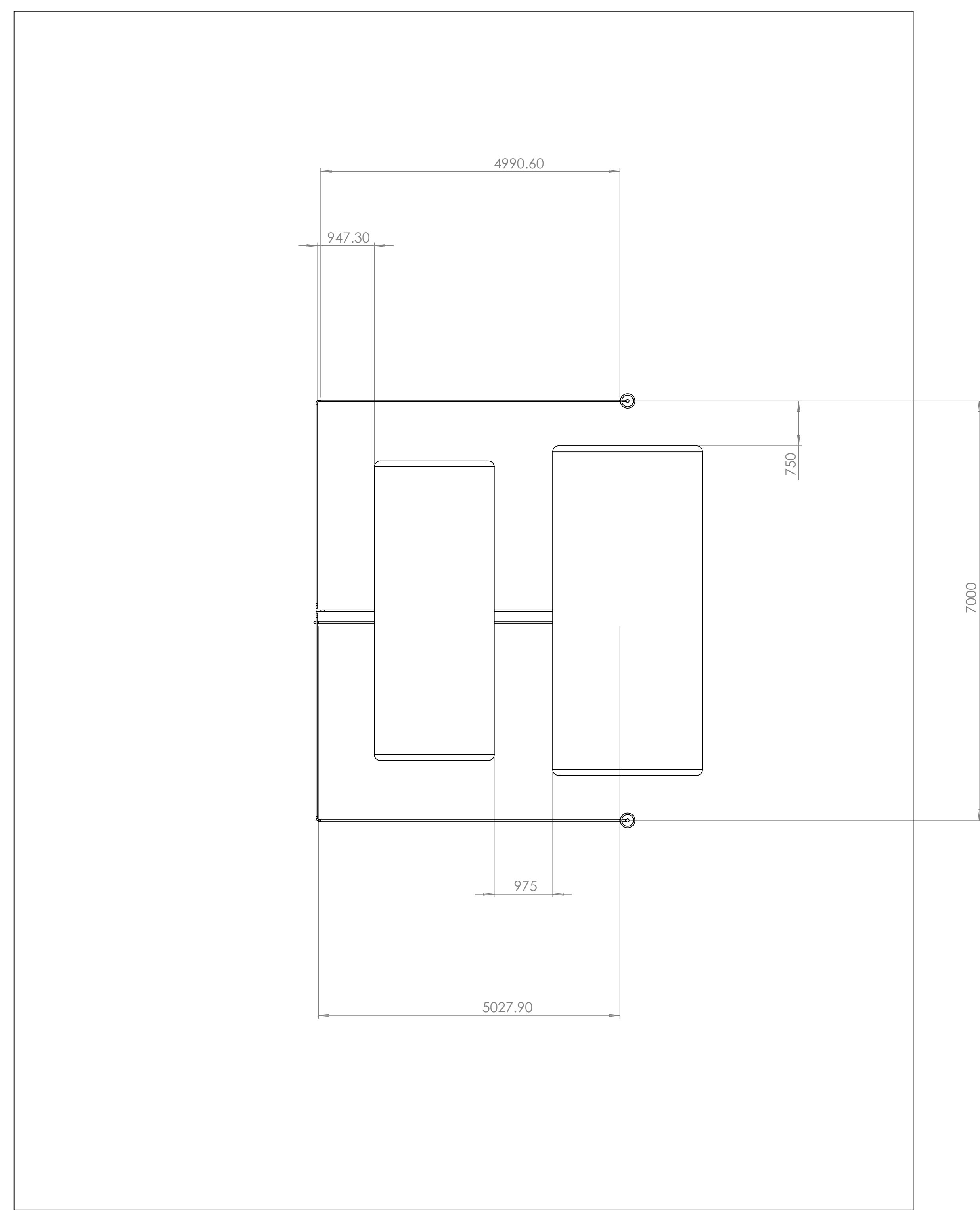
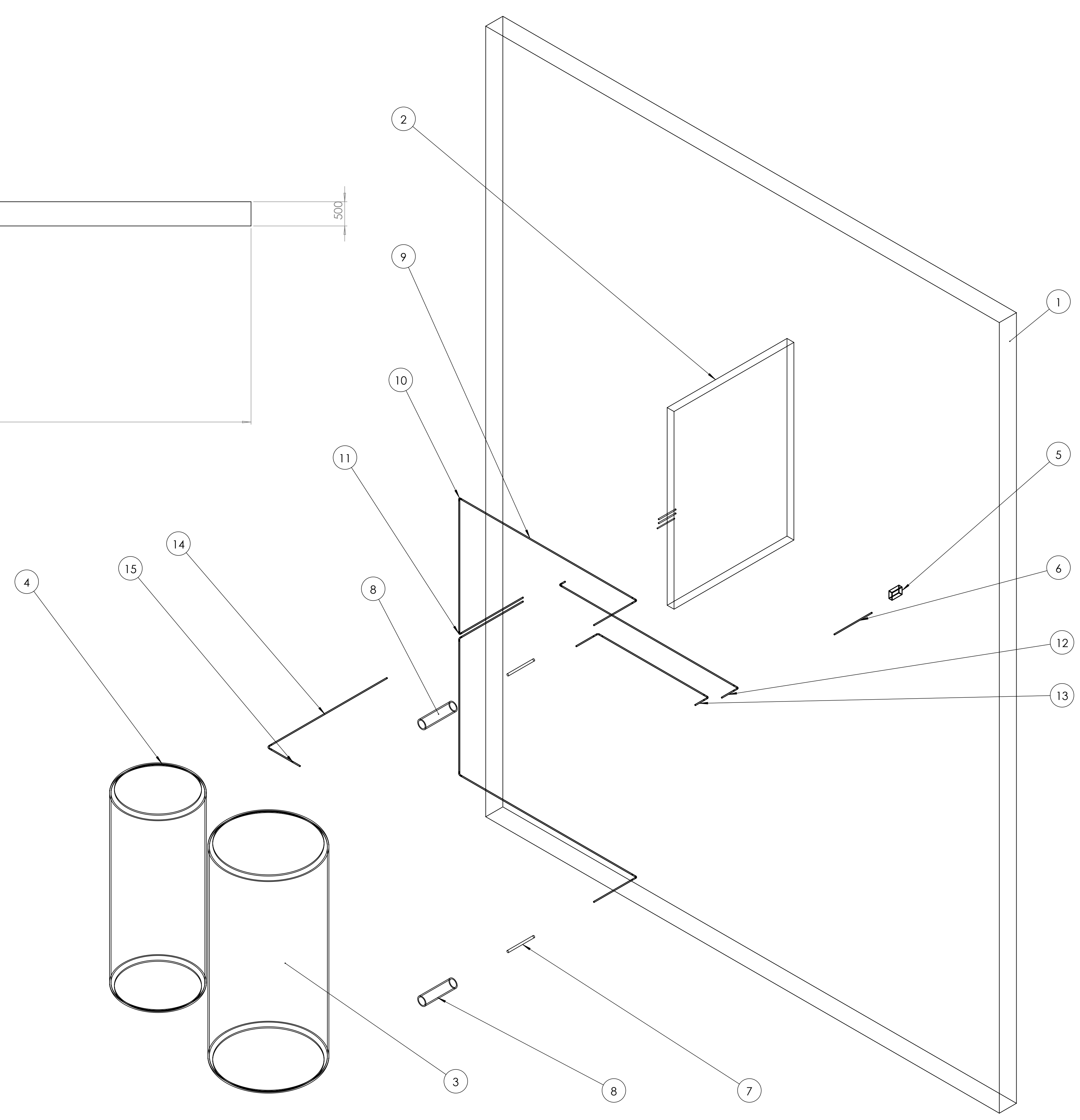
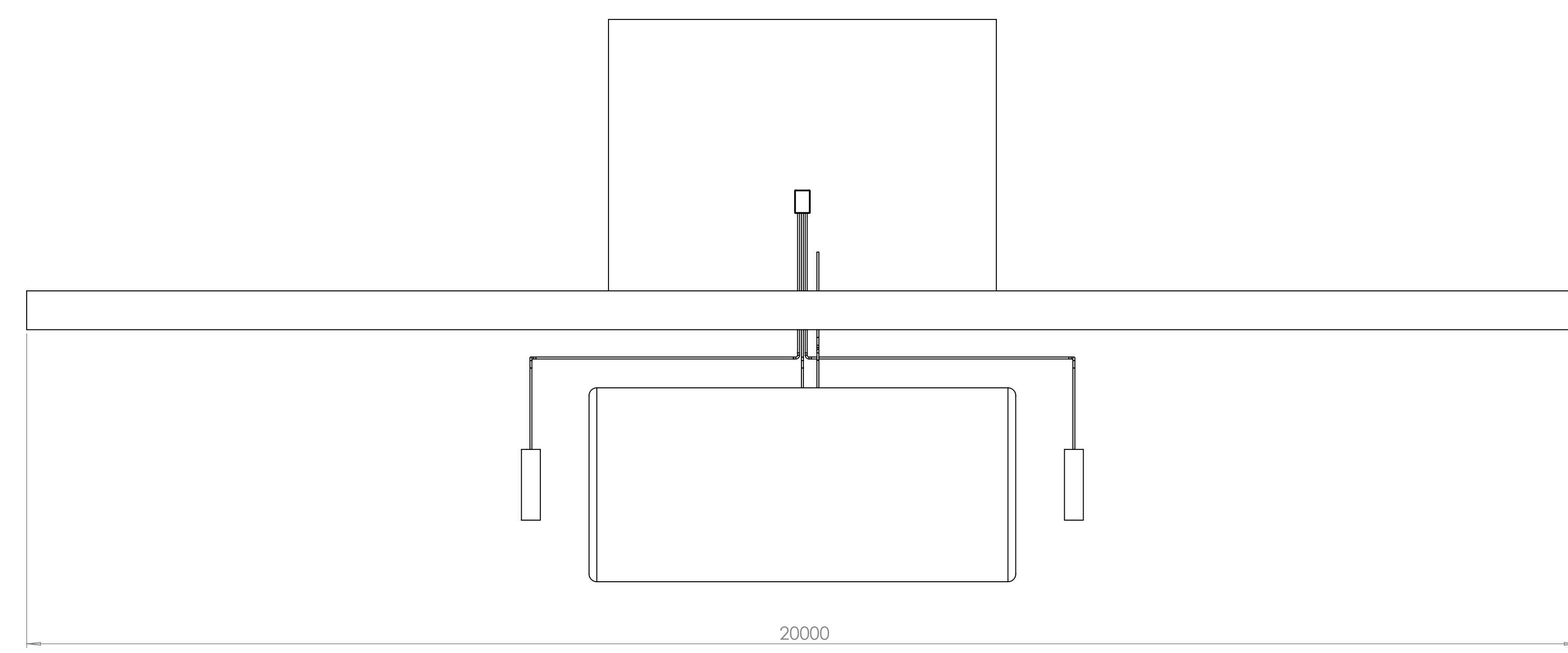
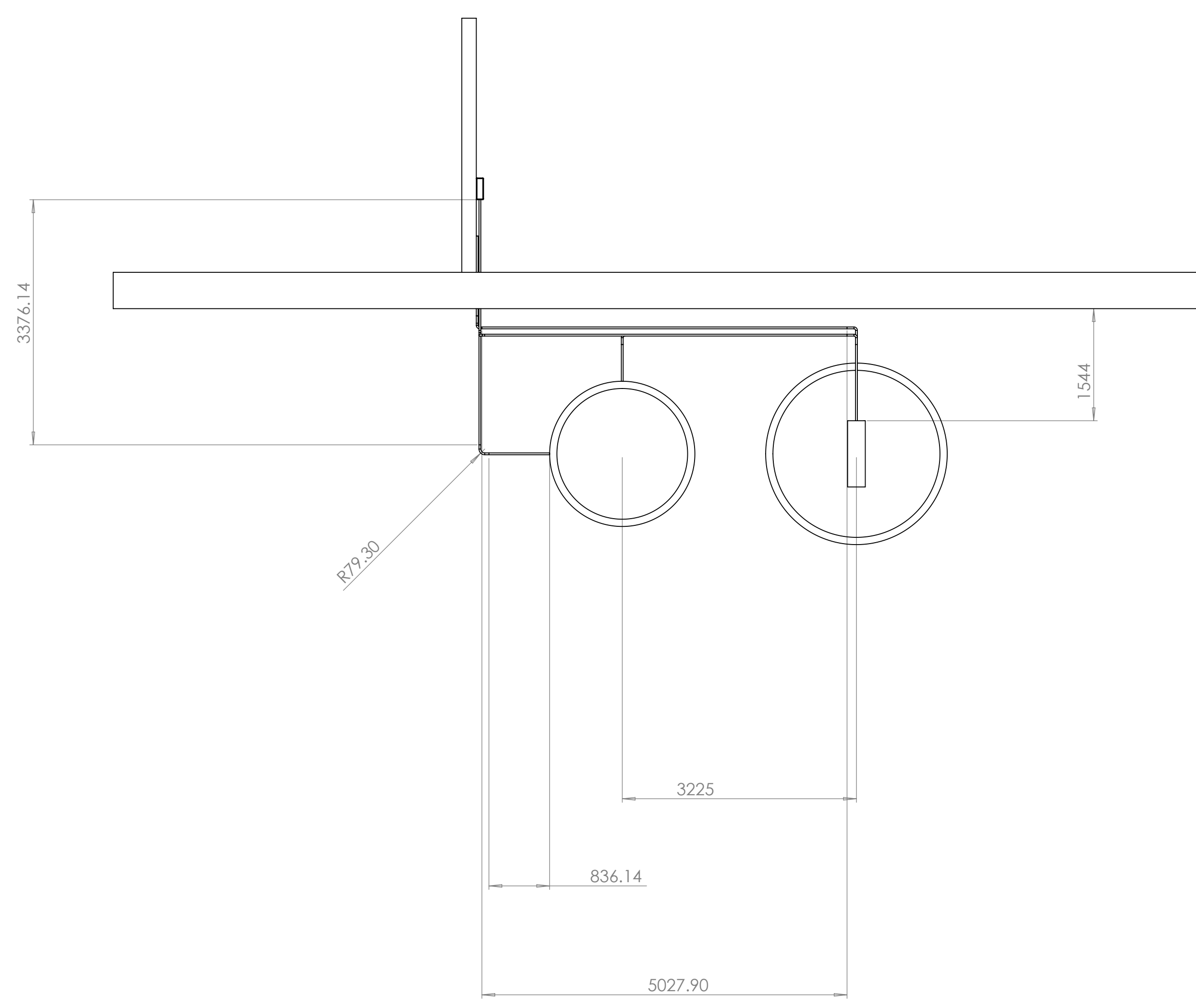
SISTEMA DE REFERENCIA  
SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
POR CORRIENTE IMPRESA

DIB. N°:  
08

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	DIMENSIONES (MM)	CANTIDAD
1	SUELO	Concreto	20000 mm x 15000 mm x 5000 mm	1
2	PARED	Ladrillo	5000 mm x 3500 mm x 200 mm	1
3	TANQUE 1	Acero A-36	∅2500 mm x 5500 mm	1
4	TANQUE 2	Acero A-36	∅2000 mm x 5000 mm	1
5	RECTIFICADOR	PVC Rígido	300 mm x 200 mm x 100 mm	1
6	ESTACIÓN DE PRUEBA	Acero galvanizado	∅25,4 mm x 1100 mm	1
7	ÁNODO TUBULAR	Silicio	∅51 mm x 762 mm	2
8	RELLENO	Bentonita-Yeso	∅243,5 mm x 912 mm	2
9	TUBERIA 3.1	PVC Rígido	∅25,4 mm x 6375 mm	2
10	TUBERIA 3.2	PVC Rígido	∅25,4 mm x 3385 mm	2
11	TUBERIA 3.3	PVC Rígido	∅25,4 mm x 1863 mm	2
12	TUBERIA 1	PVC Rígido	∅25,4 mm x 5870 mm	1
13	TUBERIA 2	PVC Rígido	∅25,4 mm x 4221 mm	1
14	TUBERIA 3.4	PVC Rígido	∅25,4 mm x 3626 mm	1
15	TUBERIA 3.5	PVC Rígido	∅25,4 mm x 836,14 mm	1

NO CAMBIA LA ESCALA  
 REVISIÓN  
**A0**  
**1**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA**  
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL SACRAMENTO  
 ESCALA: 1/50  
 HOJA 1 DE 1