

Diseño de un sistema de control de corrosión mediante la inyección de biocida en la
Estación Sebastopol de Cenit

Elizabeth Fonseca Cárdenas

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Química

Práctica Empresarial en Cenit “Transporte y Logística de Hidrocarburos”

Director:

Dionicio Antonio Laverde Cataño

Profesor Escuela de Ingeniería Química

Tutor:

Publio José Granados Becerra

Ingeniero Metalúrgico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga, Santander

2024

Dedicatoria

A mi padres, José Modesto Fonseca y María Elisa Cárdenas, por su apoyo incondicional siempre, por ser la motivación para nunca haberme rendido, por ser los seres que me dieron la vida y me han tratado de dar lo mejor siempre, por haber creído en mí y confiar en que no los iba a defraudar, por motivarme a tomar la decisión de emprender este camino y que hoy gracias a Dios y a ustedes logro culminar.

A mis hermanas, por ser las mujeres primordiales en mi vida, por estar siempre cuando más las necesité y por ser mi ejemplo a seguir para crecer personal y profesionalmente.

A mis sobrinos, por ser los seres que más amor me generan en el mundo y porque quiero que un día ustedes también lo puedan lograr.

A mi ángel en el cielo, por ser la luz en mi camino y el ángel de la guarda que siempre me acompañó, me acompañará y guiará por el resto de mi vida.

Con todo mi amor, para ustedes.

Agradecimientos

A Dios, por darme la sabiduría, capacidad, fuerza y salud para nunca desfallecer y haber podido llegar a en este punto tan importante en mi vida.

A Cenit “Transporte y Logística de Hidrocarburos”, por abrirme las puertas y brindarme la posibilidad de realizar mi práctica y aprender al lado de los mejores profesionales, a la Vicepresidencia Técnica y de Proyectos porque siempre me hicieron sentir parte de su equipo, a la Gerencia de Gestión de Activos y a la Jefatura de Desempeño de Líneas porque fue el área en la cual me aceptaron y permitieron realizar mi trabajo de grado en uno de sus segmentos claves como lo es el área de Gestión de la Amenaza de Corrosión.

De todo corazón mis más sinceros agradecimientos a los Ingenieros Carlos Salazar, Luis Earles Delgado, Milton Carvajalino y a mi tutor, el Ingeniero Publio Granados, que me brindaron sus experiencias, consejos profesionales y personales para poder cumplir hoy esta meta en mi vida, por estar siempre dispuestos a escucharme y darme todas las herramientas posibles para mi aprendizaje, a ustedes y todas y cada una de las personas con las que compartí, muchas gracias.

A la Universidad Industrial de Santander por ser mi alma máter y darme el título de profesional, a la Escuela de Ingeniería Química por la excelente educación impartida y su calidad humana.

A mi director de trabajo de grado, el docente Dionicio Laverde, por su acompañamiento en la redacción y creación de mi trabajo de grado.

A Nelly Fernanda Rodríguez, Karen Juliana Guatava y David Angarita por la amistad, la compañía y el apoyo incondicional que siempre me brindaron.

A todas y cada una de las personas y amigos que conocí en esta larga travesía, gracias.

Tabla de contenido

Introducción	13
1. Objetivos.....	14
1.1. Objetivo General.....	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. Marco Conceptual.....	14
2.1. Corrosión Influenciada Microbiológicamente (MIC).....	14
2.2. Métodos de mitigación de la (MIC).....	15
2.2.1. Selección de materiales	15
2.2.2. Condiciones de operación.....	15
2.2.3. Recubrimientos y protección catódica.....	15
2.2.4. Limpieza mecánica o raspado (marraneo).....	16
2.2.5. Tratamiento químico	16
3. Estado Del Arte.....	17
4. Metodología.....	19
4.1. Etapa 1. Caracterización del estado microbiológico.....	19
4.1.1. Toma de muestras acuosas	19
4.1.2. Análisis cuantitativo de bacterias	20
4.2. Etapa 2. Selección del biocida y equipo de inyección.....	21
4.2.1. Alternativas de biocidas disponibles en el mercado.....	21
4.2.2. Elección del biocida	22
4.2.3. Evaluación y selección de equipo de inyección	22

SISTEMA DE CONTROL DE CORROSIÓN CON INYECCIÓN DE BIOCIDA	5
4.3. Etapa 3. Diseño integral del sistema de inyección.....	23
4.3.1. Ubicación puntos de inyección.....	23
4.3.2. Delimitación de conexiones	24
4.3.3. Establecimiento de dosificación, frecuencias de inyección y monitoreo	24
5. Resultados.....	27
5.1. Etapa 1. Caracterización del estado microbiológico.....	27
5.1.1. Toma de muestras acuosas	27
5.1.2. Análisis cuantitativo de bacterias	28
5.2. Etapa 2. Selección de biocida y equipo de inyección.....	32
5.2.1. Alternativas de biocidas disponibles en el mercado.....	32
5.2.2. Elección del biocida	33
5.2.3. Evaluación y selección del equipo de inyección	34
5.3. Etapa 3. Diseño integral del sistema de inyección.....	36
5.3.1. Ubicación puntos de inyección.....	36
5.3.2. Delimitación de conexiones	38
5.3.3. Establecimiento de dosificación, frecuencias de inyección y monitoreo	39
6. Conclusiones.....	42
7. Trabajos a Futuro	42
Referencias bibliográficas.....	44
Apéndices.....	48

Lista de figuras

Figura 1. Tubería afectada por corrosión en el material.	18
Figura 2 . Metodología empleada.	19
Figura 3. Recolección de muestras acuosas.	27
Figura 4. Drenaje de fondo de tanque.	28
Figura 5. Inoculación en dilución seriada.	28
Figura 6. Ubicación punto de inyección línea 12”.....	36
Figura 7. Ubicación punto de inyección línea 16”.....	37
Figura 8. Conexiones para instalación de equipo de inyección.	39

Lista de gráficas

Gráfica 1. Resultados BSR en tanques 2023.	29
Gráfica 2. Resultados BPA en tanques 2023.	29
Gráfica 3. Resultados históricos BSR 2020-2022.....	31
Gráfica 4. Resultados históricos BPA 2020-2022.	31

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de biocidas usados en la industria Oil & Gas.	16
Tabla 2. Indicadores bacterianos permitidos por Cenit	20
Tabla 3. Condiciones de operación tuberías.	23
Tabla 4. Puntos de inyección de biocida.....	23
Tabla 5. Espacio y conexionado necesario.	24
Tabla 6. Cantidad de agua libre en tubería 12”.....	25
Tabla 7. Cantidad de agua libre en tubería 16”.....	26
Tabla 8. Equipo de inyección Solar.	34
Tabla 9. Equipo de inyección DC.	35
Tabla 10. Programa de tratamiento químico.....	40
Tabla 11. Programa de monitoreo.....	41

Lista de Apéndices

Apéndice A. Tablas de caracterización microbiológica.	48
Tabla A1. Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2023.	48
Tabla A2. Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2020.	49
Tabla A3. Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2021.	49
Tabla A4. Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2022.	50
Apéndice B. Ficha de Seguridad (FDS) Biotreat 4707.	50
Apéndice C. Ficha de Seguridad (FDS) Nalco EC6112A.	50
Apéndice D. Paper Cotización Equipos Inyección.	50
Apéndice E. Plano General de la Estación Sebastopol.	¡Error! Marcador no definido.

Abreviaciones

AC	Corriente alterna
AIChE	American Institute of Chemical Engineers
B2E	Biodiesel
BLS	Barriles
BPA	Bacterias Productoras de Ácido
BPD	Barriles Por Día
BSR	Bacterias Sulfato Reductoras
BSW	Basic Sediment and Water
CAPEX	Capital Expenditure (Gastos de Capital)
DC	Corriente Directa
EDS	Extinción por Dilución Seriada
FDS	Fichas De Seguridad
GPD	Galones Por Día
KBLS	Kilo Barriles
L12"	Tubería de diámetro de 12 pulgadas
L16"	Tubería de diámetro de 16 pulgadas
MIC	Microbiologically Influenced Corrosion
ml	Mililitros
OPEX	Operational Expenditures (Gastos de Operación)
PPM	Partes Por Millón
PSI	Libras por Pulgada Cuadrada
Q/día	Caudal de bombeo por día
THPS	Sulfato de Tetrakis - Hidroximetil Fosfonio
TK	Tanque
UFC	Unidad Formadora de Colonias
"	Pulgadas

Resumen

Título: Diseño de un sistema de control de corrosión mediante la inyección de biocida en la Estación Sebastopol de Cenit*

Autor: Elizabeth Fonseca Cárdenas**

Palabras Clave: Corrosión microbiológica MIC, Tratamiento Químico, Equipos de inyección.

Descripción:

Cenit “Transporte y Logística de Hidrocarburos” es la principal empresa del sector *Midstream* que provee a la mayor parte del país combustibles refinados y transporta el crudo para su posterior degradación. Dentro de sus políticas de seguridad con las personas, los activos y el medio ambiente, se encuentra la de aseguramiento de los sistemas de almacenamiento y transporte de refinados, evitando afectaciones en la integridad por mecanismos como la amenaza de corrosión interior. Bajo esta premisa, nace la necesidad de diseñar, gestionar e implementar un sistema que controle, mitigue y disminuya la propagación de microorganismos como Bacterias Sulfato Reductoras y Bacterias Productoras de Ácido, que son las principales generadoras de Corrosión Microbiológica (MIC).

Para esto se recolectaron muestras en fase acuosa de los drenajes de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos refinados de la Estación Sebastopol, buscando caracterizar por medio de inoculación de bacterias en dilución seriada las tasas de incidencia bacteriana presentes en los fluidos de dicha Estación, de modo que se corroborara la afectación por microorganismos en cada uno de ellos. Con base en estos resultados y en las condiciones operativas de las líneas de recibo, se estableció el tipo de biocida apto y el equipo de inyección acorde para implementar el sistema de tratamiento químico.

Para finalizar, se estableció el diseño integral del plan de inyección, considerando acciones claves para la dosis de biocida necesario a inyectar, la periodicidad en el monitoreo por medio de facilidades de corrosión y la ubicación estratégica de los equipos y puntos de inyección a implementar.

*Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dionicio Antonio Laverde Cataño, Profesor Escuela de Ingeniería Química. Tutor: Publio José Granados Becerra. Ingeniero Metalúrgico.

Abstract

Title: Design of a corrosion control system through the injection of biocide at the Sebastopol Station of Cenit*

Author: Elizabeth Fonseca Cárdenas**

Key Words: Microbiological Corrosion MIC, Chemical Treatment, Injection Equipment.

Description:

Cenit “Hydrocarbon Transportation and Logistics” is the leading company in the Midstream sector that supplies most of the country with refined fuels and transports crude oil for subsequent degradation. Among its security policies for people, assets and the environment are the assurance of refined storage and transportation systems, avoiding damage to their integrity due to mechanisms such as the threat of internal corrosion. Under this premise, the need arises to design, manage and implement a system that controls, mitigates and reduces the spread of microorganisms such as Sulfate - reducing bacteria and Acid Producing Bacteria, which are the main generators of Microbiological Corrosion (MIC).

For this, samples were collected in the aqueous phase from the drainage of the refined hydrocarbon storage tanks of the Sebastopol Station, seeking to characterize using inoculation of bacteria in serial dilution the bacterial incidence rates present to be corroborated in the fluids of said Station consequently the affectation by microorganisms in each of them was evaluated. Based on these results and the operating conditions of the receiving lines, the type of suitable biocide and the appropriate injection equipment were established to implement the chemical treatment system.

Therefore, the comprehensive design of the injection plan was determined, considering key actions for the biocide injection dose, the periodicity of monitoring through corrosion facilities and the strategic location of the equipment and injection points.

*Bachelor Thesis.

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Advisor: Dionicio Antonio Laverde Cataño, Professor Chemical Engineering. Tutor: Publio José Granados Becerra. Metallurgical Engineer.

Introducción

La práctica empresarial en la que se llevó a cabo este proyecto se desarrolló en Cenit "Transporte y Logística de Hidrocarburos", una empresa filial propiedad de Ecopetrol S.A, que se dedica al transporte de crudos y productos refinados a través de una red de oleoductos y poliductos mediante un sistema de 10 troncales y 54 estaciones en todo (Cenit "Transporte y Logística de Hidrocarburos", s/f).

En la Estación de Sebastopol se cuenta con un sistema de tuberías de 12 y 16 pulgadas de diámetro que reciben hidrocarburos refinados y los transfieren a los tanques de almacenamiento de la estación. En dichos tanques se presenta acumulación de agua por condensación, al tener cambios de temperatura y/o por agua lluvia filtrada a través de los sellos, además, el drenaje que se realiza no es totalmente efectivo, por lo que quedan trazas de agua en los combustibles, lo que genera crecimiento y reproducción bacteriana.

Los grupos bacterianos que se han encontrado en el drenaje de los tanques son los BSR (Bacterias Sulfato reductoras) y BPA (Bacterias Productoras de Ácido), los cuales son los que mayormente generan procesos de corrosión interna en los ductos, como la denominada Corrosión Inducida Microbiológicamente (MIC), esto conlleva a afectación en la integridad de las tuberías y en la calidad del producto transportado.

En torno a esta problemática surge la pregunta ¿Cómo combatir y minimizar la corrosión interna generada por presencia de bacterias en las tuberías de la Estación Sebastopol?, para esto, se busca diseñar un sistema de control y mitigación de corrosión (MIC) mediante la inyección de inhibidores de corrosión aptos como los biocidas usados especialmente en la industria del transporte de hidrocarburos refinados.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Crear un plan detallado para la implementación de un sistema de inyección de biocida en las tuberías de recibo de combustibles de la estación de Sebastopol de la empresa Cenit, con el fin de prevenir y controlar la corrosión generada por el crecimiento bacteriano en los tanques, con el fin de mantener la integridad de estos y la calidad de los combustibles transportados.

1.2. Objetivos Específicos

Realizar seguimiento de las tasas de crecimiento bacteriano presentes en los tanques y tuberías que transportan combustibles, para determinar el grado de corrosión actual, identificando las áreas de mayor riesgo de corrosión y establecer un punto de partida para el diseño del sistema de inyección.

Evaluar las opciones de biocidas y equipos disponibles en el mercado para determinar la opción más adecuada que cumpla con la prevención y el control de la corrosión generado por crecimiento bacteriano.

Diseñar un plan de instalación del sistema de inyección de biocida, teniendo en cuenta factores como la cantidad de biocida necesario, la frecuencia de inyección, la ubicación de los puntos de inyección y la forma de monitorear la eficacia del sistema.

2. Marco Conceptual

2.1. Corrosión Influenciada Microbiológicamente (MIC)

En la industria de hidrocarburos existen diferentes tipos de corrosión que afectan la integridad de los tanques y tuberías, una de ellas es la corrosión (MIC), descrita como el proceso en el que las actividades de microorganismos como bacterias aeróbicas y anaeróbicas junto con sus metabolitos, alteran el entorno ambiental y de superficie local adhiriéndose a las

paredes de los materiales, creando biopelículas y propiciando reacciones electroquímicas responsables de desencadenar la corrosión (Yang & Lietai, 2021).

Existen gran cantidad de bacterias que generan corrosión microbiológica, entre ellas, las Bacterias Sulfato Reductoras (BSR) y las Bacterias Productoras de Ácido (BPA).

Los BSR son microorganismos anaeróbicos relevantes relacionados con la corrosión localizada, porque son capaces de transformar el sulfato en sulfuro de hidrógeno, que es un fuerte agente de picaduras (Elshawesh et al., 2008). Y las BPA son bacterias generalmente aeróbicas que regulan el pH del entorno al acidificarlo, promoviendo así la adhesión de las bacterias BSR.

2.2. Métodos de mitigación de la MIC

Existen diferentes medidas comúnmente empleadas en la industria del petróleo y gas para gestionar eficazmente la amenaza de la corrosión MIC (Skovhus et al., 2017) , como:

2.2.1. Selección de materiales

En la fase de diseño de un activo, se debe optar por la mejor alternativa de selección de materiales, teniendo en cuenta los costos de capital y de operación (CAPEX y OPEX) con relación a la resistencia que provea el material a la amenaza de corrosión. (p.35)

2.2.2. Condiciones de operación

Es importante el control de variables como la presión, velocidad y régimen de flujo, ya que por ejemplo una velocidad suficiente puede conllevar al arrastre de agua y sedimentos, disminuyendo el potencial de generar MIC. (pp. 35-36)

2.2.3. Recubrimientos y protección catódica

Se pueden emplear revestimientos y recubrimientos internos que evitan el contacto de

la superficie del material con el medio líquido para evitar la corrosión. (p. 36)

2.2.4. Limpieza mecánica o raspado (marraneo)

La limpieza de tuberías y de recipientes del proceso es de gran utilidad para el control de la corrosión. Se realiza mediante el raspado interno de los sedimentos adheridos a la superficie del ducto, evitando acumulación de partículas que puedan generar MIC. (p. 36)

2.2.5. Tratamiento químico

Existe gran variedad de tratamientos químicos aptos para ser aplicados en las líneas de transporte de refinados y crudos como, por ejemplo, inhibidores de corrosión, biocidas, eliminadores de sulfuro de hidrógeno, agentes reductores de arrastre, entre otros, donde su funcionamiento se basa en la eliminación de los microorganismos causantes de la corrosión MIC. (p. 36).

2.2.5.1. Inyección de biocida: el biocida es una sustancia química que tiene el propósito de mitigar, neutralizar, impedir y eliminar por envenenamiento, la actividad microbiana con el fin de controlar las tasas de corrosión MIC (Stansbury E.E., 2000). La aplicación de un biocida se puede hacer mediante inyección, de manera continua o por lotes, según la necesidad y el grado de corrosión existente. Los biocidas en este sector se clasifican en tres tipos como se muestra en la Tabla 1; oxidantes, venenosos y bio-competitivos (Papavinasam, 2014).

Tabla 1

Tipos de biocidas usados en la industria Oil & Gas.

Oxidantes	Venenosos	Bio-competitivos
Cloro	Aminas	Nitrato
Bromo	Aldehídos	Nitrito
Hipoclorito	Contenido de azufre	Molibdato
Dióxido de cloro (ClO_2)	Otros	

Nota. Adaptado de *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry* por S. Papavinasam, 2014, p. 40. Recuperado de app.knovel.com. Copyright 2014 por Elsevier.

3. Estado Del Arte

La corrosión es uno de los mayores desafíos que enfrentan las refinerías que procesan petróleo crudo, generando desafíos operativos, como fugas inesperadas en las tuberías, interrupciones y paradas no planificadas.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de corrosión severa ocasionada por altas concentraciones de ácidos, como los naftenicos en una tubería de hidrocarburos, donde se forman ranuras en el fondo del ducto, generando corrosión y consecuentemente fugas (Olsen, 2018).

En la reunión anual de AIChE en 2005, se presentó una investigación sobre el uso de un nuevo potenciador biocida y glutaraldehído para controlar el crecimiento de bacterias sulfato reductoras (BSR), específicamente *Desulfovibrio desulfuricans*. Se observó que, aunque el glutaraldehído redujo significativamente el crecimiento de BSR, su efecto fue de corta duración. En contraste, el nuevo potenciador biocida demostró una supresión más prolongada (Zhao et al., 2005).

En 2006, en California, se discutió el uso de potenciadores de biocidas verdes que mejoraron la inhibición del crecimiento de BSR. Se identificó una nueva clase de potenciadores Tetrakis Hidroximetil Fosfonio (THPS) en la inhibición del crecimiento tanto de BSR sésiles biodegradables y no tóxicos que mejoraron la eficacia del glutaraldehído y el sulfato de como planctónicas (Wen & Gu, 2006).

En el AIChE Spring Meeting y el Congreso Global de Seguridad de Procesos de 2020, se presentó un estudio sobre la inhibición de la corrosión en acero dulce en entornos ácidos. Se examinó el uso de extracto de jugo de bayas (moras, arándanos, arándanos rojos y frambuesas) ricas en antioxidantes. El estudio evaluó la velocidad de corrosión, revelando que la eficacia del extracto de jugo de bayas alcanzó aproximadamente el 42%, posicionándolo como un

prometedor inhibidor de corrosión para tuberías de acero dulce (Albahrani & Worrall, 2020).

Figura 1

Tubería afectada por corrosión en el material.



Nota. Adaptado de *Implement an Effective Corrosion Mitigation Program* por T. Olsen, 2018. Recuperado de aiche.org. Copyright 2018 por American Institute of Chemical Engineers.

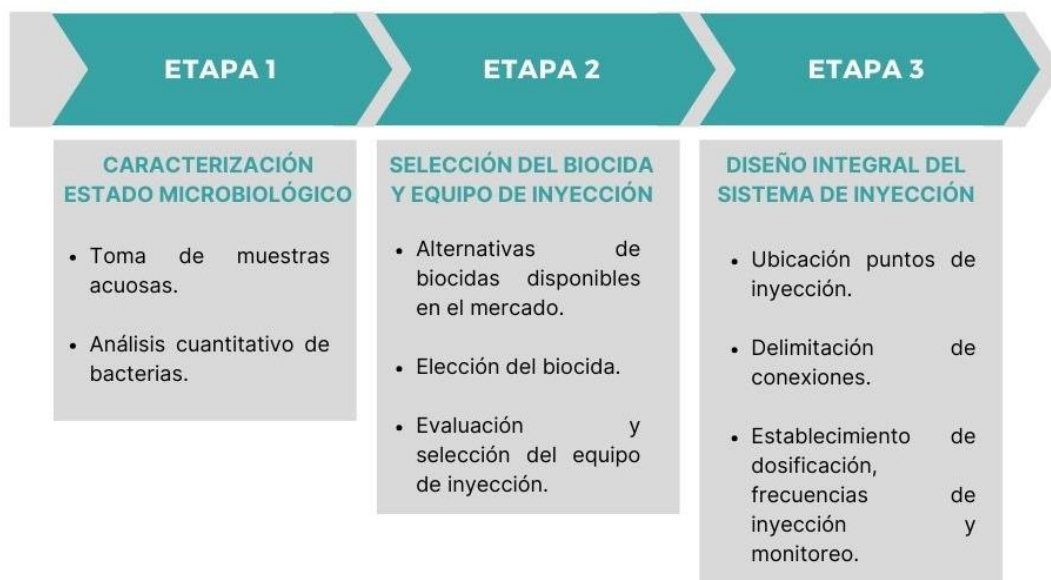
Nalco Water, empresa de Ecolab Company, presenta STABREX, una nueva tecnología antimicrobiana para combatir la Corrosión Microbiológicamente Inducida (MIC) en ductos de transporte. Esta innovación es menos agresiva que otros biocidas, penetra y elimina biopelículas de difícil acceso, y ofrece un rendimiento excepcional a pH elevados (Nalco Water, s/f).

En la empresa Cenit, se han implementado estrategias de mitigación y control de la corrosión microbiana en diversas plantas, incluyendo San Fernando, Monterrey, Apiay, Altos del Porvenir, entre otras. Un ejemplo concreto es el poliducto Apiay – Monterrey, donde se identificaron 4 puntos críticos de corrosión. Para abordar esta problemática, se ha decidido instalar un sistema solar automatizado de inyección de biocidas en el punto de despacho del oleoducto en la planta Apiay. Este enfoque busca optimizar la gestión de la corrosión y garantizar la integridad de los ductos en estas instalaciones.

4. Metodología

Figura 2

Metodología empleada.



4.1. Etapa 1. Caracterización del estado microbiológico

4.1.1. Toma de muestras acuosas

Para conocer de manera cuantitativa la cantidad de BSR y BPA se procedió a realizar la recolección de muestras acuosas en cada uno de los drenajes de los tanques TK-8102, TK-8105, TK-8106, TK-8107, TK-8111, TK-8112, TK-8113, TK-8114, TK-8115, TK-8116, TK-8117, TK-8118, TK-8119, TK-8120 y TK-8121 los cuales corresponden a almacenamiento de hidrocarburos refinados. El procedimiento se realizó con base en los siguientes pasos:

1. Se seleccionó el tanque a monitorear con la ayuda del operador.
2. Se abrió la válvula de fondo del tanque dejándola drenar por espacio de uno a dos minutos para desalojar producto o agua almacenada en el tubo.
3. Cuando el agua de salida fluía en un estado claro se procedió a tomar la primera muestra ubicando el recipiente lo más cercano posible a la válvula de drenaje para evitar la contaminación con oxígeno.

4. Se llenó el recipiente hasta que rebosó y se tapó realizando presión para eliminar trazas de oxígeno restantes dentro del recipiente.

4.1.2. Análisis cuantitativo de bacterias

La realización de este análisis se basó en el cumplimiento de la norma interna empresarial de Cenit con relación a los valores permitidos de presencia bacteriana de tipo BSR y BPA en los tanques de almacenamiento y relevo de hidrocarburos refinados, la cual se detalla a continuación:

Tabla 2

Indicadores bacterianos permitidos por Cenit.

Parámetro	Criterio	Unidad
BSR	≤ 100	Bacterias/ml
BPA	≤ 100	UFC/ml

Nota. Adaptado de *Procedimiento general para la aplicación de tratamiento químico en líneas de transporte y tanques de almacenamiento de hidrocarburos para el control de corrosión interior* por C. Granados, 2019, p. 15-16. Recuperado de Cenit Transporte y Logística de hidrocarburos S.A.S.

4.1.2.1. Resultados microbiológicos actuales: con base en las muestras recolectadas se procedió a realizar el análisis microbiológico de manera cuantitativa para identificación bacteriana de los grupos BSR y BPA por medio de inoculación de bacterias en dilución seriada por medio de viales de recuento, como se especifica a continuación.

1. Se dispone de 6 viales para el análisis de BSR y 6 para BPA, que contienen material orgánico para la detección bacteriana.
2. Utilizando una jeringa, se extrae una muestra de 1 cm³ del líquido de drenaje de cada tanque. Esta cantidad se inyecta con precaución en el primer vial correspondiente al tipo de detección bacteriana.

3. Se procede a transferir la misma cantidad de líquido inyectado de cada vial al siguiente, evitando la entrada de aire en cada paso.
4. Los viales tratados se dejan reposar durante 28 días a la temperatura ambiente de los tanques.
5. Al concluir el período de reposo, se observa el crecimiento bacteriano en cada vial, evaluando de manera exponencial la cantidad de bacterias presentes en cada tanque.
6. Finalmente, se consolida la información obtenida del conteo bacteriano realizado para cada tanque.

4.1.2.2. Análisis resultados históricos: de la base de datos de Cenit se tomaron los resultados obtenidos de muestreo microbiológico para identificación de BSR y BPA de los años 2020, 2021 y 2022, con el fin de evaluar la incidencia y propagación bacteriana en los tanques de interés.

Esta revisión se realizó tomando la data resultante de BSR y BPA para los años especificados, teniendo en cuenta la fecha de la inspección, la denominación del tanque y la cantidad de bacterias encontradas, luego, se procedió a graficar, de manera separada, la tendencia anual de los valores encontrados por cada tanque para cada tipo de bacterias (BSR y BPA) de manera tal, que se pudiera visualizar el incremento o disminución de las tasas bacterianas encontradas en cada una de ellas.

4.2. Etapa 2. Selección del biocida y equipo de inyección

4.2.1. Alternativas de biocidas disponibles en el mercado

Se contactaron dos empresas reconocidas a nivel nacional e internacional que ofrecen servicios de control, prevención y mitigación de la Corrosión Microbiológica Inducida (MIC) mediante el uso de biocidas. Estas empresas son CLARIANT COLOMBIA S.A y Nalco – Water Ecolab Company. La interacción con Nalco - Water se llevó a cabo de manera virtual a

través de correos electrónicos y llamadas telefónicas, mientras que con CLARIANT se realizó de manera presencial mediante workshops, donde presentaron las opciones más destacadas de biocidas disponibles. (Clariant S.A, 2023)

La búsqueda se basó en los resultados obtenidos del monitoreo en fase acuosa a los tanques analizando que la opción de biocida cumpliera con las necesidades a mitigar para la Estación Sebastopol. Además, se indagó en la literatura las características fisicoquímicas de cada biocida para validar la compatibilidad, así como los riesgos medioambientales y las investigaciones realizadas en torno al desarrollo de estos productos químicos.

4.2.2. Elección del biocida

Con base en la caracterización microbiana realizada a los tanques de la Estación y considerando factores como el tipo de metabolismo de las bacterias presentes (aeróbico y anaeróbico), las tasas de crecimiento bacteriano de BSR y BPA a mitigar, según los valores encontrados y el nivel de pH de cada grupo bacteriano y de las opciones de biocidas, se llevó a cabo la elección del químico más compatible.

Además, se contemplaron los valores obtenidos para BPA, ya que fueron los que presentaron mayor incidencia en el crecimiento a la vez que se tuvo en cuenta la característica ácida de este grupo seleccionando la opción de biocida con un pH acorde que atacara este tipo de bacterias.

4.2.3. Evaluación y selección de equipo de inyección

En la elección del equipo de inyección, se consideraron las especificaciones detalladas en la Tabla 3 referentes a parámetros operacionales indispensables a comparar en las especificaciones técnicas de cada equipo consultado.

Tabla 3*Condiciones de operación tuberías.*

Parámetro	Línea de 12"	Línea de 16"
Caudal (BPH)	2600	3200
Presión (PSI)	300	600
Temperatura (°C)	~ 30	~ 30

Se estableció contacto con Sirius Instrumentation and Controls Inc. una empresa especializada en suministrar equipos, instrumentos y controladores para la industria del petróleo y el gas. Como resultado, la empresa proporcionó dos cotizaciones de equipos que cumplen con las condiciones requeridas.

4.3.Etapa 3. Diseño integral del sistema de inyección

4.3.1. Ubicación puntos de inyección

Se realizaron inspecciones visuales en el campo para identificar las dos posibles ubicaciones de inyección de biocida en las tuberías. Se determinó que el tratamiento químico debe ser inyectado en las líneas de recepción de los cabezales de 12" y 16", asegurando así el suministro del insumo a la totalidad de los tanques de almacenamiento de combustibles, según se detalla en la Tabla 4. Estos puntos seleccionados se especificaron en un diagrama de flujo (PFD), donde se visualizan los tanques que cubren cada una de las líneas inyectadas.

Tabla 4*Puntos de inyección de biocida.*

Punto de inyección	Tanques beneficiados	Fluido almacenado
Cabezal de recibo de la línea de 12"	TK-8102	Kerosene
	TK-8105	B2E
	TK-8106	Gasolina Motor
	TK-8107	Refinado no definido
	TK-8111	Gasolina Extra
	TK-8112	B2E

	TK-8113	Gasolina Motor
Cabezal de recibo de la línea de 16"	TK-8114	B2E
	TK-8115	B2E
	TK-8116	Nafta
	TK-8117	Gasolina Motor
	TK-8118	Nafta
	TK-8119	Nafta
	TK-8120	Virginoil
	TK-8121	B2E

4.3.2. Delimitación de conexiones

Para la implementación del sistema de inyección de biocida fue necesario considerar el acceso a conexiones y disposición de espacio necesario para instalar un equipo de tratamiento químico, como se detalla en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5

Espacio y conexionado necesario.

Aspectos necesarios	Requerimiento físico	Conexión	Disponibilidad
Caseta de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Bulk drum (tanque almacenamiento químico) 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio aprox. de 3 m² 	Si
	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de inyección • Bomba de trasiego de químico 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica • Energía solar (depende del equipo) • Combustible 	Si
Consola	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación cuartos de control • Válvulas y equipos de instrumentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica • Señal transmisora 	Si
Tubing o manguera de transvase	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio para instalación de tubería 	<ul style="list-style-type: none"> • Línea 12": aprox. 20 m. • Línea 16": aprox. 25 m. 	Si

4.3.3. Establecimiento de dosificación, frecuencias de inyección y monitoreo

4.3.3.1. Dosificación de biocida: se realizó en función de la cantidad de agua libre en los tanques de almacenamiento según la tubería que abastece a cada uno de ellos, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Vol. Química} = \frac{(PPM)(\text{Volumen de agua libre/tubería}[BPD])}{23810} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

- Vol. Química = Cantidad de biocida en volumen a inyectar [GPD].
- Volumen de agua libre/tubería = Cantidad de agua libre en total por tubería [BPD].
- 23810 = Constante para conversión de unidades de $\frac{[PPM][BPD]}{[GPD]}$.

Para conocer la cantidad de agua libre, se tuvo en cuenta el concepto de BSW (Basic Sediment & Water) que se refiere a la cantidad de sólidos y sedimentos acumulados en la producción y almacenamiento de hidrocarburos (Capelo Yáñez, 2010), el cual fue de 0,1% considerando que la alta cantidad de bacterias encontradas corresponde a niveles considerables de acumulación de agua en los tanques, y según la literatura el contenido permitido de agua y sedimentos de agua en crudos/refinados es adecuado si es menor a 0.5% de la capacidad nominal de cada tanque (Speight, 2020), de modo que se relacionó el valor de BSW asumido para calcular la cantidad de agua libre contenida en cada tanque y en su totalidad según la tubería que abastece cada uno de ellos, como se muestra en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6

Cantidad de agua libre en tubería 12”.

Tubería de 12”		
Denominación tanque	Capacidad nominal (KBLS)	Cantidad de agua libre (BLS)
TK-8102	20	20
TK-8105	10	10

TK-8106	10	10
TK-8107	10	10
TK-8111	50	50
TK-8112	50	50
TK-8113	40	40
Total (BPD)	190	190

Tabla 7

Cantidad de agua libre en tubería 16”.

Tubería de 16”		
Denominación tanque	Capacidad nominal (KBLS)	Cantidad de agua libre (BLS)
TK-8114	40	40
TK-8115	50	50
TK-8116	100	100
TK-8117	90	90
TK-8118	100	100
TK-8119	20	20
TK-8120	20	20
TK-8121	20	20
Total (BPD)	460	440

A su vez, fue necesario asumir un valor de concentración del biocida en PPM para conocer el volumen final de químico a inyectar; este valor fue establecido en 1000 PPM por la alta incidencia bacteriana encontrada en las muestras microbiológicas realizadas.

4.3.3.2. Frecuencia de inyección: se tomaron como base las especificaciones técnicas delimitadas por Cenit donde se establece un esquema de inyección de biocida de acuerdo con:

- Tipo de fluido almacenado en cada tanque.
- Cantidad de agua almacenada en cada tanque.
- Históricos de población bacteriana.

Considerando que la afectación y el crecimiento bacteriano era considerablemente alto, se procedió a establecer la frecuencia de inyección siguiendo los parámetros mencionados anteriormente junto con la normativa establecida por Cenit.

4.3.3.3.Frecuencia de monitoreo: este se establecerá de acuerdo con las facilidades de monitoreo instaladas en las líneas de recibo de la estación, como cupones y biocupones de corrosión donde se analizarán por la técnica de ‘Extinción por Dilución Seriada’ (EDS) la cantidad de BSR y BPA encontradas, según la norma NACE *Standard Test Method Field Monitoring of Bacterial Growth in Oilfield Systems* (Fajt et al., 2019).

Con base en esta información se determinó la frecuencia de tratamiento de cada facilidad, donde se establecieron periodos de monitoreo acordes a los lineamientos establecidos por Cenit. Este plan está sujeto a posibles cambios, mejoras y/o adecuaciones en la periodicidad según los resultados que se obtengan una vez se implemente el presente sistema de inyección planeado.

5. Resultados

5.1.Etapa 1. Caracterización del estado microbiológico

5.1.1. Toma de muestras acuosas

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los registros fotográficos que evidencian la recolección de muestras en fase acuosa realizadas previamente a cada uno de los drenajes de los tanques que se encontraban en funcionamiento y/o con fluido almacenado presentes al momento de hacer el monitoreo en la Estación Sebastopol.

Figura 3

Recolección de muestras acuosas.



Figura 4

Drenaje de fondo de tanque.

**Figura 5**

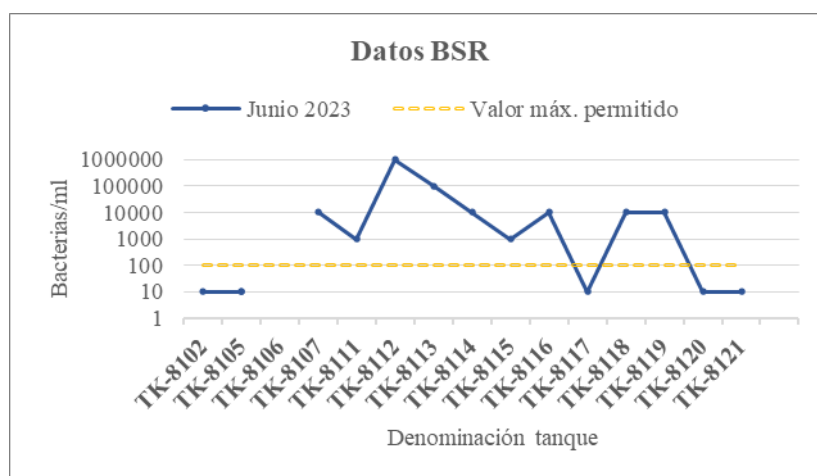
Inoculación en dilución seriada.

**5.1.2. Análisis cuantitativo de bacterias**

5.1.2.1. Resultados microbiológicos actuales: en las Gráficas 1 y 2, se muestra la tendencia del crecimiento bacteriano con relación a los valores cuantitativos de bacterias BSR y BPA, respectivamente, presentes por mililitro en el muestreo acuoso tomado del drenaje de cada tanque en la Estación Sebastopol. Ver Tabla A1.

Gráfica 1

Resultados BSR en tanques 2023.



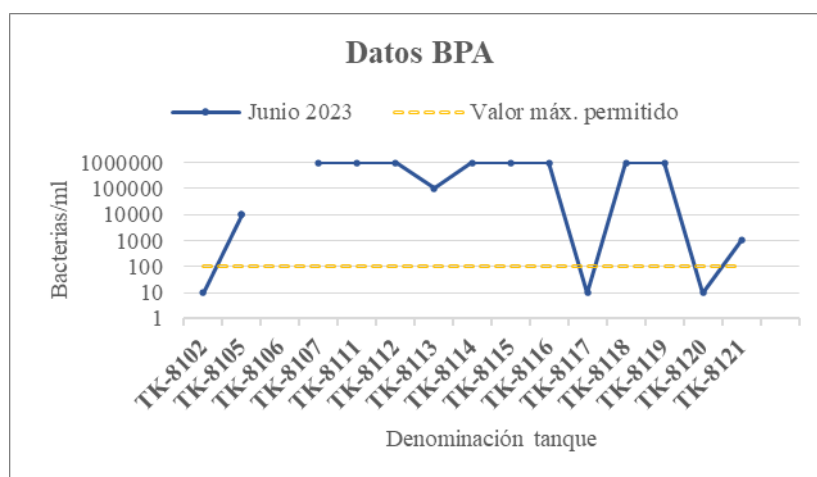
Observando la tendencia de los datos con relación al tipo de bacterias BSR, se visualiza que, de 15 tanques inspeccionados, solo 5 se encuentran por debajo del límite permitido de presencia de microorganismos según la normativa de Cenit, los 10 restantes muestran tendencia a la acumulación bacteriana por lo que son más propensos a la amenaza de corrosión.

Ahora, analizando la Gráfica 2, donde se presentan los resultados para BPA, es notorio que 3 de 15 tanques cumplen con el mínimo permisible de presencia bacteriana, indicando que los 12 restantes presentan gran cantidad de bacterias, ya que en la mayoría de los tanques los niveles cuantitativos de microorganismos son bastante elevados en relación con el máximo permitido.

Teniendo en cuenta la normativa vigente por la que se rigen los activos pertenecientes a la empresa Cenit, se evidencia que las cantidades de bacterias encontradas superan el límite permitido de 100 Bacterias/ml para los análisis realizados a corte de junio de 2023.

Gráfica 2

Resultados BPA en tanques 2023.



5.1.2.2. Análisis resultados históricos: las bases de datos resultantes de la toma de muestras microbiológicas para identificación de bacterias BSR y BPA de los últimos tres años (2020, 2021 y 2022), se muestran en las Gráficas 3 y 4 respectivamente. Ver Tablas A2, A3 y A4.

De la Gráfica 3 para 2020, solo presentaron índices bacterianos 5 tanques de los 15 presentes en la Estación, donde 3 de ellos contaban con contaminación por bacterias en cantidades relativamente bajas y/o estaban en el límite máximo permitido, los otros 2 tanques presentaron un índice de bacterias superior al permitido, sin embargo, fue relativamente bajo. En cuanto a los 10 tanques que no presentan data se debió a que para dicho año estos tanques no contenían aún ninguna traza de contaminación bacteriana del tipo BSR.

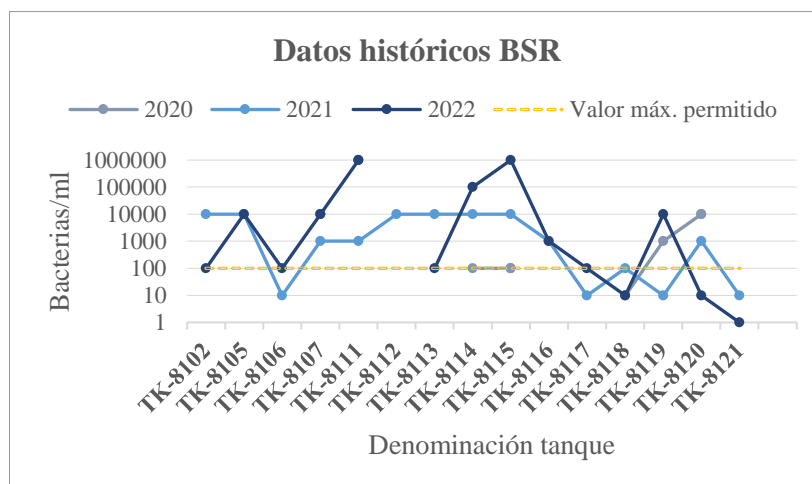
Posteriormente, para el análisis hecho en 2021, la presencia y cantidad de bacterias incrementó de manera significativa, llegando a valores superiores a 1000 bacterias por mililitro en 11 de los tanques muestreados, los demás contaban con presencia bacteriana que, a pesar de encontrarse en cantidades bajas y cumplir con la norma, se evidencia la incidencia y contaminación por BSR en cantidades no deseadas.

Finalmente, para el año 2022, se aprecia claramente que los valores cuantitativos de BSR superan las tasas obtenidas en el año anterior, llegando a un millón de bacterias por

mililitro, lo que ya es perjudicial para la calidad de los fluidos almacenados, así como para la integridad de los ductos.

Gráfica 3

Resultados históricos BSR 2020-2022.

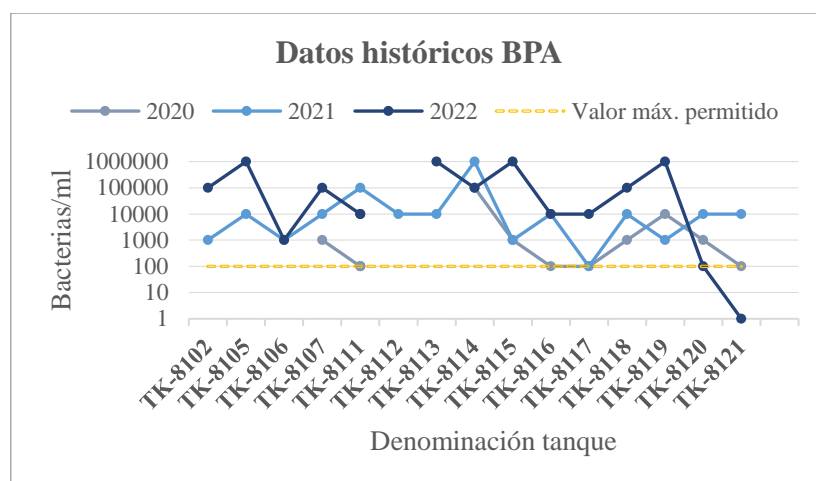


En cuanto a la identificación de bacterias de tipo BPA, los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 4, donde se evidencia que todos los tanques inspeccionados en los años referenciados cuentan con presencia de BPA superiores al límite permitido, exceptuando el TK-8121 que en 2022 presentaba índice microbiológico inferior al aceptable por la normativa establecida debido a que, en este año, el tanque entró a mantenimiento durante varios periodos.

Sin embargo, es evidente la prevalencia y existencia de BPA en todos los tanques de la estación, debido a posibles cambios en las temperaturas internas de almacenamiento de los productos refinados que, por su composición, conllevan a cambios en el pH y consecuentemente generación de bacterias BPA, presentando, como se evidencia en la Gráfica 4, cantidades bastante elevadas, superiores a las permitidas.

Gráfica 4

Resultados históricos BPA 2020-2022.



En términos generales se puede inferir que, estos problemas de incidencia bacteriana surgen debido a que no existe un sistema de control y mitigación en los tanques de la Estación Sebastopol, por ende, la generación de microorganismos incrementa con el paso de los años donde se evidencia valores mayores a los permitidos por la normativa interna de Cenit.

5.2. Etapa 2. Selección de biocida y equipo de inyección

5.2.1. Alternativas de biocidas disponibles en el mercado

Según el resultado de las investigaciones hechas se encontraron las siguientes opciones de biocidas e inhibidores de corrosión que cumplen con las necesidades específicas requeridas:

- Benzoato de sodio:** el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT), evaluó la eficiencia del inhibidor de corrosión con propiedades biocidas para el control de MIC en acero al carbono en presencia y ausencia de *Pseudomonas Aeruginosa*, mediante curvas de polarización, medidas de peso y análisis de superficie. Los resultados obtenidos mostraron que el benzoato de sodio era eficiente como inhibidor de corrosión en presencia y ausencia de microorganismos (CIDEPINT, 2021).
- Biotreat 4707:** solución líquida incolora con olor característico con concentración $\geq 70\%$ de Tetrakis-hydroxymethyl Phosphonium Sulfate (THPS). Es un tipo de biocida antimicrobiano, usado en ambientes ácidos y efectivo para controlar bacterias de tipo SRB

presentes en tuberías y tanques de almacenamiento de hidrocarburos (Maquimex, 2020).

Una de sus ventajas es la rápida degradación a una sustancia no tóxica inmediatamente después de su uso (IRO Group Inc., s/f-b). Estudios realizados mostraron que la eficiencia de este compuesto como agente biocida depende de la aplicación, recomendando dosis > 400 ppm. La empresa CLARIANT COLOMBIA S.A ofrece este producto el cual se encuentra dentro de uno de sus Casos de Éxito en Argentina. Ver Apéndice B.

- **Nalco® EC6112A:** es un microbiocida y desinfectante de amplio espectro, compuesto por la mezcla de glutaraldehído y amonio cuaternario. Es particularmente eficaz en el control de hongos, bacterias formadoras de limo y bacterias reductoras de sulfato SRB por su persistencia y eficacia a pH elevado. Es efectivo en organismos aeróbicos y anaeróbicos. Mejora y mantiene la eficiencia de la transferencia de calor.

Las características clave del producto son:

- ✓ Rango de pH efectivo de 6 a 9,5
- ✓ No espumante
- ✓ Poco olor
- ✓ No halogenado

Es utilizado ampliamente como bactericida, desinfectante en el transporte y almacenamiento de hidrocarburos como crudos y refinados (IRO Group Inc., s/f-a), pertenece a la gama de biocidas para inyección para tratamiento microbiano de la empresa Nalco-Water Ecolab Company y es uno de los productos más recomendados para tratamiento de MIC (Nalco Water, 2023). Ver Fichas De Seguridad (FDS) en los Apéndices B y C.

5.2.2. Elección del biocida

Debido a que los microorganismos encontrados en el análisis microbiológico fueron de tipo BSR Y BPA, siendo estos en su mayoría, se optó por elegir un biocida que además de

controlar BSR tenga un alto potencial en cuánto a pH para el control de bacterias productoras de ácido, por ende, el seleccionado es el **NALCO® EC6112A** de la empresa Nalco-Water Ecolab Company.

5.2.3. Evaluación y selección del equipo de inyección

Se contactaron diversas empresas proveedoras de equipos de inyección de biocida, pero solo se obtuvo respuesta de Sirius Instrumentation and Controls Inc. cotizando los equipos presentados en la Tabla 8 y 9. En el Apéndice B se encuentra el documento resultado de la cotización.

Tabla 8

Equipo de inyección Solar.

Sirius Fusion2 DCXP 300 500G Injection System w/Apollo Power Pack	
Costo	29,874 USD
Características	Especificaciones
Alimentación:	Solar
Químico:	Biocida
Tasa de inyección química:	20 galones/día
Presión de inyección de funcionamiento:	2500 PSI
Modelo de bomba:	Fusion2 XP300 de doble cabezal
Tasa máxima de bombeo:	360 Q/día
Presión máxima de salida:	3000 PSI
Motor Fusion2	XP300 BLDC
Clasificación de motores	C1D2
Modelo de controlador:	controlador Fusion2
Clasificación eléctrica:	C1D2
Voltaje del sistema:	24 VCC
Clasificación del gabinete:	NEMA
Automatización:	Capacidad de 4-20 mA Capacidad de estado de funcionamiento/ESD Capacidad RS485 Modbus Capacidad del sensor de temperatura ambiente
Equipo:	Mirilla inteligente Insight

Filtro de acero inoxidable con elemento SS de 100 micras.
Tanque Nova de 500G con contención
HardTopper 500G
Relleno inferior - 2"
Conjunto de mirilla de 4'
Válvula de retención interna:
Cartucho de asiento blando
Conjunto PRV de doble cabezal, Kalrez, configurado a 3000 PSI
Manómetro 5000 PSI
Interruptor de aislamiento C1D2
Apollo de 620 W (4 paneles de 155 W, 4 baterías de 100 Ah)

Tabla 9*Equipo de inyección DC.*

Sirius Fusion2 DCXP300 500G Injection System	
Costo	20,699 USD
Características	Especificaciones
Alimentación:	Corriente Directa (DC)
Químico:	Biocida
Tasa de inyección química:	20 galones/día
Presión de inyección de funcionamiento:	2500 PSI
Modelo de bomba:	Fusion2 XP300 de doble cabezal
Tasa máxima de bombeo:	360 Q/día
Presión máxima de salida:	3000 PSI
Motor Fusion2	XP300 BLDC
Clasificación de motores	C1D2
Modelo de controlador:	controlador Fusion2
Clasificación eléctrica:	C1D2
Voltaje del sistema:	24 VCC
Clasificación del gabinete:	NEMA
Automatización:	Capacidad de 4-20 mA Capacidad de estado de funcionamiento/ESD Capacidad RS485 Modbus Capacidad del sensor de temperatura ambiente
Equipo:	Mirilla inteligente Insight

Filtro de acero inoxidable con elemento SS de 100 micras.
Tanque Nova de 500G con contención
HardTopper 500G
Relleno inferior - 2"
Conjunto de mirilla de 4'
Válvula de retención interna:
Cartucho de asiento blando
Conjunto PRV de doble cabezal, Kalrez, configurado a 3000 PSI
Manómetro 5000 PSI
Interruptor de aislamiento C1D2

Según las opciones de equipo de inyección presentados anteriormente, se optó por escoger el **Sirius Fusion2 DCXP300 500G Injection System**, debido a que este equipo funciona con energía eléctrica de alimentación DC, pues en la Estación Sebastopol es más factible emplear este tipo de corriente ya que es la usada para equipos de inyección como DRA, a la vez que, no fue posible encontrar un espacio adecuado para instalar la otra opción de equipo que funciona con energía solar, además ofrece las mismas ventajas, a menor costo que la otra opción cotizada, lo que hace más factible su adquisición en cuanto a costos CAPEX.

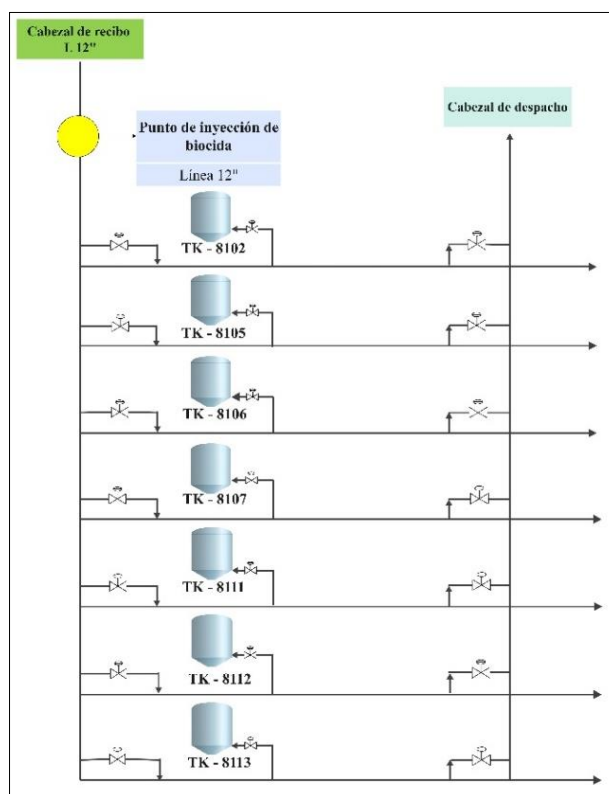
5.3. Etapa 3. Diseño integral del sistema de inyección

5.3.1. Ubicación puntos de inyección

Los puntos de inyección de biocida se ubicaron en los cabezales de recibo de fluidos provenientes de la Estación Galán asociados al Poliducto Galán –Salgar, en las líneas de 12” y 16” de diámetro, como se muestra las Figuras 6 y 7 respectivamente. Ver Apéndice C.

Figura 6

Ubicación punto de inyección línea 12”.

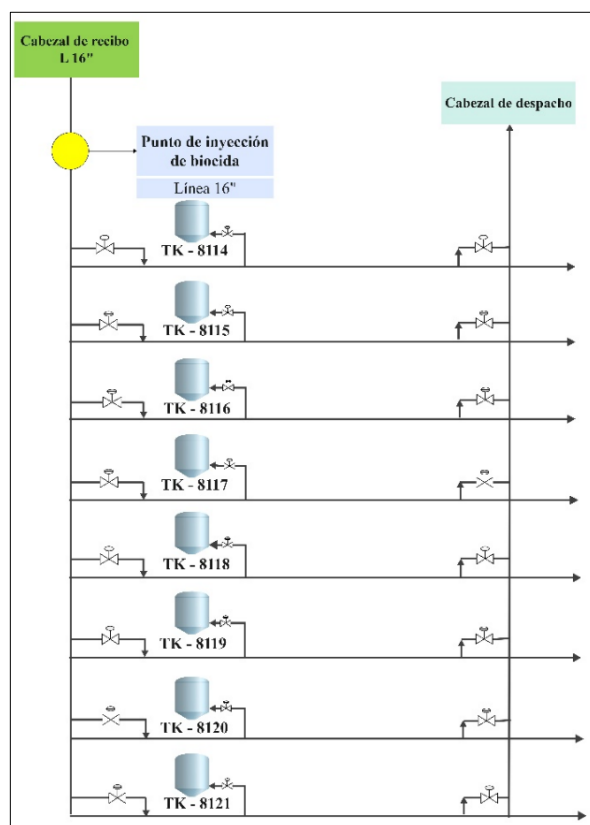


Los puntos se ubicaron en estos sitios de manera estratégica, debido a que los fluidos que entran a la estación transitan obligatoriamente por este tramo de tubería, ya que es el cabezal principal de llegada de combustible que distribuye cada tipo de refinado hasta su respectivo tanque de almacenamiento, lo que hace factible la inyección de biocida ya que se busca que en cada bacheo se distribuya uniformemente el químico con el producto presente en la línea como se observa en las Figuras 6 y 7.

A su vez, en cada ubicación seleccionada se cuenta con el espacio para instalar cada punto de inyección, así como el grosor de la tubería para realizar el *Hot Tap* que es el procedimiento de perforación y soldadura en caliente para implementar el *Quill de Inyección*, herramienta que permitirá inyectar el biocida a la tubería, los cuales fueron puntos clave a tener en cuenta para seleccionar el tramo de la línea que va a ser intervenido.

Figura 7

Ubicación punto de inyección línea 16”.



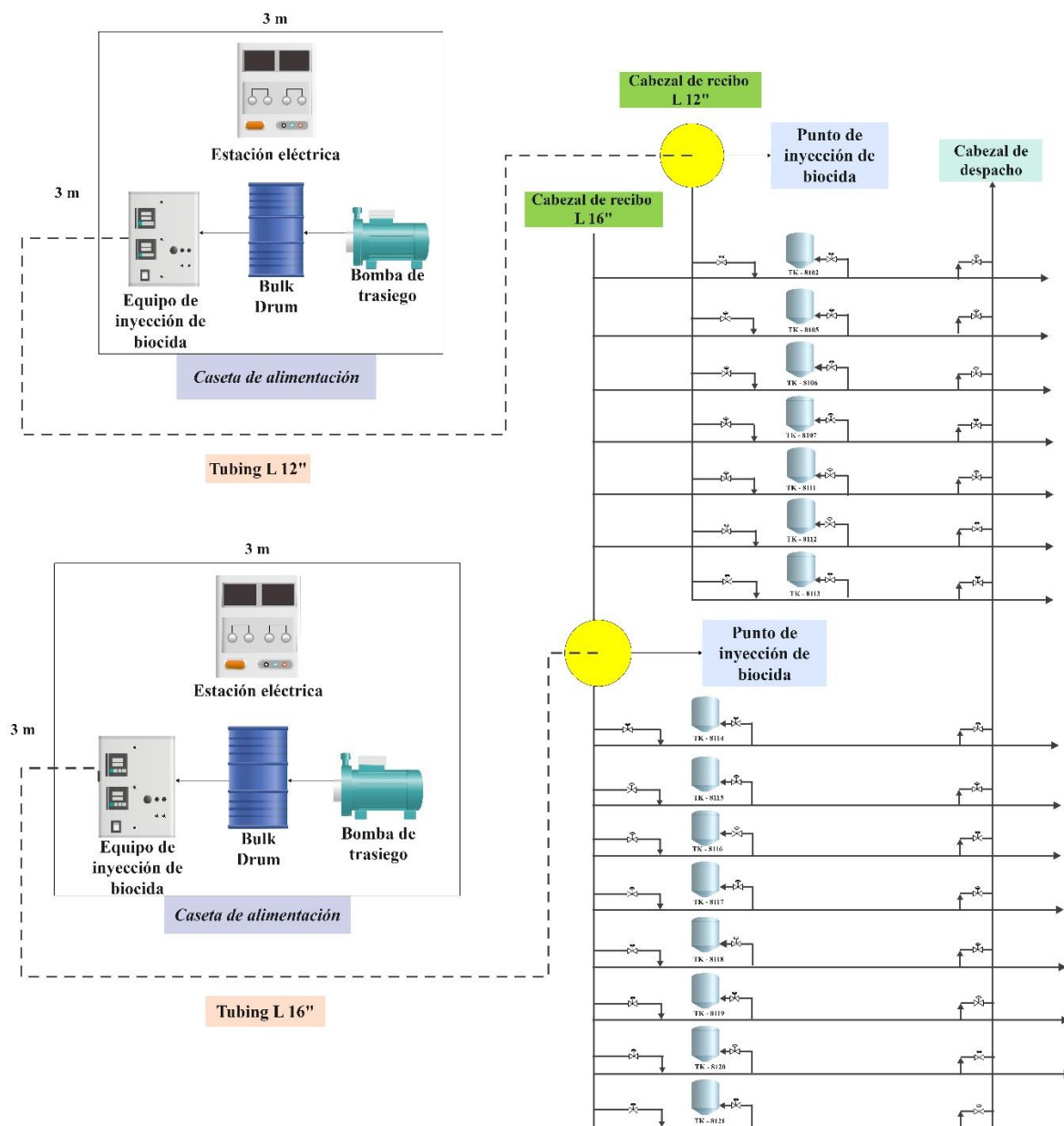
5.3.2. Delimitación de conexiones

En la Figura 8 se relaciona de manera espacial el conexionado y los equipos necesarios para la puesta en marcha del sistema de inyección. Así mismo, se representa la ubicación de cada caseta de alimentación acorde al punto de inyección relacionado, incluyendo la delimitación necesaria para el tubing o manguera que hará el respectivo transvase de químico desde el bulk drum (tanque de almacenamiento) asociado al equipo de inyección hasta el punto donde se encuentra el Quill de Inyección.

En esta delimitación de conexiones no se muestra de manera específica el espacio para la adecuación de la consola para la comunicación con los cuartos de control debido a que alrededor a la ubicación de las dos casetas de alimentación existe una caseta de inyección de DRA, lo que facilita la relación de los controladores para la inyección de biocida.

Figura 8

Conexiones para instalación de equipo de inyección.



5.3.3. Establecimiento de dosificación, frecuencias de inyección y monitoreo

- **Dosificación de biocida:** con base en la Ecuación 1, la cantidad de agua libre acumulada para cada línea mostradas en las Tablas 6 y 7 y el valor establecido de PPM, se calculó el volumen de biocida necesario a inyectar en cada tubería, como se muestra a continuación:

- **Resultado volumen de biocida necesario – Tubería 12”.**

$$\text{Volumen Química[GPD]} = \frac{(1000)(190)}{23810}$$

$$\text{Volumen Química} = 8 \text{ [GPD]}$$

$$\text{Volumen Química} = 240 \text{ [Galones/mes]}$$

$$\text{Volumen Química} = 2880 \text{ [Galones/año]}$$

- **Resultado volumen de biocida necesario – Tubería 16”.**

$$\text{Volumen Química[GPD]} = \frac{(1000)(440)}{23810}$$

$$\text{Volumen Química} \cong 19 \text{ [GPD]}$$

$$\text{Volumen Química} = 570 \text{ [Galones/mes]}$$

$$\text{Volumen Química} = 6840 \text{ [Galones/año]}$$

Esto significa que la inyección inicial necesaria para aplicar en la línea de 12” es de 8 galones por día y para la línea de 16” se requieren aproximadamente 19 galones por día. Estos valores están sujetos a los resultados que se obtengan del monitoreo por cupones y/o biocupones y a la cantidad de agua libre que se presente en los tanques con el tiempo.

5.3.3.1. Frecuencia de inyección: inicialmente se establecerá inyección por baches de manera mensual a cada una de las líneas, a su vez, en la Tabla 10, se estipulan los parámetros a considerar para posibles cambios en la periodicidad de la inyección.

Tabla 10

Programa de tratamiento químico.

Línea	Tanques	Tipo de fluido almacenado	Vol. tanque (KBLS)	Agua libre (BLS)	N° bacheos al mes	Total biocida [GPD]
12"	TK-8102	Kerosene	20	10	1	8
	TK-8105	B2E	10	5		
	TK-8106	Gasolina Motor	10	5		
	TK-8107	Refinado no definido	10	5		
	TK-8111	Gasolina Extra	50	25		
	TK-8112	B2E	50	25		
	TK-8113	Gasolina Motor	40	20		
16"	TK-8114	B2E	40	40	1	19
	TK-8115	B2E	50	50		
	TK-8116	Nafta	100	100		
	TK-8117	Gasolina Motor	90	90		
	TK-8118	Nafta	100	100		
	TK-8119	Nafta	20	20		
	TK-8120	Virginoil	20	20		
	TK-8121	B2E	20	20		

5.3.3.2. Frecuencia de monitoreo: con base en los lineamientos ya establecidos por Cenit el monitoreo por medio de cupones y/o biocupones se hará inicialmente, de manera trimestral, recolectando las facilidades instaladas a las salidas de los tanques y llevándolas al laboratorio para su respectivo análisis y revisión. De los resultados obtenidos se validará la necesidad de realizar ajustes en la periodicidad del monitoreo, el cual se deja establecido para cada tanque como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Programa de monitoreo.

Línea	Tanques	Facilidad instalada	Frecuencia de monitoreo (meses)	Total año
12"	TK-8102	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8105	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8106	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8107	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8111	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8112	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8113	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8114	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8115	Cupón gravimétrico	3	4

	TK-8116	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8117	Cupón gravimétrico	3	4
16"	TK-8118	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8119	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8120	Cupón gravimétrico	3	4
	TK-8121	Cupón gravimétrico	3	4

6. Conclusiones

Con base en los resultados del muestreo en fase acuosa a los drenajes de los tanques, se pudo evidenciar que existe propagación de microorganismos de tipo BSR y BPA debido a que no se ha implementado ningún tratamiento que mitigue, controle y disminuya el crecimiento bacteriano, lo cual es perjudicial para Cenit, ya que estos microorganismos generan corrosión microbiológica que conlleva a afectación en la integridad y confiabilidad de los tanques y tuberías de la Estación Sebastopol.

De la cotización de equipos de inyección se seleccionó la estrategia que presentó Sirius Inc. con fuente de alimentación DC y no solar, debido a que en otras Estaciones Cenit existen equipos similares con alimentación de energía solar, los cuales, han presentado inconvenientes al momento de conservar la energía generando cargas parciales y/o descargas del equipo conllevando a retrasos en la operación de las líneas en caso.

El monitoreo establecido por medio de cupones gravimétricos a los tanques inyectados con biocida será altamente útil para evaluar la dosificación establecida y validar, en uno o dos periodos la efectividad del tratamiento, ya que la dosis establecida se realizó con base en supuestos de acumulación de agua libre en los tanques y no con valores certeros, lo que conduce a posibles cambios en la frecuencia y cantidad de químico a inyectar.

7. Trabajos a Futuro

Realizar la implementación del sistema de tratamiento químico con inyección de biocida en el menor tiempo posible, ya que, como se evidenció las tasas de incidencia

bacteriana exceden en los límites establecidos y de no controlarse la cantidad de bacterias, en el futuro se podrían estar presentando afectaciones graves a las líneas de transporte así como a los tanques de almacenamiento de todas las Estaciones Cenit, ya que Sebastopol es una estación intermedia que envía fluidos refinados al Centro y Occidente del país.

Evaluar la necesidad de implementar otros mecanismos de protección y control de propagación bacteriana como inyección de inhibidores de corrosión, que se destacan en la industria por combatir la creación de biopelículas en los revestimientos internos de las tuberías. El implementar esta opción podría conllevar a que con el tiempo no se requiera mitigar las tasas de microorganismos si no prevenir su reproducción parcial y/o total.

Referencias bibliográficas

- Albahrani, C., & Worrall, I. (2020). *Study of Natural Antioxidant Inhibitors for Corrosion Protection of Mild Steel in Acidic Medium*. American Institute of Chemical Engineers AICHE. Recuperado de <https://www.aiche.org/conferences/videos/conference-presentations/study-natural-antioxidant-inhibitors-corrosion-protection-mild-steel-acidic-medium>
- Capelo Yáñez, P. A. (2010). “*Diseño e implementación de la HMI del separador de prueba Wellcomp para el monitoreo de pozos petroleros*”. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, (p. 4).
- Cenit “Transporte y Logística de Hidrocarburos”. (s/f). *¿Qué hacemos?* - Cenit. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://cenit-transporte.com/que-hacemos/>
- CIDEPINT. (2021). *Benzoato de sodio como inhibidor de corrosión con propiedades biocidas para el control de MIC en acero al carbono*. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT), CIC-CONICET- Facultad de Ingeniería-UNLP.
- Clariant S.A. (2023). *Casos de éxito workshop técnico Clariant - Ecopetrol*. Gestión de Integridad.
- Elshawesh, F., Abusowa, A. K., Mahfud, A. H., Abderraheem, A. A., Eljweli, A. F., & Zyada, A. K. (s/f). *Microbial-Influenced Corrosion (MIC) on an 18 in. API 5L X52 Trunkline*. <https://doi.org/10.1007/s11668-007-9108-3>
- Fajt, J., Murphy, A., & Jenkins, A. (2019, marzo 24). *Development and Field Application of a New Bacteria Monitoring Technique | NACE CORROSION | OnePetro*. <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORR19/All-CORR19/127302>

Granados. C. (2019). *Procedimiento general para la aplicación de tratamiento químico en líneas de transporte y tanques de almacenamiento de hidrocarburos para el control de corrosión interior*. Cenit “Transporte y Logística de Hidrocarburos”. 1. (p.16).

IRO Group Inc. (s/f-a). *Glutaraldehído - IRO perforaciones petrolíferas químicas Co., Ltd.* Recuperado el 7 de diciembre de 2023, de <https://www.irooildrilling.com/span/products/glutaraldehyde/>

IRO Group Inc. (s/f-b). *TETRAKIS (HIDROXIMETIL) FOSFONIO SULFATO (THPS) - IRO perforaciones petrolíferas químicas Co., Ltd.* Recuperado el 7 de diciembre de 2023, de <https://www.irooildrilling.com/span/products/thps/>

Maquimex. (2020). *Ficha Técnica Maquicide WT Revisión: N° 2*. Recuperado de <https://www.maquimex.com>

Nalco Water. (s/f). *Tecnología antimicrobiana Stabrextm*. Ecolab Company. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://es-es.ecolab.com/offerings/cooling-water-bio-control/stabrex-antimicrobial-technology>

Nalco Water. (2023). *Safety Data Sheet Nalco® EC6112A Section: 1. Product and Company Identification*. Nalco Water an Ecolab Company.

Olsen, T. (2018). *Implement an Effective Corrosion Mitigation Program*. American Institute of Chemical Engineers. Recuperado de <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2018/april/implement-effective-corrosion-mitigation-program>

Papavinasam. S. (2014). *Biocides*. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. Science Direct. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/book/9780123970220/corrosion-control-in-the-oil-and-gas-industry>

- Skovhus, T. L., Eckert, R. B., & Rodrigues, E. (2017). *Management and control of microbiologically influenced corrosion (MIC) in the oil and gas industry—Overview and a North Sea case study*. *Journal of Biotechnology*, 256, 31–45. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2017.07.003>
- Speight, J. G. (2020). 3.6 *The Future*. En *Refinery of the Future* (2nd Edition) Elsevier, (p. 35). Recuperado de <https://app.knovel.com/hotlink/khtml/id:kt012LOWY4/refinery-future-2nd-edition/refining-c-the-future>
- Stansbury E.E., B. R. A. (2000). 7.9.4 *Biocides*. En *Fundamentals of Electrochemical Corrosion* ASM International, (p. 69). Tomado de <https://app.knovel.com/hotlink/khtml/id:kt010W65Y1/fundamentals-electrochemical/biocides>
- Wen, J., & Gu, T. (2006). (447k) *Green Biocide Enhancers Enhanced the Biocide Inhibition of the Growth of Sulfate Reducing Bacteria*. American Institute of Chemical Engineers *AIChE*. 447K. Recuperado de <https://www.aiche.org/conferences/aiche-annual-meeting/2006/proceeding/paper/447k-green-biocide-enhancers-enhanced-biocide-inhibition-growth-sulfate-reducing-bacteria>
- Yang, L. (2021). *Techniques for Corrosion Monitoring*. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Second Edition, (p. 7- 42). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/bibliotecavirtual.uis.edu.co/science/article/abs/pii/B9780081030035000023>
- Zhao, K., Wen, J., Gu, T., & Nestic, S. (2005). (427I) *Effects of a Biocide and a Biocide Enhancer on SRB Growth and Biocorrosion*. American Institute of Chemical Engineers *AIChE*. 427I. Recuperado de <https://www.aiche.org/conferences/aiche-annual->

meeting/2005/proceeding/paper/4271-effects-biocide-and-biocide-enhancer-on-srb-growth-and-biocorrosion-0

Apéndices

Apéndice A. Tablas de caracterización microbiológica. (Ver en documentos anexos).

Tabla A1

Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2023.

Denom. tanque	Fecha inspección	BSR	BPA
		(Bacterias/ml)	(UFC/ml)
TK-8102	17/06/2023	1.00E+01	1.00E+01
TK-8105	17/06/2023	1.00E+01	1.00E+04
TK-8107	17/06/2023	1.00E+04	1.00E+06
TK-8111	17/06/2023	1.00E+03	1.00E+06
TK-8112	17/06/2023	1.00E+06	1.00E+06
TK-8113	17/06/2023	1.00E+05	1.00E+05
TK-8114	17/06/2023	1.00E+04	1.00E+06
TK-8115	17/06/2023	1.00E+03	1.00E+06
TK-8116	17/06/2023	1.00E+04	1.00E+06
TK-8117	17/03/2023	1.00E+01	1.00E+01
TK-8118	17/06/2023	1.00E+04	1.00E+06
TK-8119	17/06/2023	1.00E+04	1.00E+06
TK-8120	17/06/2023	1.00E+01	1.00E+01
TK-8121	17/06/2023	1.00E+01	1.00E+03
TK-8122	17/06/2023	1.00E+02	1.00E+02
TK-8123	17/06/2023	1.00E+01	1.00E+06
TQ-8501	17/06/2023	1.00E+06	1.00E+06

Nota. Datos adaptados de *Cenit – Monitoreo Corrosión Interna*, 2023.

Tabla A2*Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2020.*

Denom. tanque	Fecha inspección	BSR	BPA
		(Bacterias/ml)	(UFC/ml)
TK-8102	5/11/2020	0.00	0.00
TK-8103	6/11/2020	0.00	0.00
TK-8104	6/11/2020	0.00	1.00E+05
TK-8105	5/11/2020	0.00	0.00
TK-8106	5/11/2020	0.00	0.00
TK-8107	5/11/2020	1.00E+04	1.00E+03
TK-8111	17/02/2020	0.00E+00	1.00E+02
TK-8112	4/11/2020	0.00	0.00
TK-8113	4/11/2020	0.00	0.00
TK-8114	14/02/2020	1.00E+02	1.00E+05
TK-8115	6/11/2020	1.00E+02	1.00E+03
TK-8116	4/11/2020	0.00	1.00E+02
TK-8117	5/11/2020	0.00	1.00E+02
TK-8118	5/11/2020	1.00E+01	1.00E+03
TK-8119	4/11/2020	1.00E+03	1.00E+04
TK-8120	4/11/2020	1.00E+04	1.00E+03
TK-8121	4/11/2020	0.00	1.00E+02
TQ-8501	5/11/2020	1.00E+04	1.00E+05

Tabla A3*Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2021.*

Denom. tanque	Fecha inspección	BSR	BPA
		(Bacterias/ml)	(UFC/ml)
TK-8102	5/06/2021	1.00E+04	1.00E+03
TK-8103	5/06/2021	1.00E+03	1.00E+04
TK-8104	5/06/2021	1.00E+01	1.00E+04
TK-8105	5/06/2021	1.00E+04	1.00E+04
TK-8106	5/06/2021	1.00E+01	1.00E+03
TK-8107	5/06/2021	1.00E+03	1.00E+04
TK-8111	8/09/2021	1.00E+03	1.00E+05
TK-8112	5/06/2021	1.00E+04	1.00E+04
TK-8113	5/06/2021	1.00E+04	1.00E+04
TK-8114	8/09/2021	1.00E+04	1.00E+06
TK-8115	5/06/2021	1.00E+04	1.00E+03
TK-8116	5/06/2021	1.00E+03	1.00E+04
TK-8117	5/06/2021	1.00E+01	1.00E+02
TK-8118	5/06/2021	1.00E+02	1.00E+04

TK-8119	5/06/2021	1.00E+01	1.00E+03
TK-8120	5/06/2021	1.00E+03	1.00E+04
TK-8121	5/06/2021	1.00E+01	1.00E+04
TQ-8501	5/06/2021	1.00E+03	1.00E+04

Tabla A4

Cantidad de bacterias BSR Y BPA presentes en tanques 2022.

Denom. tanque	Fecha inspección	BSR	BPA
		(Bacterias/ml)	(UFC/ml)
TK-8102	6/10/2022	1.00E+02	1.00E+05
TK-8103	26/04/2022	1.00E+02	1.00E+04
TK-8105	12/07/2022	1.00E+04	1.00E+06
TK-8106	12/07/2022	1.00E+02	1.00E+03
TK-8107	6/10/2022	1.00E+04	1.00E+05
TK-8111	12/07/2022	1.00E+06	1.00E+04
TK-8113	12/07/2022	1.00E+02	1.00E+06
TK-8114	6/10/2022	1.00E+05	1.00E+05
TK-8115	12/07/2022	1.00E+06	1.00E+06
TK-8116	12/07/2022	1.00E+03	1.00E+04
TK-8117	12/07/2022	1.00E+02	1.00E+04
TK-8118	6/10/2022	1.00E+01	1.00E+05
TK-8119	12/07/2022	1.00E+04	1.00E+06
TK-8120	12/07/2022	1.00E+01	1.00E+02
TK-8121	12/07/2022	1.00E+00	1.00E+00
TK-8122	7/12/2022	1.00E+01	1.00E+05
TK-8123	7/12/2022	1.00E+01	1.00E+06
TQ-8501	12/07/2022	1.00E+06	1.00E+06

Nota. Cantidad de bacterias BSR y BPA presentes en los drenajes de cada tanque en funcionamiento a la fecha especificada de la toma de muestras. *Datos adaptados de Cenit – Monitoreo Corrosión Interna, 2020-2021.*

Apéndice B

Ficha de Seguridad (FDS) Biotreat 4707. (Ver en documentos anexos).

Apéndice C

Ficha de Seguridad (FDS) Nalco EC6112A. (Ver en documentos anexos).

Apéndice D

Paper Cotización Equipos Inyección. (Ver en documentos anexos).

Apéndice E

Plano General de la Estación Sebastopol. (Ver en documentos anexos).