



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Propuesta de sistema de protección catódica para mitigar la
corrosión en línea de carga y descarga en Refinería La Pampilla.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES

Carrion Padilla, Roland Nilsson (orcid.org/0000-0001-8563-7710)

Torres Miranda, Luis Ernesto (orcid.org/0000-0002-3570-4214)

ASESOR

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a mi familia, por sus consejos, y apoyarme en todo lo que me eh propuesto para así poder lograr mi carrera profesional, y por inculcarme a seguir adelante en todo.

CARRIÓN PADILLA ROLAND NILSSON

Se lo dedico a mis padres, ellos han sido mi ejemplo y mi guía, en este largo camino, sus consejos me han servido como soporte para no dejarme vencer y decaer frente a los obstáculos. A mi novia Rosangela y a mi hijo Evans, mi soporte e inspiración en todo lo que hago.

TORRES MIRANDA LUIS ERNESTO

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia que ha estado apoyándome en esta etapa profesional para sobresalir adelante en este largo recorrido el cual me ha permitido seguir adelante lo cual estoy a punto de culminarlo. También agradecer a mis compañeros por sus enseñanzas, apoyo en lo que eh necesitado en lo cual se ha formado una gran amistad.

CARRIÓN PADILLA ROLAND NILSSON

Le agradezco principalmente a Dios, por darme la vida, y unos padres maravillosos, que a diario me alientan a seguir adelante con mis metas y proyectos.

Por haber permitido conocer a mi compañera y amiga de toda la vida, mi esposa Rosangela, quien día a día me acoge con su cariño y a pesar de los obstáculos es quien me ayuda a resolverlos de la mejor manera.

Y sobre todo gracias por el hermoso bebé que me ha permitido conceder, mi motor y motivo de vida, mi pequeño hijo Evans.

TORRES MIRANDA LUIS ERNESTO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1.- Tipo y diseño de investigación	16
3.1.1.- Tipo de investigación	16
3.2.- Variables y Operacionalización	17
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
3.5. Procedimientos	19
3.6. Método de análisis de datos	20
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS	21
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tubería extraída del PLEM, con evidente estado de corrosión.	2
Figura 2:Proceso de corrosión en un electrolito en agua.	7
Figura 3:Celda básica de corrosión.....	8
Figura 4:Desplazamiento de cargas dentro de una celda de corrosión.	9
Figura 5:Orientación de la corriente convencional (Cargas +) en una celda de corrosión.10	
<i>Figura 6:Celdas de corrosión en celdas disímiles.....</i>	11
Figura 7:Esquema de un S.P.C con ánodos de sacrificio.....	12
Figura 8:Esquema de un S.P.C C. I.	13
Figura 9:Aplicación del Marine Pile Protection Tape	31
Figura 10:Aplicación de HDPE Jacket	32
Figura 11:Instalación de zunchos de plástico para asegurar chaquetas.....	34
Figura 12:Imagen referencial de ánodo de MMO seleccionado.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Medidas de la tubería.	18
Tabla 2:Características de las tuberías.	22
Tabla 3:Constituyentes activos del inhibidor.....	25
Tabla 4:Propiedades fisicoquímicas de Trasar Trac 102.....	26
Tabla 5:Características de la protección por recubrimientos metálicos.	26
Tabla 6:Características del sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio.	27
Tabla 7:Características del sistema de protección catódica por corriente impresa.....	28
Tabla 8:Evaluación de ánodos de sacrificio para S.P.C por C.I	29
Tabla 9:Propiedades del primer de HCL[HCL,2021]	31
Tabla 10:Características del Marine Pile Protection Tape [HCL,2021]	31
Tabla 11:Propiedades de HDPE Jacket [HCL,2021]	32
Tabla 12:Propiedades del Smart Band [HCL,2021].....	33
Tabla 13:Densidad de corriente para PC para el acero.	36
Tabla 14:Datos de la estructura.	36
Tabla 15:Datos para el sistema de protección catódica.	37
Tabla 16:Datos para la densidad de corriente	37
Tabla 17:Datos de ánodos de MMO.	37
Tabla 18:Características de un ánodo de MMO.....	39
Tabla 19:Características del cable TW AWG #8.....	41
Tabla 20:Costos de material S.P.C	48
Tabla 21:Costos de personal operativo para la instalación del S.P.C.....	49
Tabla 22:Costo total del S.P.C	50

RESUMEN

Las estructuras metálicas sumergidas en ambientes marinos o en el suelo, son expuestas a sufrir corrosión, por lo que, a su diseño, es necesario la implementación de un sistema de protección.

El siguiente proyecto de investigación, es tipo tecnológico, no experimental, planteado a partir de una necesidad y un problema observado al que se busca dar solución, es también una investigación retrospectiva, debido que los datos empleados fueron manipulados en investigaciones anteriores.

En el desarrollo se explicó cómo se presentó la corrosión, se identificó y analizó las características físicas del ambiente y del material a proteger.

Se determinó como adecuado, un sistema de protección catódica por corriente impresa, y ánodos de MMO, adicionalmente se eligió la técnica de revestimiento Pile Wrap System (sistema de envoltura de pilote), para ayudar a contrarrestar la corrosión.

Los cálculos correspondientes al diseño, arrojaron que para proteger 2400 ml de tubería de 34", se necesita una cama anódica con 30 ánodos de MMO de 3" de diámetro x 60" de longitud para la inyección de corriente, y 2 transformadores de 50A y 110 VDC

Concluyendo que para elaborar este tipo de diseños es recomendable determinar las características del ambiente donde deberá instalarse el sistema de protección catódica.

Palabras clave: Protección catódica, corrosión, revestimiento, corriente, ánodos.

ABSTRACT

Submerged metal structures in marine environments or on the ground are exposed to corrosion, which is why, in their design, it is necessary to implement a protection system.

The following research project is technological, non-experimental, raised from a need and an observed problem to which a solution is sought, it is also a retrospective investigation, since the data used was manipulated in previous investigations.

In the development, it is explained how corrosion occurs, the physical characteristics of the environment and the material to be protected are identified and analyzed.

An impressed current cathodic protection system and MMO anodes were determined adequate, additionally the Pile Wrap System coating technique was chosen to help counteract corrosion.

The calculations corresponding to the design, showed that to protect 2400 ml of 34" pipe, an anode bed with 30 MMO anodes of 3" diameter x 60" length is needed for current injection, and 2 rectifier transformer of 50A y 110 VDC.

Concluding that to develop this type of design it is advisable to determine the characteristics of the environment where the cathodic protection system should be installed.

Keywords: Cathodic protection, corrosion, coating, current, anode.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, una de las problemáticas que persiste en el tiempo, son los derrames de petróleo, la Amazonía ha sido uno de los escenarios en mayoría de muchos derrames, lo que causó demasiados problemas ambientales y grandes afectaciones en la población aledaña, principalmente en la población indígena, quienes viven a dependencia de la flora, fauna y su diversidad, lo cual el oleoducto nor peruano, se ubica en Loreto, se han atendido 69 derrames de crudo, a partir de marzo del 2011 y entre julio del 2019. En el 2020, exactamente en el Lote 192, se suscitaron cerca de 19 emergencias ambientales. (Bocanegra Carrión, García López, & Mejía Mendoza, 2022)

En cuanto al planteamiento del problema, debemos de indicar que el deterioro o descomposición estructural de aquellos elementos metálicos que están expuestos y sumergidos en ambientes marinos forma sin duda un arduo problema industrial. (BRONCALES BAZÁN & FLORIÁN VILCHEZ, 2018)

Los problemas de corrosión son muy evidentes en la manufactura del petróleo y gas, sus efectos son similares a los de los desastres naturales. A medida que los oleoductos cumplen su función de transportar hidrocarburos desde los cabezales de los pozos hasta las instalaciones de procesamiento, se enfrentan a una amenaza constante de corrosión interna y externa desde la puesta en marcha hasta la eliminación o el abandono. (Santiago Cárdenas , 2022)

Como sabemos el Perú ha sido afectado por los derrames de petróleo, tal como se mencionó anteriormente. A esto se añaden aquellos derramamientos de oleoducto suscitados en el terminal 2, Multiboyas, a cargo de la empresa Refinería La Pampilla S.A, acontecimientos ocurridos el 15 y 25 de enero del año 2022, momentos en que la embarcación italiana, realizaba actividades de carga y descarga de crudo en el terminal 2 de la Refinería la Pampilla.

Aquellos días el mar de Ventanilla, era manchado de negro a raíz del derramamiento de crudo. Generando impactos en primera instancia, ambientales, económicos y sociales. (Pulido Capurro, Escobar Mamani, Arana Bustamante, & Olivera Carhuaz, 2022)

De acuerdo a la investigación del suceso, se determinó presencia de oxidación en las tuberías metálicas, que se desprendieron del cuerpo de la línea de carga y descarga del PLEM (Pipeline End Manifold), lo que indicaba un nivel de corrosión muy alto, esto habría influido en mayoría en la falla y posterior rotura de las tuberías, suponiendo así que la empresa no realizaba un correcto mantenimiento al PLEM, y que no contaba con un sistema de protección anti corrosión.

A finales del mes de enero, se aceptó abiertamente que las tuberías conectadas al PLEM se rompieron en su totalidad. (Pulido-Capurro, Arana Bustamante, Olivera-Carhuaz, & Gómez-Gonzales, 2022)

Sin estándares de protección adecuados, las líneas de tuberías pueden estar expuestas y acondicionadas a corroerse porque los recubrimientos no las aíslan completamente del entorno electrolítico circundante debido a los daños y la topografía de baja resistencia. (Anchante Barrientos & Carrillo Gonzales , 2021)

En consecuencia, de este fenómeno que afecta a la explotación petrolera, se ha transformado en un motor de búsqueda e investigación de los problemas y aspectos que se asocian a la corrosión, con el fin de llegar a controlarla y evitar el deterioro externo de las tuberías. (Cabrera Nicolás, 2018)

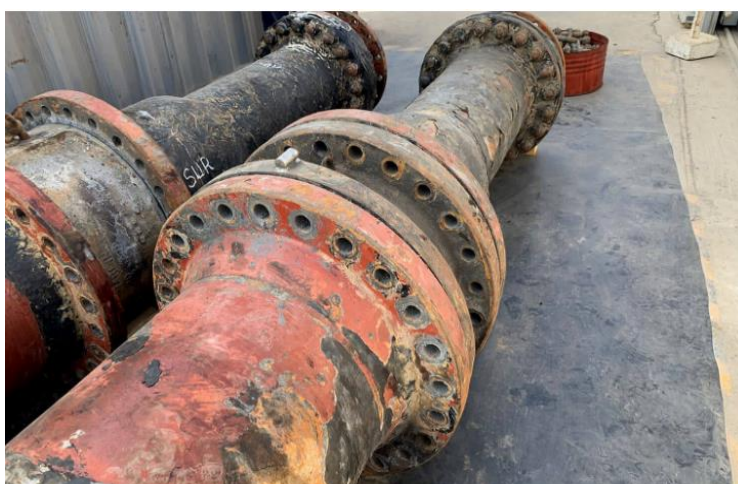


Figura 1: Tubería extraída del PLEM, con evidente estado de corrosión.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la formulación del problema, debemos de indicar que, con respecto a la realidad problemática, se realiza la siguiente

La hipótesis, ¿Cuál será el sistema de protección catódica adecuado para mitigar la corrosión en la línea de carga y descarga de la refinería La Pampilla?

Las preguntas específicas

¿Cómo mitigar la corrosión en la línea de carga y descarga de la refinería La Pampilla?

¿Cuál será el sistema de protección catódica adecuado?

¿Cuál será el coste beneficio del sistema de PC planteado?

En cuanto a la justificación del proyecto, la justificación económica , en las estructuras, construcciones metálicas y tuberías en el Perú y en otros países, es un problema latente, el cual causa deterioro en las mismas, provocando enormes pérdidas económicas para el país. (Lopez Pasapera, 2020)

Al introducir un método de protección catódica se disminuye la tasa periódica de oxidación producto de la exposición a los elementos o materiales propios del ambiente, se evita la descomposición descontrolada de materiales, y reduce los costos respecto al mantenimiento de las estructuras o tuberías. (Lema Aguaiza & Rea Gavilán , 2020)

La justificación técnica, dado que los metales son ampliamente utilizados en nuestra vida diaria, el material debe protegerse mediante métodos como recubrimientos (este es el método más utilizado, incluso en el uso diario) inhibidores, protección anódica o protección catódica para reducir y controlar la velocidad del ataque y evitar pérdidas materiales y, en casos extremos, pérdidas de personal. (Ramirez Fernández, 2021)

La justificación ambiental, considerando el progreso de la industria, para mitigar la corrosión en estructuras subterráneas o sumergidas, se necesita entender sus propiedades, además de comprender su efecto en el desempeño del sistema de protección catódica, y definir las propiedades de cada componente en el suelo o el tipo de relleno en el que se encuentra el metal. (Vaca Rodríguez , 2021)

Evitar fugas o derrames de productos que puedan tener un impacto preocupante en el medio ambiente también redundará en una vida cada vez

más larga de la estructura, reduciendo la cantidad de residuos que se pueden generar durante el mantenimiento. (Vallejos Marín , 2021)

El objetivo general se define como Determinar un sistema de protección catódica adecuado para mitigar la corrosión en la línea de carga y descarga en la refinería La Pampilla.

Y los correspondientes objetivos específicos, seleccionar el sistema de protección adecuado, de acuerdo a las condiciones ambientales expuestas, realizar los cálculos de operatividad correspondientes al sistema de protección catódica y determinar la evaluación económica y financiera de la protección catódica.

II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional, en cuanto al sistema de protección Catódica, (MOHAMED HALAFAWI, NAWAR ABDULRAHMAN, & LAZĂR AVRAM, 2020). En su propósito de exploración desarrollaron un sistema de protección catódica, con el propósito de proteger la parte interna y externa de un tanque de acopio de crudo de 2500 m³, con el fin de reducir el tiempo de corrosión, de la estructura y mantener su integridad.

En la parte externa colocaron ánodos galvánicos de 99.98% de Zn, mientras que, para la protección catódica interna utilizaron ánodos galvánicos de 6,5 % de aluminio-zinc (Al-Zn). Se toma un caso de estudio de un tanque de petróleo del campo de refinación rumano para hacer el CPS. Concluyeron que fue necesario un total de 20 ánodos para proteger el tanque de aceite por el lado externo y 123 ánodos para el lado interno.

(García Quiroz, 2021) el autor partió de la necesidad de extender la vida de las estructuras de los puertos, es por ello que se enfocó en seleccionar un sistema de protección a la oxidación, en el proyecto muestra como es el proceso de selección

Como resultado, la selección de un sistema anticorrosivo, adecuado para contrarrestar la corrosión ocasionada por el mar, tomando en cuenta el bienestar ambiental, social, técnico en la ejecución del proyecto, concluyendo así que el sistema es capaz de dar buena protección a la corrosión a los pilotes en el muelle portuario, logrando así prolongar su vida útil.

Por su parte, (Ortega Rodriguez, 2019) en su proyecto de tesis, se han descrito problemas de oxidación en el fondo de estanques de acopio de petróleo.

Sin ir muy lejos en la ciudad de Iquitos, (Gómez Suclupe , 2020)) el autor plantea el objetivo de modelar un tanque de almacenamiento con capacidad

de 40000 barriles de gasolina en la refinería de Iquitos, buscando un balance logístico de oferta y demanda.

A nivel local, tenemos , (TORRES & COLABORADORES, 2016) realizaron un análisis del efecto de la densidad potencial electroquímico y velocidad de corrosión de la corriente catódica sobre un acero ASTM A-36 encubierto en terreno acuoso. Se sepultaron probetas y se protegieron catódicamente con 10 niveles diferentes de corriente aplicada: 50, 300, 550, 800, 1050, 1300, 1550, 1800, 2050 y 2300 mA/m²; colocado en terreno con un pH de 0,4 por 3 días. Descubrieron que el nivel de densidad de corriente de cátodo apropiado para la protección se encuentra entre 1800 y 2050 mA/m². Este análisis confirma que la densidad de corriente aplicada permitió que la estructura protectora se mueva de la zona de corrosión hacia la zona termodinámicamente protegido, reduciendo así su tasa de corrosión.

(Quispe Chumacero, 2018) define a la corrosión como la descomposición de elementos o materiales metálicos, producto del contacto químico, físico o electroquímico, con el medio en que se encuentre. extrae en su forma originaria o bruta. (Loachamin Nasimba , 2019).

Si la corrosión es ocasionada por una fuerza electroquímica (oxidación), la velocidad en la que sucede la corrosión pende en cierta medida de la temperatura, el nivel de salinidad del líquido en contacto con el metal y sus propiedades del metal involucrado. (Becerra Mosquera, Pardo Landrove, & Millán Pérez, 2017)

Las reacciones de oxidación tienen lugar en la región del ánodo, donde los electrones eliminan a otras regiones del cátodo, por lo que el metal se corroe en esta región, mientras que el metal no se corroe en la región del ánodo. (Gonzales Boza & Cruz Castro, 2017)

La figura 2 especifica esquemáticamente el metal involucrado al proceso de corrosión (ánodo o también llamado material del ánodo), el metal exterior utilizado como cátodo y el medio utilizado como electrolito. La combinación de metales y sus electrolitos forman una celda galvánica.

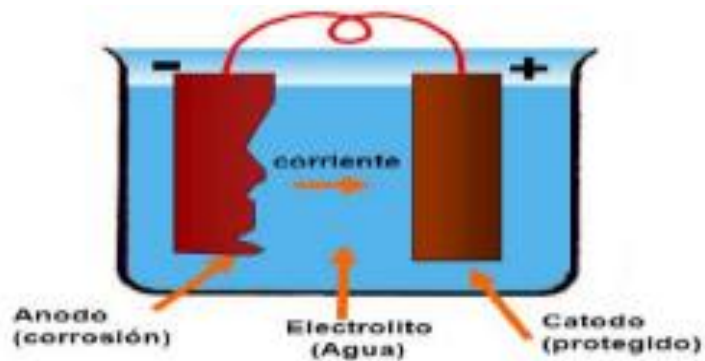


Figura 2:Proceso de corrosión en un electrolito en agua.

Fuente: Elaboración propia

Celda de corrosión: en cuanto al proceso de mitigación de la corrosión, La corrosión es un proceso eléctrico y químico en el que la energía que induce el proceso en uno o más elementos metálicos surge de las diferencias en los niveles de voltaje entre los materiales o entre ciertas áreas de la misma estructura dentro de la misma estructura material dado. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

(Rivera Sarmiento, 2022) Indica que la corrosión electroquímica está relacionada con el traspaso de electrones por medio de la interfase metal/electrolito. La corrosión ocurre en una celda de corrosión que se constituye de cuatro elementos:

- ✚ Ánodo
- ✚ Cátodo
- ✚ Electrolito.
- ✚ Paso Metálico

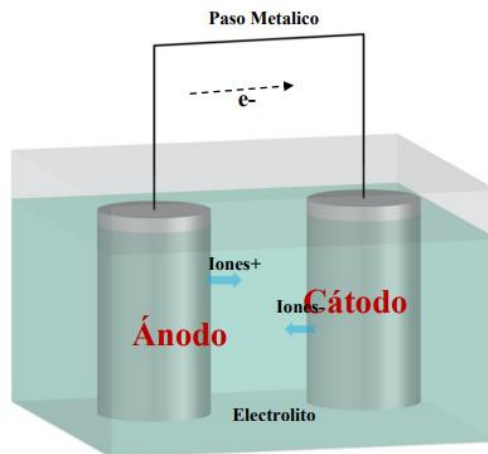


Figura 3: Celda básica de corrosión.

Fuente: Elaboración propia.

El ánodo, Corresponde al área o materia más electronegativo del circuito formado por la celda de corrosión, y la diferencia de potencial respecto al cátodo retiene el voltaje necesario para inducir la corriente de corrosión del circuito, por lo que el ánodo es siempre una fuente de voltaje de este circuito electroquímico equivalente. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

El cátodo, a diferencia del ánodo, se refiere a la zona o material con carga más positiva en el ciclo de corrosión, con el ánodo, forma la fuente de corriente para inducir el circuito de corrosión, y el cátodo es el circuito positivo a la corrosión, respectivamente. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

El elemento inevitable en un circuito cerrado, es un electrolito, este refiere al medio líquido (agua) o acuoso (tierra), donde se transfiere cargas de átomos cargados eléctricamente o iones, cierra el circuito en una batería corroída, la corriente fluye en forma de iones positivos y negativos. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

El paso metálico, se refiere a un vínculo entre el ánodo y el cátodo a través de un guía eléctrico, sea el caso un cable o la base metálica de la estructura en que ocurre la corrosión. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

La corrosión sucede cuando se exponen cuatro elementos corrosivos: Ánodo, cátodo, orificios metálicos, electrolito, se deben crear conexiones entre ellos cuatro, de tal manera que se combinan en un circuito electroquímico, donde los electrones se trasladan por el camino del metal del ánodo hacia el cátodo, obteniendo como resultado un entorno más alcalino. (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

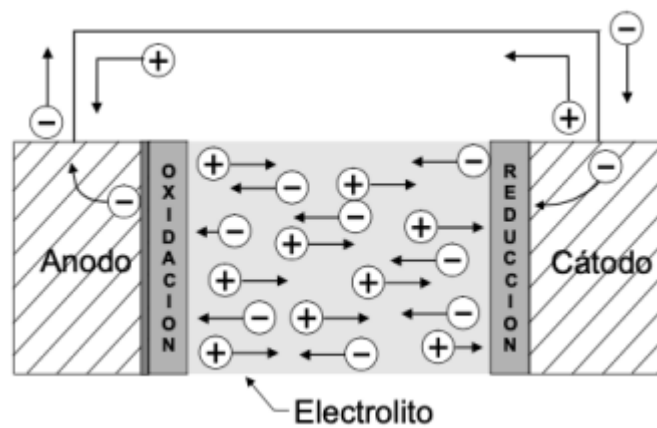


Figura 4:Desplazamiento de cargas dentro de una celda de corrosión.

Fuente: Elaboración propia.

La corriente pertenece al grupo de electrones que fluye desde el ánodo hacia el cátodo a través de la pista metálica y luego del cátodo al ánodo a través del medio electrolítico (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020)

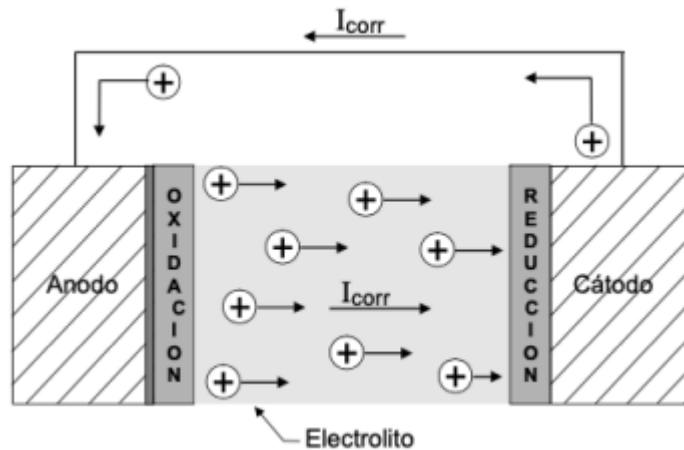


Figura 5: Orientación de la corriente convencional (Cargas +) en una celda de corrosión.

Los elementos que cambian el comportamiento en una celda de corrosión, Según (GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020) Las variables; corriente y velocidad de corrosión se ven afectadas por:

- Propiedades de polarización de superficies de ánodo y cátodo.
- Resistencia del circuito.
- FEM de la celda o diferencia de tensión eléctrica.

(CORONADO ALVARADO , 2021) afirma que cuando una estructura metálica interacciona con un ambiente electrolito compuesto, estos pueden ser diferentes tipos de suelos o agua de mar, las cuales contienen distintas sustancias químicas, temperaturas, etc. La estructura puede experimentar diferencias de voltaje.

En la siguiente imagen se aprecia, celdas de corrosión en celdas disímiles.

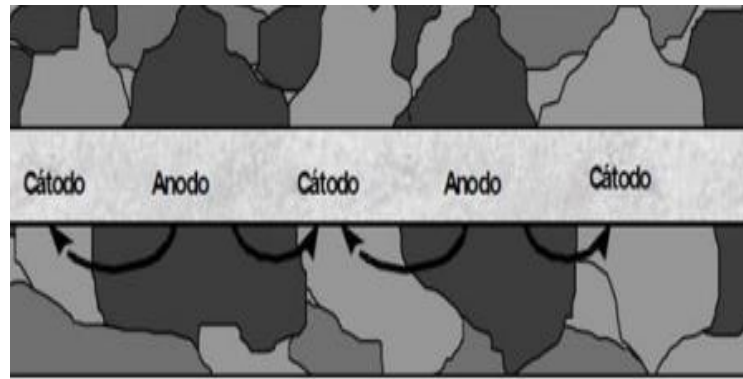


Figura 6: Celdas de corrosión en celdas disímiles.

Fuente: CP 2-Cathodic protection Technician

(AMAYA OROZCO & GARNICA PIRANQUE, 2020) redacta que, hay diferentes procesos en donde es claro evidenciar los fenómenos de corrosión, los cuales sus características dependen de la composición natural del material y sobre todo de las situaciones del medio a las que están expuestos.

La clasificación de la corrosión según el aspecto externo o propiedades físicas, se clasifica en los siguientes:

Ataque uniforme, el progreso de la corrosión es visible, y avanza sobre la superficie de manera constante, como, por ejemplo, la herrumbre en el hierro. (Darío Hernández , 2019)

En cuanto a la picadura, esta forma de corrosión se da de forma puntual creando orificios en el metal. Puede ser muy dañino para las estructuras, debido que provoca perforaciones en el metal. El avance en este caso es lento al principio, pero luego se propaga rápido. (Darío Hernández , 2019)

Esto implica la eliminación preferencial del elemento presente en aleaciones como el latón, dando como resultado la eliminación selectiva del zinc presente que está aleado con el cobre. Esto suele ser cierto solo para aleaciones con metales más nobles. (Darío Hernández , 2019)

La corrosión intergranular, es Localizada en la zona de grano de la aleación, que se traduce en la pérdida de ductilidad y resistencia mecánica del metal. Puede atacar de forma rápida y puede penetrar muy profundamente en el

material. Se encuentra principalmente en aceros inoxidables con tratamiento térmico insuficiente. (Darío Hernández , 2019)

La protección catódica galvánica, depende en mayoría del potencial que posee el ánodo o metal de sacrificio. El aluminio, se considera hasta el momento como el material más adecuado para este método galvanizado en ambientes marinos. por su parte, el magnesio y zinc se tornan adecuados para proteger estructuras metálicas en suelo

Cada ánodo, es responsable de proteger una determinada área o longitud de una tubería, el ánodo debe mantenerse lo más alejado del elemento a proteger, para lograr la correcta distribución de corriente.

Este método no requiere corriente que se suministre desde una fuente de alimentación externamente, en este caso la corriente necesaria es obtenida conectando eléctricamente la estructura al ánodo galvánico. (Navarro Tovilla, 2018)

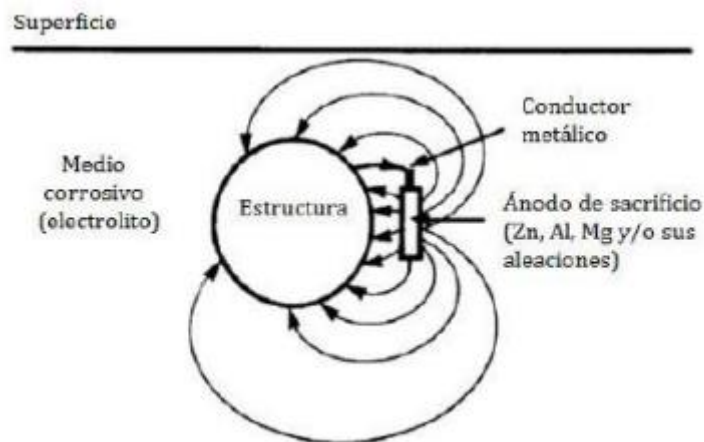


Figura 7:Esquema de un S.P.C con ánodos de sacrificio

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la protección catódica por corriente impresa (PCCI), Este método si requiere de una fuente externa de corriente, simula una celda electrolítica, es decir, actúa como una batería, donde el metal protegido actuará como el polo negativo de la fuente, convirtiéndose así en el cátodo de la celda de electrólisis.

El positivo de la fuente es conectado al material de sacrificio el cual pasará a ser el ánodo. Este sistema también se utiliza en la industria petrolera acompañado de revestimientos en las tuberías y tanques de almacenamiento. (Navarro Tovilla, 2018)

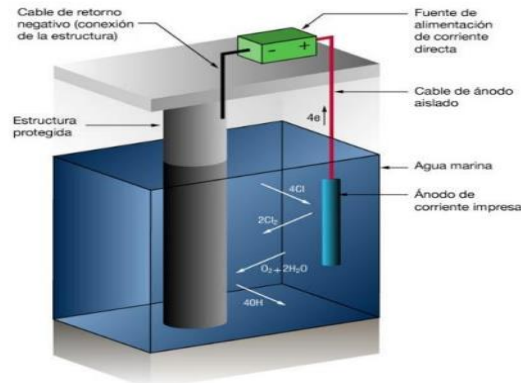


Figura 8: Esquema de un S.P.C.C.I.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los ánodos de sacrificio en sistemas de protección catódica por corriente impresa, (LUCAS NEIRA & NAULA PERALTA, 2022) Señalan que, de acuerdo al estudio aplicado a la protección catódica realizado por (Arouca, 2017) los ánodos están revestidos de un material conductor y protector denominado “backfill”, el cual tiene el fin de elevar la zona efectiva del ánodo, de esta manera logra reducir su resistencia ante el electrolito y lograr detener los efectos corrosivos que resultan de la descarga de corriente.

En este sistema, una fuente de corriente es la que proporciona la energía necesaria, lo que facilita adaptar el método en situaciones donde el uso de ánodos de sacrificio se limita por aspectos técnicos o de costes, este método permite ampliar la protección catódica a estructuras sub dimensionadas o que poseen características que demandan elevadas cantidades de corriente o en estructuras ubicadas en entornos de alta resistividad. Estos sistemas también usan ánodos, sin embargo, la función de estos al interior del circuito es diferente a la función de los ánodos de sacrificio, en este sistema los ánodos

se usan como dispersores drenadores de la corriente de protección.
(GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, JAIMES MAESTRE LUIS
EDUARDO, & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , 2020).

III. METODOLOGÍA

Según (LUCAS NEIRA & NAULA PERALTA, 2022) Con este proyecto viable, rentable y renovable podremos avalar la eficiencia en la duración de la estructura , en los países del primer mundo se ha desarrollado una impresionante implementación de los métodos de protección catódica en gasoductos u oleoductos con la consigna de mejorar los sistemas de distribución y con un sistema sustentable que solo debe ser considerado para dar mantenimiento por medio de ánodos el cual puede ser un sacrificio a la resistencia del sistema como método para proteger el sistema contra la corrosión , puede reactivarse después de haber finalizado el mantenimiento, incluido el reemplazo de ánodos o lechos de ánodos, para no exhibir la estructura , lo cual el tiempo es monitoreado por el equipo técnico responsable del sistema. en el campo, teniendo en cuenta el presupuesto y el respectivo mantenimiento.

La intención de esta tesis es establecer la corriente necesaria para la protección catódica de las tuberías y la cantidad de masa anódica el cual es requerida para su polarización catódica mediante su vida útil, de la estructura o el tiempo de renovación. El muestreo debería ocurrir en una serie de puntos estratégicos desde los cuales debe colocarse o distribuirse para así obtener el potencial o para verificar el funcionamiento de métodos de protección catódica por corriente impresa, no aplica en este caso, ya que el método es no experimental. Luego del análisis de resultados mecánicos y eléctricos, se identifica los componentes adecuados del sistema. (LUCAS NEIRA & NAULA PERALTA, 2022)

En este estudio, observamos los efectos corrosivos de los recubrimientos orgánicos e inorgánicos, para proteger los metales de la atmósfera marina u otros efectos. Inductivamente se ha encontrado características generales de descomposición de clase de acero en forma de placas exhibido al exterior y garantía de pinturas anticorrosivas utilizados en recubrimientos de placas de acero. Siguiendo con los procedimientos estandarizados descritos en las normas internacionales para la corrosión atmosférica y las investigaciones de recubrimientos de protección catódica. (Herradda Villanueva, 2020)

Esta tesis está orientada en las líneas de tuberías del terminal marítimo que conforman la línea de carga y descarga de oleoducto, ciertas tuberías son de acero al carbono, y están expuestas a los ambientes marinos, lo que significa una exposición directa y en consecuencia la corrosión, por lo que se sustenta la importancia del bosquejo de un método de protección catódica e implementación de controles de mantenimiento que garanticen buena operación segura y eficiente.

3.1.- Tipo y diseño de investigación

3.1.1.- Tipo de investigación

Este proyecto es tipo tecnológico, se establece que la investigación de este tipo conserva un carácter práctico y concreto, se plantea a partir de una necesidad o un problema, en base a ello se busca resolver la situación. La solución se considera como una innovación tecnológica y siempre queda expuesta a ser mejorada o modificada.

De acuerdo con (Gonzales Boza & Cruz Castro, 2017) es un tipo explicativo que intenta dar respuesta a los principios de los hechos físicos o sociales. El beneficio se centra en manifestar porque ocurre un fenómeno, en qué circunstancias o porque se interrelacionan dos o más variables, lo que vemos en estudios de suelos, corrosión ambiental y tuberías que necesitan protección. Este es un estudio con un enfoque cuantitativo, ya que obtendremos datos numéricos de las pruebas realizadas en el sitio, que luego interpretaremos de acuerdo con la normativa NACE y el uso del CNE en 2006.

3.1.2.- Diseño de investigación

Este tipo de diseño del proyecto es no experimental, por lo que solo se observa y analiza situaciones existentes, las cuales no han sido provocadas por quien elabora el proyecto, aquí las variables independientes suceden y no es viable manipularlas, lo cual no existe un monitoreo ni se puede influir en ella, puesto que ocurrieron al igual que sus efectos.

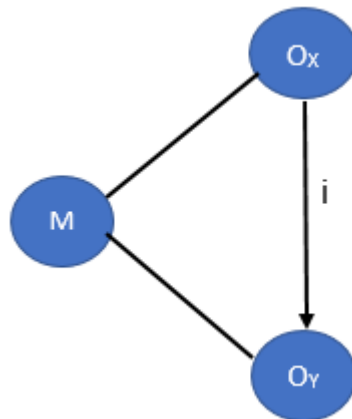
Esta investigación es retrospectiva ya que los datos a manipular fueron manipulados con anterioridad en investigaciones y proyectos previos. (Gonzales Boza & Cruz Castro, 2017)

Donde: M: Muestra

Ox : Observación de la variable sistema de protección catódica.

Oy : Observación de la variable mitigar la corrosión.

i : Incidencia de la propuesta de un sistema de protección catódica para mitigar la oxidación en la línea de carga y descarga de la refinería La Pampilla.



3.2.- Variables y Operacionalización

Sistema de protección catódica, Es la variable independiente de categoría cualitativa, según (Pelayo Ruiz, 2018) es sin duda el procedimiento más trascendental para controlar la oxidación en estructuras metálicas escondidas en el suelo o inmersas en ambientes marinos. Aquellos metales que son resguardados de la oxidación por este procedimiento, son el cobre, plomo, bronce y acero.

Mitigar la corrosión, es la Variable dependiente en la investigación, de categoría cualitativa. Para (Marcial Acosta, 2018) el envejecimiento de los equipos de la industria petrolera por oxidación es un problema cotidiano generalizado, por lo que se han descubierto nuevos métodos de detección y tratamiento para mitigar este problema, inevitablemente existen en todas las etapas de la industria del petróleo.

3.2.1. Definición conceptual de variables.

- ❖ Variable Independiente.
Sistema de protección catódica.
- ❖ Variable dependiente.
Mitigar la corrosión.

3.2.2. Operacionalización de la variable (Ver Anexos)

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.3.1. Población

De manera específica, está formada por el total de tuberías enterradas que conforman la línea de carga y descarga del terminal de boyas.

3.3.2. Muestra

La muestra es representada por aquellas tuberías enterradas, dónde se instalarán los ánodos para el procedimiento de protección catódica.

3.3.3. Muestreo

Este muestreo aplicado será de tipo no probabilístico.

3.3.4. Unidad de análisis

Se considera la tubería que conforma la línea de carga y descarga del terminal.

3.3.4.1. Parámetros de investigación

Las tuberías que conforman la línea de carga y descarga, están sumergidas en el lecho marino y comprende desde la brida aislante, ubicada en caseta de playa, hasta el PLEM (Pipeline End Manifold) tienen las siguientes medidas.

Material	Longitud(m)	Diámetro(Ø)
API 5L -X42	2400	34"

Tabla 1: Medidas de la tubería.

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida del manual de mantenimiento de REPSOL.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica

Esta tesis usará una recopilación documental, consiste en obtener y realizar consultas bibliográficas, las cuales parten de otros problemas similares a la realidad, y/o conocimientos, de modo que sean de utilidad al tema de estudio.

Esta técnica parte de la información de fuentes secundarias, obtenidas a través de tesis, revistas, jornales, libros, etc.

3.4.2. Instrumentos

Se utilizará la data secundaria de los informes de osinergmin, con motivo del accidente ambiental de enero, (OSINERGMIN, 2022) , así como la matriz de lectura de artículos, donde se definirán los conceptos más importantes como: Objetivo de investigación, problema enfrentado, método de investigación, conclusiones y recomendaciones de cada artículo, tesis, jornales, revistas, etc.

3.4.3. Validez

La validez del instrumento de estudio en cuestión está a cargo del ingeniero asesor del proyecto, y del jurado evaluador.

3.5. Procedimientos

Para la realización de tesis, se inició con la búsqueda y análisis documental, que tengan relación a nuestro proyecto de investigación, se recolectó la información más relevante y se plasmó en una matriz de lectura de artículos, a fin de garantizar la confiabilidad de los documentos.

En base a la información de las fuentes, se desarrolló el marco metodológico, plasmando en ella la información más importante, en cuanto a avances tecnológicos y nuevos sistemas de protección catódica.

Esta segunda fase se ocupa del diseño del proyecto, partiendo de la población y muestras establecidas, principalmente a partir del estudio de la

información y la obtención de conclusiones a través de la comparación y discusión de antecedentes.

3.6. Método de análisis de datos

En este estudio, el análisis de la información se realizó de forma secuencial de acuerdo con el desarrollo de cada etapa metodológica.

Determinar dirección, consiste en identificar y determinar el objetivo principal y específico del proyecto.

Establecer parámetros, implica determinar las preguntas que deseamos responder a fin de obtener la mejor respuesta a partir de los datos.

Información recolectada; una vez que se determinan los parámetros, comienza la recopilación de datos y se determina qué fuentes proporcionarán la investigación más distinguida.

En este desarrollo utilizaremos herramientas técnicas que faciliten el modelado y los cálculos matemáticos en el método de sistemas de protección catódica, así los conocimientos relacionados con el proyecto.

3.7. Aspectos éticos

(Quishpe Gaibor & Loachamin Nasimba, 2019) definen que la ética profesional aplicada en los diferentes procesos de procedimientos y elaboración de métodos de protección catódica, reflejará en el comportamiento individual de cada persona, donde el individuo actúe de manera consciente, al realizar los deberes, aplicar los valores y cumpliendo sus responsabilidades profesionalmente, y a partir de ello, el grupo evidenciará un buen comportamiento, mejorando considerablemente el perfeccionamiento de la tesis.

En cuanto al perfeccionamiento de la investigación, se ha contemplado buenos principios y utilizando fuentes confiables, las cuales fueron citadas de manera correcta, haciendo uso de las normas APA, de la 7ª edición, tal como indica.

La investigación y propuesta del diseño se plantea, tomando en cuenta el impacto ambiental y socio económico que pueda ocasionar este nuevo sistema de protección catódica.

IV. RESULTADOS

4.1. Seleccionar el sistema de protección adecuado de acuerdo a las condiciones ambientales.

Actualmente es muy importante mantener en buen estado una estructura metálica, y más aún en la producción petrolera. En este proyecto nos enfocamos en brindar un soporte y hacer frente al problema de oxidación proponiendo un sistema de protección catódica, acompañado por recubrimientos e inhibidores, teniendo en cuenta la preservación del medio marino en el que se encuentra sumergido el sistema.

Datos de la estructura

El estudio comprende al tramo de tuberías del terminal marítimo número 2, Ventanilla, el cual está fabricado de tubería de acero al carbono, sometida a un ambiente extremadamente adverso, ya que este tramo de tubería está sumergido en el mar de la costa peruana, por lo que es sustentable diseñar el método de protección adecuado y la ejecución de un monitoreo para una operación segura y eficiente, y así evitar nuevamente pequeños o grandes derrames de petróleo como el que sucedió hace poco.

El tramo comprende desde la brida aislante ubicada en la caseta de playa hasta el PLEM (colector de extremo de tubería).

Características de la tubería-Ventanilla

Longitud de tramo	2400 m
Diámetro de tubería	36"
SCH	80
Material	Acero al carbono
Tipo de acero	API 5L-X42

Tabla 2: Características de las tuberías.

Fuente: Elaboración propia.

La tubería API 5L X42 está clasificado como un acero de alta resistencia y baja aleación, también conocida como tubería L290, por su límite elástico mínimo 42 Psi (290 Mpa), un acero de buena tenacidad y soldabilidad, presenta un bajo contenido de carbono, inferior al 0.30%. Es un grado medio en las especificaciones API 5L e ISO 3183, utilizado comúnmente para transporte de fluidos como el petróleo y el gas.

Sin embargo, a pesar de sus propiedades, no está libre de presentar corrosión interna y externa, al estar sumergida en el agua de mar.

Características y condiciones ambientales.

Características del viento de Ventanilla – Callao

Con una estabilidad direccional del 80% promedio, este valor varía ligeramente en horas de la tarde. Generalmente, en la madrugada y en la mañana, el viento es más frágil, tiende a estar en tranquilidad y aumenta por la tarde, desde unos 13:00 y 19:00 (hora local), oscilando entre 3,14 y 4,78 m/s., estas tasas están relacionadas con el contraste de temperatura entre el mar y el continente, estas diferencias aumentan desde la madrugada cuando el tiempo está despejado, y la tasa más baja es entre la 01:00 y las 07:00 am (hora local), el rango de diferenciación es de 2,1 a 4,16 m/s. También cabe señalar que el viento más fuerte se da en el período de noviembre a febrero y el más débil de mayo a agosto.

Los escenarios medioambientales límite para las maniobras del Buque Tanque para acercamiento y estabilidad en el Terminal Marítimo-Ventanilla estimadas por el Estudio de Maniobras son las siguientes:

- Aproximación de Buque Tanque y amarre a Terminal Portuario Multiboyas (CBM).
 - ✚ V10-1 min. = 10 m/s o 19.4 nudos.
 - ✚ Corriente VC-1 min. = 0,4 m/s o 0.78 nudos.

- ✚ Altura ola significativa HS = 1.50 m.
- Permanencia de Buque Tanque en Terminal Portuario Multiboyas (CBM). Transversal al buque (plena carga)
- ✚ Viento V10-1 min. = 22 m/s o 42.7 nudos.
- ✚ Corriente VC-1 min. = 0,4 m/s o 0.78 nudos.
- ✚ Altura ola significativa HS = 2 m.

Características de las olas:

Hay dos tipos de olas en la costa del Perú que corresponden a los tipos de mar; los mares eólicos, que surgen de los vientos locales con un período corto y no son especialmente relevantes, y los mares de sotavento, o también llamados olas que provienen del mar abierto, que viajan muy lejos, la elevación de las olas establece la dinámica del litoral de la zona. Esto determina que en Ventanilla el 62,9% del oleaje provenga del sur, el 17,4% y el 15,0% del suroeste y sureste. Pero tan pronto como se aproximan a la orilla, las olas se desvían, provocando los anómalas de alteración y desviación, correspondientemente. La altura de ola media en **La Pampilla** es de 1,49 metros y el ciclo efectivo medio es de 15 segundos.

Características de la corriente del mar:

Las velocidades de las corrientes que se registran en La Pampilla son las siguientes: Las corrientes superficiales que se encuentran a 1 m de profundidad se modifican en promedio de 0,06 a 0,41 nudos. El flujo de agua subterránea (a una profundidad de 10,0 m) varió entre 0,12 y 0,31 nudos en promedio.

Características del agua de mar

Debido a la necesidad de usar estructuras metálicas en medios marinos, por ejemplo, en actividades como el transporte de mercancía a través de embarcaciones, o la conectividad de redes de internet o telefonía a través de cables de comunicación, y en este caso la industria petrolera, es de mucho interés el estudio de la corrosión y la búsqueda de soluciones tecnológicas a este problema.

El agua de mar puede estar conformada por diferentes componentes disueltos, en diferentes niveles de concentración, en promedio el porcentaje de salinidad es del 3.5 %.

La norma ASTM D1141-98 especifica la estructura química del agua de mar sintética utilizada para la preparación de estudios de corrosión. Esto permite la visualización de procesos similares a los observados en el agua de mar natural. En algunos casos, los metales sumergidos en agua superficial con un 3,5 % de NaCl se corroen más rápido que el agua de mar. Al elegir el material y el tipo de recubrimiento adecuados, así como los inhibidores, se puede crear un buen sistema de protección catódica.

Temperatura del mar

La temperatura y la velocidad de corrosión están angostamente relacionadas. Al mismo tiempo, la velocidad de la reacción de síntesis directa se triplica aproximadamente por cada aumento de 10 °C, por lo que este aumento debe tenerse en cuenta.

Resistividad del suelo

Este valor es importante para definir la viabilidad en un sistema de protección catódica en estructuras embebidas, en donde la resistividad del mar y la arena en la ubicación de la capa anódica se debe encontrar en ohm/cm.

La resistividad del suelo es numéricamente semejante a la resistencia eléctrica proporcionada por el suelo en un cubo de 1 cm de lado, medida entre los lados opuestos del cubo. La resistencia depende de su estructura, tamaño de los componentes, permeabilidad y porosidad, contenido de agua (humedad) y contenido de iones. Para suelo arcilloso, al 5% de humedad, la resistencia de este suelo es de 10.000 ohm-m, mientras que al 20% de humedad, la resistencia reduce a 100 ohm/m.

Nivel de Ph

En el océano en ventanilla, el nivel de acidez y alcalinidad varía entre los 7,5 y valores cerca de 8,3. Al mismo tiempo puede oscilar en función de la contaminación que hubiera ingresado en contacto con el agua del puerto,

pese a que el compás de corrosión del acero es usualmente constante. Por ejemplo, en función de la agrupación de CO₂ descompuesto, hecho por la flora marina mediante fotosíntesis y también de algunos microorganismos marinos, el pH tiene cambios considerables.

Dado que el ducto cumple la función de transportar el hidrocarburo desde la caseta de playa de Ventanilla, hacia el colector extremo de tubería (PLEM), la tubería está expuesta a sufrir la corrosión en la parte interna, por lo que se muestra el interés de buscar la forma de mitigarlo, y una de ellas es, el uso de un inhibidor de corrosión. Tras una búsqueda y evaluación de información tecnológica, y el estudio de nuevos inhibidores que sean eficientes y rentables; se propone el uso de un inhibidor Trasar Trac102.

Este inhibidor es usado mayormente en sistemas de recirculación cerrados, está compuesto de 4 componentes orgánicos e inorgánicos (Azol, nitritos, nitratos y silicatos).

La elección de este tipo de inhibidor se fundamenta en la capacidad de proteger cualquier tipo de metales, que se encuentren en un sistema de recirculación, contiene un búfer de Ph incorporado, el cual se encarga de ajustar el Ph del agua, al rango adecuado para mitigar la corrosión. Trae un tinte indicador de fugas, lo que hace posible la detección de fugas de manera fácil y rápida. Este inhibidor es compatible con líquidos anticongelantes no inhibidos y no causa efecto alguno en uniones, sellos de bombas, válvulas u otros elementos no metálicos del sistema.

Constituyentes activos del inhibidor	
Componentes	Función
Nitrito	Inhibidor de corrosión
Nitrato	Inhibidor de corrosión
Silicato	Inhibidor de corrosión de Aluminio
Azol	Inhibidor de corrosión de Cobre

Tabla 3:Constituyentes activos del inhibidor.

Fuente: Elaboración propia en base a Ficha técnica del fabricante NALCO

Propiedades físico químicas de TrasarTrac 102 – Ventanilla	
Forma	Líquida
Densidad	9.3 - 9.7 lb/gal [1.12 -1.16 kg/l]
Gravedad específica a 77°F [25°C]	1.12 – 1.16
pH (Neto)	11.1 – 11.8
Recuperación de congelación y descongelación	Completa
Punto de inflamabilidad	Ninguno
Olor	Ligeramente orgánica
Punto de congelación	-20°F [-29°C]
Viscosidad a 60°F[16°C]	48 cp
Solubilidad en agua	Completa
Apariencia	Transparente, rojo oscuro

Tabla 4:Propiedades fisicoquímicas de Trasar Trac 102.

Fuente: Elaboración propia en base a Ficha técnica del fabricante NALCO

Está demostrado, mediante evaluaciones electroquímicas, que el inhibidor, ha superado el 95.4% de eficiencia, en estado estático entre una concentración de 20 ppm, por lo que se puede manifestar, que, en estas condiciones, el inhibidor realiza un buen papel para proteger este tipo de acero en medio salino.

4.1.1. Evaluación y selección del sistema de protección

Protección por recubrimientos metálicos	
Ventajas	Limitaciones
Buena adherencia, resistente al desprendimiento	Incapaz de producir aislamiento térmico y eléctrico en los metales
Mejor ductilidad en general	Algunas veces causan modificaciones microestructurales indeseables del sustrato metálico.
Buen conductor eléctrico y térmico	Es complicado aplicar en estructuras de gran dimensión.

Tabla 5:Características de la protección por recubrimientos metálicos.

Fuente: Elaboración propia.

Protección catódica por ánodos de sacrificio	
Ventajas	Limitaciones
Fácil instalación.	La corriente que suministra es limitada.
Trabaja sin una fuente de corriente continua ni reguladores de voltaje.	No trabaja de forma eficiente en ambientes de alta resistividad.
No existen problemas de interferencia.	Costo de instalación inicial es alto.
El costo de mantenimiento es bajo.	Elevado consumo de ánodos en superficies mal revestidas, en tierra o en agua de mar.
Permite obtener una distribución de corriente uniforme.	
Es necesario el uso de muchos ánodos en operación.	

Tabla 6: Características del sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio.

Fuente: Elaboración propia.

Protección por corriente impresa	
Ventajas	Limitaciones
Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente	Posibles problemas de interferencia
Con una sola instalación se pueden proteger superficies muy grandes	Es necesario la inspección periódica y mantenimiento.
Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente	Deterioro en los elementos de conexión y desprendimiento de la fuente de corriente
Potencial y corriente variables	Necesita de una fuente de corriente continua.
Buena protección en superficies mal revestidas o sin recubrimiento	Conexiones y cables expuestos a posibles roturas
Eficiente en ambientes de resistividad elevada	Probable condición de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de la fragilización por la acción del hidrogeno

Tabla 7: Características del sistema de protección catódica por corriente impresa.

Fuente: Elaboración propia

Tenemos tres tipos de protección contra la corrosión, haciendo un análisis, se deduce que la protección por recubrimiento es aplicable a cualquier estructura metálica antes de la construcción.

Sabemos, que el resguardo mediante ánodos de sacrificio, es muy favorable para estructuras de menor dimensión. Si bien es cierto este método es fácil de instalar, genera un bajo costo ya que no necesita de trabajar con rectificadores de corriente y no genera interferencias, no es eficiente en suelos con elevada resistividad, y menos en superficies mal revestidas, en ambientes con alto contenido de cloruro, el número de ánodos a usar son elevados.

De acuerdo a la disposición del material, el medio marino al que es sometido, y el dimensionamiento de nuestro sistema, hemos seleccionado al método de protección catódica por corriente impresa, como el procedimiento más eficiente para aminorar la oxidación en las tuberías de la línea de carga y descarga.

La elección de este sistema; es sin lugar a dudas, el más adecuado ya que, es posible proteger estructuras que ocupen grandes superficies, en este caso la línea comprende una longitud de 2400 ml, en ventanilla

Otro aspecto importante es, que es posible variar, en la diferencia de potencial y la corriente entregada, lo cual permite al sistema tener una gran flexibilidad operacional. Una zona anódica es capaz de drenar una gran cantidad de corriente, el sistema funciona eficientemente en ambientes con una resistividad elevada, y protege muy bien las estructuras metálicas aun estando mal revestidas.

Este tipo de sistema debe diseñarse cuidadosamente para evitar problemas de corrientes erráticas que pueden conducir a la corrosión de las estructuras adyacentes.

Evaluación y selección de ánodos de sacrificio para corriente impresa.

Evaluación de ánodos para sistema de protección catódica por corriente impresa

Ánodos de grafito	Ánodos de plomo	Aleaciones hierro-cromo-silicio	Óxido de metal mezclado (MMO)
<i>Más empleado en Sistema de Protección Catódica en tierra.</i>	Para aplicaciones marinas.	Usados en agua dulce, agua de mar y estructuras enterradas.	Útil en cualquier ambiente.
<i>Su tasa de consumo varía de 0.45,0.9,0.1 kg/año.</i>	Su tasa de consumo es 0.09 kg/año.	Tiene una tasa de corrosión de 0.25 a 1 kg/año.	Dimensionalmente estable, menor tasa de consumo, 0.001 kg/año.
<i>Alta resistencia al ataque de cloruros.</i>	Genera una película protectora cuando se oxida lo que evita su rápido deterioro.	Mayor resistencia en terrenos secos.	Contiene una capa de activación que la hace más resistente.
<i>El grafito es un material frágil.</i>			

Tabla 8: Evaluación de ánodos de sacrificio para S.P.C por C.I

Fuente: Elaboración propia.

Estos ánodos son producidos con un sustrato de titanio, este a su vez está revestido con un catalizador compuesto de mezcla de óxidos metálicos, el sustrato de titanio es protegido por una capa oxidante de forma natural, siendo una de las más resistentes Ir-Ta-Ti, el ánodo mantiene su dimensión y el tiempo de vida estimado del sistema.

Usualmente son elaborados en diferentes dimensiones y formas ya sea en barra, platina, tubo e hilos. (Cabrera Nicolás, 2018)

Cabe resaltar que lo recomendable es siempre complementar con otro tipo de sistema para resguardar una estructura de elevadas dimensiones como el recubrimiento a través de pinturas, recubrimiento electrolítico entre otros.

Evaluación y selección del tipo de recubrimiento

Los recubrimientos cumplen un rol importante en la lucha contra la corrosión, cuando se presenta un ambiente de baja agresividad son suficientes las aplicaciones de pinturas bituminosas, en otros casos cuando los ambientes son más agresivos se recurre al uso de cintas protectoras o recubrimientos plásticos, entre otros. Los recubrimientos en las tuberías son un método muy común para la protección de líneas enterradas o sumergidas, siguiendo las especificaciones de la aplicación del producto para garantizar la duración del recubrimiento y aumentar la duración del material.

Después de hacer nuestra investigación, hemos encontrado el método y aplicación de un tipo de recubrimiento que reúne las características necesarias de acuerdo a las normas establecidas.

Se propone la aplicación del sistema de envoltura de pilotes (Pile Wrap System), Este sistema de protección aplicado en pilotes o tuberías, consiste en una capa de pasta interna y cinta de petrolato, que se afirma con una chaqueta de HDPE de 2 mm de elevada resistencia y HCL Smart-Bands. Esta solución sella la tubería y evita el ingreso del agua y el oxígeno, deteniendo el proceso de corrosión.

Cebador o Primer

Es un imprimante de vaselina en pasta a base de petróleo, que contiene un inhibidor de corrosión capaz de deslizar el agua y agregados de control de flujo. Este imprimante es fácil de aplicar, puede ser colocado con la mano protegida por un guante o por medio de una brocha o un cepillo con cerdas duras.

Propiedad	Especificación	Método de testeo ASTM
Aplicación	0,5 kg/m ²	
Resistencia Dieléctrica	100 volt/mil	D-149
Punto de inflamabilidad	177°C	D-92
Color	Café	

Tabla 9:Propiedades del primer de HCL[HCL,2021]

Cinta de protección de pilotes marinos (Marine Pile Protection Tape)

Esta cinta de petrolato marino es aplicable en frío, está hecho a base de cera y une un no tejido, cosido transportador sintético. Está se compone por una tela sintetizada no tejida, totalmente impregnada con un combinado a base de petróleo que tiene rellenos inactivos y agentes que desplazan el agua. Está amparado por una delgada capa de polietileno de elevada densidad.

Propiedad	Especificación	Método de testeo ASTM
Superposición	55%	
Resistencia Dieléctrica	236 volt/mil	D-149
Color	Café	

Tabla 10:Características del Marine Pile Protection Tape [HCL,2021]



Figura 9:Aplicación del Marine Pile Protection Tape

Fuente: Elaboración propia

Chaqueta (HDPE Jacket)

Está hecha de polietileno que se ajusta con zunchos.

Geomembrana simple de polietileno de buena calidad y densidad que se produce partiendo de resina de polietileno virgen. Se ha diseñado particularmente para aplicaciones de geomembranas maleables. Tiene alrededor de 2,5% de negro de humo y trazas de estabilizadores térmicos y antioxidantes, además de un 97,5% de polietileno; no se emplean otros, rellenos, diluyentes o aditivos. Posee buena resistencia química y resistencia al agrietamiento por estrés ambiental, tiene buenas propiedades mecánicas estabilidad dimensional y características de envejecimiento térmico y además posee una gran resistencia a la emisión de rayos UV y es conveniente para situaciones de exposición.

Propiedad	Especificación	Método de testeo ASTM
Superposición por envoltura	200 mm	
Espesor	2.0 mm	D-1505
Dureza	400 lb/in	D-838
Color	Negro	

Tabla 11: Propiedades de HDPE Jacket [HCL,2021]



Figura 10: Aplicación de HDPE Jacket

Fuente Elaboración propia.

Banda inteligente (Smart Band)

Es una banda de gran resistencia patentada hecha a base de polímero, apto para resistir a las cargas de más de 1000 kg, propias del sistema. Posee la virtud de ser elaborado a partir de una gama de polímeros de elevada temperatura, otorgándole una mayor resistencia a los productos químicos en una temperatura de hasta 175 ° C

El método de inmovilización de HCL es totalmente no metálico, esto lo hace esencialmente recomendable, esto influyó para la elección de la propuesta de una empresa abastecedora. y que los zunchos de plástico privan el desarrollo de fauna marina sobre el elemento, en otras empresas emplean uniones a base de pernos de acero, de igual manera también zunchos metálicos que en la experiencia se ha visto perjudicial ya que con el tiempo de instalación la fauna marina suele posicionarse en estas zonas produciendo desgaste en las mismas. El uso de estas bandas o zunchos permiten reducir costes del proyecto de protección puesto que no se necesita de un estudio previo, reduce en los costos de buceo para el cambio o mantenimiento y además estas se pueden instalar sumergidas en su totalidad en las playas de Ventanilla

Propiedad	Especificación
Ancho	32 mm
Diámetro máximo	2550 mm
T° de servicio máxima	175°C
Resistencia máxima	1264 kgf
Expectativa de vida	30 años

Tabla 12:Propiedades del Smart Band [HCL,2021]



Figura 11: Instalación de zunchos de plástico para asegurar chaquetas.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Realizar los cálculos de operatividad correspondientes al sistema de protección catódica

La elaboración del diseño de protección catódica, implica decretar la suma de corriente necesaria, resguardar catódicamente las tuberías y hallar la suma de masa anódica que se necesita para polarizar el sistema, se propone que el sistema tenga una duración mínima de 20 años de vida útil.

Debido a que el proyecto es no experimental, se toman valores de los distintos estudios realizados en ambiente con similares características a las mencionadas anteriormente.

El diseño de protección catódica deberá contar con un transformador rectificador, debidamente calibrado, este estará siendo abastecido por un alimentador de energía, ya que deberá conectarse a tierra y a su vez a la energía eléctrica, abasteciendo a un tablero de control, este sistema puede ser manual o automatizado, a fin de tener un buen control del sistema.

Cálculo del requerimiento de corriente de protección

Existe variedad de procedimientos, que permiten establecer la corriente de protección, lo cual se recomienda evaluar las técnicas y seleccionar el más adecuado.

Para este caso determinaremos la densidad de corriente partiendo de información bibliográfica. Una Tabla de densidad de Corriente para protección catódica mayormente utilizada se detalla a continuación.

Descripción	Rango (mA/ft ²)
<u>Acero sin recubrimiento</u>	
Suelo estéril, neutro	0.4 – 1.5
Suelo neutro bien aireado	2.0 – 3.0
Suelo seco bien aireado	0.5 - 1.5
Suelo húmedo, condiciones moderadas/severas	2.5 – 6.0
<u>Estructuras encubiertas con recubrimiento</u>	
Resistividad del suelo	
50 a 500 ohm-cm	0.2 a 0.1
500 a 1500 ohm-cm	0.1 a 0.05
1500 a 4000 ohm-cm	0.05 a 0.01
(1mA/m ² = 10.76mA/ft ²)	

Tabla 13: Densidad de corriente para PC para el acero.

Fuente: Osinergmin

Parámetros para el cálculo del sistema de protección catódica

Datos de la estructura	
longitud de la tubería	2400
diámetro exterior de la tubería	36"
radio exterior de la tubería (m)	0.4572
área superficial en (m ²) de la tubería	6895.743

Tabla 14: Datos de la estructura.

Fuente: Elaboración propia

Datos para el diseño del SPC		
ρ = resistividad ohm/cm	4000	
L= vida útil del ánodo años %	20	
Revestimiento de protección en las tuberías	90% efectivo	10% desnudo

Tabla 15: Datos para el sistema de protección catódica.

Fuente: Elaboración propia

Para la densidad de corriente	
densidad de corriente del acero desnudo mA/pie ²	1.2
densidad de corriente de superficie revestida mA/pie ²	0.1

Tabla 16: Datos para la densidad de corriente

Fuente: Elaboración propia

Datos del ánodo de MMO obtenido en tablas			
Ca (A-año-/lb)	capacidad practica	0.057	
U	factor de utilización	0.9	
Pa (%)	potencial del ánodo	0.90	0.10
		efectivo	desnudo

Tabla 17: Datos de ánodos de MMO.

Fuente: Elaboración propia, tomados de manual de fabricante "Tecnología total"

Cálculo de la corriente de protección total requerida

En el caso de estructuras recubiertas, donde la superficie desnuda sea pequeña, es necesario incluir la deducción de corriente solicitada por medio del revestimiento. Con la finalidad de determinar la corriente real que se pretende en el caso de Ventanilla, ya que la conductividad del recubrimiento dejará ingresar corriente a las tuberías, en aquella situación se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{cp} = I_{R1} + I_{R2}$$

$$I_{cp} = \frac{\% \text{área desnuda} \times \rho_{\text{corriente}} \times \text{área}}{1000} + \frac{\% \text{área efectiva} \times \rho_{\text{corriente}} \times \text{área}}{1000}$$

$$I_{cp} = \frac{0.10 \times 1.2 \times 6895.743}{1000} + \frac{0.90 \times 0.1 \times 6895.743}{1000}$$

$$I_{cp} = 1.448 \text{ A}$$

Tubería	D nominal	D real (m)	Longitud(m)	Área total (m2)	Área recubierta (90%) m2	Área desnuda (10%) m2
API 5L-X42	36"	0.91	2400	6895.745	6206.13	689.57

I (min) total	I(Ma)+Fs 30%
689.57	896.44

DCD	0.1	mA/m2
-----	-----	-------

Dónde:

- I_R : Corriente parcial requerida
- % área desnuda: Proporción del área superficial donde el revestimiento no es eficiente.
- Densidad de corriente 1 (ρ): Densidad que corresponde al área desnuda. (mA/ft2).
- %efectivo: 1-%área desnuda
- Densidad de corriente 2 (ρ): Densidad que corresponde a la zona recubierta. (mA/ft2)
- Área de la superficie a resguardar. (ft2)

Cálculo de la masa del material anódico

Podemos tasar la suma de ánodos de dos formas, basándose en la capacidad electroquímica o de acuerdo a la expulsión de corriente del ánodo. Es preciso decir, que la suma de ánodos por instalar debe sobrepasar ambos resultados.

En base a la capacidad electroquímica, podemos establecer el valor mínimo del peso del material anódico, también podemos hallar la corriente que se necesita para la protección total y anticipar la vida útil del sistema.

$$W_{min\ requerido} = \frac{Icp \times L}{Ca \times U}$$

$$W_{min\ requerido} = \frac{1.488 \times 20}{0.057 \times 0.90}$$

$$W_{min\ requerido} = 661.33\ lb$$

- Icp: Corriente de protección catódica que se requiere (A).
- L: Vida útil a estimar (años)
- Ca: Capacidad práctica del ánodo (A-año/lb).
- U: Factor de uso

Cálculo de la cantidad de ánodos a utilizarse en Ventanilla

Para determinar la suma debemos obtener algunos datos el cual nos brinda el fabricante.

Peso de ánodo	22	lb
Diámetro 3"	7.62	cm
Longitud 60"	152.4	cm

Tabla 18: Características de un ánodo de MMO.

Fuente: Hoja técnica de "TECNOLOGÍA TOTAL"



Figura 12: Imagen referencial de ánodo de MMO seleccionado.

Fuente: Ficha técnica de "TECNOLOGÍA TOTAL"

$$N^{\circ}\ \text{ánodos} = \frac{W_{min.\ requerido}}{W_{\text{ánodo}}}$$

$$N^{\circ} \text{ ánodos} = \frac{661.33 \text{ lb}}{22 \text{ Lb}}$$

$$N^{\circ} \text{ ánodos} = 30$$

4.2.1. Cálculo de las resistencias para el caso de Ventanilla

Esta será calculada con la ecuación de Dwight modificada, la cual permitirá verificar una apreciación inicial, donde la Resistencia del ánodo en posición vertical (R_a) es determinada a continuación, para el caso de Ventanilla:

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$$

$$R_a = \frac{4000}{2 * \pi * 152.4} \left[\ln \left(\frac{8 * 152.4}{7.62} \right) - 1 \right]$$

$$R_a = 17.02 \text{ ohm}$$

- ✓ R_a : Resistencia que posee el ánodo en posición vertical.
- ✓ ρ : Resistividad del suelo (ohm-cm)
- ✓ L : Longitud del ánodo (cm)
- ✓ d : diámetro del ánodo (cm)

4.2.2. Cálculo de la resistencia del cable

En este caso el fabricante envía el ánodo acoplado con 3 m de cable tipo HMWPE calibre 8 por lo que se ha considerado el mismo para el cálculo correspondiente.

Se estima para el cálculo una cantidad de 150 m de cable, de acuerdo al catálogo del fabricante, el cable TW AWG #8 tiene un $r'_{\text{cable}} = 2.1021/1000\text{m}$

CABLES Y ALAMBRES TW 80°C 450/750V

Calibre	Conductor		Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente	
	N° hilos	Resistencia DC a 20°C				A	B
AWG/kc m		Ohm/km	mm	mm	Kg/km	A	B
16	min 1	13,45	0,7	3,1	18	12	15
14	min 1	8,4443	0,8	3,5	29	22	28
12	min 1	5,3149	0,8	3,9	42	28	33
10	min 1	3,3436	0,8	4,5	63	33	44
8	min 1	2,1021	1	5,7	99	44	66
6	min 6	1,3226	1	6,6	150	61	88
4	min 6	0,8315	1,2	8,2	235	77	116
2	min 6	0,5230	1,2	9,7	359	105	154
1/0	min 18	0,3287	1,4	11,9	558	138	215
2/0	min 18	0,2608	1,4	12,9	692	160	248
3/0	min 18	0,2068	1,6	14,6	874	182	286
4/0	min 18	0,1640	1,6	16,0	1088	215	330
350	min 35	0,0992	2,0	20,9	1796	286	462

Tabla 19: Características del cable TW AWG #8.

Fuente: Catálogo de productos "CENTELSA"

$$R_c = r'_{cable} \times l_{cable}$$

$$R_c = 2.1021/1000 \times 150$$

$$R_c = 0.315$$

✓ r'_c : Resistencia del conductor (ohm/m)

✓ L_c : Longitud del conductor (m)

Si R_c es la resistencia del conductor en todo el sistema, 150 m es el total de material conductor a necesitar, determinamos que para un ánodo se necesita una longitud de 5 m, por lo que $R_c' = 0.01$ ohm, para el caso de Ventanilla

Cálculo de la Corriente de salida del ánodo

La corriente de salida en un ánodo depende del potencial que lo impulsa y de la resistencia que posee el circuito, tal como se detalla a continuación:

$$I_A = \frac{E_c - E_a}{R_a + R_c}$$

$$I_A = \frac{0.85}{17.02 + 0.01}$$

$$I_A = 0.049 \text{ A}$$

- ✓ E_c : Potencial polarizado del objeto a proteger.
- ✓ E_a : Potencial del ánodo.
- ✓ $E_c - E_a$: potencial impulsor
- ✓ $R_a + R_c$: Resistencia del circuito

Cálculo del número de ánodos, basándose en la corriente de salida – Para el Caso de Ventanilla.

$$\# \text{ ánodos}_{\text{mín}} = \frac{I_{cp}}{I_A}$$

$$\# \text{ ánodos}_{\text{mín}} = \frac{1.488}{0.049}$$

$$\# \text{ ánodos}_{\text{mín}} = 31$$

Contrastando los resultados del punto 3 y del punto 6, optamos por elegir el resultado más conservador, concluyendo colocar 31 ánodos, de tal forma que queden paralelos, enterrados de forma vertical en la orilla de la playa. La longitud del lecho anódico será de aproximadamente 144 m, por lo que el espaciamiento entre ánodos es 4.00 m.

Cálculo de las resistencias del lecho anódico – Caso Ventanilla.

$$R_{la} = \frac{\rho}{2\pi NL} \ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + \frac{2L}{s} \ln(0.656N)$$

$$R_{la} = \frac{4000}{2 * \pi * 31 * 152.4} \ln\left(\frac{8 * 152.4}{7.62}\right) - 1 + \frac{2 * 152.4}{400} \ln(0.656 * 31)$$

$$R_{la} = 1.96 \text{ ohm}$$

- R_{la}: Resistencia de los ánodos verticales
- ρ: Resistividad del suelo (ohm-cm)
- L: Longitud de ánodo (cm)
- d: Diámetro de ánodo (cm)
- s: Distanciamiento de ánodos (cm)
- N: Números de ánodos.

Cálculo de la corriente de salida de los ánodos:

$$I_a = \frac{E_c - E_a}{R_{la} + R_c}$$

$$I_a = \frac{-0.850 - (-1.75)}{1.97 + 10.5}$$

$$I_a = 0.39$$

Para que el valor sea admisible, se deben cumplir las siguientes condiciones:

El valor de la corriente de salida del ánodo debe sobrepasar a la corriente de protección catódica total requerida; de lo contrario, es necesario aumentar el número de ánodos (N) y se debe determinar un nuevo valor de espaciado entre ánodos en consecuencia. Los pasos 7 y 8 deben repetirse con estos nuevos valores. Este ejemplo verifica si la corriente que sale del ánodo ($I_A=0.07$) es menor que la corriente de protección catódica total requerida ($ICP=1.448$). Por lo tanto, se pueden seleccionar diferentes tamaños de ánodos, ánodos extruidos, diferentes configuraciones de instalación y ánodos adicionales, etc. para proporcionar la capacidad de corriente requerida.

Cálculo para selección de rectificador.

El rectificador es el núcleo de un impresionante sistema de protección catódica actual, por lo que dimensionarlo correctamente es un paso de diseño crítico. Se debe tener cuidado y certificar que el voltaje escogido sea suficiente para desviar la corriente necesaria y lograr la protección catódica del ánodo a la estructura. El voltaje necesario para este propósito es calculado por medio de la Ley de Ohm.

$$V_{tr} = I_{cp} * R_{total} + 2$$

La cual corresponde a la corriente y la resistencia total del circuito calculado. La resistencia total del circuito es:

$$R_{total} = R_{a,h} + R_{cables} + R_{s,re}$$

$$R_{total} = R_{la} + R_c + 2$$

$$R_{total} = 1.96 + 0.3 + 0.04$$

$$R_{total} = 2.3 \text{ ohm}$$

De acuerdo a dimensiones estándar, el rectificador será:

$$V_{tr} = 89.66 * 2.3 + 2$$

$$V_{tr} = 208 V$$

100 A-210V

Pero para mayor seguridad y eficiencia, además de mejorar la distribución en la corriente sugerimos el uso de 2 rectificadores de 50A y 110 VDC.

4.3. Determinar la viabilidad económica y financiera de la protección catódica.

Este apartado se basa en tres aspectos muy importantes, cuya información se obtiene de fuentes primarias, a saber: Detallar los sucesos, causas y consecuencias del vertido, y las respuestas de los responsables del mantenimiento y protección del mar y su entorno.

Según estadísticas de investigación, el área afectada es de unas 16 mil hectáreas, incluyendo: 46 playas, 2 reservas naturales, islas, islotes, el Sistema de Reserva Nacional Punta Guanera y la Reserva de Ancón.

El daño económico ocasionado por el vertido de petróleo en la refinería no se limita al impacto de este desastre medioambiental en nuestro país, sino que incluye las pérdidas. Por tal motivo, nos planteamos la posterior interrogante: ¿Cuál es el impacto financiero causado por tal catástrofe ambiental para los peruanos?

Perdida en pesca artesanal, agricultura, gastronomía y turismo

Tal calamidad ambiental posterior al derramamiento de petróleo ha limitado severamente los ingresos en mayoría de las actividades económicas que se efectúan alrededor de la zona afectada, por lo que se han visto suspendidas. Por ejemplo, la industria pesquera quedó afectada en su totalidad. Tal como indicó el representante de la Asociación de Extractores de Mariscos de la ciudad de Ancón, Héctor Santillán, confirmó que cada pescador producía 1,500 soles en su quehacer y lamentablemente a raíz del derramamiento las pérdidas ascienden a 100,000 soles diarios. En un inicio se determinó que aproximadamente 700 pescadores se vieron afectados, sin embargo, con el

pasar del tiempo y la expansión de la contaminación ascendieron a 2000 el número de afectados.

Con respecto a la suspensión de actividades en la industria pesquera, y comercial, en las localidades cercanas, produciría 3.5 millones de soles en pérdidas semanales.

Se ha determinado también que el turismo local ha experimentado importantes interrupciones, Hoteles, agencias de viajes, y restaurantes, etc. también se ven obligados a paralizar sus operaciones. En ese sentido, la pérdida para la industria sería de unos 200 millones de soles, dado que las playas afectadas son visitadas por 5 millones de personas en la temporada normal de enero a marzo.

Afectación económica a Repsol debido al derrame de petróleo.

Repsol, elaboró un informe de actividad, en donde le atribuye al Perú como “uno de los gobiernos más sobresalientes en términos de ingresos y actividades”, la cual se refleja en actividades de investigación, manufactura y mercadeo de petróleo, de igual manera en la transformación de gas natural y demás productos derivados. De igual manera se hace mención que de acuerdo a una última información se registra que en el Perú se empleó a 3 000 obreros y facturó 3 mil millones de dólares. En cuanto a la Refinería la Pampilla, se le menciona como una de las empresas más productivas de crudo en Latinoamérica y el Perú.

De acuerdo al registro de Repsol, fueron derramados 10,396 barriles de petróleo, esta cifra doblaba al valor mencionado anteriormente por Repsol, y con el que buscaba deslindar o reducir su responsabilidad. Lo que representa 1 millón de dólares que se perdieron a precio por barril a inicios de febrero del año 2022 donde bordeaba los 90 dólares. Sin embargo, el MINAM y la OEFA evalúan que 11,900 barriles se derramaron, valor que en dólares sobrepasan al millón.

Incluyendo el número de barriles declarados originalmente por el derrame, la multa fue de 30.000 UIT, o \$33,4 millones, pero según los nuevos registros, la sanción ahora es de 49.200 UIT, o unos \$58 millones. En otras palabras, la

multa casi se duplicó de la estimación original. Asimismo, según el abogado del MINAM Julio Guzmán Mendoza, según modelos econométricos que utilizan otros países en situaciones similares, las pérdidas podrían llegar a los 40 mil o 500 millones de dólares.

Considerando que el buque había 985,696 barriles de crudo, El monto mencionado anteriormente sobrepasa el valor que se suponía ganaría por la cantidad de petróleo que poseía el buque. Se estima bordea los 90 millones de dólares por barril.

El estado y la sustentabilidad ambiental en el desarrollo económico

En casos como estos, se debería establecer reglas firmes direccionadas a las empresas, para que se comprometan a revertir los daños provocados al medio ambiente, de igual manera asuman los gastos de mitigación.

El hecho de que el Estado no establezca estas reglas es una desventaja de larga data. Según un informe de Osinergmin y la OEFA, se determinó que, de 1.002 derrames de petróleo acontecidos en un rango de 24 años, no se han registrado remediación de daños. Asimismo, el impago de multas por parte de empresas contaminantes es una práctica común, de los \$ 95 millones multados a empresas petroleras en la selva, de los cuales el 85 % no fueron pagados. Por esta razón, existe la necesidad de enfocarse más en la sustentabilidad, especialmente en lo ambiental, ya que busca mantener o incrementar los niveles actuales de bienestar para las generaciones futuras. De esta forma, se previene o reduce el deterioro de los escenarios de vida y se incrementa el nivel de supervivencia.

En definitiva, el impacto económico de un vertido de petróleo se estima en al menos 500 millones de dólares, incluyendo las pérdidas económicas de Repsol y Perú. Para evitar tales pérdidas económicas, las empresas deben tomar medidas preventivas y correctivas para mitigar la corrosión en estructuras metálicas exhibidas a ambientes altamente dañinos para la misma.

Costos derivados de la aplicación del sistema de protección catódica

Al tener definidos el tipo de método de protección catódica necesario para aminorar la oxidación en la línea de carga y descarga de la refinería la Pampilla, procedemos a realizar un análisis de costos, teniendo en cuenta la información de fuentes de investigación. Se considera costos directos e indirectos, que comprenden desde la tesis, hasta la posible ejecución del mismo. Para una mejor comprensión se declararán los costos de todos los productos involucrados en el sistema, a través de unas tablas.

COSTOS DE MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO (Pile Wrap System) Y SPC	
Material	Costo
Pile primer	\$ 29,200.00
Pile Shield Wrape	\$ 345,000.00
Wax tape	\$ 4,000.00
Stainless banding	\$ 5,000.00
Costo de importación	\$ 10,000.00
Ánodos de MMO	\$ 800.00
Rectificador de corriente	\$ 1,500.00
Tableros	\$ 500.00
Otros	\$ 10,000.00
Total	\$ 406,000.00

Tabla 20: Costos de material S.P.C

Fuente: Elaboración propia, referencia; presupuesto presentado por "TECNOLOGÍA TOTAL"

COSTO DE PERSONAL OPERATIVO PARA LIMPIEZA E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA				
PERSONAL PROFESIONAL	CANTIDAD	JORNAL (DÍA)	TOTAL	TOTAL, DIAS (104)
Director del proyecto	1	\$ 9,000.00	\$ 9,000.00	\$ 936,000.00
Supervisores electromecánicos	3	\$ 3,000.00	\$ 9,000.00	\$ 936,000.00
Supervisores SSOMA	3	\$ 2,500.00	\$ 7,500.00	\$ 780,000.00
Técnicos electromecánicos	6	\$ 70.00	\$ 420.00	\$ 43,680.00
Buzos	8	\$ 150.00	\$ 1,200.00	\$ 124,800.00
Conductor de embarcaciones	2	\$ 100.00	\$ 200.00	\$ 20,800.00
Chofer de transporte terrestre	1	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 5,200.00
Personal administrativo	1	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 1,040,000.0
TOTAL	25	\$ 24,870.00	\$ 37,370.00	\$ 3,886,480.0

Tabla 21: Costos de personal operativo para la instalación del S.P.C

Fuente: Torres Luis, Carrión Roland (2023), referencia; presupuesto presentado por "TECNOLOGÍA TOTAL"

COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SPC	
Mano de obra	\$ 3,886,480.0
Máquinas y herramientas	\$ 15,000.0
Embarcaciones	\$ 45,000.0
Materiales	\$ 406,000.0
Transporte	\$ 40,000.0
Otros	\$ 20,000.0
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 4,412,480.0

Tabla 22: Costo total del S.P.C

Fuente: Elaboración propia, referencia; presupuesto presentado por "TECNOLOGÍA TOTAL".

Cálculo de los indicadores VAN (Valor actual Neto) y TIR (Tasa interna de retorno)

Flujo de caja de propuesta de sistema de protección catódica						
Item/año	0	1	2	3	4	5
Ingresos	0	147	147	147	147	147
Total Ingresos	0	147	147	147	147	147
Egresos	5	8	8	8	8	8
Utilidad	-5	139	139	139	139	139
VAN	474.47					
TIR	2.78%					

- ✚ Es decir, se tratan de egresos e ingresos de un mismo año:
- ✚ Egresos: US \$ 4' 412,480.00
- ✚ Ingresos: (Egresos Evitados) = US 147,000,000
- ✚ Relación Beneficio / Costo = 30.50 >> 1, por lo que el Proyecto de protección de tuberías alimentadoras de Petróleo en Ventanilla, es rentable
- ✚ Es decir, un VAN de 474,47 Millones y un TIR de 2,780 %

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo al trabajo de investigación y al MINAN, se producen alrededor de 12 millones de barriles de petróleo en el Perú de forma anual, cantidad de petróleo que es transportada a nivel nacional por una gran cantidad de tuberías de acero que pasan por el territorio peruano y atraviesan la costa sierra, selva y finalizan en los terminales marítimos, tuberías que están expuestas a altos niveles de alcalinidad, Ph distintos, y miles de bacterias que pueden deteriorar parte de la estructura de las tuberías , estos resultados coinciden con los expresados por Lira y Molineni, en (Dammert, 2018)

Según el trabajo de investigación, NACE, la Sociedad Nacional de Ingenieros de la corrosión, señaló que, en el año 2013, la tarifa global de la corrosión representó un 3.4% del PIB, y que este valor puede ser reducido de un 15% a 35%, del coste total de la corrosión estructural, tomando medidas de control ante la corrosión, estos valores de contradicen con los obtenidos en este estudio, en donde la falta de acciones de protección, origino que por evitar un costo de 5 Millones de US \$, se tuvo una pérdida de 147 US \$ Millones

La producción de petróleo en el Perú, trae una serie de inconvenientes que afectan de manera técnica, social y medioambiental. Nuestro país se ha visto afectado por los derrames de petróleo, y uno de los desastres más catastróficos fue el derrame de petróleo acontecido en el mar de ventanilla, producto del desprendimiento de una tubería en el terminal perteneciente a La Pampilla, que afecto a más de cinco Millones, este incidente tiene relación con el ocurrido a la Empresa BH en el Año 2010

Motivo por el cual, se avoco en realizar un estudio de investigación, tecnológico con el fin de encontrar una solución de mejora, en este caso para lograr mitigar la corrosión, problema que es causa del deterioro de las tuberías que son el medio de transporte de este fluido, y evitar que suceda este tipo de desastres que afecten social y económicamente al Perú y sobre todo al medio ambiente.

El presente trabajo se enfocó en el estudio de los aspectos físicos y químicos que son agentes de la corrosión, y en la búsqueda de un método que logre

reducir el impacto de estos agentes, y en consecuencia extender el periodo de vida útil de las tuberías.

Después de haber analizado propuestas presentadas en los trabajos previos y a través de investigaciones de nuevos métodos de protección ante la corrosión, podemos decir que, la mayoría optó por hacer uso de métodos y elementos comunes, para evitar correr el riesgo de fallas en el sistema. Sin embargo, existen nuevos métodos, nuevos diseños y tipos de ánodos, que, de acuerdo a estudios de factibilidad, tienen mejores propiedades físicas, y mecánicas, su funcionalidad es muy eficiente, incluso mejor que los convencionales, tal como los métodos de corrientes eléctricas impresas desarrollados en las experiencias anteriores referidas

Anteriormente se han realizado enfoques en diseñar sistemas de protección ante la corrosión de tuberías ocultas en el suelo o de estructuras metálicas como pilotes en la zona de splash y parte metálica de puentes, cabe mencionar aquellos diseños para tanques de almacenamientos, pero pocos han hecho énfasis en solucionar problemas de corrosión de tuberías sumergidas en el mar.

El perfeccionamiento de este trabajo nos muestra que el sistema de protección catódica por corriente impresa, con ánodos de MMO, combinado con la técnica del Pile Wrap System (sistema de envoltura de pilote), son una buena mezcla para que las tuberías lleguen a cumplir el periodo de vida útil estimado (20 años) y este es el caso que se aplicara en Ventanilla

Teniendo presente los escenarios ambientales y las dimensiones de los elementos a proteger, el Sistema de protección catódica por corriente impresa es el adecuado, ya que con este sistema permite la protección a estructuras de grandes dimensiones de forma remota, haciendo uso de cantidades mínimas de ánodos, y a su vez, gracias a su dimensionamiento pueden proteger más área, además que su tasa de degradación del ánodo es demasiado baja, lo que evita que su descomposición química afecte el medio ambiente, esta virtud de estos ánodos, reduce también los gastos por el mantenimiento, debido a que no se degradan rápidamente, no necesitan ser reemplazados constantemente, Este sistema hace su trabajo aún con una estructura que tiene superficies sin revestimiento.

La técnica del Pile Wrap System, es una mezcla de tres capas de distintos materiales, que forman una pared defensora que a su vez, permite duplicar el tiempo de vida estipulado para la estructura, la primera capa de pasta de petróleo, evita el contacto directo de la estructura con el aire circundante, la segunda capa, es una cinta impregnada de petróleo, ésta cumple la función de evitar que la primera capa sea desprendida o removida debido a la corriente del agua de mar que circula y asimismo evita la formación de burbujas de aire, ya que estas se convierten en focos de corrosión, tal como se detalla en las experiencias del Golfo de México y la Planta de Eten

La tercera capa es una chaqueta que sirve para proteger, las capas anteriores de los golpeos producto del oleaje y corrientes marinas, cada vez que sucede esto hay cambios de presión que impactan sobre la estructura. Además, la protege de aquellas incrustaciones que forman parte del lecho marino, ya que estas también son agentes que provocan la corrosión en las estructuras, el material de esta evita la formación de agujeros hechos por animales marinos, gracias al sellado hermético evita el ingreso de oxígeno presente en el mar.

En Ventanilla, resultó más beneficioso la instalación de pocos ánodos y de mayor dimensión, que la instalación de muchos ánodos de menor tamaño por toda una estructura. A nivel económico el precio de instalación de un sistema de protección catódica, fue menor a la cantidad de dinero por remediar debido a un derrame de petróleo, por lo que se consideró muy necesario la implementación de estos sistemas, actualmente en el Perú hay pocas empresas dedicadas a brindar este servicio, y pocos profesionales altamente capacitados, generalmente son empresas extranjeras a los que se les pide este servicio. Estos detalles hacen que los profesionales en este rubro sean muy bien remunerados.

VI. CONCLUSIONES

- Repsol es una empresa dedicada al transporte, distribución y comercialización de petróleo y demás productos derivados de hidrocarburo. Fue objeto de estudio con la finalidad de proponer un sistema de protección adecuado que no afecte el funcionamiento e integridad de la instalación y a su vez, evitar la contaminación del medio ambiente. Se identificó el mecanismo de corrosión de las tuberías, y determinó las características físicas y químicas del ambiente en el que son expuestas. Posterior a ello, se determinó el sistema de protección catódica por corriente impresa, y seleccionamos el ánodo de MMO, para la inyección de corriente, ya que cuenta con las características físicas y químicas adecuadas para el medio.
- Después de identificar los parámetros necesarios, Se logró dimensionar el sistema a través de cálculos requeridos para el sistema, y se determinó que, para la corriente requerida, es necesario la cantidad de 30 ánodos de MMO y un cable tipo TW AWG #8, para la inyección de corriente, además de dos rectificadores de 50A y 110 VDC
- Se determinó también el precio aproximado del sistema y se realizó un análisis comparativo, correspondiente a la pérdida económica producto de los derrames de petróleo. Es evidente que los costos de la implementación de un S.P.C. es menor a la cantidad de dinero perdido por el derrame de crudo en La Pampilla, ya que además de la pérdida de petróleo, se sumó la pérdida en actividades económicas que generaban altos ingresos, y por último se suma la multa aplicada por el ente fiscalizador, OSINERMIN.

VII. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar estudios previos del estado y las condiciones de los lugares donde podrá instalarse un sistema de protección catódica, esto permitirá a realizar un buen diseño lo que implica, determinar los parámetros y materiales adecuados.
- Es importante tener la documentación necesaria para la elaboración de un SPC, con hojas técnicas de capa insumo que se utilice, ya que estos dan información relacionada a las pruebas realizadas en laboratorios. Y confirman la factibilidad de cada uno de ellos.
- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento, preventivo, donde se programen monitoreos de forma periódica. Se recomienda que todas las actividades de la parte operativa y de proyectos, sean ejecutadas y planificadas teniendo en cuenta en primera instancia, el cuidado del medio ambiente y del personal.
- Actualmente la demanda de este tipo de servicio va en aumento, y son pocos los profesionales que se dedican a ello, es recomendable ponerle énfasis y capacitarnos en temas de corrosión y diseño de sistemas de protección catódica.

REFERENCIAS

- BRONCALES BAZÁN, W. J., & FLORIÁN VILCHEZ, J. A. (2018). *Influencia de la densidad de corriente y dosis de hipoclorito de sodio sobre la resistencia a la corrosión del acero inox AISI 304, protegido catódicamente con corriente impresa, expuesto en agua de mar natural contaminada con hipoclorito de sodio*. TRUJILLO-PERÚ: Universidad de Trujillo.
- RADERMACHER, L., MOSCALIUC, H., MARIN, D., LINGVAY, D., & OPRINA, G. (2016). Solución técnica innovadora para protección catódica intrínseca y electroprotección de un gasoducto subterráneo. *ProQuest*.
- Triviño Restrepo, M., & González, N. M. (2007). COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE COQUES METALÚRGICOS PARA PROTECCIÓN CATÓDICA. *ProQuest*.
- Vera, R., Bobadilla, C., & Madrid, A. (2006). Comportamiento de ánodos de sacrificio en la protección de aluminio NV-5083 en agua de mar, bahía de Valparaíso. *ProQuest*.
- AMAYA OROZCO, S. E., & GARNICA PIRANQUE, A. C. (2020). *SELECCION DE ALTERNATIVAS PARA RETRASAR LA CORROSION EN TUBERIAS EN AMBIENTES AGRESIVOS*. Bogotá- Colombia: Repositorio de Fundación Universidad De América.
- Anchante Barrientos, K., & Carrillo Gonzales, J. A. (2021). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA PARA MITIGAR LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS ENTERRADAS EN LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PLUSPETROL-PISCO. *Universidad del Callao*.
- Arriba Rodríguez, L. (2021). Dimensionamiento óptimo de sobreespesores en proyectos de estructura metálica enterrada. *Universidad de Oviedo*.
- Barrera Cruz, J. L. (2011). Evaluación de la Distribución de Corrientes y Potenciales Eléctricos en un sistema de Protección Catódica en Tuberías. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.

- Becerra Mosquera, J. A., Pardo Landrove, J. E., & Millán Pérez, J. M. (2017). *Structures with chloride attack. Application of cathodic protection in the bridge to Illa de Arousa*. España.
- Bocanegra Carrión, K. , García López, T., & Mejía Mendoza, D. (2022). *DERRAME DE PETROLEO EN LA REFINERIA LA PAMPILLA, RECOMENDACIONES FRENTE A UN DESASTRE AMBIENTAL QUE PUDO EVITARSE*. LIMA: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-03561.
- Cabrera Nicolás, C. R. (2018). *Producción de ánodos de grafito para protección catódica*. Mendoza- Argentina: Universidad Nacional De Cuyo.
- Calle Acosta , J. A., & Paredes Cedeño , J. I. (2020). Diseño del sistema de sujeción de ánodos galvánicos para el sistema de protección catódica en un muelle portuario. *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL* .
- Camacho García , L. C. (2019). REUTILIZACIÓN DE TUBERIA COMO ANODO DE SACRIFICIO PARA LA MITIGACIÓN DE LA CORROSIÓN EN EL MUNICIPIO DE TRINIDAD(CASANARE). *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*.
- CORONADO ALVARADO , J. A. (2021). *“DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA PARA TUBERÍA EN CAMPO DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO*. COLOMBIA: Repositorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Darío Hernández , M. (2019). Corrosión:Estudio de protección catódica en un buque. *Universidad de La Laguna*.
- Espinoza Jarrín , F. V. (2011). Automatización de un sistema de protección catódica para estructuras metálicas enterradas. *Escuela Politécnica Nacional* .
- García Quiroz, Á. S. (2021). Análisis y selección de un sistema de protección a la corrosión en zona de salpicadura en pilotes de muelles portuarios. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.

- Gómez Suclupe , J. H. (2020). Diseño de tanque de gasolina con anodos de sacrificio para optimizar su vida útil-caso Iquitos. *Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo*.
- Gonzales Boza, M., & Cruz Castro, J. (2017). Diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa en tuberías enterradas para la planta de almacenamiento de Hidrocarburos terminal Chimbote de Petroperú. *Universidad Nacional del Callao*.
- Gonzales García , A. (2015). ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO DEL SISTEMA ANTIFOULING PARA UN BUQUE LNG. *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA*.
- GUERRERO OLEJUA NIXON ALEXANDER, N. A., JAIMES MAESTRE LUIS EDUARDO, L. E., & PAREDES VEGA IGNACIO MANUEL , I. M. (2020). BANCO DIDÁCTICO DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA Y ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE VALLEDUPAR. *UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO*.
- Herradda Villanueva, J. (2020). NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN ATMÓSFERA MARINA PROPORCIONADA POR RECUBRIMIENTOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL. *Universidad Nacional del Santa*.
- Jazmín del R. Torres Hernández, E. D. (2017). *Evaluación de un sistema de protección catódica de un gaseoducto enterrado*. MEXICO: Revista latinoamericana Metal Mat.
- Lema Aguaiza , K. A., & Rea Gavilán , C. E. (2020). ESTUDIO DEL EFECTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN LA CORROSIÓN DE PLACAS Y JUNTAS SOLDADAS A TOPE DE ACEROS A 36 Y SA-516 GRADO 70. *Escuela Superior Politécnica de CHimborazo*.
- Lizano Borrero, K. A. (2016). Evaluación de titanio anodizado para su uso en sistemas de protección catódica por corriente impresa. *Repositorio Institucional PIRHUA*.

- Loachamin Nasimba , J. P. (2019). *Diseño y simulación de protección catódica en la industria petrolera*. Quito- Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Lopez Pasapera, S. (2020). PROPUESTA DE UN SISTEMA DE PROTECCION CON PINTURA PARA EVITAR LA CORROSIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA CIUDAD DE PIURA-2020. *Universidad Nacional de Piura*.
- LUCAS NEIRA, J. A., & NAULA PERALTA, A. M. (2022). *Diseño de un sistema de protección catódica por corriente impresa en acueductos de transporte de AA.PP*. Guayaquil - Ecuador: Repositorio de la universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Marcial Acosta, F. S. (2018). *Evaluación de la efectividad del sistema de protección catódica aplicado a la base de los tanques de almacenamiento de combustibles en el terminal de productos limpios Riobamba de la EP PETROECUADOR*. Riobamba-Ecuador: Escuela superior Politécnica del Chimborazo.
- Méndez Pérez , A. (2016). PROTECCIÓN CATÓDICA: Ánodos de Sacrificio. *Universidad de la Laguna*.
- MOHAMED HALAFAWI, NAWAR ABDULRAHMAN, & LAZĂR AVRĂM. (2020). External and internal cathodic protection of storage oil tanks. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 310-328.
- Molina Gómez , J. A. (2007). Diseño de sistema de protección catódica de pilotes metálicos tipo frodingham en muelles portuarios. *Repositorio Dspace*.
- MURCIA LEMUS, S., & TORRES HERRERA, S. K. (2019). DISEÑO DE UN TABLERO DE CONTROL QUE PERMITA LA IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN LOS DUCTOS DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL. *FUNDACIÓN UNIVERIDAD DE AMÉRICA*.
- Navarro Tovilla, G. D. (2018). EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE NÍQUEL, COBALTO Y BORO

(Ni-Co-B) EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA. *Repositorio Dspace*.

Ortega Rodriguez, R. F. (2019). *Diseño e instalación de un sistema de protección catódica para controlar la corrosión en el fondo de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en Engie Ilo 31*. Lima-Perú: Repositorio de la Universidad Tecnológica del Perú.

Pelayo Ruiz, L. (2018). *Marine Corrosion in Offshore Structures*. Cantabria-España: Escuela Técnica Superior de Náutica.

Pulido Capurro, V., Escobar Mamani, F., Arana Bustamante, C., & Olivera Carhuaz, E. (2022). Efectos del derrame de petróleo en la Refinería la pampilla en las costas del litoral marino, Lima (PERÚ). *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*, 4.

Pulido-Capurro, V., Arana Bustamante, C., Olivera-Carhuaz, E., & Gómez-Gonzales, W. (2022). Los primeros 60 días: crónica del derrame de petróleo en la Refinería La Pampilla del litoral marino peruano. 105-112.

Quishpe Gaibor, J. S., & Loachamin Nasimba, J. P. (2019). *LA ETICA PROFESIONAL EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA*. QUITO-ECUADOR: OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA.

Quispe Chumacero, k. J. (2018). *Diseño de un sistema de proteccion catodica aplicado al oleoducto, bajo el enfoque PMI*. PIURA- PERÚ.

Ramirez Fernández, J. A. (2021). Aplicación de un sistema Híbrido para el control de la. *Universidad Veracruzana*.

Ramos-Gómez , F., Adamés-Montero, Y., & Marrero-Águila, R. (2019). *Design of a Cathodic Protection System for Inside of a Storage Oil Tank*. CUBA: Centro de Investigaciones y Desarrollo Técnico (CIDT) del MININT.

REPSOL. (2017). *Manual de Mantenimiento de las líneas submarinas del terminal marítimo La Pampilla*. PERÚ: REPSOL.

- Rivera Sarmiento, A. (2022). *Evaluación del Ciclo de vida de Activos con la adopción de sistemas de control de corrosión en puerto de argos Marmonal*. Bogotá-Colombia: Repositorio de la Universidad de los Andes.
- Sanmiguel-May, J., López-Alcantara, R., Juárez-Arellano, E., Pérez-Quiroz, J., Contreras, A., & Pérez-López, T. (2021). *Performance Assessment of Magnesium Anodes Manufactured by sintering process*. México.
- Santiago Cárdenas , L. J. (2022). Evaluación electroquímica de TrasarTrac102 como inhibidor de la corrosión en el acero API 5LX65 y su estudio teórico. *Universidad Veracruzana*.
- Sosa Baz, M., Genescá, J., Pérez López , T., J.Reyes, R., Camacho-Chab, J., & Pérez-Quiroz, J. (2011). Análisis del funcionamiento de la protección catódica mediante rociado térmico de cinc, en estructuras de hormigón reforzado expuestas en agua de mar natural. *EBSCO DISCOVERY*.
- TORRES, & COLABORADORES. (2016). EVALUARON EL EFECTO DE LA DENSIDAD POTENCIAL ELECTROQUÍMICO Y VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LA CORRIENTE CATÓDICA APLICADA AL ACERO ASTM A-36 ENTERRADO EN SUELO HÚMEDO. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO*.
- Vaca Rodríguez , J. S. (2021). INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL TIPO DE RELLENO (SUELO) EN LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CINTAS ANÓDICAS. *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*.
- Vallejos Marín , O. G. (2021). *Diseño de Control Automático para un Sistema de Protección Catódica por corriente impresa aplicado a un ducto de transporte de hidrocarburos*. LIMA-PERÚ: Repositorio Universidad Tecnológica del Perú.
- Xu, Y., Zhang, W., Weizhuo, Y., Jianxu, D., & Sun, H. (2021). *Polythiophene-sensitized TiO₂ nanotube arrays for photo-generated cathodic protection of 304 stainless steel*. CHINA: Shandong University of Science and Technology.

ANEXOS

ANEXO 01: Cable TW 80°C



Cables para Construcción



Alambres y Cables TW-80

- Características:** Aislamiento retardante a la llama, resistente a productos químicos y a la humedad. Colores: Negro, rojo, amarillo, verde, blanco y azul.
- Conductor:** Alambre o cable de cobre suave.
- Aislamiento:** PVC – opción PVC LS (Low Smoke).
- Tensión de Operación:** 450/750V
- Temperatura de Operación:** En lugares secos y húmedos hasta 80°C
- Instalación:** En ductos, tuberías, túneles, en bandejas portacables (según NEC).
- Aplicación:** Usados para alumbrado eléctrico en edificaciones, instalaciones fijas de propósito general en residencias, edificios comerciales y redes interiores secundarias industriales.
- Rango de Calibre:** 2,5 mm a 300 mm² / 14 AWG a 500 kcmil
- Norma de Fabricación:** NTP 370.252

CABLES Y ALAMBRES TW 80°C 450/750V

Calibre	Conductor		Resistencia DC a 20°C	Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
	No. Hilos	AWG/kcmil					Ohm/Km	mm
16	mín 1	13,45	0,7	3,1	16	12	15	
14	mín 1	8,4443	0,8	3,5	29	22	28	
12	mín 1	5,3149	0,8	3,9	42	28	33	
10	mín 1	3,3436	0,8	4,5	63	33	44	
8	mín 1	2,1021	1	5,7	99	44	66	
6	mín 6	1,3226	1	6,6	150	61	88	
4	mín 6	0,8315	1,2	8,2	235	77	116	
2	mín 6	0,5230	1,2	9,7	359	105	154	
1/0	mín 18	0,3287	1,4	11,9	558	138	215	
2/0	mín 18	0,2688	1,4	12,9	662	160	248	
3/0	mín 18	0,2088	1,6	14,6	874	182	286	
4/0	mín 18	0,1640	1,6	16,0	1088	215	330	
350	mín 35	0,0992	2,0	20,9	1796	286	462	

Notas:
 (*) Temperatura: Temperatura 30°C, en 60 segundos.
 Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso.
 Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo están disponibles bajo pedido.



Cables para Construcción

CABLE TW 80°C 450/750V

Calibre	Conductor		Resistencia DC a 20°C	Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
	No. Hilos	AWG/kcmil					Ohm/Km	mm
2,5	mín 6	7,1928	0,8	3,6	33	24	30	
4	mín 6	4,4749	0,8	4,1	69	31	35	
6	mín 6	2,9897	0,8	4,7	89	39	50	
10	mín 6	1,7764	1	6,0	115	51	74	
16	mín 6	1,1163	1	7,0	174	68	99	
25	mín 6	0,7657	1,2	8,7	273	86	132	
35	mín 6	0,5086	1,2	9,8	369	110	165	
50	mín 6	0,3752	1,4	11,5	495	138	204	
70	mín 12	0,2598	1,4	13,3	696	165	253	
95	mín 18	0,1871	1,6	15,5	964	198	303	
120	mín 18	0,1485	1,6	17,0	1196	231	352	
150	mín 18	0,1204	1,8	19,0	1478	264	413	
185	mín 30	0,0961	2	21,2	1850	303	473	
240	mín 34	0,0732	2,2	24,1	2416	352	528	
300	mín 34	0,0682	2,4	26,9	3022	391	633	

Notas:
 (*) Temperatura: Temperatura 30°C, en 60 segundos.
 Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso.
 Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo están disponibles bajo pedido.

ANEXO 02: Ánodo MMO



Canister MMO

CORRIENTE IMPRESA
HOJA TÉCNICA

INSTALACIÓN

Debido a que estos ánodos son pre-empacados no requieren de coque adicional para funcionar adecuadamente y se instalan en un agujero ya sea horizontal o vertical siguiendo los direccionamientos del diseño.

Una vez instalados, se sugiere humectar alrededor de los ánodos para permitir un mejor contacto de ánodos con el suelo circundante.

Se debe tener especial precaución en la instalación del ánodo evitando manipular los ánodos por el cable para evitar daños en la conexión del cable con el ánodo interno de MMO.



VIDA DEL ÁNODO.

VIDA ÚTIL (Años)	AMPERIOS 3"x60"	AMPERIOS 3"x80"	AMPERIOS 8"x60"
15	1.00 A	2.70 A	14.63 A
20	0.80 A	1.92 A	11.70 A
30	0.56 A	1.34 A	8.78 A
40	0.45 A	1.08 A	5.85 A
50	0.36 A	0.86 A	2.93 A

NOTA

Para aumentar el tiempo de vida del sistema anódico se utilizan un mayor número de ánodos a fin de disminuir la descarga de corriente por ánodo y obtener un tiempo mayor de vida útil.

Cualquier inquietud respecto a nuestros ánodos, favor comunicarse vía página web.

GARANTÍA Y LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD.

TECNOLOGÍA TOTAL no será en ningún caso responsable de los daños de cualquier naturaleza que pudieran derivarse de una inadecuada utilización del producto. Antes de emplearlo el usuario debe determinar si el producto es o no adecuado al uso a que se le destina, asumiendo todo riesgo y la responsabilidad que puedan derivarse de su uso.

Si se prueba que un producto es defectuoso por material o por fabricación en el momento de la venta, o no cumple durante el periodo de garantía las propiedades indicadas en esta hoja técnica, la única responsabilidad de TECNOLOGÍA TOTAL consistirá en reponer al comprador la cantidad de producto que se muestre defectuosa. TECNOLOGÍA TOTAL no asume responsabilidad alguna por cualquier coste adicional tales como costes de fabricación, retiro o de re-aplicación de los productos. Si TECNOLOGÍA TOTAL ofrece a su cliente una garantía expresa o implícita, o una compensación que difiera de las establecidas en esta hoja técnica, dicha estipulación solo puede ser alterada mediante acuerdo firmado por las partes.



ANEXO 03: Dimensiones de las abrazaderas

Smart® Band Hybrid



The Hybrid name points to the unique patented design of the teeth that sit within the buckle. The low profile buckle is made from a composite of materials allowing for greater flexibility and providing a significant increase in strength over the Standard system. Smart® Band Hybrid is HCL's high strength composite polymer based band and buckle system. With a range of installation tools including the high speed 3000 pneumatic tool the Smart® Band Hybrid is the ideal solution for many offshore and onshore applications. Smart® Band Hybrid is typically used as an alternative to high grade corrosion resistant alloy strapping solutions such as Inconel 625, Monel & Titanium. The Hybrid system combines a number of excellent qualities such as high strength, ease of use, high retention, relaxation properties and long life, to provide the ideal strapping solution for offshore & subsea use.

Key Features

- Low Profile Buckle
- High strength up to 2629kgf (5793lbf)
- Long-life materials
- Safe and easy to fit
- High speed installation
- High retention force – above 918kgf (2023lbf)
- Suitable for divers

19mm (¾ inch)

32mm (1¼ inch)



Performance & Material

System		Max System Strength <small>Measured on 100mm Diameter</small>		Min Diameter		Max Temp Resistance*		Flammability*	
Dimensions		Material	kgf	lbf	mm	in	°C		°F
mm	in								
19	¾	PA12CF	1321	2911	200	4	110	230	HB
		PCM	1017	2238	200	4	95	203	
		PA66	1297	2859	200	4	125	257	
32	1¼	PA12CF	2344	5196	400	8	110	230	

*%M expectancy is dependent on the working temperature.



Dimensions, Part Numbers & Packaging

System		HCL Part No		Band Dimensions				Buckle Dimensions			Buckle		
Dimensions		Band	Buckle	Width	Thickness	Band Reel Length*		Height	Length	Width	Pack Qty		
mm	in	mm	mm	mm	in	m	ft	mm/in	mm/in	mm/in			
19	¾	SB6A-3/4	SB6U-3/4HY	19.2	0.76	3.6	0.14	30/90	100/200	12.8/0.50	59.0/2.30	53.0/2.09	50
32	1¼	SB6A-1¼	SB6U-1¼HY	32.0	1.27	4.7	0.19	90	100	16.8/0.66	195.5/7.70	76.8/3.02	25

*Band to buckle height is 20mm. Height with buckle fixed to buckle on order.



Tool Options & Retention

System		Min System Retention*				Speed of Installation	Tool Type	Tension Control
Dimensions		Tool	N	kgf	lbf			
mm	in							
19	¾	SMF1000-19	3500	357	787	20 secs	Manual	Torque Wrench
		SMF2000-19	3000	306	674	10 secs	Manual	Hand
		SMF3000-19	4000	406	899	5 secs	Pneumatic	Air Regulator
32	1¼	SMF1000-32	7000	714	1574	20 secs	Manual	Torque Wrench
		SMF2000-32	3500	357	787	10 secs	Manual	Hand
		SMF3000-32	9000	918	2023	5 secs	Pneumatic	Air Regulator

*Values may be lower depending on material choice. Please refer to Technical Booklet for more information.

Note: Values may be lower depending on Buckle Position, Material choice and Top Buckle Diameter. Please refer to the Technical Booklet for more information.

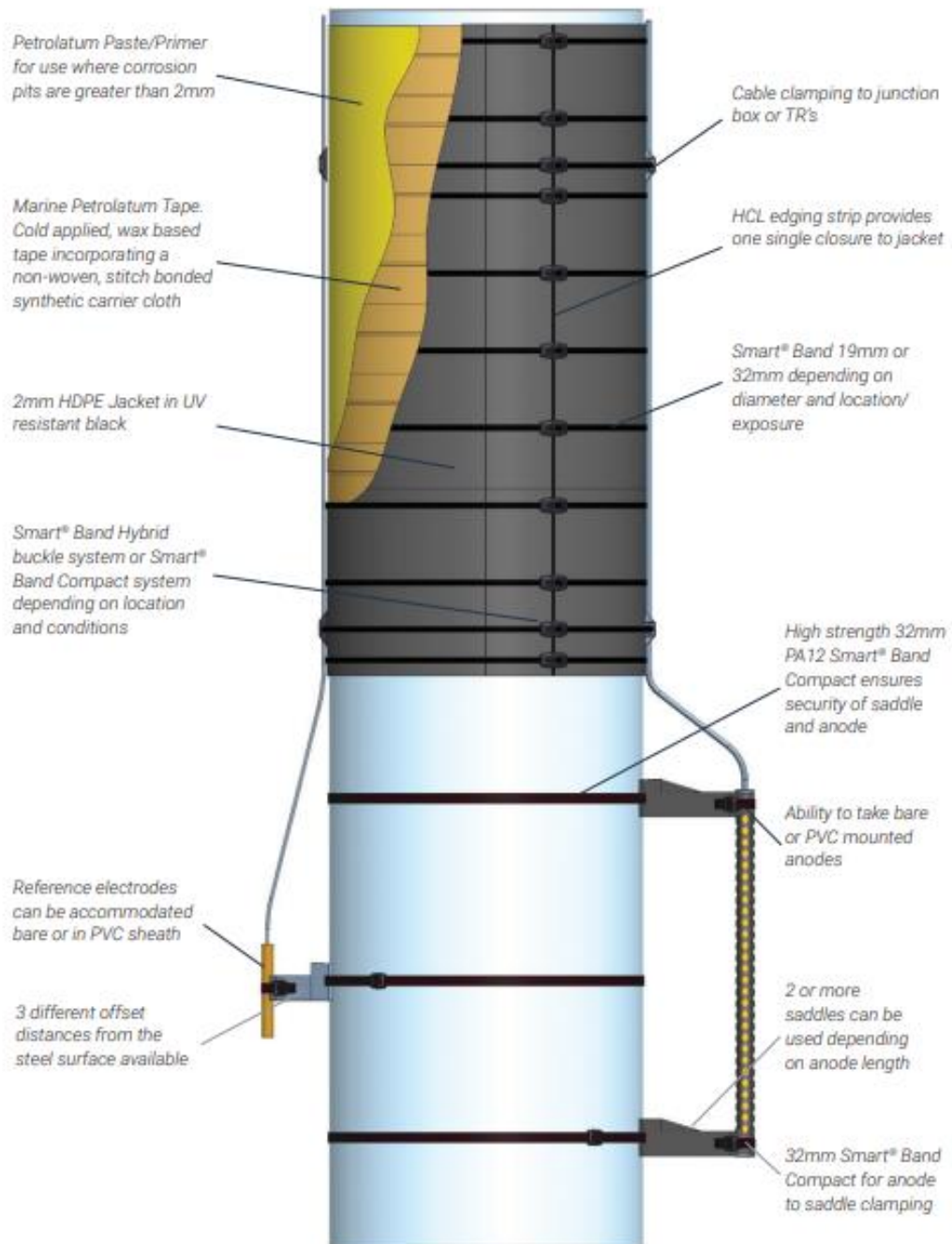
www.hclfasteners.com

COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001



ANEXO 04: Protección completa de pilotes

Complete Pile Protection



Operacionalización de Variables:

CONCEPTUAL	OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN		
VARIABLE INDEPENDIENTE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	Requerimiento de corriente	Área de superficie	Razón		
			Razón		
		Resistividad de terreno	Razón		
		Porcentaje de año	Razón		
		Densidad de corriente	Razón		
	Selección de fuente de poder	N° de ánodos a emplear		Nominal	
				Ordinal	
				Razón	
				De Intervalo	
		Voltaje requerido		Ordinal	
				Ordinal	
				Ordinal	
		Resistividad		Ordinal	
			Ordinal		
Resistencia total del circuito	Ordinal				

	Implementación del sistema de protección catódica	Montaje	Razón	
			Razón	
			Razón	
		Puesta en marcha	De Intervalo	
			De Intervalo	
VARIABLE DEPENDIENTE MITIGAR LA CORROSIÓN	Mitigación de la corrosión	Potencial electroquímico	Ordinal	
			Ordinal	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Propuesta de sistema de protección catódica para mitigar la corrosión en línea de carga y descarga en Refinería la Pampilla.", cuyos autores son TORRES MIRANDA LUIS ERNESTO, CARRION PADILLA ROLAND NILSSON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 01 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 03- 07-2023 10:35:52

Código documento Trilce: TRI - 0562817