

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA
CORROSIÓN INDUSTRIAL

**DIAGNÓSTICO DE CORROSIÓN EN EQUIPO DE PERFORACIÓN EN LAGEO,
BERLÍN, USULUTÁN**

PRESENTADO POR:
REBECA ESTELA MELARA VIERA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA

ING. SARA ELISABETH ORELLANA CLAROS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción de Grado de:
INGENIERA QUÍMICO

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA
CORROSIÓN INDUSTRIAL

Título:

**DIAGNÓSTICO DE CORROSIÓN EN EQUIPO DE PERFORACIÓN EN LAGEO,
BERLÍN, USULUTÁN.**

Presentado por:

REBECA ESTELA MELARA VIERA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesor:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

Ciudad Universitaria, febrero 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

Agradecimientos

Agradezco a Dios por las oportunidades y las buenas experiencias que he tenido en este curso de especialización, especialmente en el trabajo de Aplicación realizado en LaGeo.

A mis padres, por el apoyo en mis actividades académicas, al Ingeniero Héctor Manuel Guerra Pérez, docente del Curso de Especialización Introducción al Control de la Corrosión Industrial, quién ha sido mi asesor, instructor y facilitador de las herramientas e instrumentos para la realización de este tema de aplicación.

Así agradezco al Ing. Saúl Molina Padilla (Gerente de Perforación), Ing. Jaime Arévalo Martínez (Coordinador de Operaciones de Campo) por darnos la oportunidad junto con mis compañeros Julio César Zeceña y Ernesto Alexander Dubón de realizar nuestros temas de aplicación en las instalaciones de LaGeo, Berlín.

Agradezco a Ing. Saúl Antonio Ramos y a todo el equipo técnico que nos apoyaron para la recopilación de datos, toma de mediciones de espesores, la realización de las pruebas y la valiosa información que nos brindaron para realizar un mejor trabajo.

Resumen

El presente trabajo de investigación comprende una aplicación como parte del Curso de Especialización Introducción a la Corrosión Industrial en la cual se realiza un diagnóstico de Corrosión en equipo e instalaciones de perforación en LaGeo. Los equipos e instalaciones de perforación en estudio son: el circuito de tanques en Pozo TR1 (que comprende un tanque de sedimentación, un tanque de succión y tres tanques de almacenamiento), una estructura principal de soporte o mástil y un equipo auxiliar para manejo de cargas o malacate. El diagnóstico se realiza mediante la Norma Americana Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, Tecnología Actualizada No.3 Repinte, SSPC-TU 3 por sus siglas en inglés.

La metodología desarrollada para la realización del diagnóstico en los equipos de perforación mencionados previamente, se basa en la Identificación de Corrosión con el Método Estándar para evaluar el grado de oxidación en superficies de acero pintadas Guía SSPC-VIS 2 por sus siglas en inglés, en la medición de espesores de película seca normado por la Guía SSPC-PA 2 y la realización de pruebas de adhesión destructivas sobre pinturas en sustratos metálicos normado por la Guía ASTM D3359-09. En la identificación de la corrosión se realizó una evaluación visual de las partes afectadas por la corrosión mediante Norma SSPC-VIS 2 y presentando las evidencias fotográficas. La medición de espesores se realizó con un equipo digital de medición de espesor de película seca llamado ELCOMETER 456T de serie WG09878, mediante la Norma SSPC-PA 2. En la realización en las pruebas de adhesión en los equipos e instalaciones de perforación se evaluó el recubrimiento existente en función de las características de adhesión y espesor usando los métodos estándares A y B de clasificación de adhesión según Norma ASTM D3359-09.

Con base a los resultados se concluyen el tipo y nivel de corrosión en los diferentes equipos estudiados, se describen las causas de las fallas en las pruebas de adhesión y el estado actual de los recubrimientos aplicados.

INDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	2
2.2.1 Objetivo general	2
2.2.1 Objetivos específicos.....	3
1.3 Alcances	3
2.2 Justificación	4
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Características de la Industria Geotérmica LaGeo S.A. de C.V.....	5
2.2 Características de equipo de Perforación de LaGeo.	5
2.2.1 Circuitos de Tanques.....	6
2.2.2 Estructura Principal de Soporte o Mástil	8
2.2.3 Equipo Auxiliar para Manejo de Cargas o Malacate	9
2.3 Factores que afectan la tasa de Corrosión en la Industria Geotérmica	9
2.3 Tipos de corrosión en la Industria Geotérmica	11
2.4 Norma SSPC-TU 3.....	13
2.6 Herramientas de la aplicación de la Norma SSPC-TU 3.	16
2.6.1 Norma SSPC-VIS 2 como comparador visual del tipo y nivel de corrosión.	17
2.6.2 Norma SSPC- PA 2, Guía para la medición de espesores de película seca.	17
2.6.3 ASTM D3359-09, Guía para Pruebas de Adhesión en película seca.....	18
2.6.4 Factores que influyen en los resultados de Pruebas de Adhesión.....	18
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.1 Identificación de corrosión aplicando Norma SSPC- VIS 2.....	22
3.1.1 Procedimiento para la aplicación de la Guía SSPC-VIS 2.....	22

3.2	Medición de espesores de película seca, aplicando Norma SSPC-PA 2.....	24
3.2.1	Procedimiento para la aplicación de la Guía SSPC-PA 2.....	25
3.3	Pruebas de adhesión aplicando Norma ASTM D3359-09.	26
3.3.1	Procedimiento para la aplicación de la Norma ASTM D3359-09.	26
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		29
4.1	Equipo de Perforación: Circuito de Tanques en Pozo TR1.....	29
4.1.1	Identificación del tipo y nivel de corrosión en circuito de tanques.	30
4.1.2	Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en circuito de tanques.	34
4.1.3	Resultados de Pruebas de adhesión en circuito de tanques.	45
4.2	Equipo de perforación: Estructura Principal de Soporte o Mástil.	49
4.2.1	Identificación del tipo y nivel de corrosión en Mástil en Pozo TR19.....	49
4.2.2	Medición de espesores de película seca E.P.S. en Mástil.....	50
4.2.3	Resultados de Pruebas de adhesión en Mástil.....	52
4.3	Equipo de perforación: Equipo Auxiliar para Manejo de Cargas o Malacate ...	54
4.3.1	Medición de espesores de película seca E.P.S. en Malacate.....	54
4.3.2	Pruebas de adhesión en Malacate.....	56
Conclusiones.....		58
Recomendaciones.....		60
Bibliografía.....		63
Anexos		64
ANEXO 1: Tabla resumen de las normativas aplicadas en el presente trabajo.....		64
Tabla resumen de las normativas aplicadas en el presente trabajo(Continuación).		65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Criterios para evaluación de espesores (SPPC-TU3, 1997)	25
Tabla 4.1 Identificación de la Corrosión en Tanque de Sedimentación en Pozo TR1.....	30
Tabla 4.2 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanque de Succión en Pozo TR1.....	31
Tabla 4.3 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanque de Almacenamiento de Agua 1 en Pozo TR1.....	32
Tabla 4.4 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanques de Almacenamiento de Agua 2 y 3 en Pozo TR1.....	33
Tabla 4.5 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de sedimentación en Pozo TR1.....	34
Tabla 4.6 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de sedimentación en Pozo TR1.....	35
Tabla 4.7 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de succión en Pozo TR1.....	36
Tabla 4.8 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de succión en Pozo TR1.....	37
Tabla 4.9 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1.....	38
Tabla 4.10 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1.....	39
Tabla 4.11 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1.....	40
Tabla 4.12 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1.....	41

Tabla 4.13 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de Almacenamiento de Agua 3 en Pozo TR1.....	42
Tabla 4.14 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de Almacenamiento de Agua 3 en Pozo TR1.....	43
Tabla 4.15 Mediciones promedios en milésimas de pulgada de E.P.S.	44
Tabla 4.16 Resultado de Pruebas de Adhesión en Tanque de Sedimentación en Pozo TR1.....	45
Tabla 4.17 Resultado Prueba de Adhesión en Tanque de Succión en Pozo TR1	45
Tabla 4.18 Prueba de Adhesión en Tanque de Almacenamiento de Agua 1 en Pozo TR1.....	46
Tabla 4.19 Resultado de Pruebas de Adhesión en Tanque de Almacenamiento de Agua 2.....	47
Tabla 4.20 Resultados de Pruebas de Adhesión en Circuito de Tanques.....	48
Tabla 4.21 Identificación del tipo y nivel de Corrosión en Mástil.....	49
Tabla 4.22 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en Estructura Principal de Soporte o Mástil en Pozo TR19	50
Tabla 4.23 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. de Mástil en Pozo TR19.....	51
Tabla 4.24 Resultados de Pruebas de Adhesión en Mástil en TR19.....	52
Tabla 4.25 Resumen de Resultados de Pruebas de Adhesión en Mástil.....	53
Tabla 4.26 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en Malacate en Pozo TR19.....	54
Tabla 4.27 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en Malacate en Pozo TR19.....	55
Tabla 4.28 Pruebas de Adhesión en Equipo Auxiliar para Manejo de carga o Malacate.....	56
Tabla 4.29 Resumen de Resultados de Pruebas de Adhesión en Malacate.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Dimensiones del tanque de sedimentación en Pozo TR1.	6
Figura 2.2 Dimensiones del tanque de succión en Pozo TR1.	6
Figura 2.3 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1..	7
Figura 2.4 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1..	7
Figura 2.5 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 3 en Pozo TR1..	7
Figura 2.6 Mástil ubicado en TR1 LaGeo, Berlín.	8
Figura 2.7 Malacate ubicado en TR19 LaGeo, Berlín.	9
Figura 2.8 Corrosión generalizada en TR1 LaGeo, Berlín.	11
Figura 2.9 Corrosión por picaduras en TR1 LaGeo, Berlín.	12
Figura 2.10 Corrosión por esfuerzo en TR1 LaGeo, Berlín.	12
Figura 3.1 Pasos para aplicación de Guía SSPC-VIS 2.	22
Figura 3.2 Pasos para aplicación de Guía SSPC-PA 2.	24
Figura 3.3 Pasos para aplicación de Guía D3359-09.	26
Figura 3.4 Clasificación de las Pruebas de Adhesión, Método “B”.	27
Figura 3.5 Figura 3.5 Clasificación de Pruebas de Adhesión, Método “A”.	28
Figura 3.6 Equipo certificado de pruebas de adhesión.	28
Figura 3.7 Prueba de adhesión tipo “A”.	28

SIGLAS

ASTM:	American Society for Testing and Materials
CV:	Coeficiente de varianza
EPS:	Espesor de película seca
SSPC- PA 2:	Steel Structure Painting Council- Paint Application No. 2
SSPC- TU 3:	Steel Structure Painting Council- Technology Update No. 3
SSPC-VIS 2:	Steel Structure Painting Council – Visual 2
TRB:	Reinyección total Berlín

INTRODUCCIÓN

La corrosión es la destrucción de un metal debido a una reacción química o electroquímica con su ambiente. En base a cualquier norma medida, la corrosión siempre es un problema grave y costoso en la industria de la perforación. Debido a que los objetos tubulares son principalmente de hierro y la mayoría de fluidos tiene una base de agua, es inevitable la corrosión (BAKER, 2017).

La ingeniería de corrosión es la aplicación de los principios desarrollados a partir de la ciencia de la corrosión para minimizarla o prevenirla. Para un diagnóstico de corrosión se aplica técnicas, mecanismos y el uso de herramientas para la prevención de la corrosión amparadas en normas, las cuales son métodos comprobados y válidos. Todas estas directrices y protocolos ayudan a tener resultados favorables en la resolución de problemas.

Los equipos de perforación en la Geo, Berlín presentan recubrimientos, para el control de la corrosión. Las propiedades deseables de los recubrimientos incluyen resistencia química, resistencia al agua, facilidad de uso, adhesión al sustrato, fuerza cohesiva, entre otros, donde una adhesión fuerte es la clave para el desempeño exitoso del recubrimiento y una larga vida útil. Las pruebas de adhesión realizadas en el equipo de perforación están normadas por ASTM D3359-09. La velocidad de corrosión es determinada por una variedad de factores, cinco de estos factores predominantes son el oxígeno, la temperatura, las sales químicas, la humedad, contaminantes y gases ácidos.

En la industria química se presentan dos amplias clasificaciones de la corrosión, que son generalizada y localizada, las cuales se describen con la Guía SSPC-VIS 2. Parte del diagnóstico de corrosión en LaGeo, se basa en la aplicación de la Norma medición de espesores de película seca, SSPC-PA 2 por sus siglas en inglés, donde se realiza un registro de datos obtenidos de espesores de películas secas en el equipo.

CAPÍTULO 1: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se describe la importancia del Diagnóstico del estado actual de los recubrimientos aplicados en superficie metálica en equipo e instalaciones de perforación en LaGeo y como se lleva a cabo dicho diagnóstico, se establecen los objetivos, alcances y justificación para el desarrollo del presente trabajo.

1.1 Planteamiento del problema

La corrosión en la Industria Global supone un coste estimado de 2.5 billones de dólares, lo que equivale al 3.4% del PIB mundial, aproximadamente. El principal problema que presenta la corrosión es que es inevitable, pudiendo minimizar sus efectos solo a largo plazo. La corrosión se define como el proceso natural por el cual los metales se degradan y regresan a su forma original, es decir que se convierten en minerales (óxidos). Este proceso está influenciado por muchos factores como pueden ser la temperatura, humedad, radiación solar, partículas contaminantes, ph, etc. Y otros como la homogeneidad de la microestructura del material, la presentación de óxidos e inclusiones, grietas o defectos superficiales, etc. (Roberge, 2008).

En la Industria Geotérmica es importante conocer los problemas de corrosión y sus posibles causas para afrontarlos garantizando la máxima vida útil de los equipos nuevos, conservación de equipos existentes, etc. Esta Industria esta categorizada en un ambiente químico de baja humedad, dónde tanto los gases como los químicos estimulan la corrosión en los equipos de perforación (Ahmad, 2006).

1.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Diagnosticar el tipo y nivel de corrosión en equipos e instalaciones de perforación en LaGeo mediante Norma SSPC-TU 3 que establece alternativas de repintado o reemplazo de los recubrimientos.

2.2.1 Objetivos específicos

1. Describir las condiciones de los recubrimientos de los Equipos de Perforación.
2. Identificar el grado de oxidación en superficies pintadas del circuito de tanques en el pozo TR1, de la estructura principal de soporte o mástil en el pozo TR19 y del equipo auxiliar para manejo de cargas o malacate en el pozo TR19.
3. Cuantificar el grado de oxidación en equipos de LaGeo con una escala certificada en base en el porcentaje de óxido visible presente en la superficie mediante SSPC-VIS 2.
4. Interpretar los resultados de las pruebas de adhesión en los equipos de perforación de LaGeo.
5. Presentar las mediciones de espesores de película seca en los equipos de perforación mediante Norma SSPC-PA 2.
6. Explicar los factores que influyen en el fallo o aceptación de las pruebas de adhesión mediante Norma ASTM D3359-09.

1.3 Alcances

- 1) Se desarrollará un sistema de repintado y reemplazo de recubrimientos en equipos e instalaciones en LaGeo con el fin de que se mejore el control de corrosión mediante la aplicación de recubrimientos.
- 2) Se propondrá alternativas de selección de materiales para la aplicación del repintado en los equipos e instalaciones.
- 3) Evaluar las condiciones o prácticas que pueden reducir la vida útil de la pintura y acelerar la corrosión.
- 4) Como parte del diagnóstico del tipo y nivel de corrosión en los equipos e instalaciones en LaGeo se evaluará las condiciones de los servicios de aplicación de pintura y los costos de las alternativas de repintado o reemplazo.
- 5) Evaluar los posibles impactos al medio ambiente y a la salud humana que implican las actividades de repintado o reemplazo de recubrimientos.

2.2 Justificación

La Geo es una empresa comprometida con el desarrollo nacional del país, se dedica a la producción de energía eléctrica más limpia, utilizando los recursos geotérmicos. Actualmente, cuentan con una capacidad instalada total de 204.4 MW y una producción neta equivalente a un 23 % de la energía eléctrica que se consume en El Salvador. La Geo reitera su liderazgo y compromiso con el desarrollo económico del país, impulsando la investigación de nuevos campos geotérmicos (LaGeo, 2019).

La degradación ambiental que presentan los equipos de perforación en el área de generación de energía, la conversión de energía, el tratamiento de desechos y las comunicaciones y el transporte puede ser un factor crítico y limitante en el desarrollo de producción de energía más limpia. A medida que evolucionen nuevos sistemas de ingeniería para aprovechar sus propiedades, es de suma importancia que se comprendan los límites químicos de estos materiales y que se desarrollen enfoques de control de la corrosión que se pueden integrar en el diseño y operación de sistemas, lo cual ayuda a garantizar la máxima vida útil de los equipos nuevos, conservación de equipos existentes, evitar costosas interrupciones de producción, reducir o eliminar las pérdidas de productos valiosos por derrames o fugas, reducir los peligros para la vida y la propiedad que pudieran estar asociados a la corrosión (Ahmad, 2006).

En los últimos meses la ejecución por parte del equipo técnico en la Central Geotérmica Berlín, de nuevos proyectos permitieron incrementar aproximadamente 2.5 MWh, de energía que es inyectada a la red nacional, pasando de 100.1 a 102.6 MWh; estos proyectos significativos realizados en la Geo, Berlín representan beneficio para los hogares y reiteran su compromiso para desarrollo en el país (LaGeo, 2019).

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características de la Industria Geotérmica LaGeo S.A. de C.V.

LaGeo es una empresa dedicada a la producción de energía eléctrica utilizando de manera racional y sostenible los recursos geotérmicos de nuestro país (LaGeo, 2019).

La energía geotérmica se genera aprovechando en forma directa la fuerza del vapor de agua, calentado y almacenado en el subsuelo de forma natural y cuyas manifestaciones externas las encontramos en lugares como Los Ausoles de Ahuachapán, El Tronador en Alegría Usulután, Los Infiernillos en San Vicente y en otras zonas del país y la región (LaGeo, 2019).

Este vapor se extrae mediante la perforación de pozos geotérmicos profundos, desde los cuales es conducido por su misma presión a través de una red de tuberías hacia la planta de generación, donde, al chocar contra los álabes de la turbina la hace girar, al mismo tiempo que se activa el generador produciéndose así la energía eléctrica (LaGeo, 2019).

La geotermia es una fuente renovable, abundante, de bajo costo y favorable para el medio ambiente. No produce gases tóxicos ni de efecto invernadero ya que no necesita quemar ningún tipo de combustible para calentar agua y producir vapor. Simplemente utiliza las calderas naturales del subsuelo (CEL, 2019)

2.2 Características de equipo de Perforación de LaGeo.

En el presente trabajo de aplicación en LaGeo, los equipos en estudio son el circuito de tanques que comprende cinco tanques, una estructura principal de soporte o mástil y equipo auxiliar para manejo de cargas o malacate, los cuales presentan mayor importancia en la operación de los procesos de perforación.

2.2.1 Circuitos de Tanques

Los tanques están hechos de acero del tipo A36, este es un material de alta resistencia. Tanto para la perforación como para la limpieza de los pozos en los tanques se ocupa agua de condensado. En el tanque de sedimentación se da el proceso unitario de transferencia de sólidos el cual consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas.

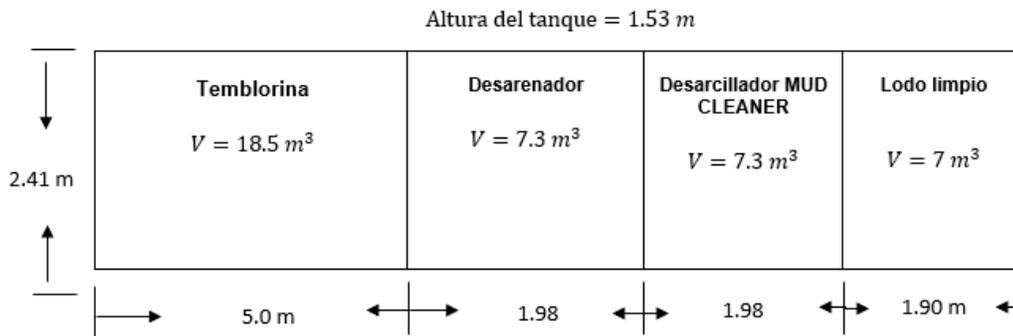


Figura 2.1 Dimensiones del tanque de sedimentación en Pozo TR1.

El tanque de succión desde el cual succionan las bombas en un sistema de bombeo. Usualmente tienen una capacidad suficiente para almacenar el volumen de agua que se bombea.

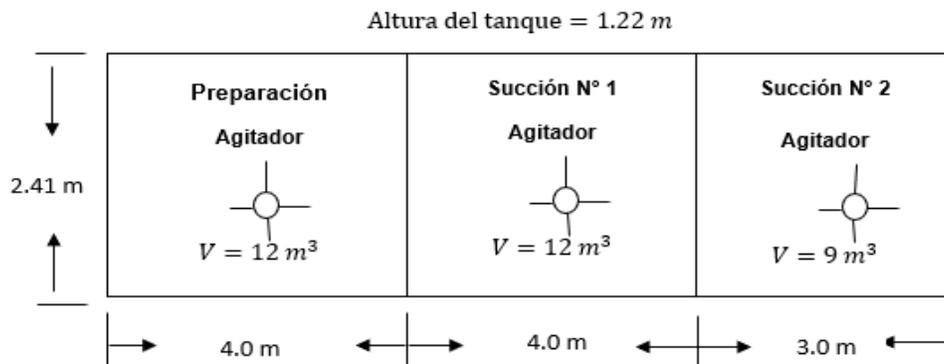


Figura 2.2 Dimensiones del tanque de succión en Pozo TR1.

Los tanques de almacenamiento son estructuras metálicas destinadas a almacenar agua, teniendo como función satisfacer demanda de agua, mantener un volumen adicional de reserva.

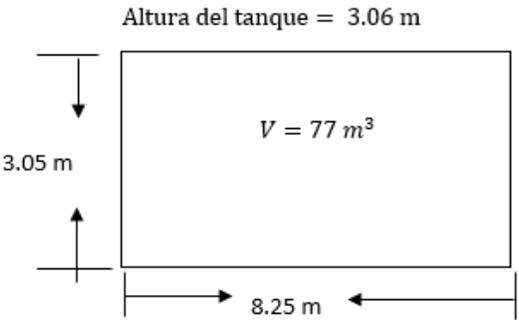


Figura 2.3 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1.

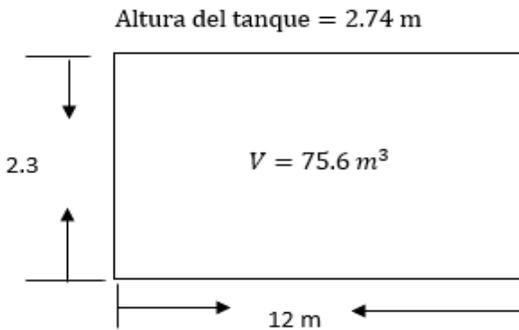


Figura 2.4 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1.

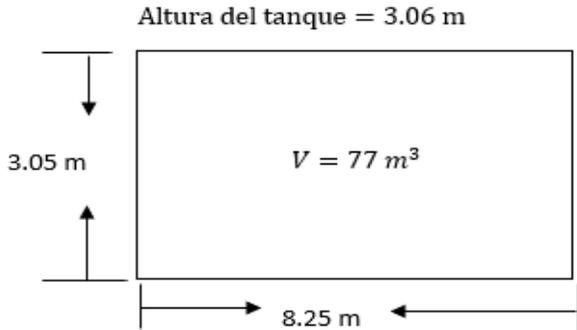


Figura 2.5 Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua 3 en Pozo TR1.

2.2.2 Estructura Principal de Soporte o Mástil

El mástil es la estructura utilizada para sustentar el bloque de corona y la sarta de perforación. Los mástiles suelen tener forma rectangular o trapezoidal y exhiben gran rigidez, característica importante para los equipos de perforación terrestres cuyo mástil se recuesta cuando el equipo se mueve. Por ser más pesados que las torres de perforación convencionales no suelen encontrarse en los ambientes marinos, donde el peso constituye una preocupación más importante que en las operaciones terrestres (Schlumberger, 2021).



Figura 2.6 Mástil ubicado en TR1 LaGeo, Berlín.

2.2.3 Equipo Auxiliar para Manejo de Cargas o Malacate

La máquina del equipo de perforación consiste en un tambor de acero de gran diámetro, los frenos, una fuente de potencia y diversos dispositivos auxiliares. La función principal del malacate es desenrollar y enrollar el cable de perforación, un cable de gran diámetro, de manera controlada. El cable de perforación se enrolla sobre el bloque de corona y el bloque viajero (aparejo móvil) para crear ventaja mecánica en un modo de tipo "aparejo de roldana" o "polea". Esta acción de desenrollado y enrollado del cable de perforación hace que se baje o se suba en el pozo el bloque viajero (aparejo móvil) y cualquier elemento que se encuentre suspendido debajo de éste. La acción de desenrollado del cable de perforación responde a la gravedad y el enrollado es accionado con un motor eléctrico o un motor diésel (Schlumberger, 2021).



Figura 2.7 Malacate ubicado en TR19 LaGeo, Berlín.

2.3 Factores que afectan la tasa de Corrosión en la Industria Geotérmica

Diversos factores pueden afectar la tasa a la cual avanza la corrosión. La mayoría de dichos factores están interrelacionados y tienen un efecto sinérgico sobre la tasa de corrosión, los factores básicos son las siguientes:

A) Temperatura

Existen dos efectos diferentes:

- 1) A medida que la temperatura aumenta, la tasa de corrosión aumenta. Si todos los otros factores permanecen constantes, la tasa de corrosión se duplica por cada aumento de 55°F (31°C) de temperatura.
- 2) El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases corrosivos (O₂, CO₂, H₂S), disminuyendo así la corrosividad del fluido. Observe que “solubilidad” significa aquí la solubilidad del gas a presiones superficiales y no hace referencia a las reacciones químicas de gases como CO₂ y H₂S con el fluido.

B) Presión

El aumento de presión aumenta la solubilidad de la mayoría de los gases corrosivos. El aire atrapado o retenido se disuelve rápidamente en el fluido, a medida que la presión se incrementa cuando bombea fluido. Esto afecta drásticamente el contenido del oxígeno del fluido aumentando la corrosividad.

C) pH

Generalmente, la tasa de corrosión disminuye a medida que el pH aumenta. A temperaturas ambiente, a medida que el pH aumenta, las tasas de corrosión disminuyen rápidamente. Así mismo, las tasas son mucho más lenta en fluidos ácidos. Poca reducción en la tasa de corrosión es posible cuando el pH llega a ser mayor de 10.5.

D) Sales disueltas

El efecto de la concentración de sal presenta dos facetas:

- 1) A medida que la concentración de sal aumenta, la conductividad se incrementa y por consiguiente la tasa de corrosión también aumenta.
- 2) Sin embargo, el aumento de la concentración de sal reduce la solubilidad del oxígeno y disminuye la tasa de corrosión. El efecto general es un ligero incremento en la tasa de corrosión debido a la conductividad, hasta que la concentración alcanza aproximadamente mg /L (Cl)⁻.

Al exceder este valor, a medida que la concentración aumenta, la solubilidad del oxígeno y la tasa de corrosión disminuyen.

2.3 Tipos de corrosión en la Industria Geotérmica

Deben cumplirse cuatro condiciones antes de que haya estos tipos de corrosión:

- 1) Debe existir un ánodo y un cátodo.
- 2) El ánodo y el cátodo deben estar inmersos en un medio electrolito.
- 3) Debe existir una diferencia de potencial entre ánodo y el cátodo.
- 4) Debe haber un acoplamiento para completar el circuito eléctrico.

El ánodo y el cátodo están en las estructuras metálicas que sirven como equipos de perforación. Los fluidos en la industria geotérmica pueden funcionar como el medio electrolito y el acoplamiento se crea con el acero de los equipos de perforación. La diferencia de potencial se establece con la estructura cristalina y los diferentes metales utilizados en la aleación de los equipos de perforación, o como resultado la formación de escamas, estas condiciones dan lugar a los siguientes tipos de corrosión:

- 1) Corrosión generalizada: Es la corrosión de una manera uniforme, donde la superficie completa del metal esta corroída y se ha adelgazado a una tasa uniforme.



Figura 2.8 Corrosión generalizada en TR1 LaGeo, Berlín.

- 2) Corrosión por picaduras: Es un ataque de corrosión sumamente localizada que produce penetraciones profundas en lugares específicos. La picadura puede agrietar o penetrar la sarta de perforación, causando así fugas y rupturas por torsión, lo cual tiene como resultado trabajos de recuperación costosos.



Figura 2.9 Corrosión por picaduras en TR1 LaGeo, Berlín.

- 3) Corrosión por esfuerzo y corrosión acelerada por esfuerzo: A menudo se conocen como “grieta de corrosión por esfuerzo”, donde el agrietamiento y la posible ruptura de un metal son causados por la combinación de la resistencia, la tensión y un medio corrosivo.



Figura 2.10 Corrosión por esfuerzo en TR1 LaGeo, Berlín.

- 4) Fragilización por hidrógeno: Es la fragilización de un metal causada por una penetración atómica del hidrógeno en la estructura reticular del metal. Esta penetración disminuye la ductilidad del metal y el resultado final será una ruptura de la tubería.

- 5) Corrosión por deposición o escamas: Es la deposición de materiales insolubles en la superficie de un metal. Esta deposición forma celdas localizadas de concentración de la corrosión, las cuales estimulan las picaduras.
- 6) Corrosión por erosión: Es el deterioro de una superficie por la acción abrasiva de sólidos suspendidos o burbujas de gas en una corriente en movimiento.
- 7) Fatiga por corrosión: La vida de fatiga en una tubería de perforación se reduce cuando la tubería se somete a esfuerzos cíclicos en un ambiente corrosivo. Las grietas de fatiga por corrosión pueden generarse por las picaduras de corrosión, las melladuras mecánicas, los defectos del metal o la concentración de esfuerzo producido por un rumbo o conexión inadecuados.
- 8) Corrosión inducida por bacterias: Se ha sabido que las tuberías de revestimiento, de producción y los tubulares de la sarta de perforación sufren de corrosión severa como resultado de la acción bacteriana.
- 9) Los microorganismos contribuyen con la corrosión de diversas maneras. Algunas actúan como despolarizadores catódicos.

2.4 Norma SSPC-TU 3

Norma SSPC-TU 3 es la base del Diagnóstico del estado actual de los recubrimientos aplicados en superficie metálica en equipo e instalaciones en LaGeo.

Descripción de Norma SSPPC-TU 3.

La Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, Tecnología Actualizada No.3 Repinte (SSPC-TU 3 por sus siglas en inglés) analiza los riesgos asociados con la práctica de pintura de mantenimiento conocida como repintado. Se discuten los factores que afectan la aplicación, el servicio y los costos del repintado.

Esta Norma está destinada a servir como recurso para los propietarios de instalaciones y otras personas encargadas de desarrollar e implementar programas de pintura de mantenimiento.

Este documento contiene discusiones sobre los riesgos asociados con el repintado, los métodos de evaluación de riesgos y los medios por los cuales se pueden gestionar y reducir los riesgos.

Definiciones importantes de Norma SSPPC-TU 3 para Diagnóstico del estado actual de los recubrimientos.

- A) Repintado: Aplicación de un sistema de recubrimiento sobre un recubrimiento existente.

- B) Reemplazo: Eliminación completa del sistema de recubrimiento existente seguido de la aplicación de un nuevo sistema de recubrimiento (incluidos los métodos de limpieza adecuados) (SSPC –TU 3, 1997).

- C) Riesgo: Como se usa en el presente documento, "riesgo" se refiere a la posibilidad de que el sistema repintado (pintura vieja más una capa recién aplicada) falle catastróficamente (por ejemplo, delaminación del sistema) o no proporcione el período de protección deseado (por ejemplo, óxido) (SSPC –TU 3, 1997).

- D) Esfuerzo de revestimiento: La tensión que tiene un revestimiento, que es capaz de impartirse al sustrato de acero u otro revestimiento (SSPC –TU 3, 1997).

- E) Recubrimiento quebradizo: Recubrimiento que se ha degradado a una condición friable pero aún tiene suficiente elasticidad para adherirse al sustrato o recubrimiento existente (SSPC –TU 3, 1997).
- F) Descascarillado: Desprendimiento de pequeños trozos de la película de pintura, generalmente precedido por agrietamiento, agrietamiento o formación de ampollas (SSPC –TU 3, 1997).
- G) Revestimiento suelto: Revestimiento que se ha deslaminado y desprendido del sustrato u otras capas, pero que no se ha desprendido (SSPC –TU 3, 1997).
- H) Revestimiento marginalmente adherente: Un revestimiento que exhibe una adherencia de la cinta de clasificación de 2A o menos (según ASTM D3359-09), de manera que el riesgo de sobrecarga es moderado o alto (SSPC –TU 3, 1997).
- I) Revestimiento: Aplicación de materiales de revestimiento sobre un revestimiento existente para prolongar su vida útil, incluido el uso de los métodos de limpieza adecuados. El procedimiento incluye la preparación de áreas oxidadas o degradadas, el desvanecimiento de los bordes de la pintura existente, el lavado con agua a baja presión de toda la estructura para eliminar los contaminantes, la aplicación de una capa intermedia completa sobre las áreas reparadas y la aplicación opcional de una capa superior completa sobre toda la estructura. La capa superior puede ser una alternativa rentable para la eliminación completa del revestimiento y el repintado. Cuando el recubrimiento antiguo contiene plomo, cadmio o cromo, el repintado puede ser una opción particularmente atractiva debido a consideraciones económicas. El repintado también presenta ciertos riesgos (SSPC –TU 3, 1997).

J) Reparación puntual: Un procedimiento que implica la limpieza de la superficie de áreas aisladas de corrosión o rotura de pintura utilizando métodos de limpieza adecuados y el recubrimiento posterior de estas áreas (SSPC –TU 3, 1997).

K) Pintura de zona: Procedimiento que implica la preparación de la superficie utilizando métodos de limpieza adecuados y pintura de un área definida de una estructura. La pintura de zona puede incluir (a) muchas reparaciones puntuales dentro de un área definida o (b) la eliminación de todo el recubrimiento en un área definida, seguida de la aplicación de un nuevo sistema de recubrimiento en esa área (SSPC –TU 3, 1997).

2.6 Herramientas de la aplicación de la Norma SSPC-TU 3.

La Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, Tecnología Actualizada No.3 Repinte (SSPC-TU 3 por sus siglas en inglés contiene discusiones sobre los riesgos asociados con el repintado, los medios por los cuales se pueden gestionar para reducir los riesgos y los métodos de evaluación de riesgos. Los métodos de evaluación aplicados en el presente trabajo son:

- A) Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero Visual 2, SSPC-VIS 2 por sus siglas en inglés.

- B) Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, medición de espesores de película seca, SSPC-PA 2 por sus siglas en inglés.

- C) Guía de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, métodos de prueba estándar para calificar la adhesión ASTM D 3359-09 por sus siglas en inglés.

2.6.1 Norma SSPC-VIS 2 como comparador visual del tipo y nivel de corrosión.

Este estándar proporciona un método para evaluar el grado de oxidación en superficies pintadas de acero (o hierro). Las fotografías en color de referencia y las imágenes en blanco y negro correspondientes, que representan el porcentaje de oxidación indicado en la especificación escrita, forman parte de la norma. En caso de disputa, prevalecen las definiciones escritas.

Esta norma es particularmente útil para evaluar la oxidación en paneles de prueba o en áreas localizadas de estructuras (SSPC-VIS 2, 2008).

Esta norma cuantifica el grado de oxidación en superficies de acero pintadas con una escala de cero a diez con base en el porcentaje de óxido visible presente en la superficie. El óxido visible incluye ampollas de óxido y socavación del revestimiento. La distribución del óxido se clasifica como óxido puntual, óxido general u óxido puntiagudo.

Las fotografías de referencia estándar representan la apariencia de superficies de acero pintadas con el porcentaje apropiado de oxidación para diversas distribuciones de la oxidación. La oxidación representada en las fotografías muestra manchas asociadas con la oxidación. Las imágenes en blanco y negro resaltan solo aquellas áreas que están oxidadas. Tanto las fotografías en color como las imágenes en blanco y negro permiten al evaluador asignar un grado de óxido preciso (SSPC-VIS 2, 2008).

2.6.2 Norma SSPC- PA 2, Guía para la medición de espesores de película seca.

Esta norma describe los procedimientos para medir el espesor de una película seca de un recubrimiento aplicado sobre un sustrato metálico utilizando equipos digitales.

2.6.3 ASTM D3359-09, Guía para Pruebas de Adhesión en película seca.

La guía ASTM D3359-09 establece dos métodos de prueba estándar para clasificación de la adhesión mediante prueba de cinta. Estos métodos de prueba cubren los procedimientos para evaluar la adhesión de películas de revestimiento relativamente dúctiles a sustratos metálicos aplicando y retirando cinta sensible a la presión sobre los cortes hechos en la película.

Estos métodos A y B de prueba se utilizan para evaluar si la adhesión de un recubrimiento a un sustrato es adecuada para la aplicación del usuario.

2.6.4 Factores que influyen en los resultados de Pruebas de Adhesión

- A) Tipo de sistema de recubrimiento existente (aceite, alquídico, vinilo, epoxi, uretano): Es importante poder determinar si existen múltiples tipos de sistemas de recubrimiento en la estructura e identificarlos para determinar la composición química básica, por lo que se puede seleccionar el sistema de recubrimiento adecuado y se pueden identificar condiciones peligrosas especiales.

- B) Espesor: Los recubrimientos más gruesos y envejecidos tienden a estar más sometidos a esfuerzos. Se pueden generar fuertes fuerzas de pelado durante el curado y envejecimiento del revestimiento cuando se repintan recubrimientos más gruesos y con mayor estrés. La delaminación también puede ser causada por ciclos térmicos que pueden alterar la integridad de los recubrimientos gruesos y envejecidos que han sido repintados. Los ciclos térmicos rápidos pueden acelerar el deterioro del sistema. Los recubrimientos más gruesos y con mayor tensión también tienen más probabilidades de sufrir daños por medio de granallado u otros procesos mecánicos. Esto a menudo da como resultado una pérdida posterior de adherencia que puede afectar el rendimiento del sistema de recubrimiento.

- C) Número de capas de revestimiento: Muchas capas de pintura aumentan la posibilidad de una mala adhesión entre capas y pueden provocar deslaminación.
- D) Edad del recubrimiento: Dependiendo del mecanismo de curado, ciertos recubrimientos tienden a fragilizarse con el tiempo.
- E) Tiza y erosión: Los recubrimientos epoxi y alquídicos pueden calentar y erosionar con una exposición prolongada. Generalmente, esto no presenta un problema debido al repintado, siempre que el revestimiento restante tenga una buena adhesión y la oxidación sea nominal.
- F) Películas de pintura deslaminadas: Las películas de pintura que presentan deslaminación u otras características indeseables, como el agrietamiento, no son buenas candidatas para repintado. Donde la deslaminación es principalmente el resultado de tensiones internas en el material de revestimiento que se transfiere a las capas de recubrimientos subyacente o existente. Las tensiones internas se producen cuando la pintura aplicada se encoge. Varios factores afectan el grado de tensión interna en el material de revestimiento, incluido el tipo de revestimiento, la formulación, las condiciones de formación de película, la temperatura, la edad y el espesor del revestimiento. Un buen ejemplo de un aumento del estrés interno es el curado oxidativo de los alquídicos. Las fluctuaciones de temperatura también pueden afectar el nivel de estrés interno, los recubrimientos de "bittle" son más propensos a agrietarse durante los cambios de temperatura. La aplicación de una capa superior también puede afectar la tensión interna presente en la capa superior que se transmite al revestimiento existente.
- G) Fragilidad del recubrimiento: Los recubrimientos quebradizos tienden a agrietarse, proporcionando lugares para el pelado inducido por tensión.

- H) Preparación de la superficie: El rendimiento del sistema está influenciado por la preparación de la superficie antes de la aplicación inicial del recubrimiento. Una superficie que se limpió previamente con chorro de arena es más probable que tenga valores de adherencia satisfactorios y, en general, es un mejor candidato para una capa superior que una superficie con cascarilla de laminación existente.
- I) Contaminantes de la superficie: Los contaminantes de la superficie, como el cloruro y los sulfatos, pueden reducir la vida útil del recubrimiento y acelerar enormemente la corrosión, mientras que la grasa y el aceite pueden provocar una mala humectación y adherencia del sistema de recubrimiento. Los recubrimientos difieren ampliamente en su capacidad para proteger en estas condiciones. Los problemas asociados con los contaminantes de la superficie no son necesariamente específicos del repintado; sin embargo, es menos probable que se eliminen los contaminantes durante el repintado porque normalmente se realiza mucha menos preparación de la superficie. Una menor preparación de la superficie reduce los costos y reduce la exposición ambiental y de los trabajadores a polvos peligrosos. También es más probable que una preparación extensa de la superficie cause daños mecánicos y un revestimiento viejo, quebradizo y ligeramente adherente, que luego puede deslaminarse.
- J) Picaduras: Las picaduras a menudo contienen celdas de corrosión activa (debido a cloruros o sulfatos) que pueden causar fallas prematuras de los materiales de recubrimiento.
- K) Compatibilidad del revestimiento: La prueba de parche es un buen método para determinar si el nuevo revestimiento es compatible con el existente. La prueba debe realizarse de manera que se logre la exposición al parche en el peor de los casos. Un método para la prueba de parches se describe en la Guía 5 de SSPC-PA y ASTM D5064.

L) Tipo de estructura:

1. Normas de superficies; las áreas planas amplias pueden deslaminarse primero, particularmente si el recubrimiento se aplica sobre una escala mil.
2. Flexión; la rigidez de la superficie revestida afecta, como las tensiones internas en el revestimiento se traducen en interfaces. Las vigas flexibles y las áreas planas anchas tienden a aportar más tensión a un sistema de revestimiento que las áreas planas más pequeñas y angulares.
3. Ambiente de exposición; el revestimiento seleccionado debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales a las que estará expuesto, así como las condiciones de la superficie sobre la que se aplicará.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan las metodologías usadas para el Diagnóstico del estado actual de los recubrimientos aplicados en superficies metálicas en equipos e instalaciones en LaGeo mediante la Norma Americana SSPC-TU 3, Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, Actualización Tecnológica No.3.

Las herramientas que brinda la Norma SSPC-TU 3 son las Guías SSPC -VIS 2, SSPC –PA 2 y ASTM D3359-09. Estos protocolos son la base para el desarrollo de las tres actividades más importantes que abarca el presente trabajo de aplicación, que son, la identificación del tipo y nivel de corrosión, medición de espesores de película seca en estructuras metálicas pintadas y pruebas de adhesión. Las metodologías de estas herramientas están descritas en el presente capítulo y establecidos en la Norma SSSPC-TU 3.

3.1 Identificación de corrosión aplicando Norma SSPC- VIS 2.

Para la identificación de la corrosión en equipo de perforación de LaGeo se requiere de un comparador visual SSPC, este comparador es la Guía del Método Estándar para la evaluación del Grado de Corrosión en Superficies Pintadas de Acero (SSPC-VIS 2, 2008).

3.1.1 Procedimiento para la aplicación de la Guía SSPC-VIS 2.



Figura 3.1 Pasos para aplicación de Guía SSPC-VIS 2.

Fuente: (SSPC-VIS 2, 2008).

SELECCIONAR ÁREA: Seleccione el área que se va a evaluar para determinar el grado de oxidación. Esta área puede ser tan pequeña como un panel de prueba o tan grande como el casco de un barco. Para estructuras complejas, cada miembro puede evaluarse por separado (por ejemplo, parte superior del ala de un barco).

DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN DEL ÓXIDO: Determine la distribución del óxido (puntual, general o puntiagudo) que más se asemeje al área seleccionada. Compare el área seleccionada con la fotografía en color o la imagen en blanco y negro correspondiente. Determine el porcentaje de óxido en la superficie mediante comparación visual con las fotografías de referencia.

DETERMINAR EL GRADO DE ÓXIDO: Si la acumulación de óxido es evidente debajo del recubrimiento, como en una ampolla de óxido o como un corte de óxido, entonces las áreas oxidadas deben incluirse en la determinación del grado de oxidación.

Una ampolla de óxido se define como una mancha en una superficie pintada donde el recubrimiento está intacto, pero se levanta de la superficie por la expansión del óxido. El óxido no es visible, pero se encuentra debajo del revestimiento. Una ampolla de óxido no es lo mismo que una ampolla llena de líquido, que generalmente es causada por presión osmótica o atrapamiento de solvente. El volumen de óxido (presente) en una ampolla llena de líquido es un pequeño porcentaje del volumen de la ampolla, mientras que la oxidación ocupa la mayor parte del volumen de una ampolla de óxido no colapsada. Si hay ampollas de óxido, se debe determinar el grado de óxido considerando las ampollas de óxido como óxido visible (SSPC-VIS 2, 2008).

El óxido socavado en un área dañada, en una ampolla rota o en un lugar donde la superficie pintada se encuentra con un área oxidada, se considerará como óxido visible en la determinación del grado de óxido. Se puede usar una espátula sin filo para quitar la capa suelta, exponiendo así las áreas oxidadas (SSPC-VIS 2, 2008).

OTRAS CONSIDERACIONES: Se debe tener cuidado al determinar el porcentaje de óxido en la superficie (SSPC-VIS 2, 2008).

Las imágenes de referencia estándar para la evaluación del grado de oxidación en las superficies pintadas de acero contienen:

- A) Oxidación general
- B) Manchas de oxidación
- C) Puntos precisos de oxidación (SSPC-VIS 2, 2008)

Se debe realizar una inspección visual cuantitativa del sistema de revestimiento envejecido para determinar el grado de degradación, incluida la corrosión debajo de la película, yeso, pelado, descamación, agrietamiento, oxidación y formación de ampollas. Se deben identificar los contaminantes visibles de la superficie, incluidos el moho, los escombros, la grasa y el aceite. Los componentes o áreas representativos de la estructura deben evaluarse individualmente. ASTM 5065 proporciona una descripción detallada de las técnicas de inspección visual que deben utilizarse (SSPC-TU3, 1997).

3.2 Medición de espesores de película seca, aplicando Norma SSPC-PA 2.



Figura 3.2 Pasos para aplicación de Guía SSPC-PA 2.

Fuente: (SSPC-PA 2, 2008).

La Norma Americana Aplicación Estándar de Pintura NO. 2, SSPC-PA 2 por sus siglas en inglés describe los procedimientos para medir el espesor de una película seca de un recubrimiento.

3.2.1 Procedimiento para la aplicación de la Guía SSPC-PA 2.

En el diagnóstico de corrosión se necesita determinar el espesor de la película y la adhesión del recubrimiento existente. Los recubrimientos se clasifican por espesor en tres rangos: 0 a 10 milésimas de pulgada (0 a 254 micrómetros), 10 a 20 milésimas de pulgada (254 a 508 micrómetros) y mayores a 20 milésimas de pulgada (mayor de 508 micrómetros).

El algoritmo funciona según el principio de que el riesgo de falla aumenta con el aumento del espesor de la película y la disminución de la adhesión. El riesgo se clasifica como OK (esencialmente sin riesgo), LR (riesgo bajo), MR (riesgo moderado), HR (alto riesgo) y NO (no es un candidato para repintado); estas abreviaturas están dadas por sus siglas en inglés. (SSPC –TU3, 1997).

Tabla 3.1 Criterios para evaluación de espesores

Fuente: (SPPC-TU3, 1997).

Clasificación de Espesores de película /Adhesión en recubrimientos					
<10 mils (<254 µm)	10 -20 mils (245- 508 µm)	>20 mils (>508 µm)	Método B	Porcentaje removido	Método A
OK	OK	OK	5B	0%	5A
OK	OK	OK	4B	1% A 5%	4A
OK	OK	LR	3B	6% a 15%	3A
LR	LR	MR	2B	16% a 35%	2A
MR	HR	HR	1B	36% a 65%	1A
NO	NO	NO	0B	>65%	0A

3.3 Pruebas de adhesión aplicando Norma ASTM D3359-09.



Figura 3.3 Pasos para aplicación de Guía D3359-09.

Fuente: (ASTM D3359-09, 2009).

ASTM D3359-09 es un método de prueba estándar para medir la adhesión mediante prueba de cinta. Esta prueba evalúa la adhesión de recubrimientos de películas a sustratos metálicos aplicando y quitando cinta sensible a la presión sobre los cortes hechos en la película.

Este método de prueba también se conoce como prueba Cross Hatch. La norma ASTM D3359-09 se utiliza a menudo para evaluar la adherencia del recubrimiento después del proceso de envejecimiento de las pruebas.

3.3.1 Procedimiento para la aplicación de la Norma ASTM D3359-09.

- A) Se debe realizar cinco mediciones de espesores y obtener el promedio de estos.
- B) El promedio de espesores será parte de nuestro criterio para escoger el tipo de método.
- C) Si el promedio es mayor a cinco mils se realiza método "A" Corte en Cruz.
- D) Si el promedio es mayor a cinco mils se realiza método "B" Corte en Cuadrícula.
- E) Se realizan los cortes sobre el sustrato y se pega un trozo de cinta certificada al corte.

- F) Se deja colocada por un minuto y se retira bruscamente.
- G) Se evalúa la adherencia alcanzada según la pintura removida. En el caso del método B (corte cuadrícula) se toma de referencia tabla de la Figura 3.4, en el caso del método A (corte cruz) se toma de referencia la tabla de la Figura 3.5.

En la siguiente tabla se presentan diferentes rangos de porcentaje removido de película seca, que son el criterio para establecer la clasificación de los resultados de las pruebas de adhesión.

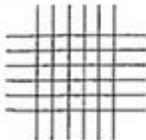
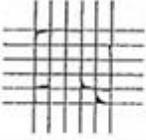
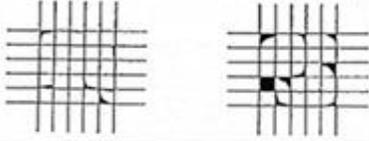
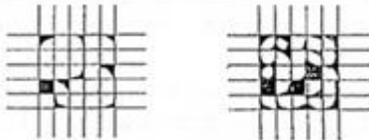
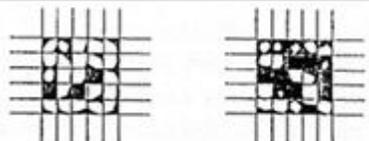
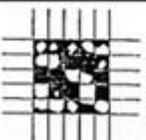
Classification	% of Area Removed	Surface of Cross-cut Area From Which Flaking has Occured for 6 Parrallel Cuts & Adhesion range by %
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

Figura 3.4 Clasificación de las Pruebas de Adhesión, Método "B".

Fuente: (ASTM D3359-09,2009).

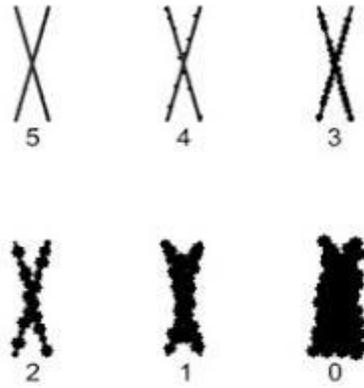


Figura 3.5 Clasificación de Pruebas de Adhesión, Método "A".

Fuente: (ASTM D3359-09,2009).



Figura 3.6 Equipo certificado de pruebas de adhesión.

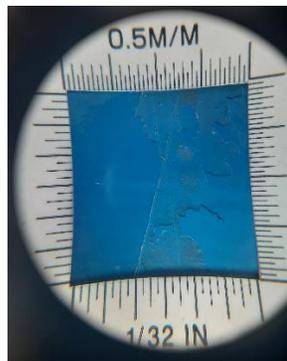


Figura 3.7 Prueba de adhesión tipo "A".

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados con pruebas fotográficas del desarrollo de las metodologías propuestas, se presenta la descripción de los resultados del diagnóstico en cada equipo en estudio, los cuales son, cinco tanques en Pozo TR1, el malacate en Pozo TR19 y el mástil en Pozo TR19.

4.1 Equipo de Perforación: Circuito de Tanques en Pozo TR1.

El circuito de tanques en Pozo TR1 consiste en:

- a) Un tanque de sedimentación
- b) Un tanque de succión
- c) Tres tanques de almacenamiento de agua

4.1.1 Identificación del tipo y nivel de corrosión en circuito de tanques.

La identificación del nivel y tipo de corrosión en el circuito de tanque se realizó en el día 8/10/21 como se muestra en la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4.

Tabla 4.1 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanque de Sedimentación en Pozo TR1.

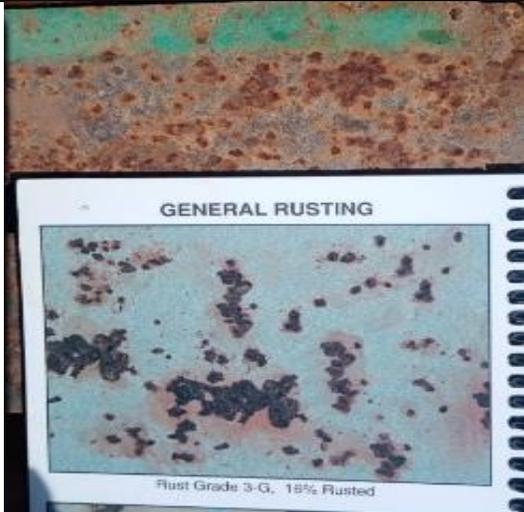
Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar la identificación: Tanque de Sedimentación Guía usada en la identificación: Norma SSPC-VIS 2	
 <p>a) Cara superior del tanque de sedimentación.</p> <p>Se observa un nivel de corrosión evidente en la superficie metálica.</p>	 <p>b) Oxidación de tanque, lado Norte.</p> <p>La oxidación general de la superficie metálica del equipo presenta un Grado de Óxido 3-G, 16% oxidada.</p>
 <p>c) Oxidación del tanque, vista superior.</p> <p>Esta superficie presenta oxidación puntual, con un Grado de Óxido 1-P, 50% oxidada.</p>	 <p>d) Comparador visual Fuente: (SSPC-VIS 2, 2008).</p> <p>La Norma SSPC-VIS 2 es un comparador visual con el que identificamos los niveles de corrosión en los equipos.</p>

Tabla 4.2 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanque de Succión en Pozo TR1.

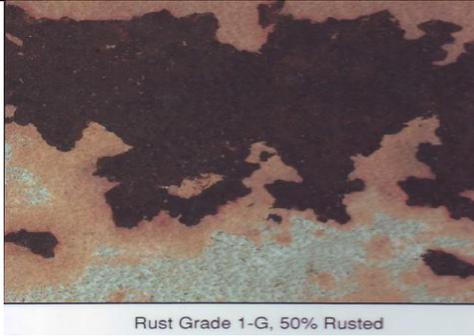
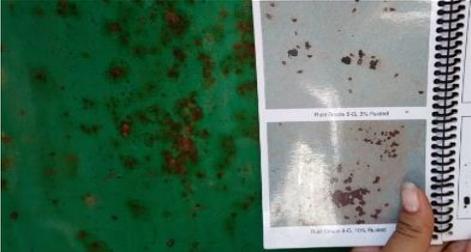
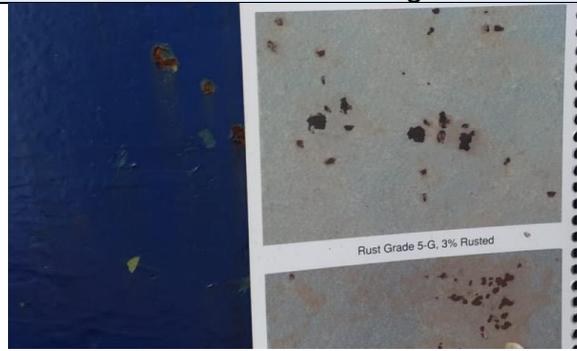
Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar la identificación: Tanque de Succión Guía usada en la identificación: Norma SSPC-VIS 2	
	
<p>a) Corrosión en lado Norte del Tanque. Superficie metálica con Grado de oxidación 1-G, 50% oxidado.</p>	<p>b) Comparador visual de Norma SSPC.VIS 2.</p>
	
<p>c) Corrosión en lado Norte del tanque.</p> <p>Grado de oxidación 4-G, 10% oxidado, el cual describe mejor la corrosión de la superficie metálica.</p>	<p>d) Comparador Norma SSPC-VIS 2.</p>
	
<p>e) Corrosión en lado Poniente del tanque.</p> <p>Con el comparador visual, se observa que esta superficie presenta oxidación general, con un Grado de Óxido 3-G, 16% oxidada.</p>	<p>f) Corrosión en lado poniente del tanque.</p> <p>Con el comparador visual, se observa que esta superficie presenta mancha de oxidación, con un Grado de Óxido 9-S, 0.03% oxidada.</p>

Tabla 4.3 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanques de Almacenamiento de Agua 1 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Guía usada en la identificación: Norma SSPC-VIS 2.	
Nombre del Equipo a realizar la identificación: Tanque de Almacenamiento de agua 1.	
 <p>a) Corrosión en TA1, lado poniente.</p> <p>Se observa oxidación general, con un Grado de Óxido 9-G, 0.03% oxidada.</p>	 <p>b) Corrosión en TA1, lado norte.</p> <p>Esta fotografía presenta oxidación general, con un Grado de Óxido 8-G, 0.1% oxidada.</p>
 <p>c) Corrosión en TA1, lado sur.</p> <p>Esta fotografía presenta oxidación general, con un Grado de Óxido 7-S, 0.3% oxidada.</p>	 <p>d) Comparador de Norma SSPC-VIS 2.</p>

Tabla 4.4 Identificación con vistas fotográficas de la Corrosión en Tanques de Almacenamiento de Agua 2 y 3 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Guía usada en la identificación: Norma SSPC-VIS 2.	
Nombre del Equipo a realizar la identificación: Tanque de Almacenamiento de agua 2.	Nombre del Equipo a realizar la identificación: Tanque de Almacenamiento de agua 3.
 <p>a) Corrosión en TA2, lado norte.</p> <p>Esta fotografía presenta oxidación general, con un Grado de Óxido 5-G, 3% oxidada.</p>	 <p>b) Corrosión en Tanque.</p> <p>Esta fotografía presenta cavidades, con un Grado de Óxido 8-S, 0.1% oxidada.</p>

4.1.2 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en circuito de tanques.

La medición de E.P.S. en los tanques de succión y sedimentación fue en el día 8/10/21 y la de los tanques de almacenamiento de agua fue en el día 25/10/21.

Tabla 4.5 Medición en milésimas de pulgada en E.P.S. en tanque de sedimentación en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a medir: Tanque Sedimentación Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T		
Mediciones de espesores de película seca		
N° de mediciones	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)
	Costado norte	Costado sur
1	2.23	1.37
2	2.10	1.27
3	2.90	2.83
4	2.50	1.62
5	2.05	1.30
6	3.01	2.24
7	3.05	1.97
8	2.05	1.75
9	2.24	2.07
10	2.23	1.56
11	1.65	1.69
12	3.89	1.52
13	2.52	1.65
14	1.94	1.94
15	2.56	2.15
16	2.63	1.11
17	3.02	1.44
18	3.18	2.62
19	2.59	2.05
20	3.30	2.40
	Costado poniente	Costado oriente
1	3.47	4.35
2	1.47	3.57
3	1.42	3.89
4	2.61	3.45
5	2.37	1.54
# Lecturas: 50	Desviación std: 0.770 Mils	
Media: 2.330 Mils	Media +3 σ : 4.636 Mils	
Máximo: 4.35	Media -3 σ : -0.017 Mils	
Mínimo: 1.11 Mils	CV%: 33.1%	
Rango: 3.24 Mils		

Tabla 4.6 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de sedimentación en Pozo TR1.

	
<p>a) Tanque de sedimentación.</p>	<p>b) Realización de Medición de E.P.S. en tanque.</p>
	
<p>c) Registro de medición de E.P.S. en tanque.</p>	<p>d) Registro de medición E.P.S. en tanque.</p>
	
<p>e) Registro de medición E.P.S. en tanque.</p>	<p>f) Registro de medición de E.P.S. en tanque.</p>

Tabla 4.7 Medición en milésimas de pulgada en E.P.S. en tanque de succión en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a medir: Tanque Succión Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T		
Mediciones de espesores de película seca		
N° de mediciones	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)
	Costado Poniente	Costado Oriente
1	3.09	3.00
2	1.54	1.16
3	2.61	1.83
4	3.64	2.22
5	1.67	2.48
6	3.01	2.99
7	2.36	3.39
8	1.27	3.37
9	1.33	2.77
10	1.69	2.16
11	2.26	2.30
12	3.23	2.38
13	2.05	2.30
14	2.11	2.10
15	2.08	3.20
16	2.16	2.19
17	3.14	2.77
18	2.12	3.28
19	1.97	3.34
20	1.99	2.37
N° de mediciones	Costado Sur	Costado Norte
1	3.47	3.18
2	3.51	1.96
3	2.62	1.69
4	2.99	2.64
5	3.00	1.99
# Lecturas: 50	Desviación std: 0.64 Mils	
Media: 2.480 Mils	Media +3 σ : 4.413 Mils	
Máximo: 3.64 Mils	Media -3 σ : -0.546 Mils	
Mínimo: 1.16 Mils	CV%: 26%	
Rango: 2.48 Mils		

Tabla 4.8 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de succión en Pozo TR1.

	
<p>a) Tanque de Succión.</p>	<p>b) Condición del Tanque de Succión.</p>
	
<p>c) Registro de medición de película.</p>	<p>d) Medición de película.</p>
	
<p>e) Registro de medición de película.</p>	<p>f) Registro de medición de película.</p>

Tabla 4.9 Medición en milésimas de pulgada en E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB)									
Nombre del Equipo a medir: Almacenamiento de Agua 1									
Equipo de medición: Medidor digital de espesor de película seca ELCOMETER 456T									
Mediciones de espesores de película seca									
Orientación Sur					Orientación Poniente				
N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)
1	5.70	11	5.10	21	7.40	1	11.50	11	4.03
2	6.30	12	8.20	22	4.60	2	10.30	12	2.36
3	5.60	13	6.20	23	5.10	3	2.53	13	2.93
4	7.70	14	7.50	24	6.30	4	3.44	14	4.30
5	6.50	15	6.80	25	6.50	5	3.23	15	2.95
6	9.70	16	6.90	26	6.90	6	3.88	16	5.40
7	6.00	17	4.06	27	6.10	7	3.23	17	3.06
8	8.00	18	7.70	28	9.60	8	5.00	18	3.11
9	5.40	19	7.80	29	5.70	9	2.97	19	3.37
10	6.50	20	5.00	30	6.40	10	3.02	20	2.22
Orientación Norte					Orientación Oriente				
N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)
1	4.36	11	6.50	21	11.60	1	4.77	11	7.40
2	2.79	12	3.30	22	8.00	2	5.50	12	8.30
3	6.70	13	3.72	23	9.80	3	2.08	13	9.20
4	6.40	14	2.19	24	10.50	4	7.90	14	6.00
5	3.84	15	7.70	25	10.70	5	6.80	15	7.30
6	3.30	16	3.34	26	11.10	6	6.30	16	9.60
7	1.49	17	9.50	27	9.10	7	6.50	17	6.50
8	3.26	18	11.30	28	12.80	8	11.50	18	6.70
9	3.48	19	7.20	29	10.60	9	9.20	19	7.70
10	6.20	20	6.90	30	7.10	10	10.80	20	8.10
# Lecturas: 100					Desviación std: 2.65 Mils				
Media: 6.33 Mils					Media +3σ: 14.28 Mils				
Máximo: 12.80 Mils					Media -3σ: -1.620 Mils				
Mínimo: 1.49 Mils					CV%: 41.9%				
Rango: 11.31 Mils									

Tabla 4.10 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 1 en Pozo TR1.



a) Tanque Almacenamiento de Agua 1.



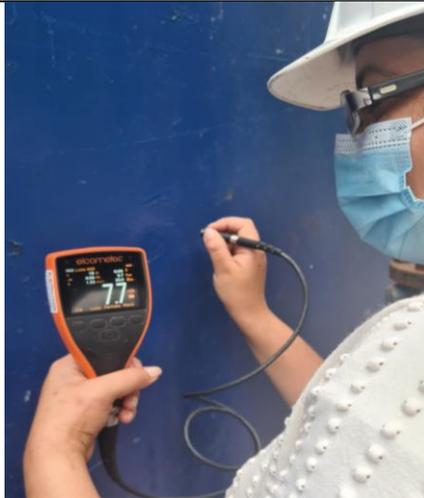
b) Medición de E.P.S. en tanque.



c) Registro de E.P.S.



d) Registro de E.P.S.



e) Medición de E.P.S.



f) Medición de E.P.S.

Tabla 4.11 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a medir: Sistema Completo Ext. Tanque Agua 2 Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T									
Mediciones de espesores de película seca									
Orientación Sur					Orientación Poniente				
N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)
1	1.48	11	1.19	21	1.15	1	1.12	11	0.89
2	1.19	12	0.86	22	1.57	2	1.20	12	5.50
3	2.01	13	1.11	23	1.08	3	1.07	13	8.00
4	1.43	14	1.89	24	1.68	4	1.84	14	4.30
5	2.36	15	2.14	25	1.48	5	0.99	15	4.35
6	1.27	16	1.96	26	3.80	6	1.33	16	1.23
7	1.82	17	2.18	27	3.27	7	3.48	17	4.63
8	1.55	18	1.75	28	2.28	8	3.27	18	0.93
9	1.59	19	2.17	29	2.13	9	3.10	19	1.45
10	1.07	20	1.15	30	3.54	10	3.26	20	1.70
Orientación Norte					Orientación Oriente				
N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)
1	1.04	11	1.52	21	3.47	1	4.06	11	1.95
2	1.90	12	1.92	22	3.67	2	3.59	12	1.68
3	0.96	13	2.19	23	2.78	3	2.30	13	1.56
4	1.72	14	1.07	24	2.52	4	2.12	14	1.27
5	1.71	15	2.34	25	1.91	5	2.18	15	2.91
6	1.33	16	2.09	26	2.98	6	2.47	16	1.22
7	1.24	17	3.01	27	2.35	7	3.82	17	2.34
8	1.56	18	4.83	28	3.00	8	3.92	18	3.20
9	1.44	19	1.20	29	1.52	9	5.20	19	2.20
10	1.78	20	1.63	30	2.65	10	2.06	20	3.17
# Lecturas: 100					Desviación std: 1.2 Mils				
Media: 2.24 Mils					Media +3σ: 5.85 Mils				
Máximo: 8 Mils					Media -3σ: -1.363 Mils				
Mínimo: 0.86 Mils					CV%: 53.6%				
Rango: 7.14 Mils									

Tabla 4.12 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de almacenamiento de agua 2 en Pozo TR1.

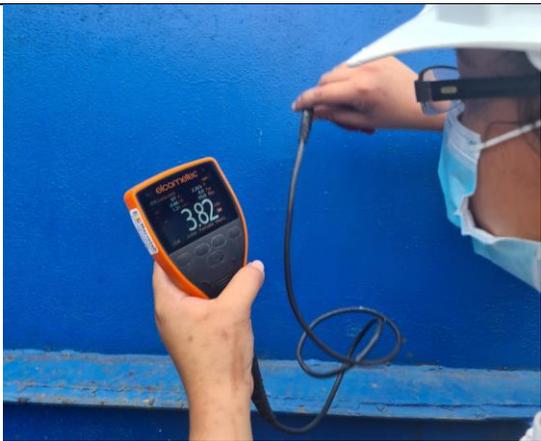
 <p>a) Tanque de Almacenamiento de Agua 2.</p>	 <p>b) Medición de E.P.S. en tanque.</p>
 <p>c) Medición de E.P.S. en tanque.</p>	 <p>d) Registro de Medición de E.P.S. en tanque.</p>
 <p>e) Medición de E.P.S. en tanque.</p>	 <p>f) Registro de Medición de E.P.S. en tanque.</p>

Tabla 4.13 Medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de Almacenamiento de Agua 3 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín, Reinyección Total Berlín (TRB)				
Nombre del Equipo a medir: Sistema Completo Exterior de Tanque Agua 3				
Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T				
Mediciones de espesores de película seca				
N°	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)	N°	Espesor (Mils)
	Costado sur	Costado norte		Costado poniente
1	10.30	7.80	1	8.50
2	8.60	7.70	2	10.70
3	5.20	3.57	3	11.20
4	10.90	2.79	4	11.50
5	10.40	13.90	5	8.30
6	10.10	11.20	6	10.90
7	9.80	4.33	7	9.00
8	10.10	12.60	8	3.68
9	10.40	4.29	9	11.30
10	11.30	11.50	10	9.50
11	8.60	4.20	11	9.90
12	9.70	3.95	12	0.91
13	7.60	11.70	13	7.40
14	7.80	8.50	14	11.00
15	9.30	2.88	15	9.70
16	12.00	11.70	Costado Oriente	
17	9.00	12.10	N°	Espesor (Mils)
18	12.20	5.20	1	12.30
19	3.59	12.20	2	12.00
20	2.95	2.05	3	10.90
21	3.30	7.00	4	11.00
22	8.00	8.20	5	11.20
23	6.40	10.90	6	5.20
24	9.80	8.00	7	6.20
25	11.90	11.50	8	6.50
			9	6.90
			10	6.60
# Lecturas: 75		Desviación std: 3.11 Mils		
Media: 8.55 Mils		Media +3σ: 17.871 Mils		
Máximo: 13.9 Mils		Media -3σ: -0.77 Mils		
Mínimo: 0.91 Mils		CV%: 36.3%		
Rango: 12.99 Mils				

Tabla 4.14 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en tanque de Almacenamiento de Agua 3 en Pozo TR1.

 <p>a) Tanque de Almacenamiento de Agua 3.</p>	 <p>b) Registro de medición de E.P.S.</p>
 <p>c) Medición de E.P.S.</p>	 <p>d) Registro de medición de E.P.S.</p>
 <p>e) Registro de medición de E.P.S.</p>	 <p>f) Registro de medición de E.P.S.</p>

Tabla 4.15 Mediciones promedios en milésimas de pulgada de E.P.S.

Resultados de las mediciones promedios de espesores de película seca (E.P.S)				
Equipo	Menor a 10 mils (menor a 254 μm)	10 -20 mils (245-508 μm)	Mayor a 20 mils (mayor a 508 μm)	Promedio de E.P.S.
Tanque de sedimentación	X			2.33 mils
Tanque de succión	X			2.48 mils
Tanque de almacenamiento de agua 1.	X			6.33 mils
Tanque de almacenamiento de agua 2.	X			2.24 mils
Tanque de almacenamiento de agua 3.	X			8.55 mils
Mástil	X			8.43 mils
Malacate	X			7.27 mils

4.1.3 Resultados de Pruebas de Adhesión en circuito de tanques.

Las pruebas de adhesión en los tanques de sedimentación y succión se realizaron el 25/10/21, Ver Tabla 4.16 y Tabla 4.17; y las de los tanques de almacenamiento de agua se realizaron en el día 14/10/21, Ver Tabla 4.18, Tabla 4.19 y Tabla 4.20.

Tabla 4.16 Resultado de Pruebas de Adhesión en Tanque de Sedimentación en Pozo TR1.

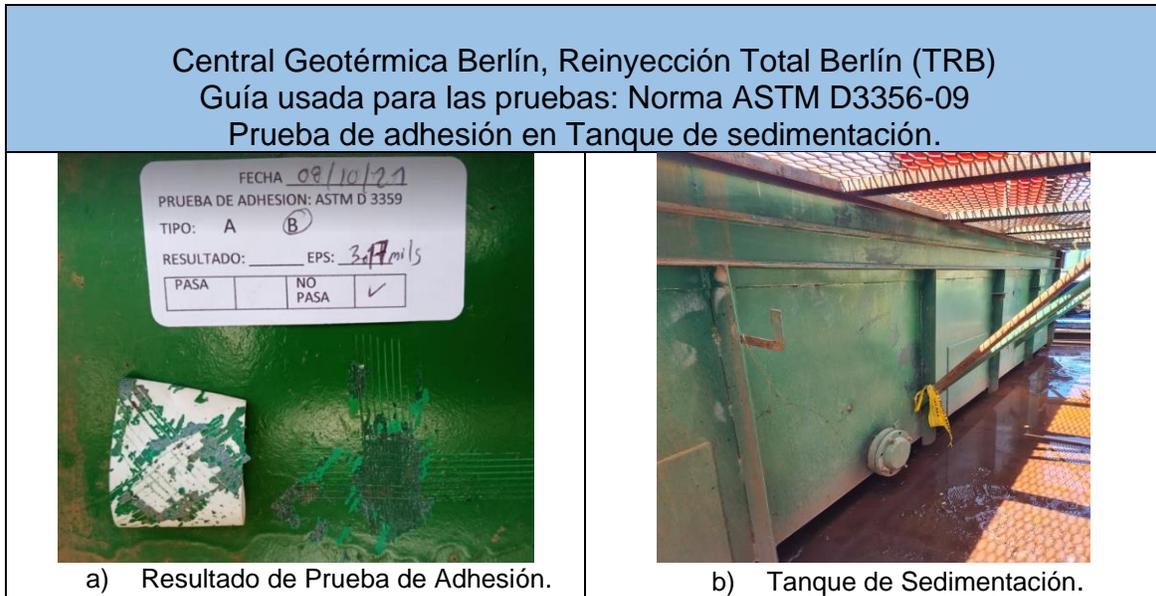


Tabla 4.17 Resultado Prueba de Adhesión en Tanque de Succión en Pozo TR1.

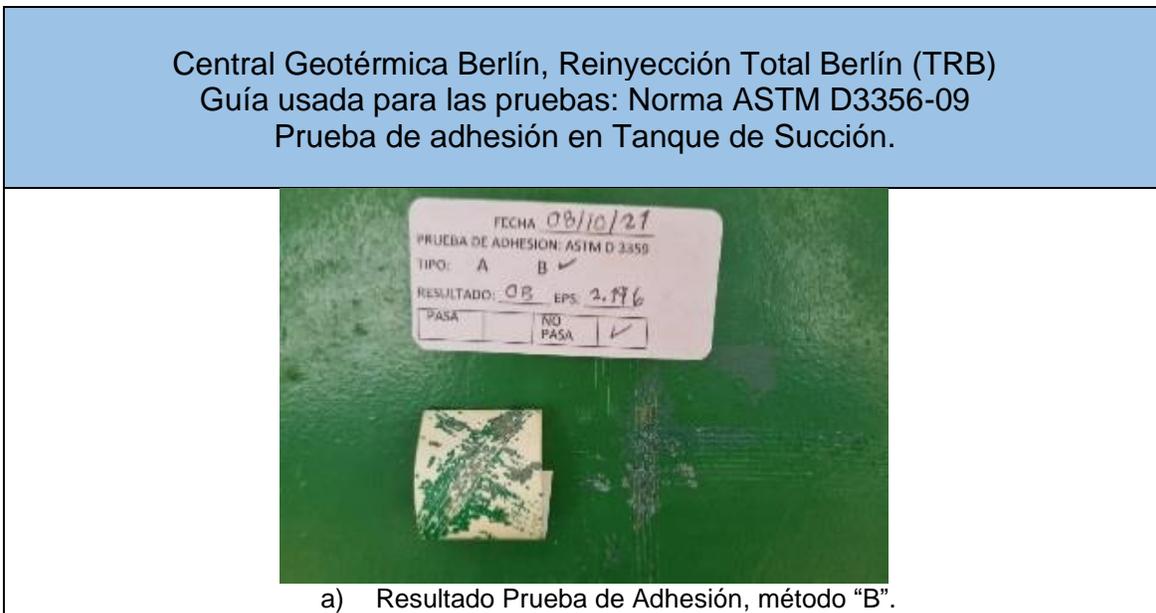


Tabla 4.18 Prueba de Adhesión en Tanque de Almacenamiento de Agua 1 en Pozo TR1.

Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar las pruebas: Tanque de almacenamiento de agua 1 Guía usada en las pruebas: Norma ASTM D3359-09.	
 <p>a) Resultado Prueba de Adhesión costado sur.</p>	 <p>b) Resultado Prueba de Adhesión, costado norte.</p>
 <p>c) Resultado Prueba de Adhesión, costado poniente.</p>	 <p>d) Registro de medición E.P.S.</p>
 <p>e) Resultado Prueba de Adhesión, costado oriente.</p>	 <p>f) Registro de medición de E.P.S.</p>

Tabla 4.19 Resultado de Pruebas de Adhesión en Tanque de Almacenamiento de Agua 2.

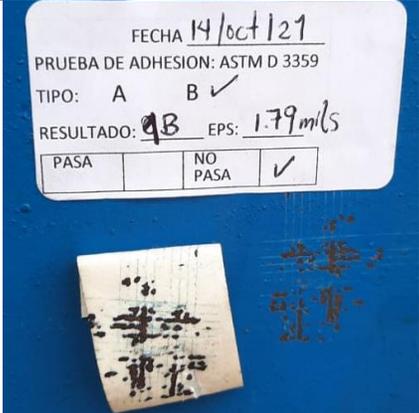
Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar las pruebas: Tanque de almacenamiento de agua 2 Guía usada en las pruebas: Norma ASTM D3359-09.	
 <p>a) Resultado Prueba de Adhesión, costado norte.</p>	 <p>b) Anotación de datos de resultados de Pruebas de Adhesión.</p>
 <p>c) Resultado Prueba de Adhesión, costado poniente.</p>	 <p>d) Resultado Prueba de Adhesión, costado oriente.</p>
 <p>e) Resultado Prueba de Adhesión, costado sur.</p>	 <p>f) Resultado Prueba de Adhesión, costado sur.</p>

Tabla 4.20 Resultados de Pruebas de Adhesión en Circuito de Tanques.

N° de prueba	Ubicación de la realización de la prueba	Clasificación y Método	Resultado
1	Costado norte, tanque de sedimentación	2B	NO pasa prueba
2	Costado norte, tanque de succión	0B	NO pasa prueba
3	Costado sur, tanque de agua 1	3A	NO pasa prueba
4	Costado norte, tanque de agua 1	3B	NO pasa prueba
5	Costado poniente, tanque de agua 1	4B	SI pasa prueba
6	Costado oriente, tanque de agua 1	0A	NO pasa prueba
7	Costado norte, tanque de agua 2	5B	SI pasa prueba
8	Costado poniente, tanque de agua 2	1B	NO pasa prueba
9	Costado oriente, tanque de agua 2	1B	NO pasa prueba
10	Costado sur, tanque de agua 2	1B	NO pasa prueba
<p>Observaciones: El 80% de pruebas de adhesión en los tanques fallaron y la mayoría de estas tienen clasificaciones críticas, es decir valores de 0 y de 1, en los tanques de sedimentación y succión se observa un mayor grado de corrosión que en los demás tanques de almacenamiento de agua, hay muchas áreas de todo el circuito de tanques que están sin pintura, pues hay desprendimiento de pintura, agrietamiento, todos los tanques tienen exposición al ambiente, exposición a la humedad y a altas temperatura.</p>			

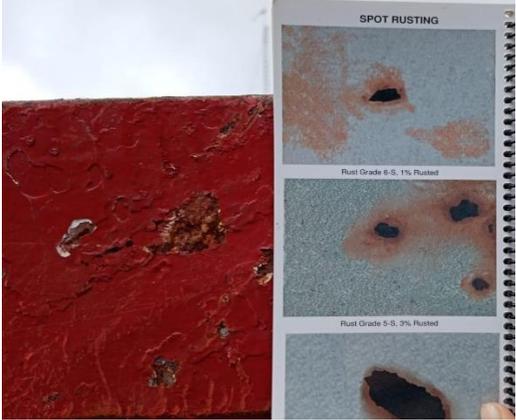
4.2 Equipo de perforación: Estructura Principal de Soporte o Mástil.

El diagnóstico de este equipo se realizó con la estructura acostada en el Pozo TR19, esta estructura conta de 3 tramos, se le nombran superior, intermedio e inferior por la ubicación que tienen cuando la estructura es alzada. La altura de dicha estructura es de 131 pies.

La identificación del tipo y nivel de corrosión, medición de E.P.S. y pruebas de adhesión en el mástil, se realizaron en el día 25/10/21.

4.2.1 Identificación del tipo y nivel de corrosión en Mástil en Pozo TR19.

Tabla 4.21 Identificación del tipo y nivel de Corrosión en Mástil.

Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar la identificación: Mástil Herramienta usada en la identificación: Norma SSPC-VIS 2	
Identificación de corrosión	
 <p>a) Corrosión del Mástil.</p> <p>La superficie de la Figura 4.62 presenta manchas de óxido, con un Grado de Óxido 4-S, 10% oxidada.</p>	 <p>b) Corrosión del Mástil, costado Norte.</p> <p>La superficie de la Figura 4.63 presenta manchas de óxido, con un Grado de Óxido 5-S, 3% oxidada.</p>

4.2.2 Medición de espesores de película seca E.P.S. en Mástil.

Tabla 4.22 Medición de espesores en Estructura Principal de Soporte o Mástil en Pozo TR19.

Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a medir: Mástil Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T						
N°	Tramo superior (roja)		Tramo Intermedia (blanca)		Tramo Intermedia (blanca)	
	Costado Norte	Costado Sur	Costado Norte	Costado Sur	Costado Norte	Costado Sur
	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)
1	12.80	11.00	7.70	12.80	6.00	9.30
2	14.40	5.50	9.80	10.00	2.43	4.69
3	12.50	22.00	14.40	12.50	3.34	6.00
4	7.70	12.30	11.30	4.31	3.47	4.17
5	3.36	4.38	7.70	8.10	4.13	2.73
6	3.63	2.50	12.40	12.80	3.29	8.90
7	11.90	4.60	7.20	14.30	3.54	5.70
8	12.40	5.70	6.00	13.60	7.70	13.70
9	6.80	10.80	6.80	18.20	6.90	10.50
10	3.89	13.70	6.10	19.20	3.70	13.10
11	4.50	10.40	3.85	13.20	2.11	5.30
12	16.60	11.90	5.60	5.70	8.30	3.89
13	10.60	8.90	17.40	11.60	3.19	6.00
14	7.10	6.40	11.30	3.71	6.90	9.60
15	6.00	4.38	12.10	15.50	1.24	4.69
# Lecturas: 90 Desviación std: 4.48 Mils Media: 8.43 Mils Media +3σ: 21.863 Mils Máximo: 22.00 Mils				Media -3σ: -5.011Mils Mínimo: 1.24 Mils CV%: 53.2% Rango: 20.76 Mils		

Tabla 4.23 Evidencias fotográficas de medición de E.P.S. de Mástil en Pozo TR19.

 <p>a) Registro de Medición E.P.S. en tramo superior del Mástil.</p>	 <p>b) Medición de E.P.S. en tramo inferior del Mástil.</p>
 <p>c) Registro de medición E.P.S. en tramo intermedio del Mástil.</p>	 <p>d) Registro de medición de E.P.S. en tramo superior del Mástil.</p>
 <p>e) Tramo superior del Mástil.</p>	 <p>f) Tramo intermedio del Mástil.</p>

4.2.3 Resultados de Pruebas de adhesión en Mástil.

Tabla 4.24 Resultados de Pruebas de Adhesión en Mástil en TR19.

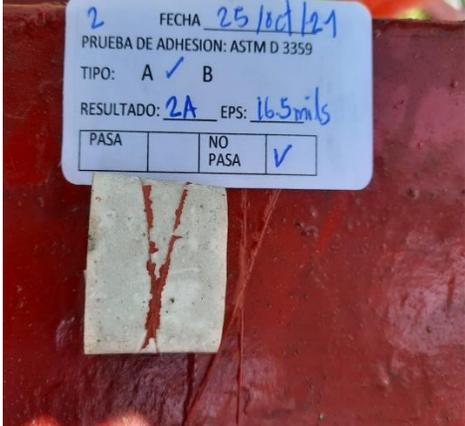
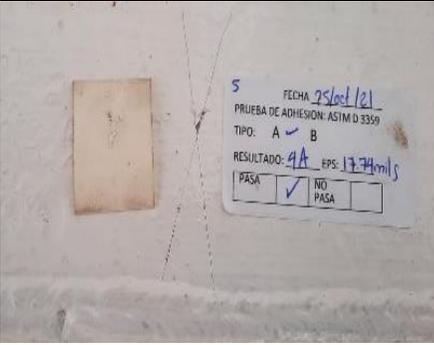
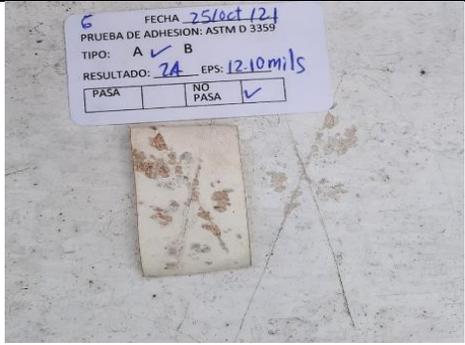
Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar las pruebas: Mástil Herramienta usada para las pruebas: Norma ASTM D3356-09.	
 <p>a) Prueba 1 de Adhesión en tramo superior de Mástil, costado norte.</p>	 <p>b) Prueba 2 de Adhesión en tramo superior de Mástil, costado sur.</p>
 <p>c) Prueba 3 de Adhesión en tramo inferior de Mástil, costado sur.</p>	 <p>d) Prueba 4 de Adhesión en tramo intermedio de Mástil, costado norte.</p>
 <p>e) Prueba 5 de Adhesión en tramo intermedio de Mástil, costado norte.</p>	 <p>f) Prueba 6 de Adhesión en tramo intermedio de Mástil, costado sur.</p>

Tabla 4.25 Resumen de Resultados de Pruebas de Adhesión en Mástil.

N° de prueba	Ubicación de la realización de la prueba	Clasificación y Método	Resultado
1	Costado norte, tramo superior	0A	NO pasa prueba
2	Costado sur, tramo superior	2A	NO pasa prueba
3	Costado sur, tramo inferior	2A	NO pasa prueba
4	Costado norte, tramo intermedio	4A	NO pasa prueba
5	Costado norte, tramo intermedio	2A	NO pasa prueba
6	Costado sur, tramo intermedio	0A	SI pasa prueba

Observaciones: En este equipo se observa múltiples capas de pintura, agrietamiento, aplicaciones de capas recientes, la aplicación de pintura no es uniforme, se ve desprendimiento de trozos de pintura, cinco de seis pruebas de adhesión fallaron, lo que equivale al 83% del total de pruebas fallidas.

4.3 Equipo de perforación: Equipo Auxiliar para Manejo de Cargas o Malacate

La medición de E.P.S. y pruebas de adhesión en el malacate, se realizaron en el día 25/10/21, como se muestra en las Tabla 4.26 a Tabla 4.29.

4.3.1 Medición de espesores de película seca E.P.S. en Malacate.

Tabla 4.26 Medición de E.P.S. en Malacate en Pozo TR19.

Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a medir: Motor Grúa Malacate Equipo de medición: Medidor digital de E.P.S. ELCOMETER 456T		
Mediciones de espesores de película seca		
N° de Mediciones	Espesor (Mils)	Espesor (Mils)
	Costado Sur	Costado Poniente
1	7.50	9.30
2	10.00	7.40
3	7.80	6.60
4	5.10	4.88
5	5.50	4.95
6	4.88	6.00
7	10.80	6.40
8	12.30	10.00
9	8.10	5.60
10	7.00	8.60
	Costado Norte	Costado Oriente
1	5.70	7.00
2	7.50	5.40
3	8.80	5.10
4	4.57	11.60
5	5.10	8.70
# Lecturas: 30 Desviación std: 2.16 Mils Media: 7.27 Mils Media +3σ: 13.766 Mils Máximo: 12.3	Media -3σ: -0.778 Mils Mínimo: 4.57 Mils CV%: 29.8% Rango: 7.73 Mils	

Tabla 4.27 Evidencias fotográficas de medición en milésimas de pulgada de E.P.S. en Malacate en Pozo TR19.

 <p>a) Malacate, costado poniente.</p>	 <p>b) Registro de medición de E.P.S. costado sur.</p>
 <p>c) Registro de medición de E.P.S. costado oriente.</p>	 <p>d) Malacate, costado norte.</p>
 <p>e) Medición de E.P.S. costado sur.</p>	 <p>f) Registro de medición de E.P.S.</p>

4.3.2 Pruebas de adhesión en Malacate

Tabla 4.1 Pruebas de Adhesión en Equipo Auxiliar para Manejo de carga o Malacate.

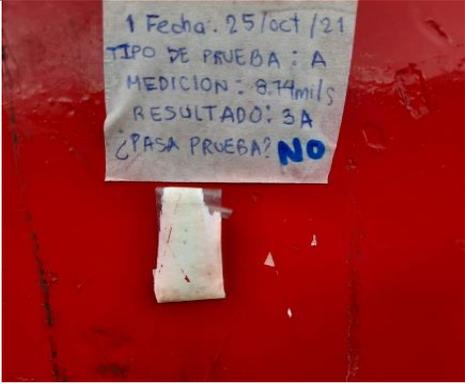
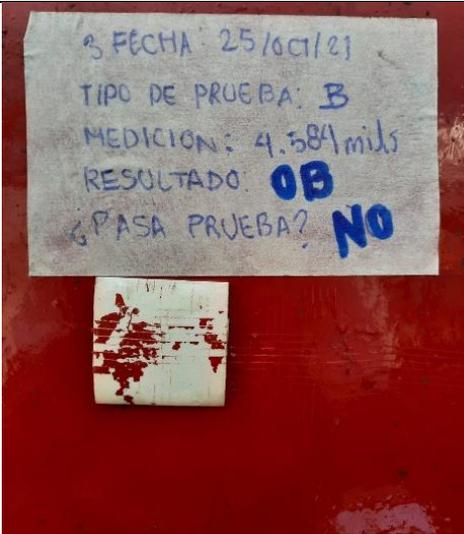
Central Geotérmica Berlín Reinyección Total Berlín (TRB) Nombre del Equipo a realizar la identificación: Motor Grúa Malacate Herramienta usada en las pruebas: Norma ASTM D3359-09.	
Pruebas de Adhesión	
 <p>1 Fecha: 25/oct/21 TIPO DE PRUEBA: A MEDICION: 8.74mils RESULTADO: 3A ¿PASA PRUEBA? NO</p>	 <p>2 Fecha: 25/oct/21 TIPO DE PRUEBA: A MEDICION: 6.05mils RESULTADO: 0A ¿PASA PRUEBA? NO</p>
<p>a) Resultado de Prueba de Adhesión costado Norte.</p>	<p>b) Resultado de Prueba de Adhesión costado Poniente.</p>
 <p>c) Realización de Prueba de Adhesión, costado norte.</p>	 <p>3 FECHA: 25/oct/21 TIPO DE PRUEBA: B MEDICION: 4.584mils RESULTADO: 0B ¿PASA PRUEBA? NO</p>
<p>d) Resultado de Prueba de Adhesión en costado Sur.</p>	

Tabla 4.1 Resumen de Resultados de Pruebas de Adhesión en Malacate.

N° de prueba	Ubicación de la realización de la prueba	Clasificación y Método	Resultado
1	Costado norte	3A	NO pasa prueba
2	Costado poniente	0A	NO pasa prueba
3	Costado sur	0B	NO pasa prueba
<p>Observaciones: Los espesores de película seca de este equipo eran gruesos, en la superficie se observa varias capas de pintura, picaduras recubiertas de pintura, aplicación del recubrimiento no uniforme, el 100% de las pruebas de adhesión en esta estructura fallaron, además en dos pruebas se obtuvieron valores muy críticos de calificación cero.</p>			

Conclusiones

- I. Mediante la inspección visual de los equipos se observa que los tanques de almacenamiento de agua presentan corrosión generalizada, hay áreas de estos tanques que presentan un porcentaje de oxidación de hasta el 50%.
- II. Los tanques de almacenamiento de agua presentan áreas con niveles de corrosión de hasta el 3% de oxidación, mientras que el mástil presenta áreas con corrosión de hasta el 10% mediante inspección visual.
- III. El malacate y mástil se aprecian con varias capas de pintura, el número de capas de pintura en una estructura influye en los resultados de pruebas de adhesión, es decir muchas capas de pintura aumenta la posibilidad de una mala adhesión entre capas, las nuevas capas de pintura pierden resistencia a la tracción y rigidez y pueden provocar deslaminación.
- IV. En el circuito de tanques, en las mediciones de espesores hay capas más gruesas que otras, la aplicación de los recubrimientos no es uniforme, las superficies presentan rugosidad, delaminado, y agrietamiento, la mayoría de pruebas de adhesión en el circuito de tanques son bajos, los sistemas que exhiben valores de ADHESIÓN BAJOS tienden más probabilidades a deslaminarse cuando se aplique otras capas de pintura.
- V. El mástil y malacate presentan los niveles más bajos en las pruebas de adhesión y sus espesores promedios son 8.43 Mils y 7.27 Mils respectivamente, siendo estos espesores gruesos a comparación del circuito de tanques de TR1.

- VI. Los recubrimientos más gruesos y envejecidos tienden a estar más sometidos a esfuerzos. Cuando se repinta, recubrimientos más gruesos y con mayor estrés dan paso a la delaminación la cual también puede ser causada por otros factores que pueden alterar la integridad de los recubrimientos gruesos y envejecidos que han sido repintados.
- VII. Los recubrimientos más gruesos y con mayor tensión también tienen más probabilidades de sufrir daños por medio de granallado u otros procesos mecánicos. Esto a menudo da como resultado una pérdida posterior de adherencia que puede afectar el rendimiento del sistema de recubrimiento.
- VIII. Los equipos e instalaciones en LaGeo presentan delaminación, descascarillado, recubrimiento quebradizo, presentan desprendimiento de pequeños trozos de la pintura generalmente precedido por agrietamiento o formación de ampollas. Todas estas características conllevan la baja elasticidad de las pinturas al adherirse con los sustratos metálicos o con otras capas de pintura.
- IX. La mayoría de equipos presentaron adherencia de la cinta de 2A o menos (según criterios de Guía ASTM D3359-09), de manera que el riesgo de repintado se categorizó de moderado a alto. El riesgo de falla aumenta con el aumento del espesor de la película y la disminución de la adhesión.

Recomendaciones

- I. Para la decisión del repintado o reemplazo de recubrimientos de los equipos de perforación en LaGeo como medida para el Control de la Corrosión se debe considerar primeramente que las películas de pintura que presentan deslaminación, picaduras, agrietamiento, desprendimiento de pequeños trozos de películas u otras características indeseables no son buenas candidatas para el repintado.
- II. Para el control de la corrosión en el malacate y el mástil se recomienda el reemplazo de la pintura de los equipos, las pruebas de adhesión en malacate presentaron los resultados más bajos que son 0A y 0B (según Norma ASTM D3359-09), los cuales no son candidatos para repintado, en el caso del mástil este presenta valores de pruebas de adhesión con riesgo de repintado más aceptables, aunque siguen siendo bajos.
- III. Para el control de la corrosión en tanques de sedimentación y succión se recomienda el reemplazo de la pintura de los equipos, las películas de pinturas de estos tanques fueron removidas en un gran porcentaje (mayor del 16%) en las pruebas de adhesión.
- IV. Para el control de la corrosión en tanque de almacenamiento de agua 1 se recomienda el reemplazo definitivo de una de las caras del tanque (lado oriente) donde la prueba de adhesión falló, en los demás lados del tanque se puede optar por el repintado.
- V. Para el control de la corrosión en tanque de almacenamiento de agua 2 se recomienda el reemplazo del recubrimiento, las pruebas de adhesión fallaron.

- VI. En la aplicación de recubrimiento en los equipos se debe considerar que muchas capas de pintura aumentan la posibilidad de una mala adhesión entre capas y pueden provocar deslaminación.
- VII. Se debe tener en cuenta la edad del recubrimiento y que, dependiendo del mecanismo de curado, ciertos recubrimientos tienden a fragilizarse con el tiempo.
- VIII. En el reemplazo del recubrimiento se debe considerar que la preparación de la superficie, la selección del recubrimiento y la inspección son elementos clave para prolongar la vida útil de los equipos.
- IX. En selección del recubrimiento se recomienda que los materiales de recubrimiento con un alto grado de tensión interna no deben usarse para repintar. Los materiales de recubrimiento deben tener buenas características de penetración y humectación. Deben tener un espesor de película relativamente bajo, buena flexibilidad y no deben contener disolventes fuertes. Algunos recubrimientos disponibles comercialmente se han formulado específicamente para recubrimientos. Algunos productos han sido validados para su uso como protectores y deben considerarse candidatos. Se venden muchos tipos de productos para repintado, incluidos látex acrílico, calcio, sulfonato alquídico, epoxi, alquídico modificado con aceite y aceite, poliuretano, poliéster, cera, cinta de vaselina, látex de uretano y recubrimientos epoxi-uretano.
- X. En caso que la estructura del equipo está recubierta con material que debe tratarse como un desecho peligroso, como un recubrimiento a base de plomo, existirá un peligro latente (se aplique o no un sistema de pintura) hasta que se elimine la pintura a base de plomo. En casos que requieran la eliminación de peligros potenciales resultantes de la alteración de los

recubrimientos a base de plomo, el repintado no es una estrategia de mantenimiento factible.

- XI. Como complemento de las consideraciones del repintado y del reemplazo de los equipos, se debe realizar un estudio de costos, se debe estimar el costo de repintado versus el costo de reemplazo (remoción total de recubrimiento existente, más la preparación de la superficie) versus reemplazo del acero (en caso del deterioro evidente de la estructura).

- XII. La evaluación de estas opciones, junto con la vida útil esperada del recubrimiento y los riesgos de falla, ayudará a determinar si el repintado es la opción más rentable. Si la opción de repintado causa una falla catastrófica, no solo se pierde el costo de la inversión, sino que también se pueden incurrir en costos adicionales de reparación y limpieza ambiental.

Bibliografía

- Ahmad, Zaki. (2006). *Principles of corrosion Engineering and Corrosion Control*.
First Edition, United Massachussetts, USA: Elsevier Ltd.
- ASTM D3359-09 (2009). *TEST METHOD FOR MEASURING ADHESION BY TAPE TEST*. (Estados Unidos).
- Baker Hughes (1998). *Fluidos, Manual de Ingeniería*, Houston, USA: Technical Communications Group.
- CEL. (2019) PERFIL LA GEO, *Geotérmica Salvadoreña, S.A. de C.V.* (LaGeo).
Recuperado de <https://n9.cl/acu66> (El Salvador).
- Gellings, P.J. (1985). *Introduction to corrosion prevention and control for engineers*,
2nd Edition. United States of America: Delft University Press.
- Roberge, P.R. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice*. United States of America: McGraw Hill, Inc.
- Schweitzer, P.A. (2010). *Fundamentals of Corrosion Mechanims, Causes, and Preventative Method*, 1st Edition. Boca Raton, FL, USA: UCR Press.
- SSPC –PA 2(1996). *Measurement of Dry Paint Thickness with Magnetic Gages*.
(Estados Unidos)
- SSPC –TU 3. (1997). *The Society for Protective Coatings TECHNOLOGY UPDATE NO.3 Overcoating*. 1st Edition. United States of America:SSPC Publication. (Estados Unidos)
- SSPC –VIS 2 (2008). *STANDAR METHOD OF EVALUATING DEGREE OF RUSTING O PAINTED STEEL SURFACES*. SSPC Publication. (USA)

Anexos

ANEXO 1: Tabla resumen de las normativas aplicadas en el presente trabajo.

N° de anexo	Nombre	Enfoque	Aplicación
1	Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, Tecnología Actualizada No.3 Repinte.	Analiza los riesgos asociados con la práctica de un sistema de repintado.	Aplica herramientas para el diagnóstico del estado actual de los recubrimientos en equipo de perforación de LaGeo.
2	Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero Visual 2, SSPC-VIS 2.	Con fotografías de referencia estándar se comparan las superficies de acero con porcentajes de oxidación.	Determinar el tipo y grado de oxidación en circuito de tanques en TR1, en mástil en TR19 y malacate en TR19.
3	Norma Americana del Concilio de Recubrimientos en Estructuras de Acero, medición de espesores de película seca, SSPC-PA 2.	Describe los procedimientos para medir el espesor de una película seca de un recubrimiento aplicado sobre un sustrato metálico.	Realizar mediciones en milésimas de pulgada de espesores de película seca en circuito de tanques en TR1, en mástil en TR19 y malacate en TR19.

Continúa...

Tabla resumen de las normativas aplicadas en el presente trabajo(Continuación).

N° de anexo	Nombre	Enfoque	Aplicación
4	Guía de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, métodos de prueba estándar para calificar la adhesión ASTM D 3359-09.	Establece dos métodos de prueba estándar para clasificación de la adhesión mediante prueba de cinta.	Evaluar el porcentaje removido de cinta en película seca en circuito de tanques en TR1, en mástil en TR19 Y malacate en TR19.