



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**Desarrollo e Implementación de Ventanas Operativas (IOW) según práctica recomendada API 584, en circuitos de tope unidad Fraccionamiento, ENAP Refinerías Bío Bío**

POR

**Oscar Ignacio Olavarría Flores**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesores Guías:

Dr.-Ing. Carlos Andrés Medina Muñoz  
Dr.-Ing. David Eduardo Rojas Jara

Supervisor:

Ing. Pablo Horacio Hernández Castro

Agosto 2023  
Concepción (Chile)

© 2023 Oscar Ignacio Olavarría Flores

© 2023 Oscar Ignacio Olavarría Flores

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

## Resumen

En el circuito de tuberías del tope de la unidad de fraccionamiento de la refinería se ha detectado en los últimos 2 años un aumento de casos de fuga de fluido (agua, gasolina y gas licuado), la mayoría de estas fugas se han identificado ser en zonas cercanas a la unión por soldadura de las tuberías, por esto la División de Mantenimiento de ENAP Refinerías Bío Bío se encuentra interesado en realizar un estudio para identificar exhaustivamente las variables del proceso que estén generando un aumento en el riesgo de activación de los mecanismos de daño conocidos por la industria en base a la práctica recomendada API 584.

Con el interés de diseñar ventanas operacionales que acote la operación de esta planta a un rango efectivo se postula validar de forma empírica la ventana operativa más crítica realizando ensayos de corrosión acelerada en un caso favorable y en otro que sea desfavorable para la integridad del equipo estático según la metalurgia de está. Asimismo, se comparará los resultados al realizar un tratamiento térmico utilizando la misma metalurgia empleada en la planta, con el objetivo de evaluar su efectividad en la mejora de resistencia a la corrosión y la durabilidad del equipo.

Los resultados de aplicar el método de Tafel demuestran la necesidad de operar a un pH definido por las ventanas operacionales ya que existe una gran diferencia en la velocidad de corrosión en los casos comparados. Además, se concluye que si se desea aplicar un tratamiento térmico en las soldaduras con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión esto conlleva el costo de perder resistencia mecánica.

**Palabras clave: Ventanas Operativas, IOW, API 584, Extrapolación de Tafel**

## Abstract

In the piping circuit of the top of the refinery's fractionation unit, an increase has been detected in the last 2 years in the cases of leaks of fluids (water, gasoline, and liquefied gas). Most of these leaks have been identified in areas close to the welded joint of the pipes, so the Maintenance Division of ENAP Bío Bío refineries is interested in carrying out a study to identify exhaustively the process variables that are generating an increase in the risk of activation of damage mechanisms known in the industry based on the API 584 recommended practice.

In the interest of designing operational windows that limit the operation of this plant to an effective range, we propose to empirically validate the most critical operational window by performing accelerated corrosion tests in a favorable case and in a case that is unfavorable for the integrity of the static equipment according to the metallurgy of the circuit. The results will be compared when performing a heat treatment using the same metallurgy used in the plant, to evaluate its effectiveness in improving the corrosion resistance and durability of the equipment.

The results of the application of the Tafel method demonstrate the need to operate at a pH defined by the operating windows, since there is a great difference in the corrosion rate in the compared cases. In addition, it is concluded that if it is desired to apply a heat treatment to the welds to improve the resistance to corrosion, this entails the cost of losing mechanical resistance.

**Key words: Operational Windows, IOW, API 584, Tafel Extrapolation.**

## Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres, cuyo inquebrantable apoyo durante todo mi tiempo de estudio de la carrera ha sido fundamental para mi éxito. Sus palabras de aliento y sacrificio han sido mi principal motivación. Además, quiero extender mi gratitud a mis excepcionales supervisores en la refinería, cuya orientación y mentoría me han brindado una invaluable experiencia en el campo. A mis amigos de carrera, Felipe y Cristian, les agradezco por ser mis compañeros leales, compartiendo no solo conocimientos, sino también risas y momentos inolvidables. También quiero agradecer a mis amigos Tiago, Diego, Rafael, Alonso e Ignacio, cuya amistad ha enriquecido mi vida de formas inimaginables. Finalmente, mi reconocimiento especial se dirige a mis profesores guías, Carlos Medina y David Rojas, junto con el incansable apoyo del ayudante Jesús Ramírez. Su orientación y dedicación fueron esenciales en el desarrollo de mi memoria de título, y estoy profundamente agradecido por su sabiduría y paciencia a lo largo de este proceso.

## Tabla de Contenidos

.....	
Tabla de Contenidos .....	iv
Lista de Tablas .....	vi
Lista de Figuras .....	vii
Glosario .....	viii
Símbolos .....	viii
<b>1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Alcance del proyecto .....	2
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Hipótesis .....	4
1.6 Carta Gantt de Memoria de título .....	4
<b>2 CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Ventanas operacionales según norma API 584 .....	5
2.2 Ensayos de corrosión acelerado en laboratorio .....	8
2.3 Ensayo de tracción.....	17
<b>3 CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE VENTANAS OPERACIONALES DE INTEGRIDAD SEGÚN NORMA API 584.....</b>	<b>18</b>
3.1 Descripción del circuito de corrosión.....	18
3.2 Condiciones de diseño y operación de equipos y líneas.....	20
3.3 Metalurgia de los equipos y líneas .....	22
3.4 Técnicas de control de la corrosión existentes .....	23
3.5 Técnicas de inspección y monitoreo del equipo/unidad utilizada en ERBB.....	24
3.6 Puntos de muestras existentes.....	24
3.7 Inhibidores de corrosión y aminas fílmicas.....	26
3.8 Alimentación a la planta .....	27
3.9 Antecedentes varios.....	28
3.10 Estrategia de mantenimiento de líneas.....	29
3.11 Gestión de hallazgo espesores bajos en líneas.....	30
3.12 Bases de diseño de las ventanas operativas .....	32

4 CAPÍTULO 4: DISEÑO DE VENTANAS OPERACIONALES DE INTEGRIDAD SEGÚN NORMA API 584.....	34
4.1 Identificación de mecanismos de daños .....	34
4.2 Mecanismos de daños en ERBB.....	36
4.3 Identificación de las variables del proceso claves .....	38
4.4 Determinación de límites.....	41
4.5 Acciones y tiempos de respuestas .....	47
5 CAPÍTULO 5: VALIDACIÓN DE LAS VENTANAS OPERATIVAS.....	52
5.1 Resultados ensayos de extrapolación por Tafel.....	52
5.2 Resultados ensayos de tracción .....	56
6 CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	59
Referencias .....	61
Anexo A: Carta Gantt de memoria de título .....	63
Anexo B: WPS circuito de tuberías de tope.....	64
Anexo C: WPS Soldadura con tratamiento térmico realizado .....	66
Anexo D: P&ID planta Topping 2 .....	69
Anexo E: Medición de espesores en línea.....	70
Anexo F: Isométrico de la medición de espesores .....	74
Anexo G: Datos de seguimiento de variables .....	75
Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas .....	77

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1. Composición química ASTM A516 Gr. 60 (Fuente: [7])</b> .....	10
<b>Tabla 2. WPS de las probetas (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	11
<b>Tabla 3. Parámetros de diseño y operación de los equipos del circuito (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	21
<b>Tabla 4. Parámetros de diseño y operación de las líneas del circuito (piping) (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	21
<b>Tabla 5. Materiales de los equipos presentes en el circuito de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	22
<b>Tabla 6. Requerimientos químicos (Fuente: [16])</b> .....	23
<b>Tabla 7. Requerimientos mecánicos (Fuente: [16])</b> .....	23
<b>Tabla 8. Composición química (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	27
<b>Tabla 9. Canasta de crudos (Fuente: [Elaboración Propia])</b> .....	28
<b>Tabla 10. Intervalos máximos recomendados para inspección (Fuente: [21])</b> .....	30
<b>Tabla 11. Categorización resultados de inspección UT (Fuente: [19])</b> .....	31
<b>Tabla 12. Variables primarias (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	39
<b>Tabla 13. Variables secundarias (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	40
<b>Tabla 14. Límites estándar y críticos (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	44
<b>Tabla 15. Límites informativos (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	46
<b>Tabla 16. Acciones y tiempos de respuestas variables con límites críticos resumido (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	48
<b>Tabla 17. Acciones y tiempos de respuestas de las variables con límites estándar resumido (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	49
<b>Tabla 18. Acciones y tiempos de respuestas de las variables críticas resumido (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	51
<b>Tabla 19. Velocidades de corrosión obtenidas (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	54
<b>Tabla 20. Indicadores ensayos de tracción (Fuente: [Elaboración propia])</b> .....	56

## Lista de Figuras

<b>Figura 1. Etapas en el diseño de ventanas operativas (Fuente: [4]) .....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2. Geometría de las muestras (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3. Muestra para pruebas de ensayos de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4. Ilustración Montaje de la celda (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 5. Método de extrapolación por Tafel (Fuente: [10]).....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6. Dimensiones probeta de tracción (Fuente: [Elaboración Propia]).....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 7. Tope de la torre de fraccionamiento (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8. Equipos del circuito de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9. Punto de muestra de probeta de corrosión PC-20 (Fuente: [Elaboración Propia])..</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10. Punto de muestra de probeta de corrosión PC-20 (Fuente: [Elaboración Propia])</b>	<b>25</b>
<b>Figura 11. Probeta de corrosión PC-20 retirada de servicio (Fuente: [17]) .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 12. Resumen roturas Tope (Fuente: [19]).....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 13. Diagrama de corrosión característico (Fuente: [Elaboración propia]) .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14. Ilustración de una falla por corrosión localizada (Fuente: [22]).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 15. Corrosión localizada en el tubo tope de un reactor (Fuente: [22]).....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 16. Tasa de corrosión (mm/años) vs pH según la temperatura por norma API 581 (Fuente: [3]) .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 17. Resultados ensayos electroquímicos (Fuente: [Elaboración Propia]).....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 18. Extrapolación de Tafel en la curva anódica (Fuente: [Elaboración Propia]) .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 19. Tafel de la Muestra con Soldadura con tratamiento térmico vs sin tratamiento térmico (Fuente: [Elaboración Propia]).....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 20. Resultados ensayos de tracción de probetas acero al carbono ASTM A516 Gr. 60 (Fuente: [Elaboración Propia]).....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 21. Resistencia a la tracción de los materiales en función de la temperatura de mantenimiento del tratamiento térmico post – soldadura (Fuente: [27]) .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 22. Probetas de acero después de ensayo de tracción (Fuente: [Elaboración Propia]) .</b>	<b>58</b>

## Glosario

API	:	American Petroleum Institute
ASME	:	American Society of Mechanical Engineers
CTT	:	Con Tratamiento Térmico
DIM	:	Departamento de ingeniería de Mantenición
DIMAT	:	Departamento de ingeniería de materiales
ENAP	:	Empresa Nacional del Petróleo
ERBB	:	ENAP Refinería Biobío
ERA	:	ENAP Refinería Aconcagua
IOW	:	Integrated Operational Windows
LPG	:	Liquefied Petroleum gas
Ltda.	:	Sociedad de responsabilidad limitada
MB	:	Material Base
mpy	:	mili pulgadas por año
mV	:	Milivolts
NACE	:	Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión
pH	:	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa
ppb	:	partes por billón
ppm	:	Partículas por millón
RBI	:	Risk Based Inspection
S	:	Soldadura
S.A.	:	Sociedad Anónima
STT	:	Sin Tratamiento Térmico
UDEC	:	Universidad de Concepción
WPS	:	Welding Procedure Specification
ZAC	:	Zona Afectada por el Calor

## Símbolos

P	:	Carga
$\varepsilon$	:	Deformación
$\Delta$	:	Delta
$\Delta L$	:	Delta de longitud
L	:	Desplazamiento
$\sigma_{UTS}$	:	Esfuerzo Ultimo

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

La Unidad Fraccionamiento de Enap Refinerías Biobío tiene la importante tarea de realizar el proceso de destilación del petróleo crudo que es almacenado en los estanques de la refinería. Este proceso es clave para producir diferentes tipos de productos derivados del petróleo, entre los cuales se encuentran los combustibles y otros derivados. Sin embargo, la unidad se está enfrentando a un serio problema de corrosión en su circuito de tuberías de tope, en los últimos 2 años se ha observado un aumento en la tasa de corrosión de estos circuitos, generando fallas localizadas donde la gran mayoría fueron cerca de las soldaduras de unión de las tuberías, las cuales son difícil de detectar por medios comunes de inspección, lo que pone en riesgo la seguridad de los colaboradores de la institución y la continuidad del proceso productivo.

Es por esta causa que la División de Ingeniería Mantenimiento de ERBB se encuentra interesada en desarrollar un estudio para identificar exhaustivamente las variables del proceso que estén generando un aumento en el riesgo de activación de los mecanismos de daño conocidos por la industria en esta unidad fraccionadora, que a la vez este causando un aumento en las tasas de corrosión en el circuito.

Además, como se mencionó que en los últimos 2 años se ha observado fallas localizadas cerca de las soldaduras de unión de las tuberías, el DIM (Departamento Ingeniería de Mantenimiento) propone realizar una serie de ensayos de corrosión en laboratorio utilizando los equipos del DIMAT de la UDEC para obtener una mejor comprensión de las causas de las fallas a través de probetas soldadas del mismo material de las tuberías y con el mismo proceso de soldadura que cuando fueron montadas.

Esto para fomentar una mejor planificación y ejecución de las estrategias de mantenimiento necesarias para evitar futuros problemas. En resumen, la investigación propuesta busca garantizar la seguridad de los trabajadores, la continuidad del proceso productivo y la protección del medio ambiente, mientras se maximiza la confianza y rentabilidad de la unidad fraccionadora de Enap Refinerías Biobío.

## 1.2 Alcance del proyecto

El alcance del siguiente proyecto tiene como sus bases las normas API 584 y API 571, también se plantea utilizar con un enfoque integrado con RBI (Inspección basado en el riesgo) ya que actualmente en la división se está implementado un programa de RBI a la planta de Topping 2, la cual se está interesada en este estudio. Se busca que a través de un proceso sistemático de evaluación de riesgos mejorar la confiabilidad e integridad de los equipos del circuito de tope de la unidad fraccionadora.

La norma API 584 [1] explica la importancia de las ventanas operativas para la gestión de la seguridad de los proceso y guía a los usuarios en como establecer e implementar un programa de ventanas operativas hacia las plantas de proceso. Por otro lado, la norma API 571 [2] proporciona información sobre los mecanismos de fallas en los equipos estáticos de la industria refinera, estos mecanismos de fallas son los encontrados comúnmente en los equipos como tuberías, intercambiadores de calor, tambores, etc. Esta presenta los factores críticos o variables que activan o aumentan las tasas de daño que puedan por estos mecanismos de daño presentes. El RBI proviene de la norma API 581 [3], la cual busca establecer intervalos de inspección basado en un análisis de riegos en los equipos estáticos de una refinería.

Gillibrand [4] desarrolló un manual piloto de procedimiento para llevar a cabo ventanas operativas para el equipo efluente del reactor de nafta liviana de la planta ERA, estas esperaban mejorar la confiabilidad de los equipos presentes en el circuito de corrosión por medio de controlar en un rango de operación óptima las variables de proceso que influyen en activar o acelerar mecanismo de daños conocidos que han sido postulados en que puedan ocurrir en la unidad específica. Está práctica viene a ser recomendada por la norma API 584.

Arena et al. [5] implementó un programa de ventanas operativas en conjunto con un programa de inspección basada en el riesgo, lo que permitió un enfoque dinámico al actualizar los planes de inspección, por un reajuste a tiempo real de la variación del nivel de riesgo del equipamiento por la superación de los rangos establecidos por las ventanas. Se empleo una aplicación para mejorar el monitoreo de parámetros críticos de una planta en Italia. Como resultado principal, el enfoque propuesto probó ser efectivo en prevenir la ocurrencia de eventos indeseables, a través de un monitoreo en tiempo real de las variables del proceso y por las acciones de mitigación capaces de evadir la falla del equipamiento

Por otro lado, se postula realizar ensayos de laboratorio el cual busque simular las condiciones de corrosión que ocurrirán si se opera dentro del rango de las ventanas operativas a implementar y compararlos con un caso en que se esté operando fuera del rango. Además, se pretende observar el efecto del tratamiento térmico en la soldadura sobre la tasa de corrosión.

Desde la literatura, Cipriano et al. [6] realiza una simulación de laboratorio del sistema de tope de la unidad fraccionadora, en donde el pH es la variable clave monitorizada, obteniendo la velocidad de corrosión vs pH con una probeta en una solución de ácido clorhídrico (HCl).

### **1.3 Objetivo General**

Diseñar ventanas operativas de integridad según la norma API 584 para el circuito de tuberías presente en el tope de la unidad de fraccionamiento de ENAP Refinerías Bio Bío a fin de bajar el riesgo de operación.

### **1.4 Objetivos específicos.**

1. Comprender los mecanismos de daños potenciales en el circuito de tope bajo norma API 571.
2. Establecer los límites operacionales, acciones y tiempos de respuesta.
3. Analizar el efecto de las variables del proceso críticas que sean definidas con las ventanas operacionales en la tasa de corrosión por medio de ensayos de corrosión acelerada
4. Analizar los resultados de ensayos de tracción a probetas maquinadas según norma.
5. Evaluar el efecto de tratamiento térmico en las soldaduras de las muestras en solución ácida.

## **1.5 Hipótesis**

Se planea diseñar ventanas operacionales de integridad según la norma API 584 y validar factor crítico que cause aceleración en la tasa de daño por ensayos de laboratorio.

## **1.6 Carta Gantt de Memoria de título**

La carta Gantt la cual es una herramienta de gestión de proyectos que permite planificar actividades de forma visual, en esta se presentan los objetivos a lograr a lo largo de la realización de la presente memoria de título, en la cual se menciona la semana donde se inicia las actividades y la duración de semanas en la cual se tiene que cumplir los objetivos por medio de las actividades planteadas. La realización de la memoria de título se empezó el día 9 de enero del 2023 ya que este día se empezó la inducción dentro de la refinería localizada en Hualpén y se estima que se finalice con fecha límite para el 30 de junio. Para revisar con más detalles las actividades a realizar la carta Gantt completa se puede revisar en Anexo A: Carta Gantt de memoria de título.

## **CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA**

### **2.1 Ventanas operacionales según norma API 584**

Para lograr los objetivos, se propone una metodología de trabajo basado en una serie de etapas que son indicadas en el diagrama de flujo presentado en Figura 1, estas son etapas descritas por la norma API 584. En cada etapa se utilizarán diferentes técnicas y herramientas para lograr los objetivos específicos establecidos. La metodología propuesta permitirá identificar las variables críticas y los mecanismos de falla asociados con la corrosión en los circuitos de tope.

A continuación, se describirá brevemente cada etapa según como fueron definidas de [4], ya que cada etapa tendrá que ser realizada a lo largo de este estudio.

#### **2.1.1 Condiciones de diseño y funcionamiento**

La primera etapa en el proceso es revisar las condiciones de diseño mecánicos existentes y condiciones de operación actuales. Otras condiciones de operación debiesen igualmente ser consideradas (paradas, partidas, etc.). Realizar esta etapa es primordial ya que ayudará a la hora de identificar los mecanismos de daños que puedan ocurrir.

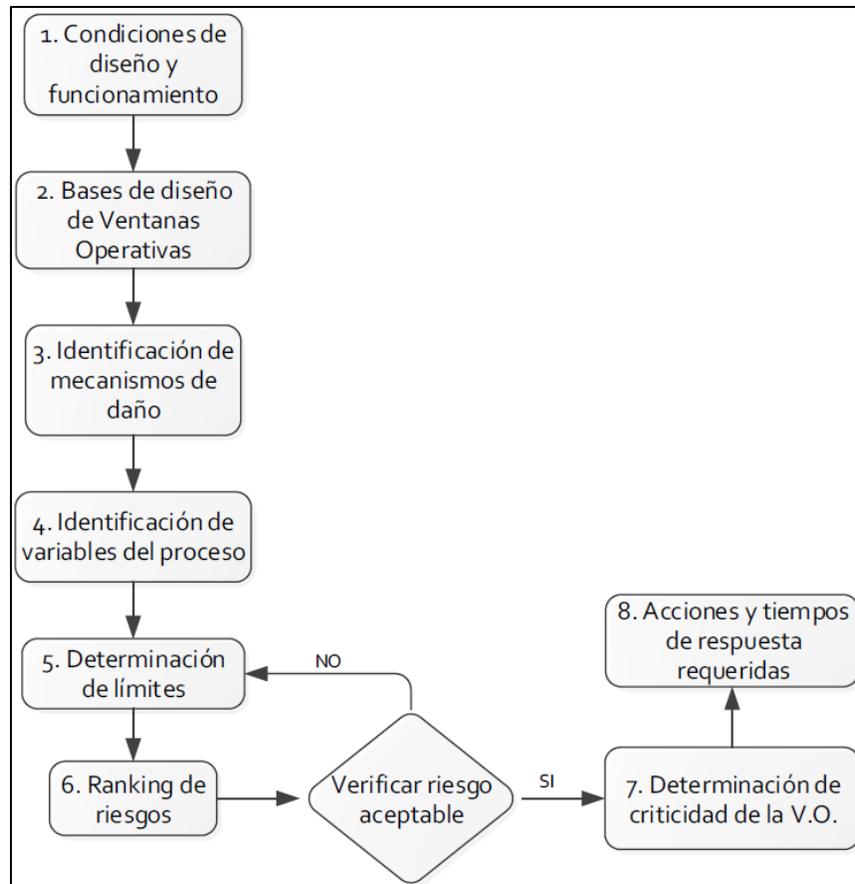
#### **2.1.2 Bases de diseño de Ventanas Operativas**

Lo siguiente a realizar es una premisa o base para establecer los límites de las ventanas operáticas. Esta premisa debiese definir y documentar el siguiente tipo de información:

- Ver si existe alguna condición futura de operación, programa, temporal o permanente.
- Vida útil esperada del circuito.
- Próximas detenciones de la unidad.
- Estrategia para determinar los límites operacionales
- Método para determinar tasas de daño (ya sea estimado, medido o basado en la industria)
- Tasas de corrosión máximas esperadas por tipo de equipo

#### **2.1.3 Identificación de mecanismo de daños**

Uno de los pasos más importante es la correcta identificación de todo mecanismo de daño que sea creíble de suceder en cada pieza del equipamiento del proceso. Se incluirá un diagrama de corrosión con los mecanismos de daños identificados.



**Figura 1. Etapas en el diseño de ventanas operativas (Fuente: [4])**

#### 2.1.4 Identificación de variables del proceso

Identificar variables claves del proceso que estén relacionados con la activación o un aumento de la tasa de progreso de un mecanismo de daño. Hay que tener en mente que el objetivo del programa de V.O. es identificar los parámetros claves a monitorear y establecer límites en parámetros controlables de modo de que sean ajustados por operación para lograr el nivel deseado de integridad de activo y confiabilidad.

#### 2.1.5 Determinación de límites

Esta etapa consiste en establecer límites superiores e inferiores para identificar cuando un mecanismo de daño es provocado o cuando la tasa de corrosión cambia significativamente a la estrategia de plan de inspección.

### **2.1.6 Ranking de Riesgos**

En el caso de existir condiciones relevantes en cuanto al estado del circuito y/o condiciones de operación se deberá realizar un análisis de riesgos para las diferentes variables definidas, de acuerdo con la metodología indicada en API 581 [3]. Si el riesgo no es aceptable, se deben revisar los límites definidos en el punto anterior, realizando estas etapas de forma iterativa.

### **2.1.7 Determinación de criticidad de la V.O**

En este paso, se debe determinar la criticidad en las variables operativas, lo cual permitirá determinar si se requiere el uso de alarmas, alertas o notificaciones, además de especificar el tipo y tiempo de acción, de acuerdo con el siguiente criterio desde [4]:

- Límite crítico: un nivel crítico de V.O., es aquel en el que el operador debe tomar medidas inmediatas para devolver el proceso de forma urgente a un estado seguro, y si se supera este tiempo de acción, podría provocar: Pérdidas de contención, liberación de fluidos peligrosos, riesgo medio ambiental significativo, riesgo financiero excesivo.
- Límite estándar: el nivel estándar de V.O., es aquel en el que, si se excede en un período de tiempo determinado, requiere una intervención predeterminada del operador, o alguna otra acción correctiva, para devolver el proceso dentro de los límites establecidos para evitar: Eventual pérdida de contención, eventual liberación de fluidos peligrosos, impacto negativo en el rendimiento de la unidad, riesgo financiero inaceptable, introducción de un nuevo mecanismo de falla
- Límite informativo: Corresponde a variables que no son controlables, y no pueden tener una intervención del operador, pero pueden necesitar ser reportados y revisados por los expertos en la materia (Ingeniero de proceso, inspector, especialista en corrosión) para predecir y controlar la integridad a largo plazo del equipo. Las V.O. informativas, normalmente no tienen alarmas ni alertas asignadas, y no están relacionadas directamente con la pérdida de contención.

### **2.1.8 Acciones y tiempos de respuesta requeridas**

Determinar las acciones que deben ser tomadas y el tiempo de respuesta requerido frente a cada excedencia de los límites establecidos. alguna de estas acciones será para operadores, para inspectores y/o experto en algún área. Se debe definir el seguimiento a realizar de las acciones indicadas. Además, se deben definir las acciones de control y los medios de comunicación a utilizar.

## 2.2 Ensayos de corrosión acelerado en laboratorio

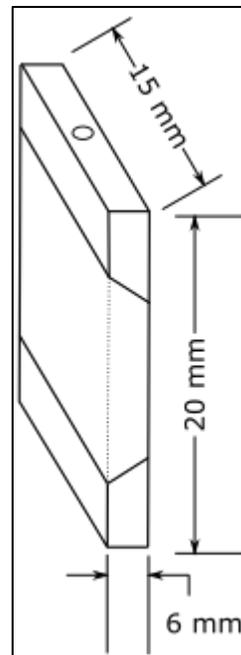
El ensayo de corrosión acelerada que se realizará en la memoria de título es a través de la técnica electroquímica conocida como polarización potenciodinámica y se hará uso del método de extrapolación de Tafel para obtener la velocidad de corrosión instantánea. Los ensayos serán realizados en el laboratorio de corrosión encontrado en el Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Concepción.

La idea de realizar estos ensayos es simular la condición de operación del sistema de tope y comparar los resultados para un caso que se encuentre dentro del rango óptimo de operación definido por las ventanas operacionales y un caso fuera del rango óptimo, de este modo contrastar los casos, de este modo, validar y verificar la importancia de operación en el rango óptimo si se desea cumplir con la vida útil del equipamiento. Por esto se define la siguiente metodología que se llevará a cabo:

### 2.2.1 Material y geometría de las muestras

El material que fue entregado a través de una orden de trabajo desde ENAP Refinería Bio Bío es un acero al carbono ASTM A516 Gr. 60 [7], su composición química se encuentra en Tabla 1.

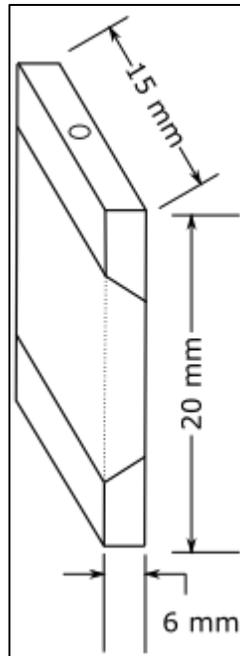
La geometría de las muestras para los ensayos de corrosión tiene una forma de paralelepípedo



rectangular con las dimensiones que presentan en la

Figura 2. En el medio de esta se encuentra la unión por soldadura que es igual a la que se encuentra en las tuberías del circuito de tope de la refinería. Además, existen otras muestras que no cuentan con la soldadura del medio, sino que contiene solo el material base. Se realizarán pruebas a los dos tipos de muestras.

Otro aspecto por destacar es que se realizó una perforación en cada muestra para soldar con estaño un cable de cobre a cada muestra. La perforación fue de 10 mm hecho con un taladro y una broca de cobalto.



**Figura 2. Geometría de las muestras (Fuente: [Elaboración Propia])**

**Tabla 1. Composición química ASTM A516 Gr. 60 (Fuente: [7])**

Elemento	Composición (%)
Carbono	0,21
Manganeso	0,6-0,9
Fósforo	0,035
Azufre	0,04
Silicio	0,15-0,4

### 2.2.2 Procedimiento de Soldadura

Ya que se busca simular las condiciones de operación del sistema de tope de la unidad de fraccionamiento de la refinería, es importante realizar el mismo proceso de soldadura que se realizó en las tuberías de acero del sistema, por esto en Tabla 2. Se presenta en resumen los parámetros con mayor relevancia de un WPS (Welding Procedure Specification), siendo el procedimiento de soldadura realizado en las probetas, de este modo se replica la soldadura realizada en las tuberías del sistema de tope (se lleva cabo por una orden de trabajo emitida por el DIM de ENAP). Además, se presenta un procedimiento de soldadura realizado en ENAP Refinería Bío Bío en Anexo B: WPS circuito de tuberías de tope. Este es un WPS actual que se usó en el circuito de tuberías del cual se está interesado en esta memoria de título.

**Tabla 2. WPS de las probetas (Fuente: [Elaboración Propia])**

<b>Welding Procedure Specification</b>	
Proceso de soldadura	Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)
Diseño de Junta	Bisel en "V"
N° AWS Electrodo	ER-70S6
Diámetro del electrodo	3/32" (2.4 mm)
Velocidad de soldadura	45-56 mm por minuto
Tipo y polaridad	CCEP
Amperaje	105-110
Voltaje	24-25

### 2.2.3 Tratamiento térmico

Para cumplir con uno de los objetivos específicos postulados, para evaluar el efecto de un tratamiento se utiliza el código ASME VIII DIV. 1 [8], de [9] y de Anexo C: WPS Soldadura con tratamiento térmico realizado.

ASME VIII DIV. 1 entrega reglas para la construcción de recipientes bajo presión entre ellos se presenta los requerimientos para un proceso de tratamiento térmico post-soldadura para aceros al carbono, pero basándonos en lo que se realiza en la práctica podemos ver desde Anexo C: WPS Soldadura con tratamiento térmico realizado, que en una especificación de soldadura similar que ya se ha realizado en la refinería, en el tratamiento térmico se mantiene una temperatura entre los 593-649°C. Por lo que se definió una temperatura de 620°C y que esta se mantenga por una hora durante el proceso de tratamiento térmico.

Se contempló que al menos a un cuarto del total de las probetas que se obtengan, pasen por un tratamiento térmico post-soldadura, siguiendo el código se intentó cumplir con los siguientes requerimientos:

- En el momento en que las probetas se coloquen en el horno, la temperatura del horno no debe superar los 425°C
- Una vez que las probetas estén colocadas en el horno, la velocidad de calentamiento no debe ser mayor a 222 (°C/hora), esto se debe cumplir hasta llegar a los 620°C.
- Se debe sostener la temperatura de 620°C por al menos 60 minutos.
- Para el enfriamiento, desde los 620°C hasta los 425°C, se debe hacer en un horno cerrado o cámara de enfriamiento a una velocidad no mayor de 280 (°C/hora).
- Después de que se enfríe a los 425°C las probetas se pueden dejar al aire libre para su enfriamiento.

#### 2.2.4 Procedimiento experimental de los ensayos de corrosión acelerada

Antes de realizar el ensayo, se ha de asegurar que las muestras sean aisladas con una resina epóxica (se hizo uso de PEGATANKE) de modo que solo quede una sección transversal expuesta y que esta sección transversal expuesta sea pulida, se empieza con un papel esmeril con tamaño de grano N° 240, seguidamente con tamaño de grano N° 320, posteriormente con tamaño de grano N° 400 y finalmente con tamaño de grano N° 600. Después, se pinta los bordes con esmalte para tener un área medible y evitar bordes bruscos. En la Figura 3 se presenta como queda una muestra después de este proceso.

Como se espera poder simular las condiciones de operación del sistema de tope de la unidad fraccionadora de una refinería en un caso en que la variable crítica, que será el pH, se encuentre en un rango óptimo de operación y en un rango que simule el peor caso posible, se hizo uso de una solución de HCl (ácido clorhídrico) en conjunto con agua destilada para obtener un pH ácido (0,6). Se mezcló una concentración de 0,25 M de HCl.

En base a la norma ASTM G5-14 [11], la cual presenta el procedimiento experimental para realizar mediciones de polarización potenciodinámica. Se realizaron los ensayos de corrosión acelerada.

Se tuvo como electrodo de referencia de Ag/AgCl (cloruro de plata), un electrodo de trabajo que viene siendo la muestra y un electrodo auxiliar de acero inoxidable con recubrimiento de platino. Se hizo uso del potencióstato VERSASTAT 3 a una temperatura ambiente. De este modo, se configuró la celda con una configuración de tres electrodos dentro de un vaso precipitado donde se tiene la solución acuosa. De este modo, los electrodos quedan conectados con el potencióstato con el fin de registrar los datos hacia la computadora, Figura 4 presenta una ilustración de cómo fue el montaje de la celda.

Luego del montaje de la celda se registró el potencial del circuito (OCP) abierto hasta llegar a un estado estable, seguido se ejecutó la obtención de las curvas de polarización potenciodinámicas con un barrido de potencia de  $\pm 250$  mV respecto al  $E_{corr}$  y con una velocidad de barrido de 4 mV/s.



Figura 3. Muestra para pruebas de ensayos de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia])

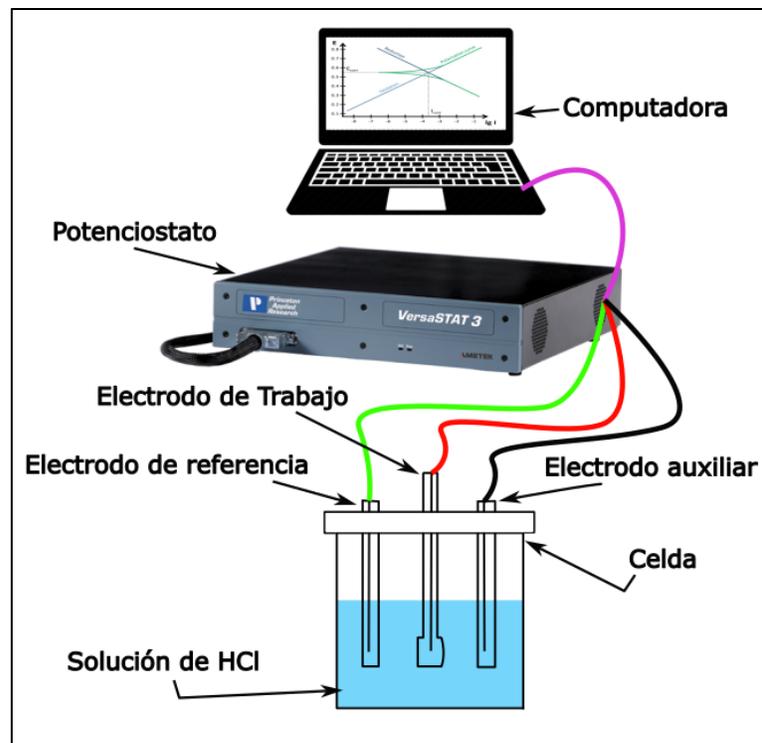


Figura 4. Ilustración Montaje de la celda (Fuente: [Elaboración Propia])

### 2.2.5 Resultados de los ensayos

Con ayuda del potencióstato y el software con el cual este viene incluido, se obtuvieron las curvas de polarización. El paso siguiente fue analizar por el método de Tafel y este se llevó a cabo de forma gráfica, ya que se trazan líneas tangentes a las pendientes de las curvas de polarización, como se muestra en la Figura 5, el punto donde se interceptan las rectas tangentes a las curvas (rectas que definen las pendientes de Tafel), facilita la proyección en los ejes para obtener tanto el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ), como la corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ). Cabe destacar que realizar el método de Tafel es considerado un método destructivo para el metal. [12]

Conocida la corriente de corrosión, según la norma ASTM G102-89 [13], el cálculo de la velocidad de corrosión en unidades de milímetros por año se obtiene con las ecuaciones (1) y (2)

$$CR = K \cdot \frac{i_{corr}}{\rho} \cdot EW \quad [mm/yr] \quad (1)$$

$$EW = \frac{W}{n} \quad (2)$$

Donde,

$K = 3.27 \times 10^{-3}$ , constante de Faraday

$\rho$  [ $\frac{g}{cm^3}$ ], densidad del metal de trabajo en gramos por centímetros cúbicos

$EW$ , es el peso equivalente (es adimensional)

$W$ , es el peso atómico del elemento

$n$ , es el número de electrones requeridos para oxidar un átomo del elemento en el proceso de corrosión, esto quiere decir, la valencia del elemento.

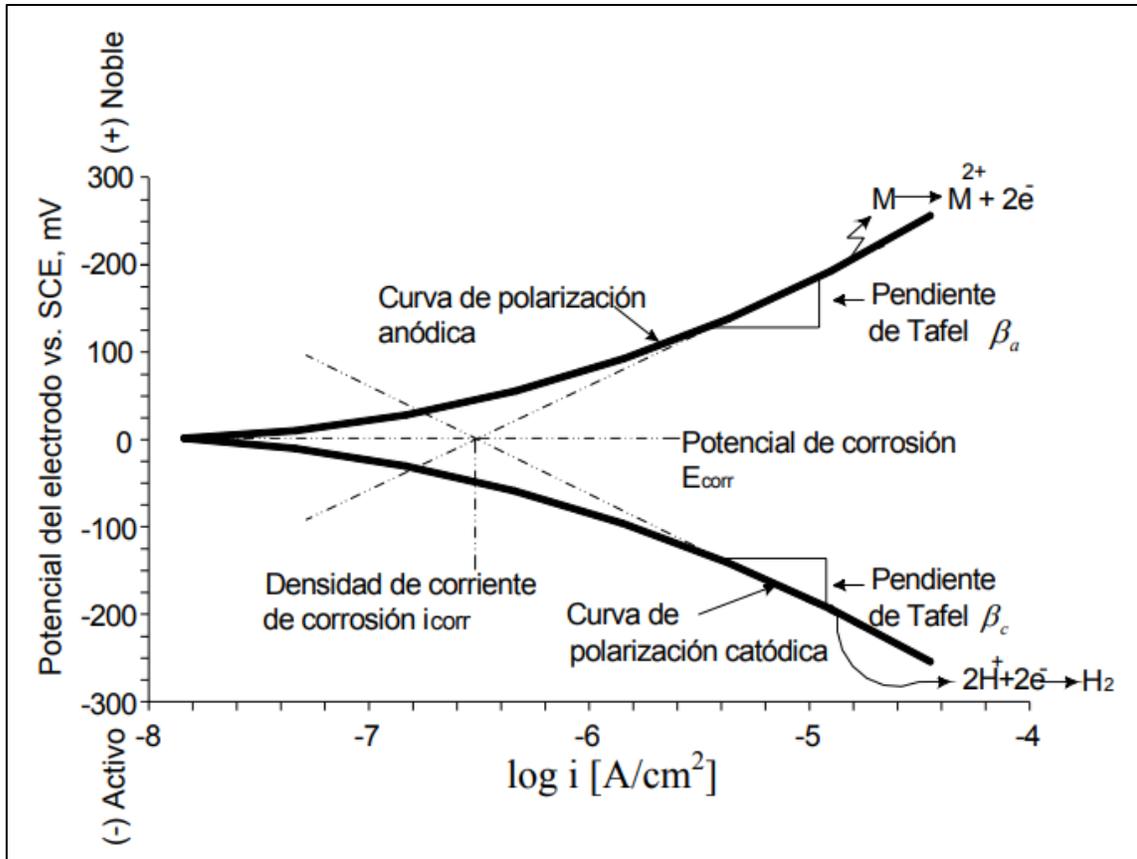
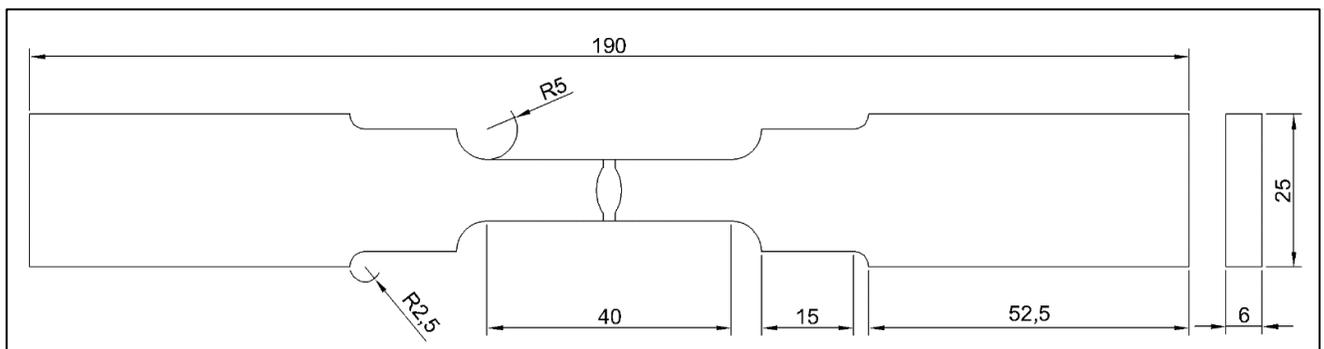


Figura 5. Método de extrapolación por Tafel (Fuente: [10])

### 2.3 Ensayo de tracción

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo en base a el estándar ASTM E8/E8M [14]. Primero, 4 probetas se fabricaron de acuerdo con las dimensiones presentadas en la Figura 6. De estas 4 probetas, la mitad fue sometida al tratamiento térmico mencionado previamente, mientras que la otra mitad no fue sometida a este proceso. Los ensayos se llevaron a cabo utilizando una máquina de ensayo universal servohidráulica INSTRON 8801. Se recolectaron los datos de carga frente al desplazamiento ( $P-\Delta L$ ), a partir de los cuales se generó la curva de Esfuerzo vs. Deformación ingenieril y se determinaron sus propiedades mecánicas

Además, cabe destacar que el cordón de la soldadura posicionada en las probetas de acero que serán maquinadas, no fueron removidos por ningún proceso. Esto con el argumento de la norma API 1104 [15] que solo lo presenta como una condición opcional ya que la resistencia a la tracción se calcula dividiendo la carga máxima a la falla por el área transversal más pequeña de la probeta.



**Figura 6. Dimensiones probeta de tracción (Fuente: [Elaboración Propia])**

## **CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE VENTANAS OPERACIONALES DE INTEGRIDAD SEGÚN NORMA API 584**

### **3.1 Descripción del circuito de corrosión**

El circuito interesado en estudiar comienza desde el tope de la torre de Fraccionamiento encontrada en la Refinería Bio Bio, cómo se presenta en la Figura 7 la cual muestra el tope de la torre. La unidad de fraccionamiento interesada en estudiar se encuentra en la planta TV2, cuyo código es E-401. Los vapores salen por el tope de la torre a través de la línea de 24’’ P 4036, a una temperatura mínima de 105° C, a modo de evitar la condensación del vapor del agua en los platos superiores de la torre. Estos vapores están constituidos por gases livianos, LPG (Propano y Butano), gasolina y vapor de agua. En la línea de salida de estos vapores se conecta la línea 3/4’’ AM-4021 AA para la inyección de las aminas neutralizante y amina fílmica el cual es descargado por una bomba recíproca J-426 desde el acumulador HA-5. El objetivo de esta inyección es impedir la corrosión en el sistema de tope, por medio de la neutralización de ácidos- fundamentalmente ácido clorhídrico- originados por hidrólisis de los cloruros presentes en el crudo y que empiezan a condensar por efecto de las temperaturas más bajas que existen en el tope de la torre. A la línea de gases de tope se conecta también la línea 1’’ CF-4002 AA que permite la adición de inhibidor de corrosión con el objeto de proteger las líneas y equipos de agentes corrosivos mediante la formación de una película fuertemente absorbida en las superficies metálicas. Este inhibidor, que ha sido diluido con nafta, es succionado desde el acumulador HA-402 e impulsado hacia la línea.

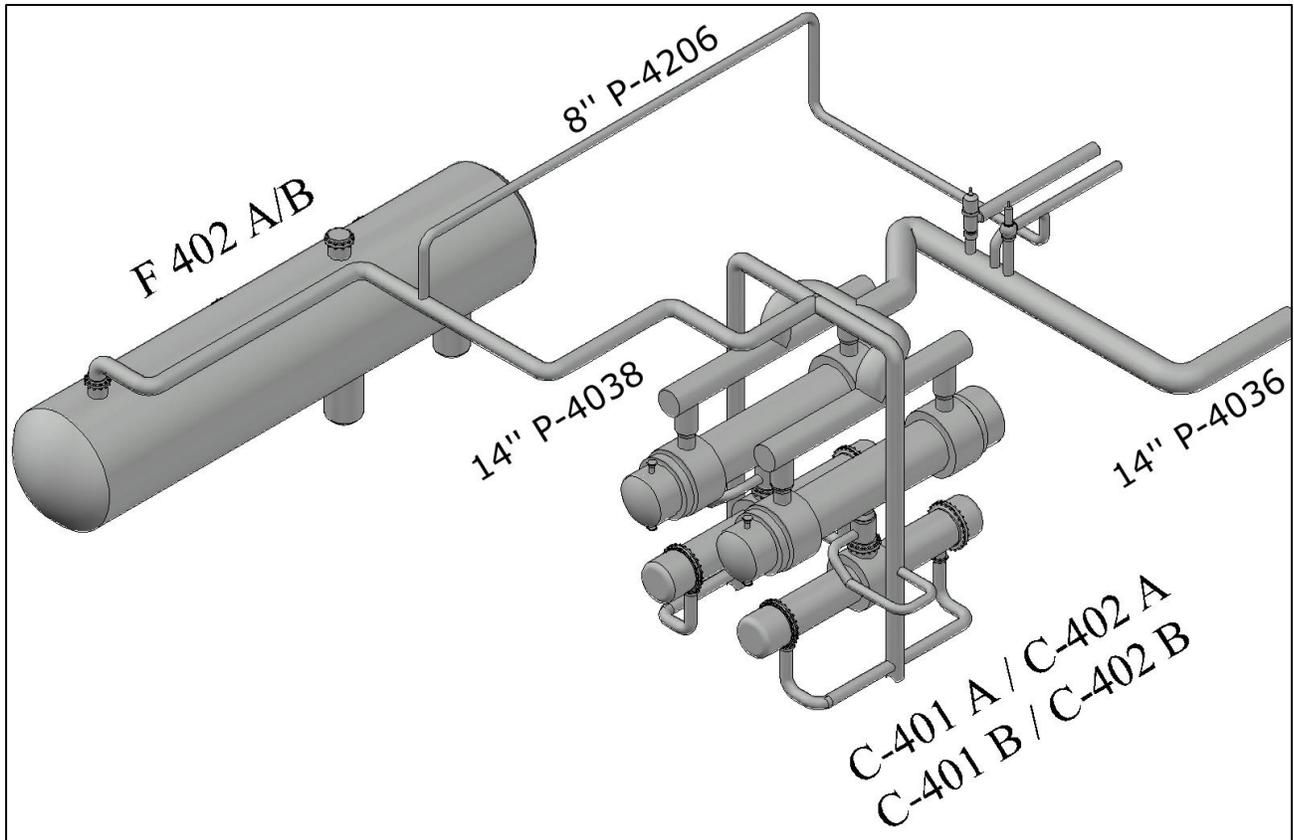
En la línea de vapores hacia los intercambiadores de calor C-401 A y C-401B se encuentra el HC-406 que acciona una válvula de mariposa a través de un servo pistón y que ejerce acción sobre la presión de la torre fraccionadora E-401 y sobre la temperatura del acumulador F-402A.

En la misma línea de vapores aguas arriba de este HC-406 (servo válvula) se ubican dos válvulas de alivio para proteger el sistema de tope, éstas son, primero la SV-407B cuyo ajuste es de 40 psig y la SV- 407 con ajuste de 35 psig, ambas descargan al sistema de antorcha. (donde los hidrocarburos son quemados por seguridad).



**Figura 7. Tope de la torre de fraccionamiento (Fuente: [Elaboración Propia])**

La primera etapa de condensación se efectúa con la carga de crudo en el C-401 y C-401B, a continuación, con agua en el C-402 y C-402B. El flujo de gases y líquido llega al acumulador de tope F-402-A a través de la línea 14" P-4038 AA que mantiene una temperatura de 80 a 85 °C, se muestra un modelado 3D de estos equipos en Figura 8. También se tienen 2 válvulas de control ubicadas como bypass de C-402 y C-402B. Su mayor o menor temperatura determina la extracción final de gasolina y la temperatura final del corte. Para dichos ajustes, se dispone de válvulas de corte en las salidas del C-402A y del C-402B que permiten variar la temperatura del acumulador y con ello la extracción de gasolina. La línea 8" P- 4206 AB permite realizar un bypass en los C-401A / C-401B por el lado de gases. En Anexo D: P&ID planta Topping 2 se presenta el P&ID de la planta TV2 que presenta más información de las líneas y equipos.



**Figura 8. Equipos del circuito de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia])**

### 3.2 Condiciones de diseño y operación de equipos y líneas

En la siguiente Tabla 3, se presenta los valores de temperatura y presión de diseño de los diferentes equipos incorporados en el circuito de corrosión interesado en estudiar. Para el caso de los equipos intercambiadores de calor C-401 A/B y C-402 A/B, es de interés la parte de la carcasa en vez del lado de los tubos, ya que es por la carcasa donde los gases del tope circulan. Estos fueron construidos con las mismas especificaciones y código de construcción que el resto de los equipos siendo la norma ASME VIII división 1 [8] la utilizada en el año 1992 para la construcción de los intercambiadores.

Con respecto a la torre fraccionadora de crudo solo se considera desde la bandeja 4 hacia el tope, que es donde se extrae la línea 2'' PW-4602, la cual extrae LPG+Gasolina+H<sub>2</sub>O de la bandeja.

En Tabla 4, se presenta los parámetros de diseño y operación, pero para las líneas de piping del circuito de tope de la fraccionadora, un punto a destacar es que como los gases del tope se sabe que superan los 105°C, la condición de diseño para la temperatura del piping debe ser mayor a esto. Estos datos fueron extraídos de los archivos de los discos de ERBB.

**Tabla 3. Parámetros de diseño y operación de los equipos del circuito (Fuente: [Elaboración Propia])**

Equipo	Servicio	Diseño		Operación	
		Temperatura [°C]	Presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Temperatura [°C]	Presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]
C-401 A/B	Condensador de tope (lado carcaza)	135	2,81	111-91	1,13
C-402 A/B	Condensador de tope (lado carcaza)	116	2,81	91-78	1,13
E-401	Torre Fraccionadora de Crudo (sección superior)	146	2,81	121	1,41
F-402A	Separador Primario	99	2,81	80	0,56
F-402B	Acumulador de Gasolina	99	2,81	38	0,035
F-409	Estanque de drenaje	127	6,3	99	4,5

**Tabla 4. Parámetros de diseño y operación de las líneas del circuito (piping) (Fuente: [Elaboración Propia])**

Línea	Flujo		Diseño		Operación	
	Desde	Hasta	Temperatura [°C]	Presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Temperatura [°C]	Presión [Kg/cm <sup>2</sup> ]
24" P-4036	E-401	C-401 A/B	135	2,81	99	1
14" P-4038	10" P-4038	F-402A	99	2,81	74	0,6
10" P-4038	C-402 A/B	14" P-4038	99	2,81	74	0,6
20" P-4037	C-401 A	C-402 A	110	2,81	98	1,26
20" P-4633	C-401 B	C-402 B	115	2,81	91	1,01
8" P-4206	Bypass antes de C401 A/B	14" P-4038	135	2,81	99	1
8" P-4207	Bypass 20" P-4037	14" P-4038	110	2,81	98	1,26
8" P-4634	Bypass 20" P-4633	14" P-4038	115	2,81	116	1,01
2" PW-4602	E-401	F-409	146	2,81	99	1,05
2" PW-4603	F-409	F-402 A/B	146	3,5	99	1,05

### 3.3 Metalurgia de los equipos y líneas

En Tabla 5, se presenta la metalurgia en la construcción de los equipos de la planta de Topping en la refinería, para el caso de las líneas o piping el metal usado para su construcción es Acero al carbono A-106

**Tabla 5. Materiales de los equipos presentes en el circuito de corrosión (Fuente: [Elaboración Propia])**

Equipo		Materiales
C-401 A	Lado Manto	A-212 GR B
	Lado Tubos	A-179
C-401 B	Lado Manto	SA-516 GR 70
	Lado Tubos	SB-338 GR 2
C-402 A/B	Lado Manto	SA-516 GR 70
	Lado Tubos	SB-111 Admiral
E-401	Sección Superior	SA-516 GR 70
F-402A/B	Acumulador	A-212B
	Decantador de agua	A-285B
F-409	Acumulador	SA-516 GR 70

Según la especificación del estándar ASTM para el acero A-106 [16] se muestra en Tabla 6 y en Tabla 7 los requerimientos químicos (los valores unitarios son los valores máximos admisibles) y requerimientos mecánicos respectivamente para que el acero sea categorizado como A-105. Ya que este material es el más utilizado en las líneas de tuberías de la refinería es importante tener en mente la composición de este y sus propiedades.

**Tabla 6. Requerimientos químicos (Fuente: [16])**

Elemento	Composición (%)
Carbón	0,35
Manganeso	0,6-1,05
Fósforo	0,035
Azufre	0,04
Silicio	0,1-0,35
Cobre	0,4
Níquel	0,4
Cromo	0,3
Molibdeno	0,12
Vanadio	0,08

**Tabla 7. Requerimientos mecánicos (Fuente: [16])**

	Mín. o Max	Unidad	Valor
Tensión de Rotura	mín.	MPa	485
Tensión de Fluencia	mín.	MPa	250
Reducción de área	mín.	%D	30
Dureza	máx.	HBW	187

### 3.4 Técnicas de control de la corrosión existentes

Existen diferentes técnicas para el control de la corrosión en la Unidad de Crudo, entre las cuales se tienen:

- Inyección de inhibidores de corrosión químicos y aminas fílmicas para las tuberías.
- Uso de equipo Desalador para la eliminación de las sales presentes en crudo.
- Ajuste de pH a través de aminas neutralizantes.
- Inspecciones y monitoreo de la condición.
- Seguimiento de variables del proceso.
- Metalurgia típica en sistema de tope.

### 3.5 Técnicas de inspección y monitoreo del equipo/unidad utilizada en ERBB.

Dentro de las técnicas utilizadas por ERBB para la inspección y monitoreo para este equipo/unidad de acuerdo con la normativa, en general son:

- Para la identificación de áreas desgastadas, se realizan inspecciones visual y medición de espesores a las líneas por medio de scanning de ultrasonido Olympus modelo 38DL PLUS.
- Se realizan mediciones del pH en el acumulador F-402, además de obtener mediciones de cloruro y hierro presentes.
- Se utilizan cupones de corrosión localizados en partes estratégicas del circuito para obtener la tasa de corrosión del circuito.

Datos de medición de espesores de la última inspección realizada en la línea el año 2022 se encuentran en Anexo E: Medición de espesores en línea en conjunto con su respectivo isométrico de la línea inspeccionada en Anexo F: Isométrico de la medición de espesores.

### 3.6 Puntos de muestras existentes

Se tienen los siguientes cupones de corrosión, los cuales se muestran su ubicación en Figura 9:

- **PC-20** instalado en el tope de la torre E-401 a la altura del plato #1 para medir la corrosión en dicho punto.
- **PC-22** instalado a la entrada del C-401A.
- **PC-23** instalado a la salida del C-401 A.
- **PC-24** instalado a la salida del C-401 B.
- **PC-25** en línea 14" P-4038 AA entrada al F-402 A.

En Figura 10, se presenta un punto de muestreo de probeta de corrosión y en Figura 11 la misma probeta de ese punto de muestreo pero que ya fue retirado de servicio para ser analizado por el laboratorio contratista TRATECON Ltda.

Otro punto de muestreo existente, pero que adquiere diferentes datos, es en el acumulador de tope F-402 donde la empresa contratista VEOLIA toma muestras en el agua de pH, Fe (ppm), Cl (ppm) y NH<sub>3</sub> y que sus datos de seguimiento se encuentran en Anexo G: Datos de seguimiento de variables.

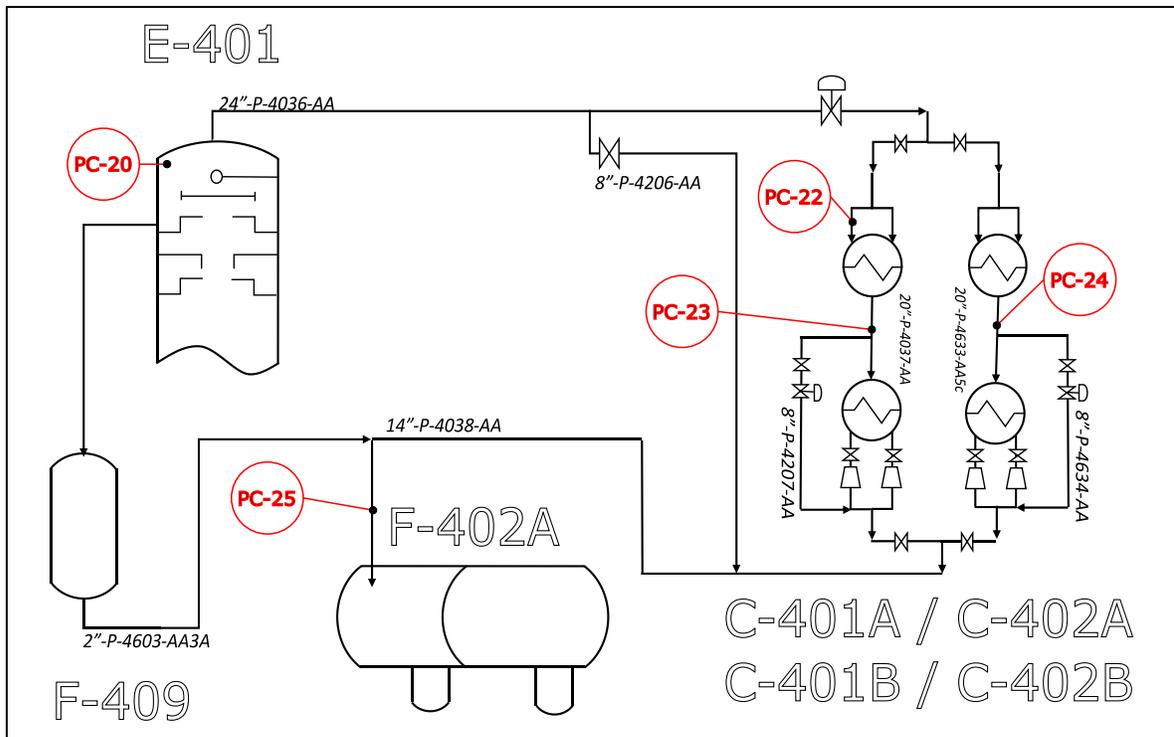


Figura 9. Punto de muestra de probeta de corrosión PC-20 (Fuente: [Elaboración Propia])



Figura 10. Punto de muestra de probeta de corrosión PC-20 (Fuente: [Elaboración Propia])



**Figura 11. Probeta de corrosión PC-20 retirada de servicio (Fuente: [17])**

### **3.7 Inhibidores de corrosión y aminas filmicas**

Para el adecuado control de la corrosión, es fundamental contar con medidas preventivas y correctivas que permitan minimizar las velocidades de corrosión en el sistema de tope. El uso de inhibidores de corrosión y aminas filmicas es una de ellas. En el control de la corrosión; sin el uso de productos químicos las velocidades de corrosión en los sistemas de tope pueden llegar a superar los 100MPY. [18]

Se continuará escribiendo acerca de las aminas filmicas e inhibidores de corrosión, caracterizándolos generalmente. En Tabla 8, se presenta la composición química y función de los compuestos usados para el control de la corrosión en el sistema de tope en la refinería Biobío.

Un inhibidor de corrosión es una sustancia que cuando es agregado en bajas concentraciones, disminuye la tasa de corrosión. Puede ser considerado como un catalizador retardante [4] Las aminas filmicas funcionan por adsorción sobre la película de los productos de corrosión depositados en la superficie del metal. Las moléculas del inhibidor hacen esta película más resistente al transporte de iones. De esta forma la amina filmica disminuye la velocidad de difusión de los iones desde y hacia la superficie metal, lo cual reduce la velocidad de corrosión en la superficie. [18]

Las aminas neutralizantes son usadas con el fin de minimizar la corrosión por el HCl. antes de que condense el ácido clorhídrico (HCl) presente en la corriente, la inyección de las aminas neutralizantes se realiza antes de que aparezcan las primeras gotas de agua [4], esto en el tope de la fraccionadora donde la temperatura es un poco más alta que la temperatura de condensación del agua.

Las aminas son utilizadas para el control del pH en el sistema de tope. Las aminas neutralizantes son aplicadas para elevar el pH de la fase acuosa de los sistemas de tope. La cantidad de amina empleada en los sistemas, en muchos casos, es controlada por la medida del pH en el acumulador. Aunque suena poco sensato, se aplican las aminas neutralizantes para el control de la corrosión cerca del punto de rocío y, sin embargo; no se puede medir el pH en este punto, lo cual representa una fuerte debilidad. [18]

**Tabla 8. Composición química (Fuente: [Elaboración Propia])**

<b>Nombre</b>	<b>Función</b>	<b>Composición de la mezcla</b>
Philmplus 1665	Inhibidor de corrosión	Ácido carboxílico alifático
		Solvente aromático pesado(nafta) 1,2,3-Trimetilbenceno 1,2,4-Trimetilbenceno Naftaleno
Philmplus 5K1642	Amina fílmica	Solvente aromático pesado(nafta) 1,2,3-Trimetilbenceno 1,2,4-Trimetilbenceno 1,3,5-Trimetilbenceno Naftaleno
		Tetrahidropirimidina grasa Cumeno
Losalt LS1522	Amina neutralizante	Aminoalcohol

### 3.8 Alimentación a la planta

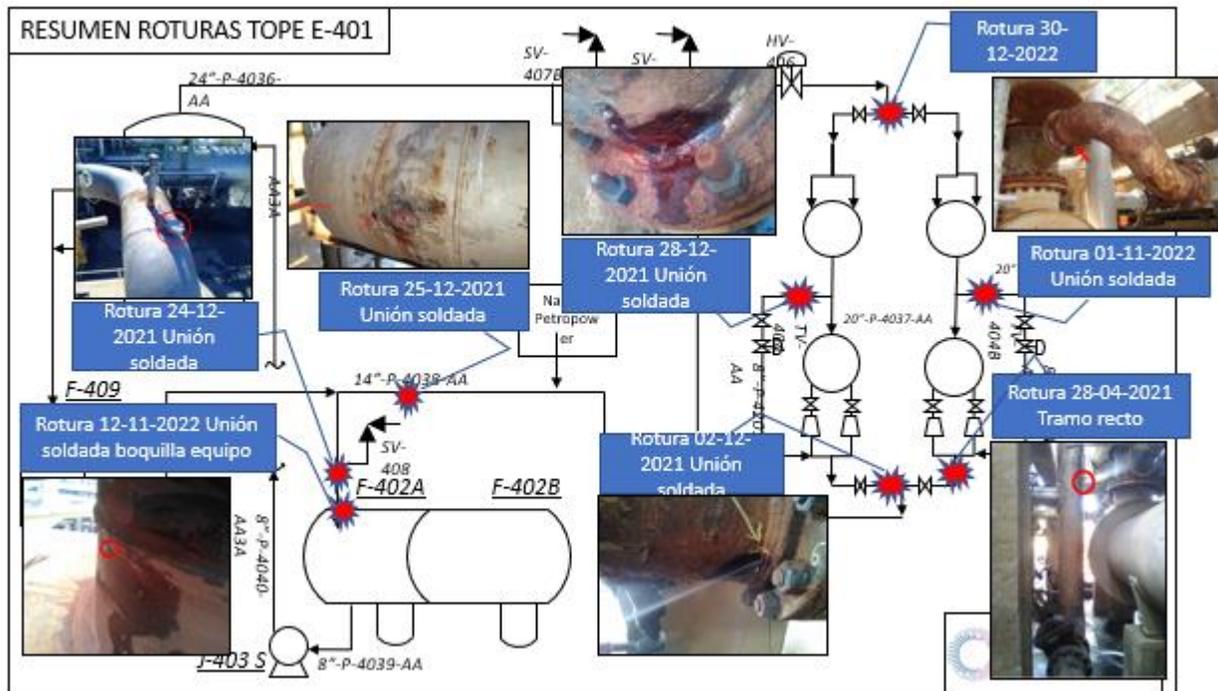
El crudo ingresado a la planta de Topping 2, afecta a la unidad dependiendo de sus características como la densidad, viscosidad, el contenido de azufre, el contenido de sales y la composición química. Los crudos de petróleo dependiendo de su lugar de origen y número de ácido total (TAN), influirá en su precio, ya que algunos crudos son más fáciles de refinar y generan menos daño a los activos, sobre todo los que son menos ácidos. En ERBB se mezclan diferentes crudos, siendo estos ácidos y alcalinos, de la canasta de crudos que se importan, buscando de esta manera tener un crudo menos ácido además de aprovechar crudos de oportunidad que suelen ser más ácidos, pero a la vez más barato. Por esto es importante buscar un balance de la capacidad de la refinería para procesar crudos ácidos con el impacto económico que conlleva. En Tabla 9, se muestra un cambio de canasta de crudo en dos periodos distintos (aproximadamente se va cambiando la canasta de crudo diariamente, esto depende de la cantidad procesada) y los componentes existentes en la canasta de crudo, ciertos componentes aumentan el porcentaje de crudo ácido, actualmente en la refinería se busca tener menos del 50% de crudos de origen ácidos.

**Tabla 9. Canasta de crudos (Fuente: [Elaboración Propia])**

<b>Componente</b>	<b>06-12-2022</b>	<b>29-12-2022</b>
Buzios	34,5%	6,4%
Mero	-	23,6%
Oriente	17,2%	29,9%
Sepia	9,9%	0,8%
Tupi	25,9%	0,5%
Nafta Desulf.	2,4%	4%
Slop Liviano	3,5%	4%
Nafta	1,7%	-
Gas Top	1,2%	0,8%
PC No6	0,5%	0,6%
Sapinhua	1,3%	-
Recon	0,8%	7,3%
Bauna	1,3%	17,2%
Gas Oil	-	4,4%
<b>Crudos ácidos</b>	<b>72,8%</b>	<b>48,7%</b>

### 3.9 Antecedentes varios

Durante el año pasado y antepasado se registraron diversas fallas en las líneas de tuberías debido a problemas de corrosión. Estas fallas causaron interrupciones en la refinación del petróleo, lo que afectó tanto a la industria como a los consumidores finales. Es importante que la empresa tome medidas preventivas para garantizar la integridad de las líneas de tuberías. En la Figura 12 se presenta un resumen de las roturas ocurridas en el sistema de tope de E-401. Se ha de notar que durante el transcurso de 2 meses ocurrieron 3 incidentes que obtuvieron como resultado la fuga de fluido y la activación de las alarmas en la refinería.



**Figura 12. Resumen roturas Tope (Fuente: [19])**

### 3.10 Estrategia de mantención de líneas

Cuando existe una falla de alguna tubería, existen 2 técnicas de mantenimiento utilizadas en ERBB, que están enfocadas en el mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. El mantenimiento preventivo busca evitar la falla mediante inspecciones periódicas y reemplazar la tubería, esto se va realizando según la vida útil del equipo y según el intervalo máximo recomendado de inspección por la norma API 570 [20]. En la Tabla 10 se presenta los intervalos máximos recomendados para la inspección de líneas ya sean estos por medio de medición de espesores con equipos UT e inspección visual dependiendo de la criticidad de la línea, para el sistema de tope de la unidad de crudo, las líneas de tuberías suelen ser de clase 1 por su criticidad en el proceso de refinación.

La siguiente técnica de mantenimiento utilizada en ERBB es el mantenimiento correctivo en la cual se tienen 2 estrategias a usar, recordar que el mantenimiento correctivo implica que se repara la línea o equipo una vez que este ya ha fallado. Se puede realizar una reparación provisoria, esto según la norma ASME PCC-2 [21] la cual consiste en presentar información técnica, procedimientos y recomendaciones sobre métodos de reparación, los cuales se dividen en tres formas de aplicación, estos son, reparaciones soldadas, reparaciones mecánicas y reparaciones no-metálicas. La otra estrategia de mantenimiento correctivo sería la más simple pero probablemente más costosa, realizar la reparación definitiva siendo este el cambio completo de la línea o equipo que ha fallado.

**Tabla 10. Intervalos máximos recomendados para inspección (Fuente: [21])**

Clase Línea	Intervalo Máximo Medición de espesor	Intervalo Máximo Inspección Visual
Clase 1	5 Años	5 Años
Clase 2	10 Años	5 Años
Clase 3	10 Años	10 Años
Clase 4	Opcional	Opcional
Puntos Inyección	3 Años	Según Clase

En el sistema de tope de la fraccionadora, se realizaron ciertos cambios de línea o reparación definitiva por problemas de corrosión que se han tenido y que fueron mencionados en la Figura 12, para las líneas 24’’ P-4036-AA y 20’’ P-4037-AA fueron reemplazadas el año 2017 mientras que las líneas 14’’ P-4038-AA, 8’’ P-4207-AA y 8’’ P-4634-AA fueron reemplazada en su totalidad el año 2022, las cuales en tan solo meses ya han aparecido fallas en las tuberías por lo que existe una alta preocupación en evitar altas tasas de corrosión.

### 3.11 Gestión de hallazgo espesores bajos en líneas

A la hora de que se presentan los resultados de una inspección de línea por medio de la técnica de testeo por ultrasonido, estos son categorizados según lo que se especifica en Tabla 11, de este modo se realizan las acciones pertinentes a cada caso.

**Tabla 11. Categorización resultados de inspección UT (Fuente: [19])**

Caso	Vida remanente	Acciones
Acción inmediata	Menor a 0,5 años	Emitir recomendación de reparación como acción inmediata según la normativa ASME PCC-2
Acción programada	Mayor a 0,5 años, pero menor a 2 años	Emitir recomendación de reparación de tramo programado, con al menos 6 meses de planificación según la normativa ASME PCC-2
Cambio Frecuencia Inspección	Mayor a 2 años, pero menor a 10 años	Se debe realizar un cambio en la frecuencia de inspección, en base a la normativa API 570 y procedimiento de la DIM
Se mantiene Frecuencia de Inspección	Mayor a 10 años	Se informan resultados de inspección y se mantiene frecuencia de inspección establecida según línea clase de línea API 570

### **3.12 Bases de diseño de las ventanas operativas**

#### **3.12.1 Condiciones futuras de operación, programadas, temporales o permanentes**

No hay cambios previstos para la operación futura. Se mantiene la operación actual. Sin embargo, pueden ocurrir cambios en la cantidad de las dosis de inhibidos de corrosión y amina fílmica, esto es controlado por la empresa contratista según el pH obtenido de la bota del acumulador F-402.

#### **3.12.2 Vida útil esperada del circuito**

Por diseño de las tuberías estas se esperan que tengan una vida útil de 25 a 30 años antes de requerir un cambio completo de la línea, esto fue impuesto por los ingenieros diseñadores cuando agregaron un espesor de corrosión permitido en los cálculos de espesor. Fue mencionado que las líneas 24’’ P-4036-AA y 20’’ P-4037-AA fueron reemplazadas el año 2017 mientras que las líneas 14’’ P-4038-AA, 8’’ P-4207-AA y 8’’ P-4634-AA fueron reemplazada en su totalidad el año 2022. Por lo tanto, se espera que estas líneas operen sin mayores novedades hasta los años 2042 y 2047 respectivamente.

#### **3.12.3 Próximas detenciones del equipo**

Las paradas de planta planificadas son cada 5 años, la última se realizó duran el primer semestre del año 2022, por lo tanto, las siguientes detenciones o parada de planta quedan para el 2027, 2032, 2037 y así sucesivamente.

#### **3.12.4 Estrategia para determinar los límites operacionales**

Para cuantificar los límites operacionales para cumplir con una tasa de corrosión que sea la menos riesgosa en operación, se utilizará una estrategia basada en cada componente a lo largo del circuito de tope de la unidad fraccionadora, esto ya que no se cuenta con una gran cantidad de datos históricos para usar una estrategia basada en el historial. De este modo, se busca conocer los límites que aseguren una operación de las variables críticas que logren una tasa de corrosión aceptable, asegurando un funcionamiento de la línea por los próximos años.

### **3.12.5 Método para determinar las tasas de daño**

Con respecto al método a utilizar para determinar las tasas de daño por equipo, se hará uso de datos obtenidos por las probetas de corrosión por un período de tiempo, y así ir comparando la tasa de corrosión por parte del circuito. Además, se hará uso de los datos medidos por equipos de ultrasonido que se han ido registrando en el software UltraPIPE® en conjunto con los esquemas de medición para el caso de los intercambiadores de calor y estanque acumulador que se encuentra a lo largo del circuito.

Como la anterior metodología se basa en datos medidos, de todos modos, se hará uso de la información entregada por la norma API 581 [3], la cual presenta tablas por mecanismo de daño que según la temperatura y pH se estima una tasa de corrosión para el acero al carbono.

### **3.12.6 Tasas de corrosión máximas esperadas por tipo de equipo**

Según la especificación de las líneas de la tubería la cual es definida por la oficina de ingeniería que fue encargada de realizar el diseño del sistemas de tuberías, la especificación presenta la corrosión permitida para cada tipo de línea, para este caso la gran mayoría son de especificación AA, esto significa que se permite una corrosión permitida (C.A.) de 3.175 mm, por lo tanto a lo largo de los próximos 25 años se busca tener una tasa de 0.127 mm de corrosión anual lo que es equivalente a 5 mpy. En cambio, para el caso de los Intercambiadores de calor y estanque acumulador F-402 se tiene un espesor de corrosión permitida de 4.8 mm y 3.2 mm respectivamente.

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE VENTANAS OPERACIONALES DE INTEGRIDAD SEGÚN NORMA API 584**

### **4.1 Identificación de mecanismos de daños**

Según la norma API 571 [2], en el circuito que corresponde a la descarga en el tope de la fraccionadora, siendo el piping que transporta el fluido, se encuentran los siguientes mecanismos de daños por corrosión:

- Corrosión por Cloruro de Amonio
- Corrosión por Ácido Clorhídrico (HCl)
- Erosión/Corrosión

Después para los equipos condensadores que se encuentran sobre cabeza o en tope se han identificado los siguientes mecanismos de daño:

- Corrosión generalizada por H<sub>2</sub>S
- Corrosión por Cloruro de Amonio
- Corrosión por Ácido Clorhídrico (HCl)
- Erosión/Corrosión
- Corrosión por CO<sub>2</sub>
- Agrietamiento por corrosión bajo tensión de amoníaco
- Fragilización por metal líquido
- Corrosión por ácidos orgánicos acuosos

Finalmente, para el equipo separador que está sobre cabeza o en tope, se tienen los siguientes mecanismos de daños

- Corrosión generalizada por H<sub>2</sub>S
- Corrosión por Cloruro de Amonio
- Corrosión por Ácido Clorhídrico (HCl)
- Erosión/Corrosión
- Corrosión por CO<sub>2</sub>
- Corrosión por ácidos orgánicos acuosos

En la Figura 13, se presenta un Diagrama de flujo enseñando las zonas de corrosión por los agentes corrosivos identificados por la norma.

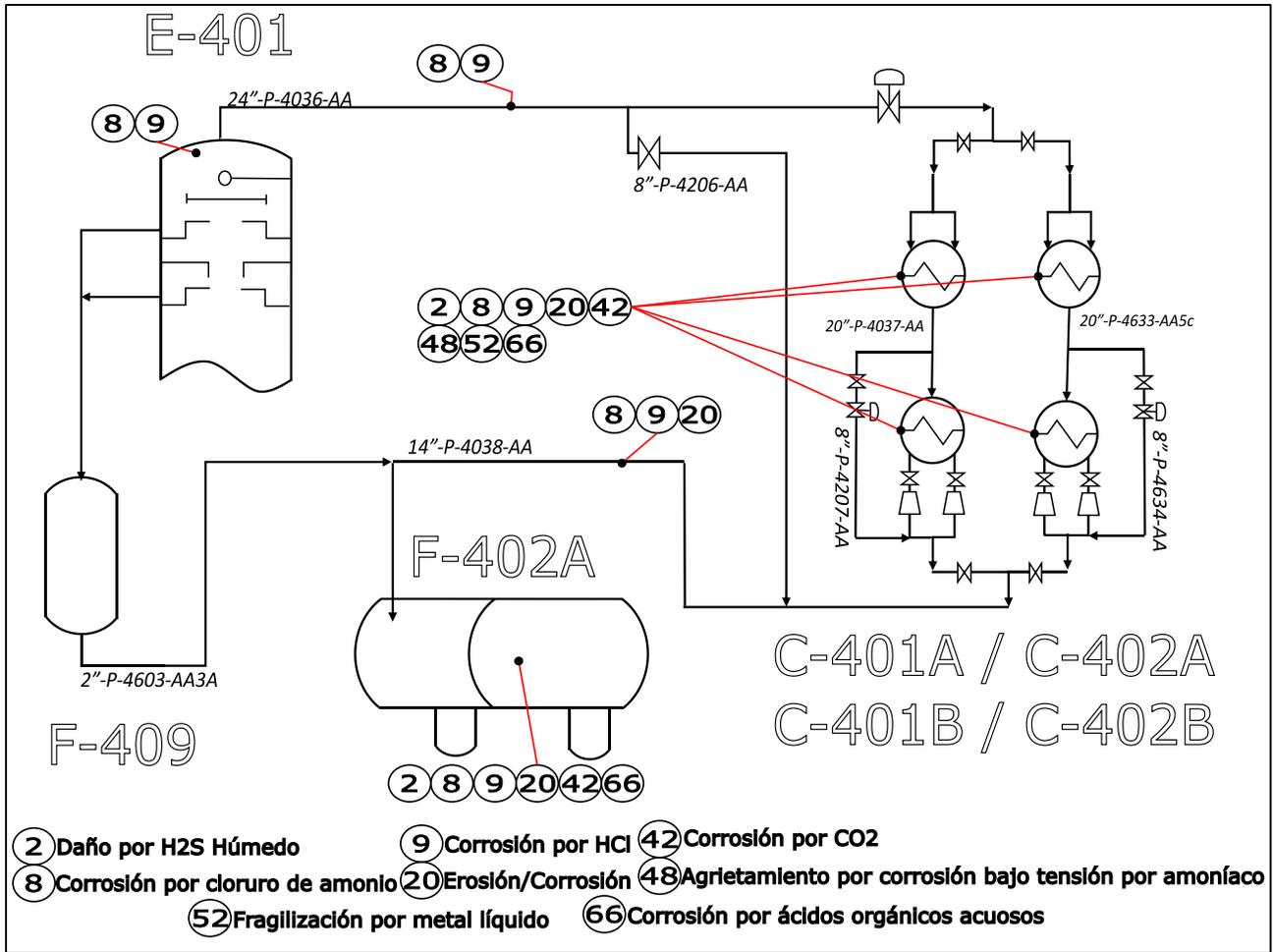


Figura 13. Diagrama de corrosión característico (Fuente: [Elaboración propia])

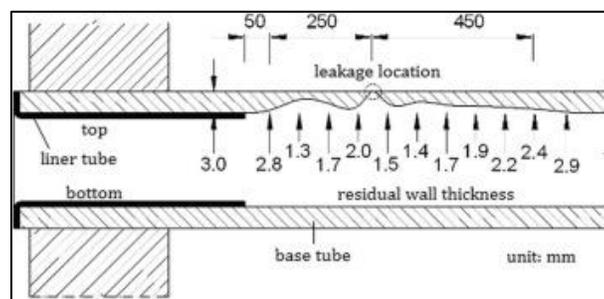
## 4.2 Mecanismos de daños en ERBB

Para el caso de esta memoria de título solo se tendrá interés en 2 mecanismos de daños los cuales vienen siendo corrosión por ácido clorhídrico y corrosión por cloruro de amonio. La redacción de estos mecanismos de daños está en base a la norma API 571. [2]

### 4.2.1 Corrosión por Cloruro de amonio (Ammonium Chloride and Amine Hydrochloride Corrosion)

Este mecanismo de daño suele generar una corrosión del tipo localizada, que ocurre generalmente debajo de depósito de sales de cloruro de amonio o sales de amina. Siendo el acero al carbono unos de los materiales con menor resistencia. Los factores críticos que contribuyen a la corrosión son la concentración de  $NH_3$ , ácido clorhídrico, sales de amina, temperatura y disponibilidad de agua. La aparición del daño se caracteriza por una apariencia blanquita, verdina o un tono café. Para prevenir o mitigar el daño, se pueden utilizar aleaciones más resistentes a picaduras, limitar las sales y el cloruro en la alimentación de la torre por el desalador y/o la adición de soda caustica al crudo desalado, un lavado de agua para limpiar los depósitos de sales, y el uso de inhibidores de aminas fílmicas.

En la Figura 14 y la Figura 15 se enseña una falla por corrosión localizada producto de la corrosión por Cloruro de Amonio ( $NH_4Cl$ ) en una tubería del tope de un reactor, se ha de notar la alta velocidad de corrosión que hubo localizada en la fuga encontrada, a diferencia del resto de la superficie.



**Figura 14. Ilustración de una falla por corrosión localizada (Fuente: [22])**



**Figura 15. Corrosión localizada en el tubo tope de un reactor (Fuente: [22])**

#### **4.2.2 Corrosión por Ácido Clorhídrico (Hydrochloric Acid Corrosion)**

El ácido clorhídrico (HCl) en su forma acuosa es muy corrosivo y puede causar tanto corrosión general como localizada en los equipos estáticos utilizados en las refinerías, independientemente del material utilizado. El daño se produce a menudo a la temperatura del punto de rocío donde los vapores que contienen agua y HCl se condensan siendo estas altamente ácidos, lo que promueve altas velocidades de corrosión. La concentración de HCl, la temperatura y la composición de la aleación son factores críticos que afectan la severidad de la corrosión. Por lo que los aceros al carbono y bajas aleaciones son especialmente susceptibles a este tipo de corrosión

En la unidad de crudo, la corrosión por HCl acuoso ocurre en el tope de la torre fraccionadora, donde las primeras gotas de agua que se condensan desde el flujo de vapor pueden tener un pH bajo y resultan en altas tasas de corrosión en las tuberías y en las carcasas de los intercambiadores de calor.

Para prevenir o mitigar los efectos de este mecanismo de daño en el tope de una torre fraccionadora, se puede optimizar la operación del desalador que se encuentra antes de que el petróleo crudo sea procesado por la torre fraccionadora, también se puede realizar una inyección de diversas combinaciones de amoníaco, aminas neutralizantes y aminas fílmicas antes de que se tenga el punto de rocío del agua en el tope de la unidad y también se puede agregar un lavado con agua para extinguir la corriente superior y ayudar a diluir el clorhídrico condensado.

Es por esto por lo que es importante tener localizaciones para el monitoreo del proceso que estén bien mantenidas, por ejemplo, para medir el contenido de cloruro, tasas de inyecciones de agua, y tasas de inyección de químicos son importantes para manejar la corrosión por ácido clorhídrico.

### 4.3 Identificación de las variables del proceso claves

Este paso se trata de identificar las variables del proceso que sean claves y estén relacionados con la activación o aumento de la tasa de daño de los mecanismos identificados en el subcapítulo anterior. Estas variables pueden ser indicadores principales o indicadores secundarios. Donde los indicadores primarios suelen ser predictivos, en cambio, los indicadores secundarios son reactivos. El indicador primario que sea más controlable y el más efectivo en reducir el potencial del daño debiese ser la variable crítica en monitorear y en la cual el interés debiese ser prioritario de aplicar ventanas operacionales.

Según la norma API 584 [1], ejemplos de indicadores principales para identificar un potencial aumento de tasa de corrosión en un sistema de tope de una torre fraccionadora se tienen: la eficiencia del desalador, pH, contenido de cloruro, conductividad, punto de precipitado de las sales y punto de rocío. Para indicadores secundarios, como ejemplo se tiene: el contenido de hierro y la respuesta de la tasa de corrosión de parte de las probetas instaladas.

#### 4.3.1 Variables primarias en el circuito de tope en ERBB

Dentro de las variables primarias se encuentra el pH y las temperaturas que se obtienen de las distintas termocuplas a lo largo del circuito de tope. En Tabla 12, se presentan las variables primarias y la ubicación en donde se realiza la medición.

Estas variables se consideran primarias porque la temperatura es la variable que se puede controlar con el accionamiento de las válvulas de bypass que se encuentran a lo largo del circuito, además de ser de unas de las variables que activa o acelera a cada uno de los mecanismos de daños reconocidos en la unidad. Para el caso del pH, aunque se tenga una medición diaria y un efecto retardado en el control de esta ya que el pH más ácido se encuentra al inicio del sistema de tope (por condensación del ácido clorhídrico) según Mena [18] y a medida que se avanza por el circuito gracias a la acción de los inhibidores de corrosión, aminas neutralizantes, aminas fílmicas el pH va subiendo a lo largo de este. Aun así, esta es una variable clave ya que todos los mecanismos de daños son activados o acelerados por la influencia de esta variable (usualmente un pH bajo aumenta significativamente la tasa de corrosión). Para el caso del cloruro, se elige variable primaria ya que ha existido registros de un tener una medición del pH en un rango óptimo de operación, pero aun así una cantidad alta de contenidos de cloruros en el tambor del acumulador, por lo cual, debiese ser una variable monitoreada con una priorización crítica.

Finalmente, la velocidad de corrosión estimada por las probetas de corrosión instaladas es clave ya que en casos históricos cuando se ha tenido una alta velocidad de corrosión registrada por los informes mensuales, se ha actuado de forma inmediata con medición de espesor de las líneas.

**Tabla 12. Variables primarias (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Variables primarias</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Ubicación Medición</b>	<b>Frecuencia medición</b>
pH del agua en acumulador	pH	Tambor de agua Acumulador F402-A	Diaria
Temperatura de Tope	°C	Termocupla TI-012	Diaria
Cloruro en Agua acumulador	ppm	Tambor de agua Acumulador F402-A	Diaria
Velocidad de corrosión por probetas	mpy	PC-20, PC-22, PC-23, PC-24, PC-25	Mensuales

#### **4.3.2 Variables secundarias en el circuito de tope en ERBB**

En la Tabla 13, se presenta las variables secundarias. Estas variables tienen un efecto retardado a la hora de cuantificar el daño hecho por la corrosión, ya que una vez que haya ocurrido la corrosión estas variables marcarán su parámetro en medición. Sin embargo, existen otras que van a tener un fin solo informativo, como es el caso del TAN, ya que con esta variable se sabrá que el crudo procesado va a ser ácido por lo cual es más probable que se aceleren las tasas de corrosión del circuito.

**Tabla 13. Variables secundarias (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Variables Secundarias</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Ubicación Medición</b>	<b>Frecuencia medición</b>
Hierro en agua acumulador	ppm	Tambor de agua Acumulador F402-A	Diaria
Amoníaco en agua acumulador	ppm vol.	Tambor de agua Acumulador F402-A	Diaria
Ácido Sulfhídrico en agua acumulador	ppm vol.	Tambor de agua Acumulador F402-A	Diaria
Eficiencia Desalador	%	Desalador de TV2	-
Número ácido total (TAN) del crudo	%	Estanque de almacenamiento	Diaria
Tasas de inyección Aminas Fílmicas	ml/min	Tope	Diarias
Tasas de inyección Aminas neutralizantes	ml/min	Tope	Diarias
Tasas de inyección Inhibidores de corrosión	ml/min	Tope	Diarias

## **4.4 Determinación de límites**

De acuerdo con la norma API 584 [4], el siguiente paso a realizar es la determinación de límites, hacia las variables primarias y secundarias definidas previamente, así a los parámetros establecidos se le impondrán límites superiores y/o límites inferiores de operación. Estos límites permitirán identificar la activación de los mecanismos identificados o la aceleración de la tasa de corrosión por causa de estos. Estos límites deben lograr la confiabilidad e integridad mecánica deseada planteada en la premisa del procedimiento.

La norma presenta un ejemplo de cómo se aplicó límites a la variable de temperatura de un equipo presurizado, en donde a esta variable se le aplican los 3 tipos de ventanas operativas (informativa, estándar, crítica), para identificar los distintos niveles de riesgo presentes al operar el equipo a diferentes temperaturas. Notar que la condición de diseño del equipo fue presentada como un límite estándar ya que superarlo significa que se está operando a un nivel superior del que está diseñado, por lo tanto, reduciendo a una mayor tasa de lo planificado la vida útil del equipo. Además, se aplicó un límite crítico a 26 °C sobre el límite estándar, lo que significa que, superando este límite de operación el operador deberá tomar acciones inmediatas ya que la probabilidad de falla inminente es alta. Este ejemplo presenta como una misma variable podrá tener varios límites aplicados por la criticidad de este.

Una de las variables más críticas que representa con alta precisión si existe una activación o aceleración de un mecanismo de daños es el pH, es conocido que, para este circuito de tope en la literatura, el mecanismo de mayor preocupación es por el ataque ácido a la metalurgia de la unidad dado por la presencia de altas concentraciones de HCl en el condensado del agua.

Desde el CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA la Figura 1. Etapas en el diseño de ventanas operativas (Fuente: [4]) que representa la metodología de la norma API 584, se definió las etapas de Determinación de límites, ranking de riesgos y Determinación de criticidad de la V.O. Estas etapas fueron realizadas en conjunto en una reunión con el especialista de corrosión.

Dentro de la determinación de la criticidad de las ventanas se establecieron variables que requieren de ventanas estándar y críticas en conjunto; y variables con ventanas solo informativas, esto tiene repercusión para diferenciar que variables necesitarán de alarmas en vez de notificación, si va a necesitar acciones predeterminadas, si es que va a necesitar de una revisión de la estrategia de inspección de línea por parte del DIM de ERBB, entre otras posibles acciones.

### **4.4.1 Determinación de límites de las variables críticas y estándar**

A continuación, se explica la justificación de la elección de los límites expuestos ya que el ranking de riesgos no fue realizado de forma exhaustiva, después de esto se realizará la determinación de las

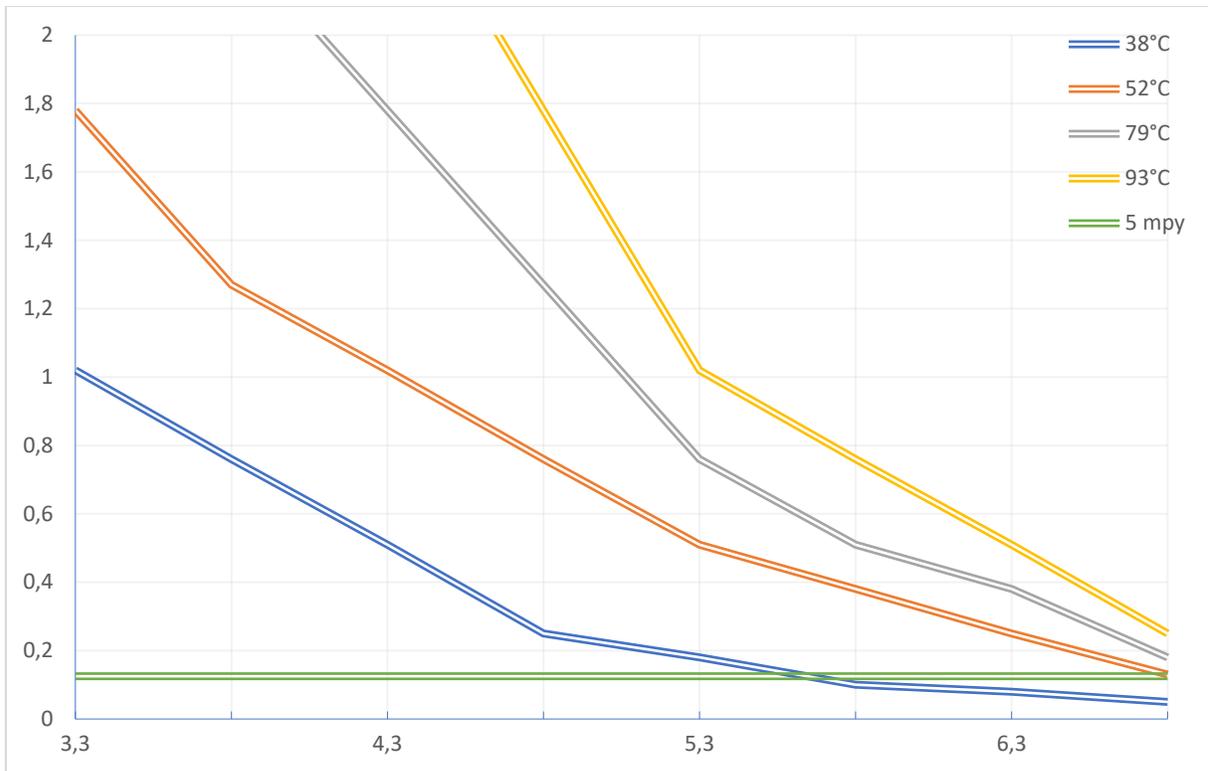
acciones en caso de que las variables del proceso se encuentren fuera del rango de los límites de las ventanas operacionales impuestos.

Se definió que el pH, la temperatura, el contenido de cloruro en la bota del acumulador de tope y la velocidad de corrosión de las probetas serán las variables claves por monitorear en el sistema de tope de corrosión por la frecuencia de medición que se tiene de estas y por el valor de la información para cuantificar la activación o aceleración de los mecanismos de daños estudiados. El resto de las variables ya mencionadas tendrán límites informativos que si son sobrepasados estos serán de información útil para el especialista de corrosión. Se menciono anteriormente que la velocidad de corrosión de las probetas sería un indicador secundario, pero considerando el contexto en el que se encuentra el sistema de tope, este indicador, aunque tenga un efecto retardado proporciona información de gran utilidad hacia al especialista de corrosión por lo cual se proponen límites estándar y críticos.

El pH y temperatura vienen a ser variables críticas ya que la norma API 581 [3] presenta una tabla para estimar la tasa de corrosión según la temperatura y el pH medido en la bota de agua del acumulador del sistema de tope, esto para aceros bajos al carbono, esta tabla se presenta en un gráfico presentado en la Figura 16. Se ha de notar que la tasa de corrosión está presentada en mm por año, recordar que desde la premisa se planteó una tasa de corrosión máxima de 5 mpy (0.125 mm/año), la cual se muestra en el gráfico.

Desde la Figura 16 es claro que la tasa de corrosión que se muestra en mm/años se ve afectada ampliamente por una temperatura alta y por un pH bajo, aun así, la temperatura tiene un límite a los 100 °C o a la temperatura de condensación del agua, ya que la corrosión por ácido clorhídrico tiene gran impacto con las primeras gotas de agua condensada en el tope. (Antes de la aplicación de inhibidores de corrosión y/o aminas). Es por esto por lo que se requiere que el pH no tenga un valor bajo y la temperatura esté en un rango apropiado de trabajo.

Son estos motivos presentados que el pH del agua en el acumulador se definió un rango de operación de 5.5 a 6.5, en caso de tener un pH sobre 6.5 o bajo los 5.5 se estaría superando el límite estándar de la ventana propuesta lo cual repercutirá en tomar medidas presentadas en el siguiente capítulo. Además, se estableció un límite crítico de ventana operativa para el pH, lo que significa que las acciones que se tomen tendrán que ser con un sentido de urgencia para devolver esta variable a un rango óptimo de operación, esto porque se considera que el riesgo de operar sobre los 7.5 o bajos los 4.5 es alto. Ya que según NACE [23], excursiones en valores ácidos de pH indican una tendencia de incremento de la corrosión ácida, en cambio excursiones del lado alcalino puede indicar una tendencia de sobreuso de neutralizador, lo que podría provocar una corrosión bajo depósito de las sales de amoníaco.



**Figura 16. Tasa de corrosión (mm/años) vs pH según la temperatura por norma API 581 (Fuente: [3])**

Para el caso de la temperatura el límite estándar se tiene para la termocupla que se encuentra en el tope la cual se presenta en la Figura 7, de este modo, si la temperatura se encuentra bajo los 100 °C significa que las gotas de agua condensan antes de la inyección de inhibidores de corrosión por lo cual tendrá que tener una notificación ya que la operación prolongada representa un riesgo inaceptable de operar, lo mismo es para el caso si este llegara a superar los 135 °C, ya que la operación sobre este rango se encuentre sobre la temperatura de diseño de la tubería por lo cual una operación prolongada significará una masiva reducción de la vida útil de la tubería. Siguiendo el caso del ejemplo presentado por la norma, se definieron como límites críticos si se superan los rangos de 90 y 150 grados Celsius, ya que son valores sobre los límites estándar y que una vez superados se espera que se tomen medidas correctivas con urgencia para volver a un estado de operación óptimo.

Además, para el caso del cloruro desde NACE [23], menciona que los programas de control de la corrosión normalmente establece un valor objetivo en el contenido de cloro, este es de 30 ppm presentado por los informes de reporte diario de la empresa contratista en ERBB, valores más alto que este objetivo podría significar problemas con la eficiencia del desalador por lo cual sería de ayuda revisar los valores de este para encontrar una relación, además podría significar de presencia de cloruros no extraíbles en el crudo. Por otro lado, desde Schempp et al.[24], una de las conclusiones presenta que una tendencia en el aumento del contenido de cloruro en el agua de acumulador de tope tiene una correlación directa con un aumento en la tasa de corrosión de la unidad. Por esto, se definió

un límite crítico para que el especialista de corrosión pueda tomar medidas correctivas con urgencia si se sobrepasan los 60 ppm de cloruros.

Finalmente, para el caso de la velocidad de corrosión por probetas se definió un valor de 5 mpy como límite estándar ya que este valor está definido previamente por la empresa contratista y se plantea que si se supera este valor en algunos de los puntos de medición existentes se debiese realizar algún tipo de notificación, y como valor crítico se estableció 50 mpy por los valores históricos que se conocen y por la experiencia del especialista en corrosión, se tiene un caso histórico de que unas de las probetas llego a tener 80 mpy de velocidad de corrosión, lo que alarmó inmediatamente a los inspectores, incitando a la medición de espesores del circuito descubriendo una disminución de 2 mm de espesor y esto en un período de tan solo un mes. La Tabla 14 muestra en resumen los valores de los límites estándar y críticos.

**Tabla 14. Límites estándar y críticos (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Variable</b>	<b>Límite Estándar</b>	<b>Límite Crítico</b>
pH del agua en acumulador	5.5-6.5	4.5-7.5
Temperatura de Tope	100-135 °C	90-150 °C
Cloruro en Agua acumulador	30 ppm	60 ppm
Velocidad de corrosión por probetas	5 mpy	50 mpy

#### **4.4.2 Determinación de los límites de las variables informativas**

Ahora para los límites de las variables informativas, la razón de estas tiene como fin informar al especialista de corrosión o del proceso algún suceso de cambio que implique un riesgo en el aumento de la tasa de corrosión, también para diferenciar los mecanismos de daños que pueda ser activado por algún parámetro de los límites de variables críticas. A continuación, se explica el por qué se definieron estas variables como informativas. Sabemos que las variables informativas tienen como fin proveer tiempo hacia el especialista de corrosión para considerar una respuesta apropiada. En la Tabla 15 se presentan los límites informativos establecidos.

Para el hierro en el agua del acumulador, según NACE [23] considera el análisis del contenido de metal en el flujo es una herramienta menos útil para el monitoreo de la corrosión. Ya que se tiene la creencia que un aumento de la concentración del metal puede estar directamente relacionada con un aumento de la tasa de corrosión. Esto se contradice por:

- La solubilidad de los metales incrementa con un decremento del pH. Por lo tanto, un incremento medido en la solubilidad de los metales puede ser simplemente el resultado de un pH ácido.
- Incremento en los metales solubles puede ser simplemente el resultado de los depósitos incrustados que se despojan de la pared de las tuberías, lo que no tiene relación con un aumento en la tasa de corrosión.

De todos modos, se establece un límite informativo para esta variable ya que se tiene la posibilidad de que un aumento pueda significar que la tasa de corrosión está incrementando.

Siguiendo con el caso del amoníaco en el agua del acumulador, se estableció como 10 ppm. Esta variable es monitoreada por el contratista, aun así, lamentablemente no se tiene una cantidad de datos históricos representativo, de todos modos, el contratista tiene establecido como valor límite el recién mencionado, por lo cual se sigue la recomendación de este. El monitoreo de esta variable según NACE [23] es típicamente útil para el seguimiento del potencial de formación de sales, sobre todo sales de cloruro de amonio.

Para el caso del Ácido Sulfhídrico en el agua del acumulador, se estableció el valor de 50 ppm, esto siguiendo la norma API 571 [2] por el mecanismo de daño por H<sub>2</sub>S Acuoso.

Por otro lado, la eficiencia del desalador y el TAN afecta en el contenido de sales que se tiene en el crudo. Según NACE [23], un decremento en la eficiencia del desalador conlleva una concentración alta de cloruros y otros contaminantes en la unidad de crudo. Aparte, el TAN presenta la cantidad de especies ácidas presente en un petróleo particular de crudo, algunos crudos con altos TAN tienen mayor conductividad que los TAN de menor valor, lo que conlleva una baja en la eficiencia del proceso de desalado. Se estableció que, si se tiene menores valores del 95% en la eficiencia del desalador, como variable informativa y que si el TAN era mayor al 50% también. Esto indicará al especialista de corrosión la cantidad representativa de sales que la unidad de crudo tendrá que procesar, considerando como hipótesis que los crudos más ácidos conllevará un aumento de la tasa de corrosión.

Finalmente, las tasas de inyección de aminas fílmicas, aminas neutralizantes e inhibidores de corrosión, se establecieron los límites como el promedio de los valores históricos que se tienen, que son cerca de 20 datos. Estos límites se consideran informativos ya que según Schempp et al.[24], en una de las conclusiones presentadas relaciona que las tasas de inyección debiesen ser estudiadas a fondo en la influencia que tienen en la variable que desean controlar, ya que se deberían reducir las tasas lo menor posible. Además, desde la API 571 [2] se menciona que las aminas neutralizantes pueden reaccionar con ácido clorhídrico para formar clorhidrato de amina la cual aumenta la tasa de corrosión.

**Tabla 15. Límites informativos (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Variable</b>	<b>Límite informativo</b>
Hierro en agua acumulador	2 ppm
Amoníaco en agua acumulador	10 ppm vol.
Ácido Sulfhídrico en agua acumulador	50 ppm vol.
Eficiencia Desalador	95%
Número ácido total (TAN) del crudo	50%
Tasas de inyección Aminas Fílmicas	20 ml/min
Tasas de inyección Aminas neutralizantes	45 ml/min
Tasas de inyección Inhibidores de corrosión	20 ml/min

## **4.5 Acciones y tiempos de respuestas**

En este subcapítulo se definen las acciones en caso de que se superen las ventanas operativas establecidas en el capítulo anterior. En Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas se encuentra la tabla con las acciones y tiempos de respuestas con mayor detalle, a continuación, se muestra de forma resumida tal información. Las acciones y tiempos de respuesta dependen de la criticidad asignada para cada variable.

### **4.5.1 Acciones y tiempos de respuestas de variables críticas**

Al superar una variable que fue definida como crítica en las ventanas operacionales, usualmente la forma de responder ante este cambio debiese ser con una acción correctiva de forma urgente, pero, el sistema de tope al no contar con una acción que controle el estado de la tasa de corrosión de forma directa se tienen otros tipos de acciones que vienen a ser en forma de avisos o inspección de medición de espesores para cuantificar el daño ocurrido. Para el caso de acciones correctivas en canasta de crudo y tasa de inyecciones, este es para que las concentraciones de ácidos que se puedan encontrar mientras la planta opera sean menores y que de este modo pueda volver a operar a condiciones normales definidas por las ventanas operativas.

Considerando el tiempo de respuesta, se definieron varias de estas en un plazo corto de tiempo, en donde usualmente se realizarán notificaciones o avisos hacia el jefe de planta e ingeniero de procesos en un plazo de un día (a través de un correo electrónico). Para el caso de las inspecciones de medición de espesores por el método de ultrasonido, se da un plazo de una semana para realizar la planificación de esta, por otro lado, si las temperaturas se encuentran fuera del rango crítico establecido por las ventanas operacionales se deberá llevar una investigación por parte del ingeniero de proceso del ¿por qué ocurrió el cambio? Finalmente, si la velocidad de corrosión por las probetas se encuentra fuera de rango crítico, este en un plazo de 2 semanas tendrá que ser evaluado por el ingeniero de confiabilidad si se requiere planificar una medición de espesores por el método de ultrasonido. En la Tabla 16, se presenta las acciones y tiempos de respuestas de las variables con límites críticos de forma resumida, para mayor detalle se puede revisar en Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas.

**Tabla 16. Acciones y tiempos de respuestas variables con límites críticos resumido (Fuente: [Elaboración propia])**

Variable	Acciones	Responsable	Tiempo de respuesta
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspección medición espesores               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avisar Jefe de planta e Ingeniero de procesos</li> </ul> </li> <li>▪ Acciones correctivas en canasta de crudo y tasa de inyecciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DIM</li> </ul> </li> <li>▪ Jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 semana               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día</li> </ul> </li> <li>▪ 1 semana</li> </ul>
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avisar Jefe de planta e Ingeniero de proceso               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investigación y recomendaciones</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad</li> <li>▪ Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día</li> <li>▪ 1 mes</li> </ul>
Cloruro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspección medición espesores               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avisar Jefe de planta e Ingeniero de procesos</li> </ul> </li> <li>▪ Acciones correctivas en canasta de crudo y tasa de inyecciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DIM</li> </ul> </li> <li>▪ Jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 semana               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día</li> </ul> </li> <li>▪ 1 semana</li> </ul>
Velocidad de corrosión por probetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluación de planificación de medición de espesores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero de confiabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 semanas</li> </ul>

#### 4.5.2 Acciones y tiempos de respuestas de las variables estándar

Ahora para las variables estándar, estas a diferencia de los límites críticos no requieren de una acción correctiva urgente, pero si la operación se encuentra fuera del rango por un tiempo prolongado será necesario actuar con una planificación. En el caso del pH, al igual que los límites críticos definidos la acción en caso de superar los límites definidos como estándar se avisará al jefe de planta y al ingeniero de procesos en un plazo de 1 día, además se pide al ingeniero de procesos que investigue o evalúe las causas en el cambio de variables en un plazo de un mes.

Para el caso de la temperatura se enviará un correo al jefe de planta e ingeniero de procesos notificando del cambio en la temperatura y se propondrá que se investigue o evalúe las causas de la superación de los límites definidos, para esto se propone un periodo de 1 mes para la realización de esta.

En fin, en el caso del cloruro y la velocidad de corrosión de las probetas se propone lo mismo que para la temperatura y el pH, enfocándose en avisar y en planificar una investigación de las causas del cambio de la variable en un plazo prolongado en el tiempo. En la Tabla 17, se presenta las acciones y tiempos de respuestas de las variables con límites estándar de forma resumida, para mayor detalle se puede revisar en Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas.

**Tabla 17. Acciones y tiempos de respuestas de las variables con límites estándar resumido**  
(Fuente: [Elaboración propia])

<b>Variable</b>	<b>Acciones</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enviar correo a Jefe de Planta e Ingeniero de procesos</li> <li>▪ Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad</li> <li>▪ Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día</li> <li>▪ 1 mes</li> </ul>
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enviar correo a Jefe de Planta e Ingeniero de procesos</li> <li>▪ Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad</li> <li>▪ Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día,</li> <li>▪ 1 mes</li> </ul>
Cloruro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enviar correo a Jefe de Planta e Ingeniero de procesos.</li> <li>▪ Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪ Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 día</li> <li>▪ 1 mes</li> </ul>
Velocidad de corrosión por probetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enviar correo a jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingeniero de confiabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1 mes</li> </ul>

### 4.5.3 Acciones y tiempos de respuestas de las variables informativas

Por último, con las variables con límites informativas como lo dice su nombre su función es informar al especialista en corrosión sobre algún posible cambio o perturbación en la operación del sistema de tope que llegará a indicar la activación o aceleración de un mecanismo de daño y por ende la tasa de corrosión.

Por esto, los plazos de acción son más extensos en comparación a los otros tipos de límites. Para el caso de los límites de las ventanas para el Amoníaco, Eficiencia, TAN y las tasas de inyecciones tienen como acción de notificación al jefe de planta o ingeniero de procesos, en un período de 1 semana a 1 mes. Pero a diferencia, para las tasas de inyección estas solo se notificarán si la variable esta fuera del rango establecido por un tiempo de 7 días.

Por otro lado, para el Hierro se propone realizar un estudio complementario en conjunto con las otras variables del proceso para analizar si existe efectivamente un cambio en la tasa de corrosión que sea preocupante para la seguridad del activo, esta cuenta con varios responsables que puedan llevar a cabo el estudio de las posibles causas del incremento en esta variable, pero asimismo se entrega un tiempo de respuesta de 1 mes para la realización de este.

Ahora con el H<sub>2</sub>S viene a ser un caso especial, se conoce el mecanismo de daños por H<sub>2</sub>S acuosos que puede generar grietas al interior de las tuberías de acero, es por esto por lo que si los límites de la ventana impuesta son superados se plantea planificar una inspección con prueba de partículas magnéticas fluorescentes húmedas a las uniones soldadas por el interior del equipo, esto en un plazo de 2 años, este plazo se propone en gran medida por los paros de plantas que ocurren cada 5 años.

En la Tabla 18, se presenta las acciones y tiempos de respuestas de las variables con límites informativos de forma resumida, para mayor detalle se puede revisar en Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas.

**Tabla 18. Acciones y tiempos de respuestas de las variables críticas resumido (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Variable</b>	<b>Acciones</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
Hierro	▪ Estudio complementario de posibles causas.	▪ Ingeniero confiabilidad ▪ DIM	▪ 1 mes
Amoníaco	▪ Notificación a Ingeniero de procesos	▪ Ingeniero de procesos ▪ DIM	▪ 1 mes
H2S	▪ Planificación de Inspección	▪ Ingeniero confiabilidad	▪ 2 años
Eficiencia	▪ Avisar Jefe de planta e Ingeniero de Procesos	▪ DIM	▪ 1 semana
TAN	▪ Avisar Jefe de planta e Ingeniero de Procesos	▪ DIM	▪ 1 semana
Tasas de inyección Aminas Fílmicas, Aminas Neutralizantes e Inhibidores de corrosión	▪ Avisar Ingeniero de Proceso si variable se ha encontrado fuera de la ventana por un período de 7 días	▪ DIM	▪ 1 semana

## CAPÍTULO 5: VALIDACIÓN DE LAS VENTANAS OPERATIVAS

### 5.1 Resultados ensayos de extrapolación por Tafel

Con el fin de validar las ventanas operativas para la variable más crítica considerada en el circuito de tuberías interesado en estudiar (pH), se llevaron a cabo mediciones de la velocidad de corrosión utilizando la técnica de extrapolación de Tafel.

#### 5.1.1 Comportamiento electroquímico en pH Neutro vs pH Ácido

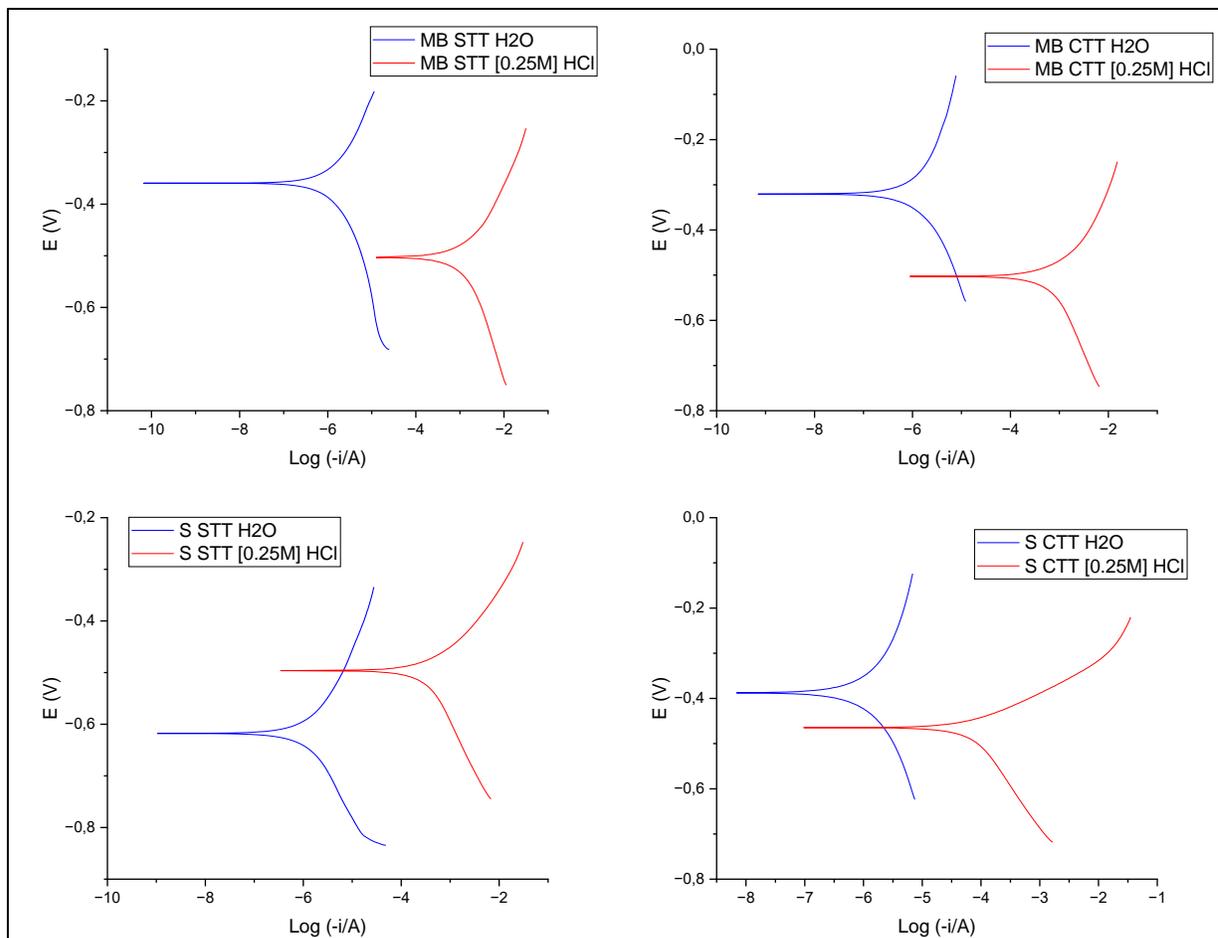
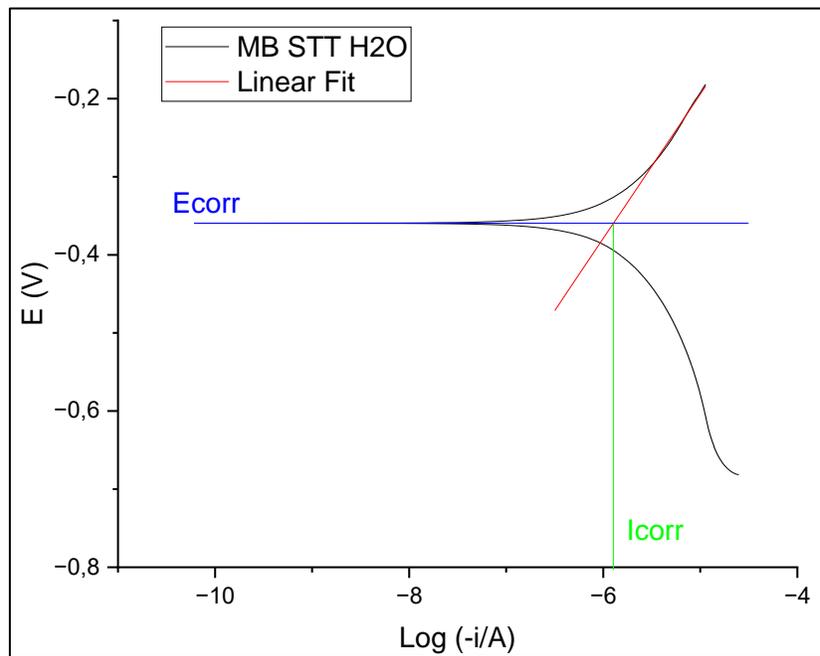


Figura 17. Resultados ensayos electroquímicos (Fuente: [Elaboración Propia])

En primer lugar, como enseña la Figura 17 las curvas en azul presentan los resultados de la medición de la polarización potenciodinámica de una solución con pH neutro, siendo en esta utilizada agua destilada (suele tener un pH de 5,8). En forma de comparación, se tiene soluciones de pH ácido compuesto por una concentración 0,25 Molar de ácido clorhídrico (al ser un ácido fuerte se estima su pH en 0,6) cuyo resultado de la medición se presenta en la curva roja presente en los gráficos. En cada gráfico de los resultados se presenta una comparación de la curva polarizada para las secciones de las muestras perteneciente al Material Base y Soldadura (MB y S respectivamente). Además, se cuenta con los casos que las muestras no hayan sido expuestas y que si hayan pasado por el tratamiento térmico mencionado en el CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA (STT y CTT respectivamente).



**Figura 18. Extrapolación de Tafel en la curva anódica (Fuente: [Elaboración Propia])**

Una vez teniendo las curvas de polarización medidas se procede a usar el método de extrapolación de Tafel, para esto se tiene que encontrar una región de la curva que sea lo suficientemente “lineal” para aplicar el método correctamente, además de que debe ser lineal por lo menos a lo largo de una magnitud de escala del eje X (para este caso, se aplicó la función logaritmo en los datos por lo cual sería a lo largo de una unidad).

Se eligió realizar la extrapolación en el lado de la curva anódica (curva superior) e interceptarla con una recta que representa el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) de cada caso como muestra Figura 18, de este modo, obtener los datos de Densidad de corrosión  $i_{corr}$  para posteriormente calcular la velocidad de corrosión. En Tabla 19 se presenta los resultados de las velocidades de corrosión obtenidas.

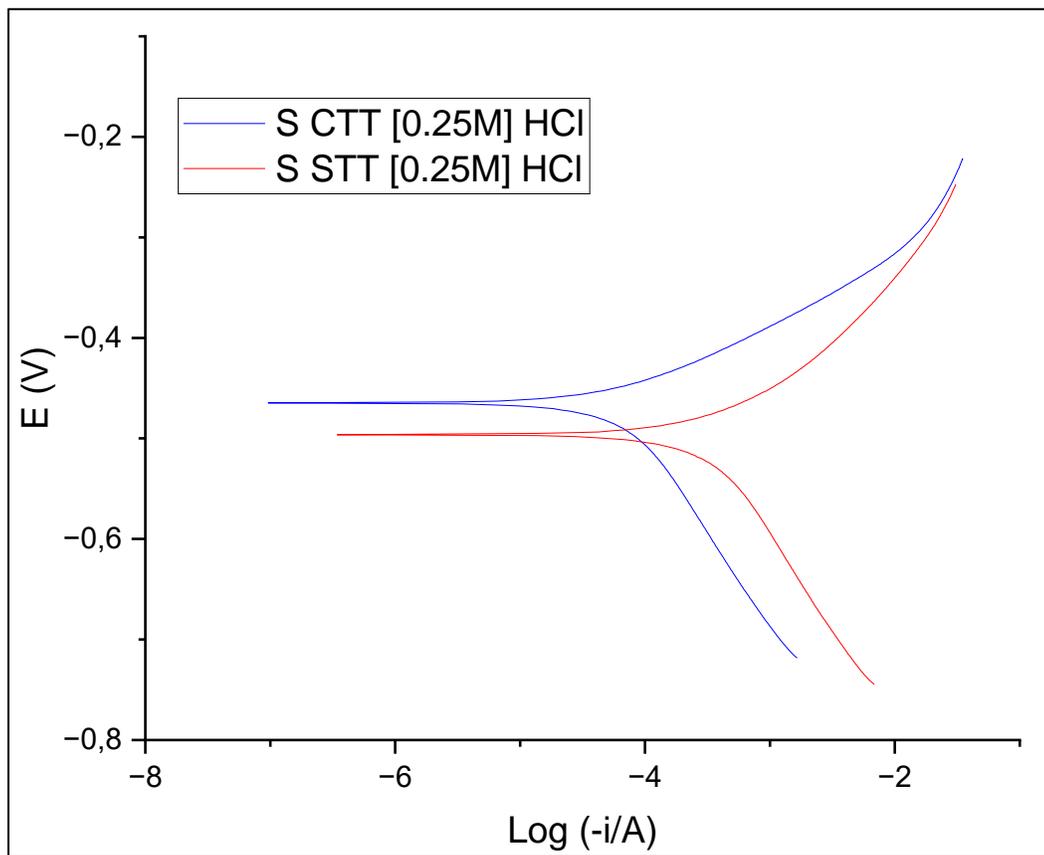
**Tabla 19. Velocidades de corrosión obtenidas (Fuente: [Elaboración propia])**

Muestra	A [cm <sup>2</sup> ]	$i_{corr}$ [Log( $I_{corr}/A$ )]	$V_{corr}$ [mpy]	$V_{corr}$ [mm/año]
MB STT H2O	0,585	-5,89284086	0,021	0,0005
MB CTT H2O	0,585	-5,8495212	0,023	0,0006
S CTT H2O	0,54	-5,7380757	0,028	0,0007
S STT H2O	0,72	-5,61741906	0,049	0,0013
S CTT [0.25M]HCl	0,52	-4,20155039	0,928	0,0236
S STT [0.25M]HCl	0,52	-3,20246238	9,259	0,2352
MB CTT [0.25M]HCl	0,5175	-2,764705882	25,248	0,6413
MB STT [0.25M]HCl	0,5175	-2,7376197	26,873	0,6826

Por último, se tiene que comentar que el método de Tafel presenta ciertos inconvenientes en su aplicación como menciona Gutiérrez et al. [25] ya que el método es sensible a la velocidad de muestreo con la cual se mide y la extrapolación es subjetiva al usuario ya que este es quien elige los puntos para que se realice la extrapolación, por lo cual, se produce una determinación imprecisa de la densidad de corriente y posteriormente la velocidad de corrosión. Sin embargo, al realizar un análisis cualitativo de las gráficas de la Figura 17 se puede observar que la corrosión ocurre a una tasa inferior en un entorno de pH neutro en comparación con un entorno de pH ácido. Esta tendencia es evidente tanto para el Material Base como para la Soldadura.

### 5.1.2 Comportamiento electroquímico con realización de tratamiento térmico vs no haber realizado tratamiento térmico.

Analizando tanto la gráfica presente en la Figura 19 como los resultados presentados en la Tabla 19, se postula una mejora en la resistencia en la corrosión para la sección de la Soldadura GTAW con electrodo ER70S6 al haber realizado el Tratamiento térmico postulado. Teniendo cerca de una mejora del 1000% en comparación al no hacer el Tratamiento térmico. Las causas de esto podrían ser debido a la eliminación de tensiones residuales y modificación de la microestructura del metal. Sin embargo, como se mencionó anteriormente el método de Tafel conlleva ciertas irregularidades, así según Poorgasemi et al. [26] es conocido que las velocidades de corrosión obtenidas por este método suelen ser más altas que los que se obtienen de otros métodos, como las pruebas de pérdida de peso. Por lo que también se postula que probablemente la mejora no sea exactamente del 1000% pero sí que existe una mejora considerable en la soldadura con respecto a la velocidad de corrosión. Si se deseará investigar exactamente el valor de esta mejora se postula usar otros métodos más confiables para este caso.



**Figura 19. Tafel de la Muestra con Soldadura con tratamiento térmico vs sin tratamiento térmico (Fuente: [Elaboración Propia])**

## 5.2 Resultados ensayos de tracción

Como se puede analizar desde la Tabla 20 y la Figura 20, se ha de notar una baja en la resistencia mecánica de las probetas considerable al haber realizado el Tratamiento térmico. Revisando la literatura según Kang [27], se presentan resultados similares para un tratamiento térmico realizado a diferentes temperaturas, en donde, la resistencia mecánica va en decremento a medida que la temperatura de mantención en el tratamiento térmico incrementa por diversos cambios en la microestructura del acero. La Figura 21 presenta el cambio de resistencia mecánica vs la temperatura de mantenimiento del tratamiento térmico post – soldadura en diferentes aceros, uno de ellos el SA 516 Gr. 60.

Por otro lado, la diferencia de deformación se explica por García [28], ya que debido a que la estricción no ocurre exactamente en el mismo punto en todas las probetas se produce una dispersión en los resultados de deformación, esto es evidenciado en la Figura 22.

Por lo tanto, si se considera que es buena idea realizar el Tratamiento térmico en algunas de las soldaduras del circuito de tuberías para mejorar su resistencia a la corrosión, se tiene que tomar en cuenta la pérdida de resistencia mecánica la cual debe ser también considerado debido a que estos circuitos siempre se encuentran bajo presiones internas y se podría ocasionar una falla mecánica.

**Tabla 20. Indicadores ensayos de tracción (Fuente: [Elaboración propia])**

<b>Probeta</b>	<b><math>\Delta L</math> [mm]</b>	<b><math>\sigma_{UTS}</math> [MPa]</b>	<b><math>\epsilon</math> [%]</b>
Con TT 1	11,83	406,1	29,59%
Con TT 2	9,20	409,1	23,00%
Sin TT 1	10,27	527,5	25,67%
Sin TT 2	11,97	523,8	29,92%

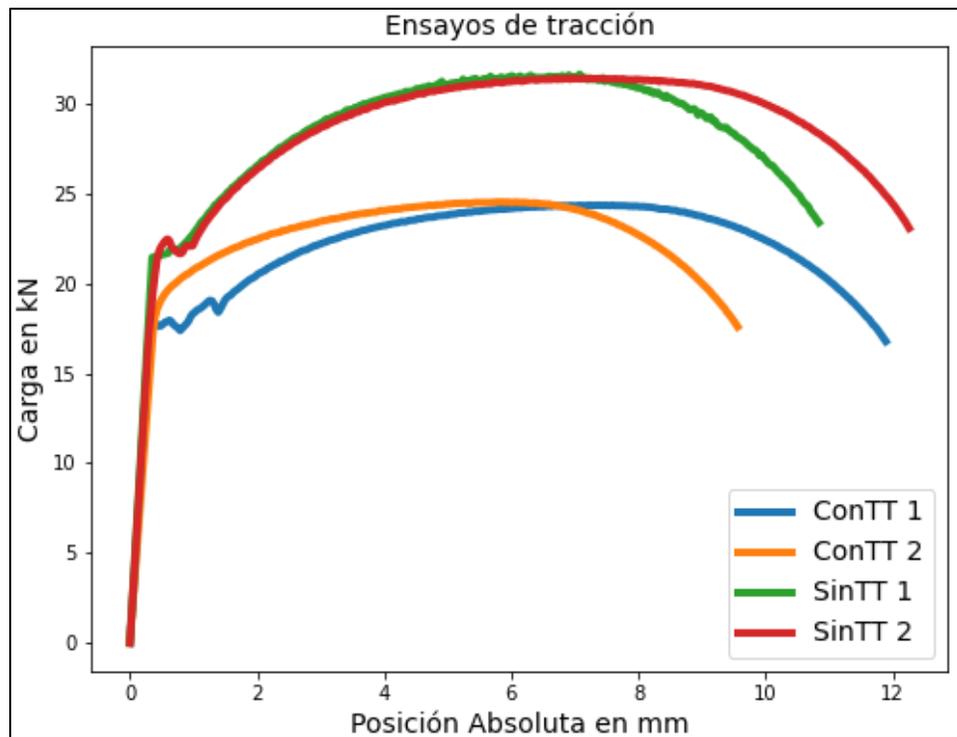


Figura 20. Resultados ensayos de tracción de probetas acero al carbono ASTM A516 Gr. 60 (Fuente: [Elaboración Propia])

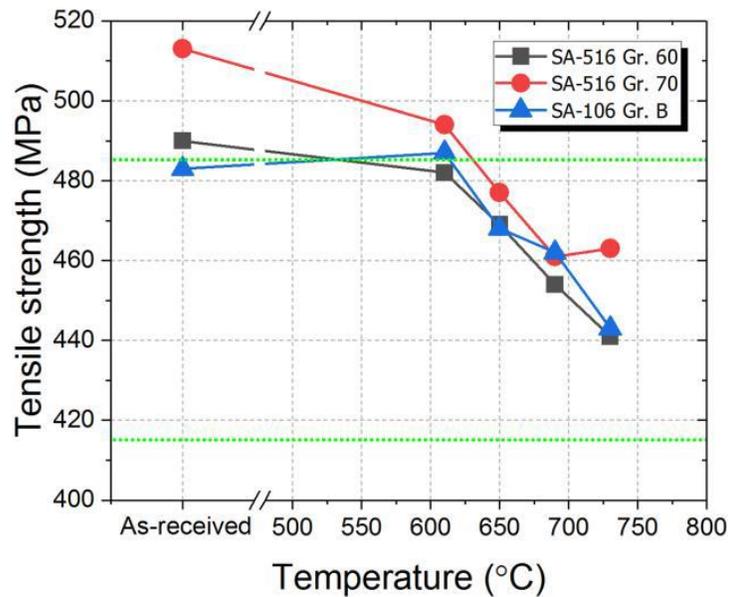


Figura 21. Resistencia a la tracción de los materiales en función de la temperatura de mantenimiento del tratamiento térmico post – soldadura (Fuente: [27])



**Figura 22. Probetas de acero después de ensayo de tracción (Fuente: [Elaboración Propia])**

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

En base a los objetivos específicos postulados en la presente memoria de título se concluye:

1. Se identifican 2 mecanismos de daños prioritarios en el circuito de tuberías del tope de la unidad de fraccionamiento siendo estos la corrosión por Ácido Clorhídrico y Cloruro de Amonio.
2. Se reconocen 4 factores críticos que alerten de una activación o aceleración de la tasa de corrosión según los mecanismos de daños mencionados siendo estos: el pH, la temperatura, la concentración de cloruros y la velocidad de corrosión medidas por las probetas instaladas en los circuitos.
3. Se establecen límites operacionales a las variables del proceso primarias y secundarias. En donde se destaca los límites de operación impuestos para el pH, estando en un rango de 5,5 – 6,5 para una operación óptima en esta unidad.
4. En caso de que se superen los límites de algunas de las ventanas operativas diseñadas, se proponen acciones con su debido tiempo de respuesta a cumplir, logrando con esto indirectamente un aumento de la frecuencia de inspección de la línea de tuberías en caso de una operación riesgosa.
5. Se realizaron ensayos de corrosión acelerada (polarización potenciodinámica) a muestras de acero ASTM A516 Gr. 60 en una solución de agua destilada y en una solución de [0,25M] de Ácido Clorhídrico, para validar la importancia y comparar las velocidades de corrosión de operar en un estado óptimo definido por las ventanas operativas. Los resultados demuestran un aumento considerable de la velocidad de corrosión en un ambiente con pH Ácido.
6. Se analiza el efecto de realizar un tratamiento térmico a probetas soldadas con GTAW electrodo ER70S6, demostrando una mejora en la resistencia a la corrosión en un ambiente con pH Ácido. No obstante, es importante destacar que esta mejora se acompaña de una disminución del 23% en la resistencia mecánica del material

## Trabajos Futuros

Se plantean las siguientes recomendaciones para trabajos futuros:

1. Implementar alguna acción correctiva que ayude en la disminución de las tasas de daños como lo puede ser la inyección de agua en el tope de la unidad fraccionadora.
2. Realizar un estudio de la eficiencia de la inyección de inhibidor de corrosión.
3. Tener un sistema de monitoreo en línea del espesor en el tope de la unidad fraccionadora a través de sensores de ultrasonido. Teniendo en cuenta que en el tope de la Unidad el pH es el más ácido en comparación con el resto del tramo de la tubería.
4. Implementar un Sistema de monitoreo en línea de las variables del proceso que se estudiaron en la presente memoria de título, que sea capaz de incluir las ventanas operacionales con sus acciones y tiempos de respuestas correspondientes.
5. Realización de ensayos de corrosión acelerado más precisos si es que se desea conocer exactamente las velocidades de corrosión bajo condiciones de pH Ácido y pH Básico. Además, considerar el efecto de la temperatura.
6. Realización de un estudio de la factibilidad técnico-económica de ejecutar proceso de tratamiento térmico en las soldaduras de los circuitos de la tubería en la resistencia a la corrosión. Además, considerar el efecto en las propiedades mecánicas que produzca.

## Referencias

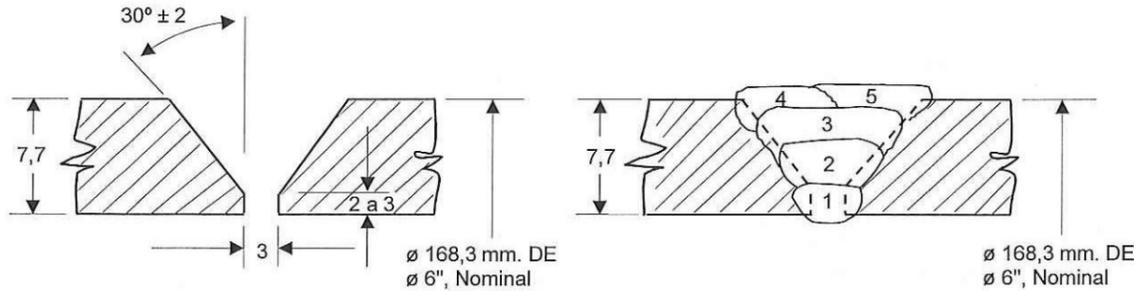
- [1] American Petroleum Institute [API]. (2014). *Integrity operating windows* (API RP 584).
- [2] American Petroleum Institute [API]. (2020). *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry* (API RP 571).
- [3] American Petroleum Institute [API]. (2016). *Risk Based Inspection* (API RP 581).
- [4] Gillibrand, J. (2018). *Implementación de ventanas operativas con base en el API 584 «Integrity Operation Windows»* [Memoria de Titulación]. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [5] Arena, E., Fargione, G., Giudice, F., & Latona, E. (2022). *RBI-IOWs integrated approach to risk assessment: Methodological framework and application*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104838>
- [6] Cypriano, D. L. N., Ponciano, J. a. C., & Jambo, H. C. M. (2010). *Crude unit overhead corrosion - pH profile and corrosion rate of carbon steel under controlled condensation*. *Materials and Corrosion-Werkstoffe Und Korrosion*. <https://doi.org/10.1002/maco.200905509>
- [7] American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2004). *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service*
- [8] American Society of Mechanical Engineers. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels* (2019 ed.). New York, NY: American Society of Mechanical Engineers.
- [9] KapilkumarD Gohil. (2018). *EFFECT OF POST WELDING HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF GTA WELDED SA 516 GRADE 70 CARBON STEEL*. <https://doi.org/10.15623/ijret.2018.0707013>
- [10] Santander, F. (2018). *Estudio de la capacidad inhibidora de la corrosión de extractos de Allium Cepa en medio ácido por métodos electroquímicos* [Memoria de Titulación]. Universidad de Concepción
- [11] ASTM International. (2014). *ASTM G5-14, Standard Test Method for Making Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [12] E. Vera López. *Uso de métodos electroquímicos como herramientas para evaluar parámetros de interfase en sistemas heterogéneos, metal /medio acuoso*. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*
- [13] ASTM International. (1989). *ASTM G102-89, Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [14] ASTM International. (2013). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials carbon steel pipe for high temperature service*.

- [15] Aguilar, U. (2010) ANALISIS Y APLICACIÓN DE LA NORMA API 1104, PARA SERVICIO Y TRASVASIJE DE COMBUSTIBLE DE UN BUQUE [Memoria de titulación]. Universidad Austral de Chile.
- [16] American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2021). Specification for seamless
- [17] TRATECON Ltda. (2022). *Informe análisis de materiales: "Preparación y análisis probetas de corrosión torres E-1, E-401, E-6 y E-406"* (EM-072-2022)
- [18] Mena Córdova, B. M. (2006). *Control de la corrosión en tope de las unidades de destilación atmosférica* [Memoria de Titulación]. Universidad nacional de Ingeniería - Perú.
- [19] División Ingeniería de Mantenimiento (Diciembre 2022). Corrosión Circuito Tope E-401 [Diapositivas].
- [20] American Petroleum Institute [API]. (2016). *Piping Inspection Code: In-service Inspection, Repair, and Alteration of Piping Systems, Fourth Edition* (API RP 570).
- [21] American Society of Mechanical Engineers [ASME]. (2022). *Repair of Pressure Equipment and Piping* (ASME PCC-2).
- [22] Zhu, M., Ou, G., Jin, H., Kuanxin, W., & Zheng, Z. (2015). Top of the REAC tube corrosion induced by under deposit corrosion of ammonium chloride and erosion corrosion. *Engineering Failure Analysis*, 57, 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.022>
- [23] N.N., “Crude Distillation Unit – Distillation Tower Overhead System Corrosion”, NACE International Publication 34109 (Task Group 342), NACE International, Houston, USA (2009).
- [24] Schempp, P., Köhler, S., Menzebach, M., Preuss, K., & Tröger, M. (2017, September). Corrosion in the crude distillation unit overhead line: Contributors and solutions.
- [25] Gutiérrez, Nilthon & Polo, Elmer & Siche, Raúl & Angelats-Silva, Luis. (2018). Inhibición de la corrosión del acero ASTM A192 en solución de ácido clorhídrico por el mucilago de *Linum usitatissimum*. *Matéria* (Rio de Janeiro).
- [26] Poorqasemi, E. & Abootalebi, O. & Peikari, M. Peikary & Haqdar, F. (2009). Investigating accuracy of the Tafel extrapolation method in HCl solutions. *Corrosion Science - CORROS SCI*.
- [27] Kang, Y., Lee, S.-G., Kim, G.-D., Lee, S.-H., Song, S.-W., & Kang, S.-S. (2018). Effect of Simulated Post-Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties and Microstructure of P-No. 1 Carbon Steels. Volume 6B: Materials and Fabrication. doi:10.1115/pvp2018-84605
- [28] García, A. (2018). Determinación de propiedades mecánicas de materiales comerciales. Universidad de Sevilla



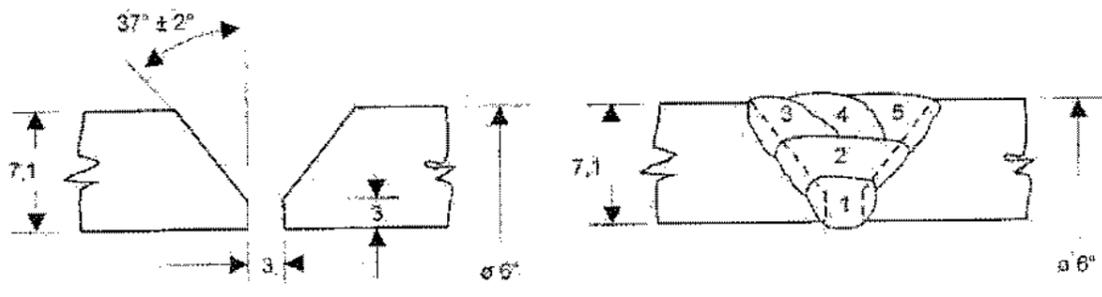
## Anexo B: WPS circuito de tuberías de tope.

Form : 851-07-01  
 Modificación N° : 00  
 Fecha : 21.09.18

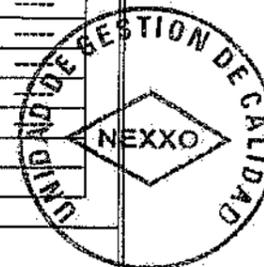
		GESTIÓN DE CALIDAD		POR : OEG / SOE	
		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)		RCP DE RESPALDO : FER-01	
EPS N° : FER-01	FECHA : 22 de septiembre de 2018	REVISIÓN : 00	PAGINA : 1 DE 2		
PROCESO DE SOLDADURA : GTAW - SMAW		TIPO : Manual (MANUAL, AUTOMÁTICO, MÁQUINA, SEMIAUTOMÁTICO)			
<b>JUNTAS ( QW-402)</b> DISEÑO DE LA JUNTA : <u>En "V"</u> SEPARACIÓN DE RAÍZ : <u>3 mm</u> RESPALDO : SI : <input type="checkbox"/> NO : <input checked="" type="checkbox"/>					
		<input type="checkbox"/> METAL <input type="checkbox"/> NO METÁLICO		<input type="checkbox"/> METAL NO FUSIBLE <input type="checkbox"/> OTROS	
		MATERIAL DE RESPALDO TIPO : <u>n/a</u>			
					
DETALLES					
<b>METALES BASE (QW-403)</b>					
N° P : <u>1</u> N° DE GRUPO : <u>1</u> A N° P : <u>1</u> N° DE GRUPO : <u>1</u>					
ESPECIFICACIÓN TIPO y GRADO : <u>SA-106 Gr B, N° UNS : K03006</u>					
A ESPECIFICACIÓN TIPO y GRADO : <u>SA-106 Gr B, N° UNS : K03006</u>					
ANÁLISIS QUÍMICOS y PROPIEDADES MECÁNICAS : <u>C : 0,30 %, Mn : 0,29 a 1,06 %, Si : 0,10 %, σ ≥ 60 Ksi</u>					
A ANÁLISIS QUÍMICOS y PROPIEDADES MECÁNICAS : <u>C : 0,30 %, Mn : 0,29 a 1,06 %, Si : 0,10 %, σ ≥ 60 Ksi</u>					
RANGO DE ESPESORES :					
METAL BASE : SOLDADURA A TOPE : <u>1,5 ≤ e ≤ 15,4 mm.</u> FILETE : <u>ilimitado</u>					
MÁXIMO ESPESOR DE PASADA ≤ 13 mm.: SI : <input checked="" type="checkbox"/> NO : <input type="checkbox"/>					
OTROS :					
<b>METALES DE APORTE (QW-404)</b>					
	1 <sup>ER</sup> PASE (RAÍZ)	2 <sup>DO</sup> PASE	3 <sup>ER</sup> PASE	4 <sup>TO</sup> y 5 <sup>TO</sup> PASE	
N° DE ESPECIFICACIÓN (SFA)	A 5.18	A 5.18	A 5.1	A 5.1	
N° AWS, CLASIFICACIÓN	ER 70S6	ER 70S6	E 7018 RH	E 7018 RH	
N° F	6	6	4	4	
N° A	1	1	1	1	
TAMAÑO DEL METAL DE APORTE	∅ = 2,4 mm.	∅ = 2,4 mm.	∅ = 2,4 mm.	∅ = 2,4 mm.	
FORMA y TIPO DEL METAL DE APORTE	Varilla Sólida	Varilla Sólida	Elect. Revest.	Elect. Revest.	
METAL DE APORTE SUPLEMENTARIO	n/a	n/a	n/a	n/a	
METAL DE SOLDADURA					
RANGO DE ESPESORES					
SOLDADURA A TOPE	0,75 a 4,0 mm.	2,0 a 4,0 mm.	0,75 a 3,7 mm.	1,6 a 3,7 mm.	
SOLDADURA DE FILETE	ilimitado	ilimitado	ilimitado	ilimitado	
ELECTRODO - FUNDENTE (CLASIF.)	n/a	n/a	n/a	n/a	
TIPO DE FUNDENTE	n/a	n/a	n/a	n/a	
NOMBRE COMERCIAL DEL FUNDENTE	n/a	n/a	n/a	n/a	
INSERTO CONSUMIBLE	n/a	n/a	n/a	n/a	
OTROS					

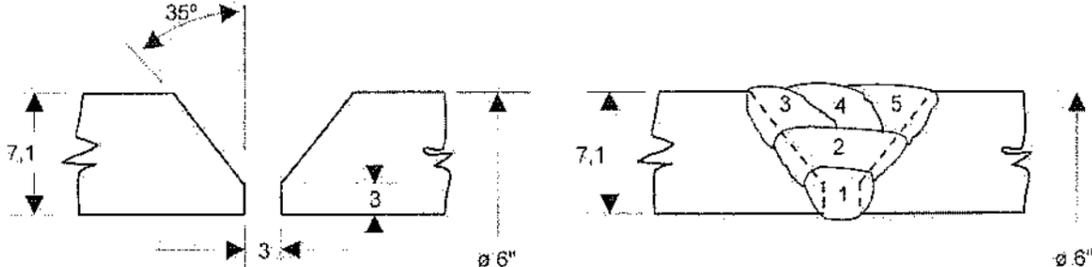
		<b>GESTIÓN DE CALIDAD</b>			POR : <b>OEG / SOE</b>					
		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)			RCP DE RESPALDO : <b>FER-01</b>					
EPS N° : <b>FER-01</b>	FECHA : <b>22 de septiembre de 2018</b>	REVISIÓN : <b>00</b>	PAGINA : <b>2 DE 2</b>							
<b>POSICIÓN (QW-405)</b> POSICIÓN, SOLDADURA A TOPE : <b>6G</b> PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA : <b>Ascendente</b> POSICIÓN DEL FILETE : <b>n/a</b> OTROS : <b>n/a</b>			<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST - SOLDADURA (QW-407)</b> RANGO DE TEMPERATURA : <b>n/a</b> TIEMPO DE MANTENIMIENTO : <b>n/a</b> OTROS : <b>n/a</b>							
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b> TEMP. DE PRECALENTAMIENTO, MÍN : <b>50 °C (*)</b> TEMP. ENTRE PASADAS, MÁXIMA : <b>250 °C</b> MANT. DEL PRECALENTAMIENTO : <b>n/a</b> (*) SÓLO PARA ELIMINAR HUMEDAD.			<b>GAS (QW-408)</b> GASES    MEZCLA    CAUDAL PROM. PROTECCIÓN : <b>Argón, 99 % de Argón 10 a 12 Lts/min.</b> RESPALDO : <b>n/a</b> CAUDAL : <b>n/a</b> OTROS : <b>n/a</b>							
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>										
PASADAS	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE RANGO	VELOCIDAD ALIMENT. DEL ALAMBRE RANGO	VELOCIDAD TRASLACIÓN RANGO mm/min	ENERGÍA O POTENCIA Watt	
		CLASE	DIÁMETRO mm	TIPO y POLARIDAD	AMPERAJE RANGO					
1	GTAW	ER 70S 6	2,4	CCEP	105 - 110	24 - 25	n/a	45	2.634	
2	GTAW	ER 70S 6	2,4	CCEP	105 - 110	24 - 25	n/a	56	2.634	
3	SMAW	E 7018 RH	2,4	CCEN	82 - 88	23 - 24	n/a	106	1.998	
4	SMAW	E 7018 RH	2,4	CCEN	82 - 88	23 - 24	n/a	114	1.998	
5	SMAW	E 7018 RH	2,4	CCEN	82 - 88	23 - 24	n/a	114	1.998	
CORRIENTE PULSATORIA : <b>n/a</b> CALOR DE ENTRADA (MÁX) J/mm : <b>GTAW : 3.667 SMAW : 1.158</b> RANGO DE AMPERAJE : <b>82 a 110 Amperes</b> RANGO DE VOLTAJE : <b>23 a 25 Volt</b> TAMAÑO y TIPO ELECTRODO DE TUNGSTENO : <b>∅ = 2,4 mm., 2 % de Torio, AWS A5.12, EW Th 2.</b> (TUNGSTENO PURO, 2% TOREADO, ETC.) MODO DE TRANSFERENCIA DEL METAL PARA GMAW (FCAW) : <b>n/a</b> (ARCO SPRAY, CORTOCIRCUITO, ETC.) RANGO DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ELECTRODO DE ALAMBRE : <b>n/a</b> OTROS :										
<b>TÉCNICA (QW-410)</b>										
CORDÓN RECTO U OSCILADO :							<b>Recto y Oscilado</b>			
ORIFICIO O TAMAÑO DE BOQUILLA DE GAS :							<b>∅ = 6,4 mm</b>			
LIMPIEZA INICIAL y ENTRE PASADAS (ESCOBILLADO, ESMERILADO, ETC.) :							<b>Escobilla y Esmeril</b>			
MÉTODO DE SANEADO DE RAÍZ :							<b>n/a</b>			
OSCILACIÓN :							<b>Tres (3) veces el diámetro del Electrodo</b>			
DISTANCIA DE TRABAJO A TUBO DE CONTACTO :							<b>GTAW : 10 mm.</b>			
PASADA SIMPLE O MÚLTIPLES (POR LADO) :							<b>Múltiples</b>			
ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLES :							<b>Simple</b>			
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS :							<b>n/a</b>			
MARTILLADO ( PEENING) :							<b>n/a</b>			
OTROS :										
POR:		APROBADO POR:								
FECHA:		FECHA:								
<b>Oscar Estay García</b>		<b>Ferrostaal</b>		<b>Sergio Ordenes Escalona</b>						
<b>22 de septiembre de 2018</b>				<b>22 de septiembre de 2018</b>						
<b>GESTIÓN DE CALIDAD</b>										

## Anexo C: WPS Soldadura con tratamiento térmico realizado

	<b>UNIDAD DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>		POR:	
	<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>		LGC / SOE	
		RCP DE RESPALDO:		NEX-004
EPS N° <b>NEX-004</b>	FECHA: <b>20 de Abril de 2004</b>	REVISIÓN: <b>01</b>	PAGINA: <b>1 DE 2</b>	
PROCESO DE SOLDADURA: <b>GTAW-SMAW</b>		TIPO: <b>MANUAL</b> <small>(MANUAL, AUTOMÁTICO, MÁQUINA, SEMIAUTOMÁTICO)</small>		
<b>JUNTAS (QW-402)</b>				
DISEÑO DE JUNTA: <b>Bisel en "V"</b>		<input type="checkbox"/> METAL	<input type="checkbox"/> METAL NO FUSIBLE	
RESPALDO: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> NO METÁLICO	<input type="checkbox"/> OTROS	
MATERIAL DE RESPALDO TIPO: <b>n/a</b>				
				
<b>METAL BASE (QW-403)</b>				
N° P <b>1</b>	N° DE GRUPO <b>1</b>	A	N° P <b>1</b>	N° DE GRUPO <b>1</b>
Especificación, tipo y grado:		<b>SA 106, Gr B, N° UNS: K 03006</b>		
A especificación, tipo y grado:		<b>SA 106, Gr B, N° UNS: K0 3006</b>		
ANÁLISIS QUÍMICOS y PROPIEDADES MECÁNICAS:		<b>C ; 0,30 % , Mn ; 0,29-1,06 % , Si ; 0,10 % , σ = 60 ksi</b>		
A ANÁLISIS QUÍMICOS y PROPIEDADES MECÁNICAS:		<b>C ; 0,30 % , Mn ; 0,29-1,06 % , Si ; 0,10 % , σ = 60 ksi</b>		
RANGO DE ESPESORES:				
METAL BASE:	RANURA:	<b>1,6 mm a 14,2 mm.</b>	FILETE:	<b>Todos</b>
RANGO DE Ø DE CAÑERÍA:	RANURA:	<b>Todos</b>	FILETE:	<b>Todos</b>
OTROS:	<b>n/a</b>			
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>				
	1 <sup>ER</sup> PASO (RAÍZ)	2 <sup>DO</sup> PASO	RELLENO	
N° DE ESPECIFICACIÓN (SFA)	<b>5.18</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	
N° AWS	<b>ER-70S6</b>	<b>E-7018</b>	<b>E-7018</b>	
N° F	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
N° A	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
TAMAÑO DEL METAL DE APORTE	<b>Ø = 2,4 mm.</b>	<b>Ø = 3,2 mm</b>	<b>Ø = 3,2 mm.</b>	
METAL DE SOLDADURA				
RANGO DE ESPESORES				
RANURA	<b>3 a 6 mm</b>	<b>4,1 a 8,2 mm</b>	<b>n/a</b>	
FILETE	<b>Todos</b>	<b>Todos</b>	<b>Todos</b>	
ELECTRODO - FUNDENTE (CLASE)	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	
NOMBRE COMERCIAL DEL FUNDENTE	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	
INSERTO CONSUMIBLE	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	
OTRO	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	

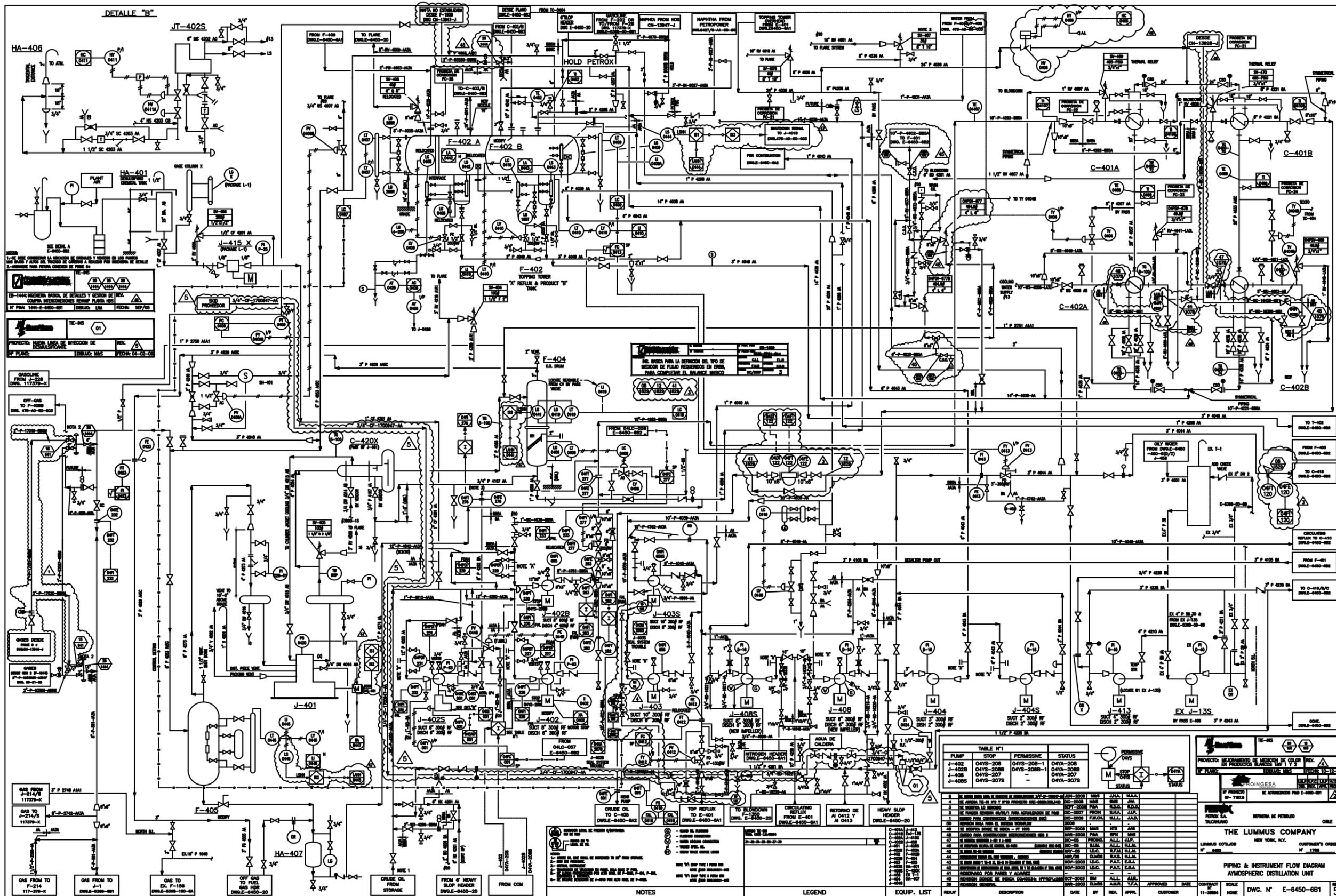
		UNIDAD DE GESTIÓN DE CALIDAD		POR: LGC / S0E																																																											
		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		RCP DE RESPALDO: NEX-004																																																											
EPS N°: NEX-004	FECHA: 20 de Abril de 2004	REVISIÓN: 01	PAGINA: 2 DE 2																																																												
POSICIONES (QW-405) POSICIÓN DE LA RANURA: <u>6G</u> PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA: <u>Ascendente</u> POSICIÓN (ES) DE FILETE: <u>n/a</u>		TRATAMIENTO TÉRMICO POST - SOLDADURA (QW-407) RANGO DE TEMPERATURA: <u>593 a 649 °C</u> TIEMPO DE MANTENCIÓN: <u>Una (1) Hora</u>																																																													
PRECALENTAMIENTO (QW-406) TEMP. DE PRECALENTAMIENTO MIN: <u>50 °C (*)</u> TEMP. ENTRE PASADAS MÁX: <u>250 °C</u> MANT. DEL PRECALENTAMIENTO: <u>n/a</u> (*) SÓLO PARA ELIMINAR HUMEDAD		GAS (QW-408) <table border="1"> <thead> <tr> <th>GASES</th> <th>MEZCLAS</th> <th>FLUJO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Argón</td> <td>99,9</td> <td>8-12 l./min</td> </tr> <tr> <td>PROTECCIÓN</td> <td>n/a</td> <td>n/a</td> </tr> <tr> <td>RESPALDO</td> <td>n/a</td> <td>n/a</td> </tr> <tr> <td>OTRO</td> <td>n/a</td> <td>n/a</td> </tr> </tbody> </table>				GASES	MEZCLAS	FLUJO	Argón	99,9	8-12 l./min	PROTECCIÓN	n/a	n/a	RESPALDO	n/a	n/a	OTRO	n/a	n/a																																											
GASES	MEZCLAS	FLUJO																																																													
Argón	99,9	8-12 l./min																																																													
PROTECCIÓN	n/a	n/a																																																													
RESPALDO	n/a	n/a																																																													
OTRO	n/a	n/a																																																													
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409) TIPO DE CORRIENTE (AC o DC): <u>DC (Continua)</u> POLARIDAD: <u>GTAW : Dir.(-), SMAW : Inv.(+)</u> RANGO DE AMPERAJE: <u>75 - 125</u> RANGO DE VOLTAJE: <u>18 - 35</u> TAMAÑO y TIPO ELECTRODO DE TUNGSTENO: <u>Ø = 2.4 mm., 2% de Torio, AWS A5.12, EW Th 2.</u> (TUNGSTENO PURO, 2% TOREADO, ETC.) MODO DE TRANSFERENCIA DEL METAL PARA GMAW: <u>n/a</u> (ARCO SPRAY, CORTOCIRCUITO, ETC.) RANGO DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ELECTRODO DE ALAMBRE: <u>n/a</u>																																																															
TÉCNICA (QW-410) CORDÓN RECTO U OSCILADO: <u>Recto y Oscilado</u> ORIFICIO O TAMAÑO DE BOQUILLA DE GAS: <u>Ø = 6,4 mm</u> LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASADAS (ESCOBILLADO, ESMERILADO, ETC.): <u>Escobillado y Esmerilado</u> MÉTODO DE SANEADO DE RAÍZ: <u>n/a</u> OSCILACIÓN: <u>Tres (3) Diámetros del Electrodo</u> PASADA MÚLTIPLE O SIMPLE (POR LADO): <u>Múltiple</u> ELECTRODOS MÚLTIPLES O SIMPLES: <u>Simple</u> RANGO DE VELOCIDAD DE TRASLADO: <u>40 - 140 mm/min</u> OTROS: _____																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CAPA DE SOLDADURA</th> <th rowspan="2">PROCESO</th> <th colspan="2">METAL DE APORTE</th> <th colspan="2">CORRIENTE</th> <th rowspan="2">RANGO VOLTAJE</th> <th rowspan="2">RANGO VELOCIDAD mm/min</th> <th rowspan="2">APORTE CALOR kJ/cm</th> </tr> <tr> <th>CLASE</th> <th>DIÁMETRO mm</th> <th>TIPO Y POLARIDAD</th> <th>RANGO AMPERAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ER 70S6</td> <td>2,4</td> <td>DC (-)</td> <td>95-125</td> <td>18-20</td> <td>40 - 50</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SMAW</td> <td>E 7018</td> <td>3,2</td> <td>DC (+)</td> <td>75-125</td> <td>28-32</td> <td>75 - 110</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>SMAW</td> <td>E 7018</td> <td>3.2</td> <td>DC (+)</td> <td>95-125</td> <td>28-35</td> <td>120 - 140</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>SMAW</td> <td>E 7018</td> <td>3.2</td> <td>DC (+)</td> <td>95-125</td> <td>28-35</td> <td>120 - 140</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>SMAW</td> <td>E 7018</td> <td>3.2</td> <td>DC (+)</td> <td>95-125</td> <td>28-35</td> <td>120 - 140</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>						CAPA DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		RANGO VOLTAJE	RANGO VELOCIDAD mm/min	APORTE CALOR kJ/cm	CLASE	DIÁMETRO mm	TIPO Y POLARIDAD	RANGO AMPERAJE	1	GTAW	ER 70S6	2,4	DC (-)	95-125	18-20	40 - 50	---	2	SMAW	E 7018	3,2	DC (+)	75-125	28-32	75 - 110	---	3	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---	4	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---	5	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---
CAPA DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE				RANGO VOLTAJE	RANGO VELOCIDAD mm/min	APORTE CALOR kJ/cm																																																					
		CLASE	DIÁMETRO mm	TIPO Y POLARIDAD	RANGO AMPERAJE																																																										
1	GTAW	ER 70S6	2,4	DC (-)	95-125	18-20	40 - 50	---																																																							
2	SMAW	E 7018	3,2	DC (+)	75-125	28-32	75 - 110	---																																																							
3	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---																																																							
4	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---																																																							
5	SMAW	E 7018	3.2	DC (+)	95-125	28-35	120 - 140	---																																																							
POR: <u>Luis Guerra Ojeda</u>		APROBADO POR: <u>Sergio Ordenes Escalona</u>																																																													
FECHA: <u>20 de Abril de 2004</u>		FECHA: <u>20 de Abril de 2004</u>																																																													
Revisión	Por	Descripción			Fecha																																																										
01	S. Ordenes E.	Recalificación del procedimiento para corregir información de ensayos de tracción			24-Abril-04																																																										



	<b>UNIDAD DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>		POR: <b>LGC / SOE</b>																	
	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (RCP)</b>		EPS N°: <b>NEX - 004</b>																	
RCP N°: <b>NEX - 004</b>	FECHA: <b>18 de Junio de 2004</b>	REVISIÓN: <b>01</b>	PAGINA: <b>1 DE 2</b>																	
PROCESO DE SOLDADURA: <b>GTAW - SMAW</b>		TIPO: <b>Manual</b> (MANUAL, AUTOMÁTICO, MÁQUINA, SEMIAUTOMÁTICO)																		
<b>JUNTAS (QW-402)</b>																				
																				
<b>METAL BASE (QW-403)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)</b>																		
ESP. MATERIAL: <b>SA 106 a SA 106</b> TIPO Y GRADO: <b>Grado B</b> N° P: <b>1</b> a N° P: <b>1</b> ESPESOR DEL CUPÓN DE PRUEBA: <b>7,1 mm</b> T DEL CUPÓN DE PRUEBA: <b>Ø = 6", Sch 40</b> OTROS: <b>n/a</b>		TEMPERATURA: <b>620 °C</b> TIEMPO DE MANTENCIÓN: <b>Una (1) Hora</b> OTROS: Metal Base: <b>121 y 138 HB</b> Zona Afectada: <b>135 y 145 HB</b> Soldadura: <b>141 y 160 HB</b>																		
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>		<b>GAS (QW-408)</b>																		
ESPECIFICACIÓN SFA: <b>5.18 y 5.5</b> CLASIFICACIÓN AWS: <b>ER 70 S6 y E 7018</b> N° F: <b>6 y 4</b> N° A: <b>1</b> TAMAÑO METAL APORTE: <b>Ø = 2,4 y 3,2 mm.</b> OTROS: <b>n/a</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>GASES</th> <th>MEZCLAS</th> <th>FLUJO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PROTECCIÓN:</td> <td><b>Argón</b></td> <td><b>99,9%</b></td> <td><b>8-12 l/min</b></td> </tr> <tr> <td>RESPALDO:</td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> </tr> <tr> <td>OTRO:</td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> <td><b>n/a</b></td> </tr> </tbody> </table>				GASES	MEZCLAS	FLUJO	PROTECCIÓN:	<b>Argón</b>	<b>99,9%</b>	<b>8-12 l/min</b>	RESPALDO:	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	OTRO:	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>
	GASES	MEZCLAS	FLUJO																	
PROTECCIÓN:	<b>Argón</b>	<b>99,9%</b>	<b>8-12 l/min</b>																	
RESPALDO:	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>																	
OTRO:	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>	<b>n/a</b>																	
<b>POSICIÓN (QW-405)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>																		
POSICIÓN DE LA RANURA: <b>6G</b> PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA: <b>Ascendente</b> OTROS: <b>n/a</b>		CORRIENTE: <b>DC, Continua</b> POLARIDAD: <b>GTAW ; Dir. (-), SMAW ; Inv.(+)</b> AMPERAJES: <b>70 - 120 A</b> VOLTAJE: <b>15 - 32 V</b> TAMAÑO ELECTRODO TUNGSTENO: <b>Ø = 2,4 mm.</b> OTROS: <b>n/a</b>																		
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>		<b>TÉCNICA (QW-410)</b>																		
TEMP. PRECALENTAMIENTO: <b>50 °C (*)</b> TEMP. ENTREPASADAS: <b>250 °C</b> OTROS: <b>---</b> (*) SÓLO PARA ELIMINAR HUMEDAD		VELOCIDAD DE AVANCE: <b>40 - 140 mm/min</b> CORDÓN RECTO U OSCILADO: <b>Recto y Oscilado</b> OSCILACIÓN: <b>Tres (3) Diám. del Electrodo</b> PASADAS MÚLTIPLES O SIMPLE: <b>Múltiples</b> ELECTRODOS SIMPLES O MÚLTIPLES: <b>Simple</b> OTROS: <b>n/a</b>																		



# Anexo D: P&ID planta Topping 2



## Anexo E: Medición de espesores en línea

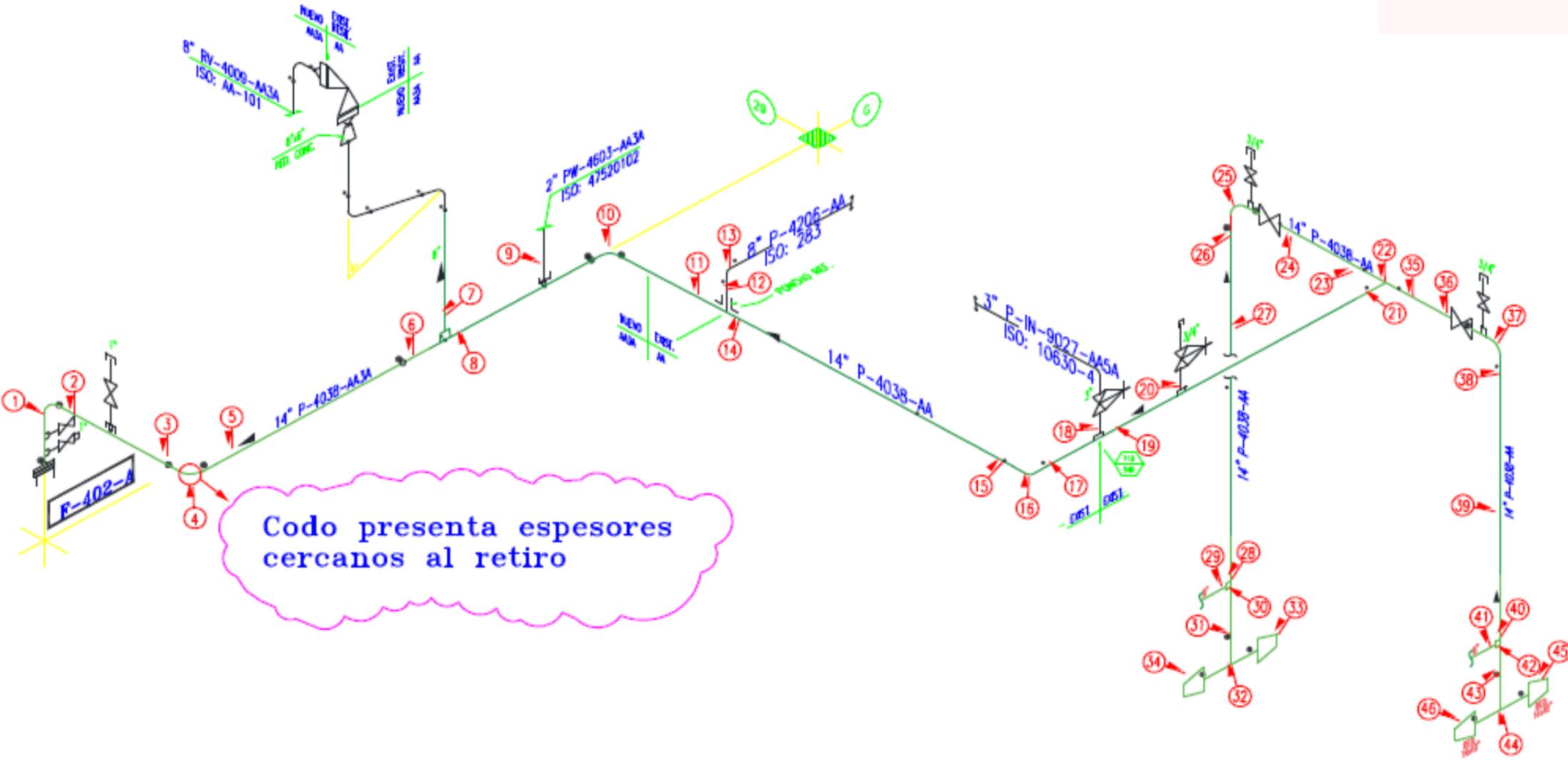
EVALUACIÓN ESPESOR LINEA 14"-P-4038-AA3A						EVALUACIÓN ESPESOR LINEA 14"-P-4038-AA3A					
PIPE $\phi$	Punto de Insp. TML	Espesor Nominal	Corrosión Permitida	Espesor de Retiro	Espesor Medido	PIPE $\phi$	Punto de Insp. TML	Espesor Nominal	Corrosión Permitida	Espesor de Retiro	Espesor Medido
CODO 14"	1.1	7,90	1,60	5,31	7,42	CODO 14"	25.1	6,40	3,17	2,43	7,06
	1.2	7,90	1,60	5,31	6,93		25.2	6,40	3,17	2,43	8,49
	1.3	7,90	1,60	5,31	7,85		25.3	6,40	3,17	2,43	8,76
	1.4	7,90	1,60	5,31	7,14		25.4	6,40	3,17	2,43	7,31
	1.5	7,90	1,60	5,31	8,45		25.5	6,40	3,17	2,43	6,45
	1.6	7,90	1,60	5,31	7,89		25.6	6,40	3,17	2,43	7,19
	1.7	7,90	1,60	5,31	7,69		25.7	6,40	3,17	2,43	8,69
	1.8	7,90	1,60	5,31	8,46		25.8	6,40	3,17	2,43	7,01
	1.9	7,90	1,60	5,31	7,45		25.9	6,40	3,17	2,43	8,17
	1.10	7,90	1,60	5,31	7,06		25.10	6,40	3,17	2,43	8,26
	1.11	7,90	1,60	5,31	7,69		25.11	6,40	3,17	2,43	8,75
	1.12	7,90	1,60	5,31	8,46		25.12	6,40	3,17	2,43	8,23
TRAMO 14"	2.1	7,90	1,60	5,31	8,36	TRAMO 14"	26.1	6,40	3,17	2,43	9,25
	2.2	7,90	1,60	5,31	8,42		26.2	6,40	3,17	2,43	9,89
	2.3	7,90	1,60	5,31	9,27		26.3	6,40	3,17	2,43	9,87
	2.4	7,90	1,60	5,31	8,34		26.4	6,40	3,17	2,43	9,61
TRAMO 14"	3.1	7,90	1,60	5,31	8,79	TRAMO 14"	27.1	6,40	3,17	2,43	9,99
	3.2	7,90	1,60	5,31	8,42		27.2	6,40	3,17	2,43	9,82
	3.3	7,90	1,60	5,31	8,06		27.3	6,40	3,17	2,43	10,01
	3.4	7,90	1,60	5,31	8,75		27.4	6,40	3,17	2,43	10,07
CODO 14"	4.1	7,90	1,60	5,31	8,26	TRAMO 14"	28.1	6,40	3,17	2,43	8,46
	4.2	7,90	1,60	5,31	6,65		28.2	6,40	3,17	2,43	8,39
	4.3	7,90	1,60	5,31	8,46		28.3	6,40	3,17	2,43	8,85
	4.4	7,90	1,60	5,31	8,14		28.4	6,40	3,17	2,43	8,72
	4.5	7,90	1,60	5,31	5,89	TRAMO 8"	29.1	8,18	1,60	5,56	7,42
	4.6	7,90	1,60	5,31	8,14		29.2	8,18	1,60	5,56	7,79
	4.7	7,90	1,60	5,31	8,39		29.3	8,18	1,60	5,56	7,73
	4.8	7,90	1,60	5,31	7,42		29.4	8,18	1,60	5,56	7,39
	4.9	7,90	1,60	5,31	8,16	TRAMO 14"	30.1	6,40	3,17	2,43	8,66
	4.10	7,90	1,60	5,31	8,18		30.2	6,40	3,17	2,43	8,45
	4.11	7,90	1,60	5,31	8,49		30.3	6,40	3,17	2,43	8,72
	4.12	7,90	1,60	5,31	8,74		30.4	6,40	3,17	2,43	8,85
TRAMO 14"	5.1	7,90	1,60	5,31	8,89	TRAMO 14"	31.1	6,40	3,17	2,43	8,66
	5.2	7,90	1,60	5,31	8,95		31.2	6,40	3,17	2,43	8,61
	5.3	7,90	1,60	5,31	8,84		31.3	6,40	3,17	2,43	8,51
	5.4	7,90	1,60	5,31	9,01		31.4	6,40	3,17	2,43	8,87
TRAMO 14"	6.1	7,90	1,60	5,31	9,32	TEE 14"	32.1	6,40	3,17	2,43	9,42
	6.2	7,90	1,60	5,31	8,27		32.2	6,40	3,17	2,43	9,99
	6.3	7,90	1,60	5,31	9,39		32.3	6,40	3,17	2,43	10,08
	6.4	7,90	1,60	5,31	9,12		32.4	6,40	3,17	2,43	10,46
TRAMO 8"	7.1	8,18	1,60	5,56	7,22		32.5	6,40	3,17	2,43	10,75
	7.2	8,18	1,60	5,56	7,01		32.6	6,40	3,17	2,43	10,77

	7,3	8,18	1,60	5,56	7,24		32.7	6,40	3,17	2,43	11,22	
	7,4	8,18	1,60	5,56	6,67		32.8	6,40	3,17	2,43	11,16	
TRAMO 14"	8,1	7,90	3,17	2,43	9,36		32.9	6,40	3,17	2,43	11,21	
	8,2	7,90	3,17	2,43	8,18		32.10	6,40	3,17	2,43	11,01	
	8,3	7,90	3,17	2,43	8,42		32.11	6,40	3,17	2,43	10,68	
	8,4	7,90	3,17	2,43	8,53		32.12	6,40	3,17	2,43	11,85	
							32.13	6,40	3,17	2,43	11,29	
TRAMO 2"	9,1	5,50	1,60	3,21	5,39		32.14	6,40	3,17	2,43	11,16	
	9,2	5,50	1,60	3,21	5,54		32.15	6,40	3,17	2,43	11,05	
	9,3	5,50	1,60	3,21	5,16		33.1	6,40	3,17	2,43	8,72	
	9,4	5,50	1,60	3,21	5,24		33.2	6,40	3,17	2,43	8,95	
CODO 14"	10.1	7,90	3,17	2,43	9,86	RED 14X10	33.3	6,40	3,17	2,43	8,99	
	10.2	7,90	3,17	2,43	8,25		33.4	6,40	3,17	2,43	8,89	
	10.3	7,90	3,17	2,43	10,15		33.5	6,40	3,17	2,43	11,26	
	10.4	7,90	3,17	2,43	10,32		33.6	6,40	3,17	2,43	11,41	
	10.5	7,90	3,17	2,43	8,84		33.7	6,40	3,17	2,43	10,22	
	10.6	7,90	3,17	2,43	10,14		33.8	6,40	3,17	2,43	10,06	
	10.7	7,90	3,17	2,43	10,32	RED 14X10	34.1	6,40	3,17	2,43	7,85	
	10.8	7,90	3,17	2,43	10,44		34.2	6,40	3,17	2,43	9,46	
	10.9	7,90	3,17	2,43	10,26		34.3	6,40	3,17	2,43	8,01	
	10.10	7,90	3,17	2,43	9,39		34.4	6,40	3,17	2,43	9,14	
	10.11	7,90	3,17	2,43	10,15		34.5	6,40	3,17	2,43	10,16	
	10.12	7,90	3,17	2,43	10,18		34.6	6,40	3,17	2,43	10,14	
TRAMO 14"	11.1	7,90	3,17	2,43	9,09		34.7	6,40	3,17	2,43	10,21	
	11.2	7,90	3,17	2,43	9,28		34.8	6,40	3,17	2,43	9,32	
	11.3	7,90	3,17	2,43	9,01		35.1	6,40	3,17	2,43	9,43	
	11.4	7,90	3,17	2,43	9,36		35.2	6,40	3,17	2,43	9,62	
TRAMO 8"	12.1	8,18	1,60	5,56	8,89	TRAMO 14"	35.3	6,40	3,17	2,43	9,81	
	12.2	8,18	1,60	5,56	7,72		35.4	6,40	3,17	2,43	9,19	
	12.3	8,18	1,60	5,56	8,27		36.1	6,40	3,17	2,43	9,42	
	12.4	8,18	1,60	5,56	8,16		36.2	6,40	3,17	2,43	9,47	
CODO 8"	13.1	8,18	1,60	5,56	8,42	TRAMO 14"	36.3	6,40	3,17	2,43	9,35	
	13.2	8,18	1,60	5,56	8,39		36.4	6,40	3,17	2,43	9,76	
	13.3	8,18	1,60	5,56	8,47		CODO 14"	37.1	6,40	3,17	2,43	8,06
	13.4	8,18	1,60	5,56	8,32			37.2	6,40	3,17	2,43	8,01
	13.5	8,18	1,60	5,56	8,29	37.3		6,40	3,17	2,43	8,04	
	13.6	8,18	1,60	5,56	8,26	37.4		6,40	3,17	2,43	8,09	
	13.7	8,18	1,60	5,56	8,37	37.5		6,40	3,17	2,43	6,35	
	13.8	8,18	1,60	5,56	8,42	37.6		6,40	3,17	2,43	6,95	
	13.9	8,18	1,60	5,56	8,76	37.7		6,40	3,17	2,43	8,93	
	13.10	8,18	1,60	5,56	8,49	37.8		6,40	3,17	2,43	7,49	
	13.11	8,18	1,60	5,56	8,37	37.9		6,40	3,17	2,43	6,76	
	13.12	8,18	1,60	5,56	8,31	37.10		6,40	3,17	2,43	7,49	
	14.2	6,40	3,17	2,43	9,41	37.11		6,40	3,17	2,43	7,62	
	14.3	6,40	3,17	2,43	9,09	37.12		6,40	3,17	2,43	8,75	
	14.4	6,40	3,17	2,43	9,07		38.1	6,40	3,17	2,43	9,46	
	15.2	6,40	3,17	2,43	7,72							

	15.3	6,40	3,17	2,43	8,99	TRAMO 14"	38.2	6,40	3,17	2,43	9,35
	15.4	6,40	3,17	2,43	9,26		38.3	6,40	3,17	2,43	9,27
	16.2	6,40	3,17	2,43	7,06		38.4	6,40	3,17	2,43	9,62
	16.3	6,40	3,17	2,43	8,39	TRAMO 14"	39.1	6,40	3,17	2,43	9,82
	16.4	6,40	3,17	2,43	9,29		39.2	6,40	3,17	2,43	9,79
	16.5	6,40	3,17	2,43	8,32		39.3	6,40	3,17	2,43	9,95
	16.6	6,40	3,17	2,43	7,31		39.4	6,40	3,17	2,43	9,74
	16.7	6,40	3,17	2,43	8,36	TRAMO 14"	40.1	6,40	3,17	2,43	8,52
	16.8	6,40	3,17	2,43	9,15		40.2	6,40	3,17	2,43	8,76
	16.9	6,40	3,17	2,43	8,27		40.3	6,40	3,17	2,43	8,49
	16.10	6,40	3,17	2,43	8,39		40.4	6,40	3,17	2,43	8,87
	16.11	6,40	3,17	2,43	8,46	TRAMO 8"	41,1	8,18	1,60	5,56	7,85
	16.12	6,40	3,17	2,43	8,75		41,2	8,18	1,60	5,56	8,12
TRAMO 14"	17.1	6,40	3,17	2,43	9,16		41,3	8,18	1,60	5,56	8,14
	17.2	6,40	3,17	2,43	9,22		41,4	8,18	1,60	5,56	7,89
	17.3	6,40	3,17	2,43	9,37	TRAMO 14"	42.1	6,40	3,17	2,43	9,12
17.4	6,40	3,17	2,43	9,12	42.2		6,40	3,17	2,43	9,16	
TRAMO 3"	18.1	5,50	1,60	3,21	6,52		42.3	6,40	3,17	2,43	8,91
	18.2	5,50	1,60	3,21	5,81		42.4	6,40	3,17	2,43	9,06
	18.3	5,50	1,60	3,21	6,02	TRAMO 14"	43.1	6,40	3,17	2,43	8,66
18.4	5,50	1,60	3,21	5,97	43.2		6,40	3,17	2,43	8,21	
TRAMO 14"	19.1	6,40	3,17	2,43	8,32		43.3	6,40	3,17	2,43	8,24
	19.2	6,40	3,17	2,43	8,41		43.4	6,40	3,17	2,43	8,27
	19.3	6,40	3,17	2,43	9,12	44.1	6,40	3,17	2,43	8,66	
	19.4	6,40	3,17	2,43	8,43	44.2	6,40	3,17	2,43	8,99	
TRAMO 3/4"	20.1	2,90	1,60	2,00	6,99	44.3	6,40	3,17	2,43	8,72	
	20.2	2,90	1,60	2,00	7,12	44.4	6,40	3,17	2,43	9,01	
	20.3	2,90	1,60	2,00	7,09	44.5	6,40	3,17	2,43	10,42	
	20.4	2,90	1,60	2,00	7,16	44.6	6,40	3,17	2,43	11,65	
TRAMO 14"	21.1	6,40	3,17	2,43	8,42	TEE 14"	44.7	6,40	3,17	2,43	11,14
	21.2	6,40	3,17	2,43	8,01		44.8	6,40	3,17	2,43	11,36
	21.3	6,40	3,17	2,43	8,25		44.9	6,40	3,17	2,43	11,39
	21.4	6,40	3,17	2,43	8,07		44.10	6,40	3,17	2,43	11,96
TEE 14"	22.1	6,40	3,17	2,43	11,46		44.11	6,40	3,17	2,43	10,26
	22.2	6,40	3,17	2,43	11,62		44.12	6,40	3,17	2,43	11,65
	22.3	6,40	3,17	2,43	11,94		44.13	6,40	3,17	2,43	11,38
	22.4	6,40	3,17	2,43	11,86		44.14	6,40	3,17	2,43	9,12
	22.5	6,40	3,17	2,43	8,92		44.15	6,40	3,17	2,43	12,11
	22.6	6,40	3,17	2,43	9,01		RED 14X10	45.1	6,40	3,17	2,43
	22.7	6,40	3,17	2,43	9,99	45.2		6,40	3,17	2,43	11,14
	22.8	6,40	3,17	2,43	9,36	45.3		6,40	3,17	2,43	11,18
	22.9	6,40	3,17	2,43	10,42	45.4		6,40	3,17	2,43	11,26
	22.10	6,40	3,17	2,43	11,39	45.5		6,40	3,17	2,43	15,01
	22.11	6,40	3,17	2,43	11,65	45.6		6,40	3,17	2,43	15,26
	22.12	6,40	3,17	2,43	12,16	45.7		6,40	3,17	2,43	13,49
	22.13	6,40	3,17	2,43	12,15	45.8		6,40	3,17	2,43	13,95

	22.14	6,40	3,17	2,43	12,79	RED 14X10	46.1	6,40	3,17	2,43	11,31
	22.15	6,40	3,17	2,43	12,29		46.2	6,40	3,17	2,43	11,46
TRAMO 14"	23.1	6,40	3,17	2,43	9,36		46.3	6,40	3,17	2,43	11,55
	23.2	6,40	3,17	2,43	9,65		46.4	6,40	3,17	2,43	11,28
	23.3	6,40	3,17	2,43	9,32		46.5	6,40	3,17	2,43	14,22
	23.4	6,40	3,17	2,43	9,56		46.6	6,40	3,17	2,43	14,16
TRAMO 14"	24.1	6,40	3,17	2,43	9,35		46.7	6,40	3,17	2,43	11,91
	24.2	6,40	3,17	2,43	9,72		46.8	6,40	3,17	2,43	14,15
	24.3	6,40	3,17	2,43	10,01						
	24.4	6,40	3,17	2,43	10,04						

Anexo F: Isométrico de la medición de espesores



PLANTA:TV2 PRODUCTO: Gasolina  
DWG#: CIRCUITO P-4038-AA3A/AA

## Anexo G: Datos de seguimiento de variables

Fecha de Muestreo	pH	Cloruro (ppm)	Fecha de Muestreo	pH	Cloruro (ppm)	Fecha de Muestreo	pH	Cloruro (ppm)
31-12-2020	4.7	55	27-07-2021	6.9	15	27-03-2022	4.9	96
01-01-2021	5.5	51	08-08-2021	7.7	16	15-04-2022	8.0	10
01-01-2021	5.0	92	09-08-2021	2.6	393	16-04-2022	7.9	15
05-01-2021	8.2	25	14-08-2021	8.0	15	01-05-2022	8.7	9
08-01-2021	4.4	209	15-08-2021	7.8	20	02-05-2022	4.8	186
11-01-2021	7.3	13	17-08-2021	7.3	18	03-05-2022	8.5	25
11-01-2021	8.1	8	22-08-2021	6.3	20	02-06-2022	8.5	47
16-01-2021	4.9	41	25-08-2021	5.3	32	02-06-2022	8.1	72
17-01-2021	5.3	21	28-08-2021	5.1	48	08-06-2022	6.9	38
23-01-2021	5.3	39	28-08-2021	5.2	62	11-06-2022	4.5	77
30-01-2021	8.0	11	29-08-2021	5.6	41	08-07-2022	7.7	28
01-02-2021	7.2	20	01-09-2021	4.4		08-07-2022	7.1	26
04-02-2021	8.7	24	01-09-2021	3.8	183	24-07-2022	9.0	31
05-02-2021	8.0	23	05-09-2021	8.6	47	30-07-2022	8.4	9
14-02-2021	8.2	9	07-09-2021	8.1	39	31-07-2022	8.3	11
20-02-2021	5.3	23	09-09-2021	5.2	39	01-08-2022	7.5	13
21-02-2021	5.9	20	09-09-2021	5.1	66,9	10-08-2022	5.0	83
28-02-2021	4.8	67	18-09-2021	5.3	23	13-08-2022	7.0	63
01-03-2021	5.9	20	18-09-2021	5.2	20	13-08-2022	7.0	63
04-03-2021	8.9	13	19-09-2021	5.5	23	14-08-2022	6.9	47
11-03-2021	7.8	16	20-09-2021	5.9	25	15-08-2022	5.3	199
13-03-2021	5.1	28	01-10-2021	4.7	127	15-08-2022	6.1	51
14-03-2021	4.9	28	02-10-2021	5.3	26	20-08-2022	5.2	104
15-03-2021	5.4	53	07-10-2021	5.4	42	21-08-2022	6.3	79
20-03-2021	4.7	32	11-10-2021	8.6	24	27-08-2022	4.4	134
21-03-2021	8.3	25	14-10-2021	5.0	34	28-08-2022	5.6	59
26-03-2021	8.0	13	16-10-2021	5.9	18	04-09-2022	5.0	108
28-03-2021	7.6	13	20-10-2021	6.5	26	10-09-2022	2.2	510
01-04-2021	5.5	47	21-10-2021	7.0	26,7	16-09-2022	6.0	9
04-04-2021	8.2	30	22-10-2021	6.3	51,1	17-09-2022	6.1	11
07-04-2021	5.3	49	24-10-2021	5.1	23	18-09-2022	7.4	14
08-04-2021	6.5	63	28-10-2021	6.3	28,3	24-09-2022	4.7	100
08-04-2021	7.9	19	30-10-2021	7.5	10	25-09-2022	4.1	148
09-04-2021	6.3	7	04-11-2021	5.0	88	25-09-2022	3.3	187
12-04-2021	6.3	43	07-11-2021	5.1	31	04-10-2022	6.8	94
18-04-2021	5.2	162	09-11-2021	6.2	17	09-10-2022	7.7	7
23-04-2021	5.1	55	10-11-2021	8.9	10	10-10-2022	4.9	156
24-04-2021	5.0	45	12-11-2021	6.1	32	12-10-2022	5.2	110
25-04-2021	4.7	93	14-11-2021	5.6	12	15-10-2022	2.6	509
26-04-2021	5.7		14-11-2021	5.6	11	15-10-2022	3.7	352
28-04-2021	6.8	36	20-11-2021	8.3	15	22-10-2022	6.5	30
02-05-2021	4.8	32	24-11-2021	8.2	31	30-10-2022	5.2	18

08-05-2021	7.7	44	26-11-2021	5.3	32	31-10-2022	3.8	172
09-05-2021	5.7	19	27-11-2021	5.0	31	08-11-2022	8.6	23
09-05-2021	5.5	11	28-11-2021	4.3		09-11-2022	7.8	15
12-05-2021	5.6	74	28-11-2021	4.4	196	12-11-2022	5.3	100
14-05-2021	8.4	27	03-12-2021	6.0	14	19-11-2022	5.1	218
16-05-2021	7.5	29	05-12-2021	8.6	30	26-11-2022	8.5	44
21-05-2021	5.8	39	06-12-2021	7.0	38	27-11-2022	8.9	21
22-05-2021	5.6	23	07-12-2021	3.7	265	28-11-2022	5.4	84
23-05-2021	5.6	30	09-12-2021	5.5	45	02-12-2022	4.5	141
25-05-2021	5.9	20	11-12-2021	5.5	28	02-12-2022	4.5	161
26-05-2021	5.6	25	12-12-2021	5.9	18	17-12-2022	6.0	257
29-05-2021	6.0	31	19-12-2021	7.1	18	17-12-2022	9.4	9
30-05-2021	6.7	56	10-01-2022	4.9	95	18-12-2022	8.4	12
01-06-2021	2.5	361	11-01-2022	3.8	171	18-12-2022	8.9	45
02-06-2021	4.9	20	15-01-2022	4.7	93	22-12-2022	8.8	6
03-06-2021	6.1	36	16-01-2022	4.0	166	24-12-2022	5.0	11
06-06-2021	5.9	33	22-01-2022	8.5	20	31-12-2022	4.1	44
11-06-2021	5.3	42	22-01-2022	5.7	8	04-01-2023	5.9	6
12-06-2021	5.2	81	23-01-2022	8.1	14	04-01-2023	8.8	9
13-06-2021	7.9	23	25-01-2022	5.8	9	14-01-2023	4.8	32
13-06-2021	7.1	50	29-01-2022	5.8	6	15-01-2023	3.9	145
18-06-2021	6.9	22	29-01-2022	5.3	7	22-01-2023	6.2	9
20-06-2021	8.7	16	30-01-2022	5.1	14	22-01-2023	5.6	11
25-06-2021	6.8	22	04-02-2022	5.1	71	25-01-2023	6.4	15
26-06-2021	6.2	40	10-02-2022	6.1	23	28-01-2023	6.3	9
27-06-2021	3.9	52	13-02-2022	5.2	131	29-01-2023	6.1	11
06-07-2021	7.0	28	13-02-2022	5.0	134	01-02-2023	4.7	90
07-07-2021	4.8	89	17-02-2022	5.9	42,7	18-02-2023	6.4	10
08-07-2021	7.7	30	18-02-2022	6.1	53	21-02-2023	6.4	17
09-07-2021	5.6	9,2	19-02-2022	4.9	44	25-02-2023	7.2	9
16-07-2021	8.2	16	22-02-2022	5.8	78	26-02-2023	8.2	12
17-07-2021	8.3	32	26-02-2022	4.9	16	04-03-2023	5.9	16
17-07-2021	8.2	36	26-02-2022	4.9	33	18-03-2023	8.4	8
18-07-2021	8.8	15	27-02-2022	4.9	35	19-03-2023	8.7	8
18-07-2021	8.6	18	28-02-2022	5.4	51	25-03-2023	8.2	0,66
19-07-2021	8.5	22	09-03-2022	7.0	23	26-03-2023	6.6	12
20-07-2021	7.8	16	19-03-2022	5.3	65	30-03-2023	8.4	6
23-07-2021	7.3	14	23-03-2022	6.7	31	02-04-2023	6.1	14
25-07-2021	5.8	126	26-03-2022	4.5	100	03-04-2023	8.6	10

## Anexo H: Acciones y tiempos de respuestas

Variable	Límite	Criticidad	Acciones	Responsable	Tiempo de respuesta
pH	bajo los 4.5 y sobre los 7.5	Crítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Inspección mediante medición de espesores por ultrasonido en tramos acotados del circuito de tope.</li> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e</li> <li>▪Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales</li> <li>▪Acciones correctivas en variables de proceso (Canasta y tasas de inyección)</li> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e</li> <li>▪Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM</li> <li>▪Jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana,</li> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 semana</li> </ul>
Temperatura	bajo los 90 y sobre los 160	Crítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Evaluación de ingeniero de procesos para investigar posibles causas del cambio de la variable y emitir recomendaciones</li> <li>▪Inspección mediante medición de espesores por ultrasonido en tramos acotados del circuito de tope.</li> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e</li> <li>▪Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 mes</li> </ul>
Cloruro	sobre los 60	Crítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Evaluación de planificación de medición de espesores según historial de variables críticas en el último período</li> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e</li> <li>▪Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales</li> <li>▪Acciones correctivas en variables de proceso (Canasta y tasas de inyección)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad</li> <li>▪DIM</li> <li>▪Jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana,</li> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 semana</li> </ul>
Velocidad de corrosión por probetas	sobre 50 mpy	Crítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Evaluación de planificación de medición de espesores según historial de variables críticas en el último período</li> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e</li> <li>▪Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero de confiabilidad DIM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪2 semanas</li> </ul>
pH	bajo a 5.5 o sobre los 6.5	Estándar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 mes</li> </ul>

Temperatura	bajo los 100 y sobre los 130	Estándar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales.</li> <li>▪Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 mes</li> </ul>
Cloruro	sobre los 30	Estándar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Enviar correo a Jefe de Planta e Ingeniero de procesos informando condición de operación fuera de valores normales.</li> <li>▪Evaluación de ingeniero de procesos en cambios de variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 día,</li> <li>▪1 mes</li> </ul>
Velocidad de corrosión por probetas	sobre 5 mpy	Estándar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Enviar correo a jefe de planta e ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero de confiabilidad DIM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 mes</li> </ul>
Hierro	sobre los 2 ppm	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Estudio complementario de posibles causas. Ya que se ha detectado valores altos de cloruros y valores estándar de pH lo que es contraproducente ya que se sabe de la literatura que por corrosión ácida se espera alto contenido de cloruro y bajo pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM,</li> <li>▪Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 mes</li> </ul>
Amoníaco	sobre los 30 ppm	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Notificación a Ingeniero de procesos para revisión de variables de inyección de aditivos por correo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM</li> <li>Ingeniero de Procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 mes</li> </ul>
H2S	sobre los 50 ppm	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Planificación de Inspección con prueba de partículas magnéticas fluorescentes húmedas a uniones soldadas por el interior del equipo (paro de planta)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪2 años</li> </ul>
Eficiencia	bajo el 95%	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Notificación a Jefe de planta e Ingeniero de procesos para revisión de variables de proceso con respecto a desalador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM</li> <li>Ingeniero de Procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana</li> </ul>
TAN	sobre el 50%	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Notificación a Jefe de planta e Ingeniero de procesos para revisión de variables de proceso con respecto a desalador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero confiabilidad DIM</li> <li>Ingeniero de Procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana</li> </ul>
Tasas de inyección Aminas filmicas (5065)	sobre 20	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Notificación a ingeniero de procesos para revisión de inyección de aditivos, si la variable se encuentra fuera de la ventana por un período de 7 días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero de confiabilidad DIM</li> <li>Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana</li> </ul>
Tasas de inyección Aminas	sobre 45	Informativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Notificación a ingeniero de procesos para revisión de inyección de aditivos, si la variable se encuentra fuera de la ventana por un período de 7 días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ingeniero de confiabilidad DIM</li> <li>Ingeniero de procesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪1 semana</li> </ul>

neutralizantes  
(Losalt)

Tasas de inyección Inhibidores de corrosión (1665)	sobre 20	Informativo	▪Notificación a ingeniero de procesos para revisión de inyección de aditivos, si la variable se encuentra fuera de la ventana por un período de 7 días.	▪Ingeniero de confiabilidad DIM Ingeniero de procesos	▪1 semana
---	----------	-------------	--	--	--------------