



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**
CAMPUS TUXTLA GUTIÉRREZ



**INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
CAMPUS TUXTLA GUTIÉRREZ**

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA

TEMA

**“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORROSIÓN INTERNA DE ACEROS DE DUCTO
INMERSOS EN MEDIOS CORROSIVOS BAJO CONDICIONES DE ALTA
TEMPERATURA Y PRESION”.**

PRESENTA

ROSARIO LIZZETH MENDOZA ROBLES

ASESOR EXTERNO

Dr. LUIS MANUEL QUEJ AKEJ

ASESOR INTERNO

ING. VAZQUEZ SOLÍS ROBERTO

REVISORES

ING. WILBERT MORGAN BLANCO CARRILLO

M.C. AMÍN RODRÍGUEZ MENESES

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS AGOSTO-DICIEMBRE DEL 2018

Agradecimiento

Cada vez que acaba una etapa importante en la vida, se debe mirar hacia atrás y reflexionar sobre ella, sus luces y sus sombras, con más importancia ahora que con 22 años, comienza una etapa desconocida, pero para la que me siento preparado.

En primer lugar, agradecemos a Dios por guiarnos en este camino, por la fortaleza y sabiduría brindada para superar cada dificultad presentada a lo largo de nuestra formación profesional, permitiéndonos alcanzar la culminación de este logro tan importante para nosotros.

Doy gracias a mis padres por su amor, por mi educación y formación, por hacerme entender las cosas importantes y por no dar nada por hecho, por esforzarse día a día, a que me convierta en un buen hombre.

Gracias al Ing. ROBERTO VÁZQUEZ SOLÍS por apoyarme y brindarme de su asesoría de su conocimiento. Por guiarme y corregirme en el transcurso de la carrera y de mis practicas.

Gracias a mi asesor el Dr. LUIS MANUEL QUEJ AKEJ por apoyarme durante la estancia por darme la oportunidad de realizar este proyecto. Por guiarme y estar al pendiente de mí trabajo por preocuparse y brindarme su conocimiento.

Gracias a mis hermanos por sus buenos consejos y por estar siempre ahí para apoyarme cuando perdía la fe o la motivación, gracias por sus llamadas, que aunque no era muy recurrente me motivaba. Que la vida nos vuelva a poner en cercanía y si no se hace, que lo hagamos nosotros.

Gracias a mis profesores por forjarme por dar siempre lo mejor de ellos y esforzarse por que saliéramos adelante.

A mi novio Carlos de Jesús por brindarme todo su amor y comprensión en los momentos difíciles por hacerme crecer, por decirme cuando me equivoco y por pasar los momentos más divertidos que siempre recordare y que están por venir.

A toda mi familia, porque siempre me brindan motivación y apoyo incondicional en cada una de las metas que emprendo.

En resumen, gracias...

A Dios, a mi familia, a mis amigos y a mis compañeros por su apoyo.

ÍNDICE

CAPITULO I	8
INTRODUCCIÓN	8
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO	11
ORGANIGRAMA	12
ÁREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE	13
PROBEMAS A RESOLVER	15
OBJETIVOS	16
GENERALES	16
ESPECÍFICOS	16
JUSTIFICACIÓN	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	18
CORROSIÓN	18
FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE LA CORROSIÓN	20
MÉTODOS PARA ESTUDIAR EL PROCESO DE CORROSIÓN	20
ELECTROQUÍMICA	22
TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS	24
CELDA ELECTROQUÍMICA	24
COMPONENTES DE UNA CELDA ELECTROQUÍMICA	25
TIPOS DE CELDAS ELECTROQUÍMICAS	25
CELDA ESPECIALIZADAS	25
ELECTRODO	26
TIPOS DE ELECTRODOS	26
ELECTRODOS DE TRABAJO UTILIZADOS EN PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS DE LABORATORIO.	27
ELECTRODO DE DISCO ROTATORIO (RDE)	27
ELECTRODO DE CILINDRO ROTATORIO (RCE)	28
ELECTRODO DE LA CAJA GIRATORIA (RC)	28
ELECTRODO PARA PRUEBAS DE HERRUMBRE	28
TIPOS DE ACEROS DE DUCTOS QUE TRANSPORTAN PETRÓLEO CRUDO	30
CUPONES	30
PROBETAS UTILIZADAS EN CAMPO.	30
PROBETAS UTILIZADAS EN LABORATORIO	31
PREPARACIÓN DE PROBETAS DE MATERIALES METÁLICOS PARA PRUEBAS DE CORROSIÓN	31
DESBASTE MECÁNICO USANDO DIFERENTES TIPOS DE LIJAS	31
DESBASTE MECÁNICO USANDO UN MOTOR MONOFÁSICO	32
LIMPIEZA DE SUPERFICIES CORROÍDAS	32
CONDICIONES HIDRODINÁMICAS	33
NIVEL CAMPO	33
ELECTRODO DE DISCO ROTATORIO	34

ELECTRODO DE CILINDRO ROTATORIO _____	34
CAJA GIRATORIA _____	34
FORMAS DE MITIGAR EL PROCESO DE CORROSIÓN INTERNA _____	34
INHIBIDORES _____	35
TIPOS DE INHIBIDORES _____	35
VELOCIDAD DE CORROSIÓN _____	35
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN MEDIANTE EL MÉTODO ELECTROQUÍMICO DE IMPEDANCIA _____	36
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN MEDIANTE EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO _____	39

CAPITULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS 41

3.1 DESBASTE MECÁNICO DE ACEROS DE DUCTO (CUPONES DE 0.5 CM ² DE ÁREA) MEDIANTE EL USO DE DIFERENTES TIPOS DE LIJAS (DESBASTE MECÁNICO). _____	41
3.2 DESBASTE MECÁNICO DE TESTIGOS DE CORROSIÓN DE 22.5 CM ² DE ÁREA, MEDIANTE EL USO DE UN MOTOR MONOFÁSICO. _____	43
3.3 CURADO DE CUPONES USANDO RESINA EPÓXICA Y CATALIZADOR. _____	44
3.4 CONOCIMIENTO PRELIMINAR DEL EQUIPO ESPECIALIZADO PARA LLEVAR A CABO ESTUDIOS A TEMPERATURA Y PRESIÓN ELEVADA: EQUIPO PARR. _____	45
3.5 CONOCIMIENTO PRELIMINAR Y OPERACIÓN DE POTENCIOSTATO-GALVANOSTATO GILL-AC PARA LA OBTENCIÓN DE PRUEBAS DE IMPEDANCIA. _____	49
3.6 OPERACIÓN DEL EQUIPO ESPECIALIZADO PARA LLEVAR ESTUDIOS DE CORROSIÓN DE UN ACERO DE DUCTO EXPUESTO EN UNA SALMUERA DE TEMPERATURA Y PRESIÓN ELEVADA: EQUIPO PARR. _____	50
3.7 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL ACERO DE DUCTO X52 MEDIANTE EL MÉTODO GRAVÍMETRO. _____	52
3.8 PREPARACIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO INHIBIDO EN EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO54	

CAPITULO IV. RESULTADOS 55

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO. _____	55
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO ELECTROQUÍMICO. _____	60
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS _____	62

CAPITULO V. CONCLUSIONES 63

CAPITULO VI. REFERENCIAS 65

ANEXOS 68

DIBUJOS DEL EQUIPO PARR DISEÑADO POR INSTITUTO MEXICANO DE PETRÓLEO _____	68
DERECHO DE AUTOR DEL EQUIPO AUTOCLAVE PARR _____	69

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Organigrama del Instituto Mexicano de Petróleo, Pág.11.
- Figura 2. Macro localización del Instituto Mexicano del Petróleo, Pág.12.
- Figura 3. Mapa del instituto Mexicano del Petróleo, Pág.12.
- Figura 4. Materiales nativos, Pág.17.
- Figura 5. Tipos de corrosión presentes en los materiales metálicos, Pág.18.
- Figura 6. Variables que afectan la velocidad de corrosión, Pág. 19.
- Figura 7. Algunas aplicaciones de la electroquímica, Pág. 21.
- Figura 8. Algunas técnicas electroquímicas empleadas en el análisis de la velocidad de corrosión, Pág. 22.
- Figura 9. a) Motor monofásico acoplado a un porta-electrodo cilíndrico. b) Proceso de desbaste de un electrodo cilíndrico, Pág. 29.
- Figura 10. onda sinusoidal de impedancia, Pág. 33.
- Figura 11. Onda sinusoidal de potencia e intensidad, Pág. 34.
- Figura 12. Descomposición vectorial de la impedancia, Pág. 35.
- Figura 13. Imagen de una superficie plana y homogénea utilizando las lijas 150, 240 y 600. Pág. 39.
- Figura 14. Imagen de la superficie interna de un ducto, Pág. 39.
- Figura 15. a) Motor monofásico acoplado a un porta-electrodo cilíndrico, b) Proceso de desbaste de un electrodo cilíndrico, Pág. 41.
- Figura 16. Celda especializada Equipo PARR, Pág. 42.
- Figura 17. Cuerpo del Reactor a) porta-muestra de teflón, b) cuerpo exterior de reactor con el porta-muestra vista superior, c) vista exterior del reactor del Equipo PARR, Pág. 43.
- Figura 18. Cabezal del reactor. a) parte exterior del cabezal y b) parte interior del cabezal, Pág. 43.
- Figura 19. a) parte trasera del cabezal, b) parte del costado derecho del cabezal y c) parte del costado izquierdo del cabezal, Pág. 44.
- Figura 20. a) porta electrodos utilizados, b) parte eléctrica del electrodo y c) parte inferior del electrodo donde se empotra las muestras, Pág. 44.
- Figura 21. Electrodos de cilindro rotatorio utilizados en las pruebas electroquímicas, Pág. 45.
- Figura 22. Panel de control del equipo PARR, Pág. 45.
- Figura 23. Bridas bipartidas utilizadas en el equipo PARR, Pág. 46.
- Figura 24. Cupón A antes de las pruebas electroquímicas, Pág. 52.
- Figura 25. Velocidades de Corrosión obtenidas a diferentes temperaturas, Pág. 56.
- Figura 26. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5% posterior a 5 horas de exposición, a las temperaturas de 60 °C, 70, 80, 85 y 93 °C y 0 rpm, Pág. 57.

Figura 27. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5%. Comparativo a 5 horas de exposición, a las temperaturas de 60 °C, 70, 80, 85 y 93 °C y 0 rpm, Pág. 58.

Figura 28. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5%. Comparativo a 5 horas de exposición, 30 y 90°C, a las velocidades de rotación de 0, 250 y 500 rpm, Pág. 58.

Figura 29. Portaelectrodo diseñado para el Equipo PARR, Pág. 60.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos para estudiar los procesos de corrosión interna, Pág. 20.

Tabla 2. Parámetros utilizados para el cálculo de la velocidad de corrosión por pérdida de peso, Pág. 36.

Tabla 3. Clasificación de velocidades de corrosión de aceros al carbón de la norma NACE RP0775, Pág. 37.

Tabla 4. Pesos iniciales y finales obtenidos antes y después del tiempo de exposición, Pág. 52.

Tabla 5. Datos obtenidos en el sistema internacional para el electrodo de trabajo API 5L X52 antes y después 5 horas de exposición, Pág. 53.

Tabla 6. Datos obtenidos en el sistema internacional para el electrodo de trabajo API 5L X52 antes y después 5 horas de exposición, Pág. 54.

Tabla 7. Valores de las velocidades de corrosión del cupón A de acero X52 expuesto en NaCl de 3.5% utilizando el método gravimétrico, Pág. 55.

Tabla 8. Velocidades de corrosión del electrodo de trabajo y del electrodo auxiliar, Pág. 56.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Por su ubicación, los problemas de corrosión de las superficies metálicas de los ductos se clasifican en dos tipos: corrosión externa e interna. El primero se relaciona con el deterioro del exterior del ducto que incluyen las diferentes calidades de los recubrimientos que comúnmente utilizan como protección (barrera física). En campo, el problema de la corrosión externa de los ductos se debe principalmente, a la exposición atmosférica (ductos superficiales o aéreos), y la presencia de diferentes tipos de suelo en ductos enterrados. En este caso, los niveles de protección se modifican significativamente con la variación de las condiciones ambientales (precipitaciones pluviales, huracanes, movimientos telúricos) y cambios de estación [1].

La problemática asociada con la corrosión interna en ductos que transportan petróleo crudo, gas natural, agua asociada (es un tipo de agua que trae consigo el petróleo crudo durante la extracción) y/o producto terminado (diésel, gasolina, turbosina, residuo de vacío, entre otros) trae como consecuencia efectos negativos en el Costo-Beneficio. En 1995, British Petroleum (BP) llevó a cabo un estudio relacionado con el proceso de corrosión interna en una plataforma continental del Reino Unido, concluyendo que las erogaciones para la prevención y el control de la corrosión fue estimada en alrededor del 8 % de las erogaciones de capital total para sus proyectos y el 25% y el 30% de los costos operativos de BP correspondían al control y el manejo de la corrosión. De esta manera, los costos asociados con el reemplazo de los equipos corroídos, la pérdida de producción y la contaminación relacionada con la corrosión afectaron significativamente, sus costos totales [2].

[1] N.A. Bruce, O.B. Marko, J.E. Jackson, A. Jenkins, D. Melot, J. Scheie, J. Vittonato, "La corrosión: La lucha más extensa", Oilfield vol. 28, (2016), 37-40.

[2] L. M. Quej, A. Contreras, "Electrochemical Study of 1018 Steel Exposed to Different Soils from South of Mexico", Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 1766 (2015) p. 81-94.

Es posible identificar dos casos de corrosión interna en el transporte de petróleo crudo. La primera considerada como la más severa, se debe a la salmuera acumulada en el fondo del ducto y en zonas donde existe flujo con régimen laminar o cuando existen ductos fuera de operación (régimen estacionario o de estancamiento). La segunda se debe a la combinación del régimen turbulento en el hidrocarburo, gas y agua que arrastra el sistema durante el transporte. El cambio del régimen del flujo genera la formación de emulsiones de agua en aceite o aceite en agua, donde la fase continua (fase predominante) es el hidrocarburo o el agua [3]. Por lo tanto, los problemas de corrosión localizada que se presentan en los interiores de los oleoductos son favorecidos por este tipo de sistemas. Además, la corrosión interna se ve afectada por el efecto de la temperatura y presión, ya que estas modifican las propiedades fisicoquímicas del hidrocarburo, gas y agua asociada, así como las variaciones de pH [4].

En este trabajo, se describen algunos estudios relacionados con el proceso de corrosión de los aceros en presencia diferentes medios corrosivos, utilizando la espectroscopia de impedancia electroquímica, EIS. Con el propósito de contribuir al entendimiento de esta problemática se identificaron algunos medios representativos recomendados por diferentes normas internacionales, así como el diseño de diferentes celdas electroquímicas utilizadas. Además, se describe un diseño, montaje y modificación de un sistema experimental para pruebas electroquímicas y estudios de corrosión a alta temperatura y presión. De esta manera, se muestran los resultados obtenidos en una caracterización preliminar por técnicas electroquímicas, en la que se estudia cualitativamente, el efecto que tienen las especies electroactivas, las condiciones hidrodinámicas, la temperatura y presión sobre el proceso de corrosión. Los resultados obtenidos, permitieron observar que pequeños cambios en estas variables, generan modificaciones importantes en el desarrollo de la corrosión activa de los aceros de ducto en estos medios; lográndose identificar las condiciones de experimentación, que se utilizarán para continuar con el estudio sistemático de este fenómeno.

[3] L. Quej-Aké, A. Contreras and J. Aburto, "Electrochemical Study on Corrosion Inhibition of X52 Steel by Non-ionic Surfactant in Substitute Ocean Water" *Int. J. Electrochem. Sci.*, 13 (2018) 7416-7431.

[4] L. Quej-Aké, A. Contreras, H.B. Liu, J.L. Alamilla, E. Sosa "The Effect of the Hydrodynamic and Temperature on Corrosion Rate of API Steels Exposed to Oilfield Produced Water", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 65 (2018).

[3] L. Quej-Aké, A. Contreras and J. Aburto, "Electrochemical Study on Corrosion Inhibition of X52 Steel by Non-ionic Surfactant in Substitute Ocean Water" *Int. J. Electrochem. Sci.*, 13 (2018) 7416-7431.

[4] L. Quej-Aké, A. Contreras, H.B. Liu, J.L. Alamilla, E. Sosa "The Effect of the Hydrodynamic and Temperature on Corrosion Rate of API Steels Exposed to Oilfield Produced Water", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 65 (2018).

Instituto Mexicano del Petróleo

Desde su creación, el 23 de agosto de 1965, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) ha honrado su compromiso de cubrir los requerimientos de Petróleos Mexicanos a lo largo de su cadena de valor, desde su explotación y transporte, procesamiento y almacenamiento de hidrocarburo. Además, ante la apertura energética, el IMP es una institución dedicada a la investigación y desarrollo tecnológico para la industria petrolera, petroquímica y química en México [5].

- Misión: Generar, desarrollar, asimilar y aplicar el conocimiento científico y tecnológico, promover la formación de recursos humanos especializados para apoyar a la industria petrolera nacional y contribuir al desarrollo sostenido y sustentable del país.
- Visión: Ser una institución dedicada en lo fundamental a la investigación y al desarrollo tecnológico, centrada en la generación de conocimientos y habilidades críticas para la industria petrolera, que transforme el conocimiento en realidades industriales, que ofrezca y comercialice servicios y productos de calidad y con alto contenido tecnológico. Ser una Institución de reconocido prestigio nacional e internacional, organizada para responder con agilidad al cambio y capaz de mantener su autosuficiencia financiera.

ORGANIGRAMA

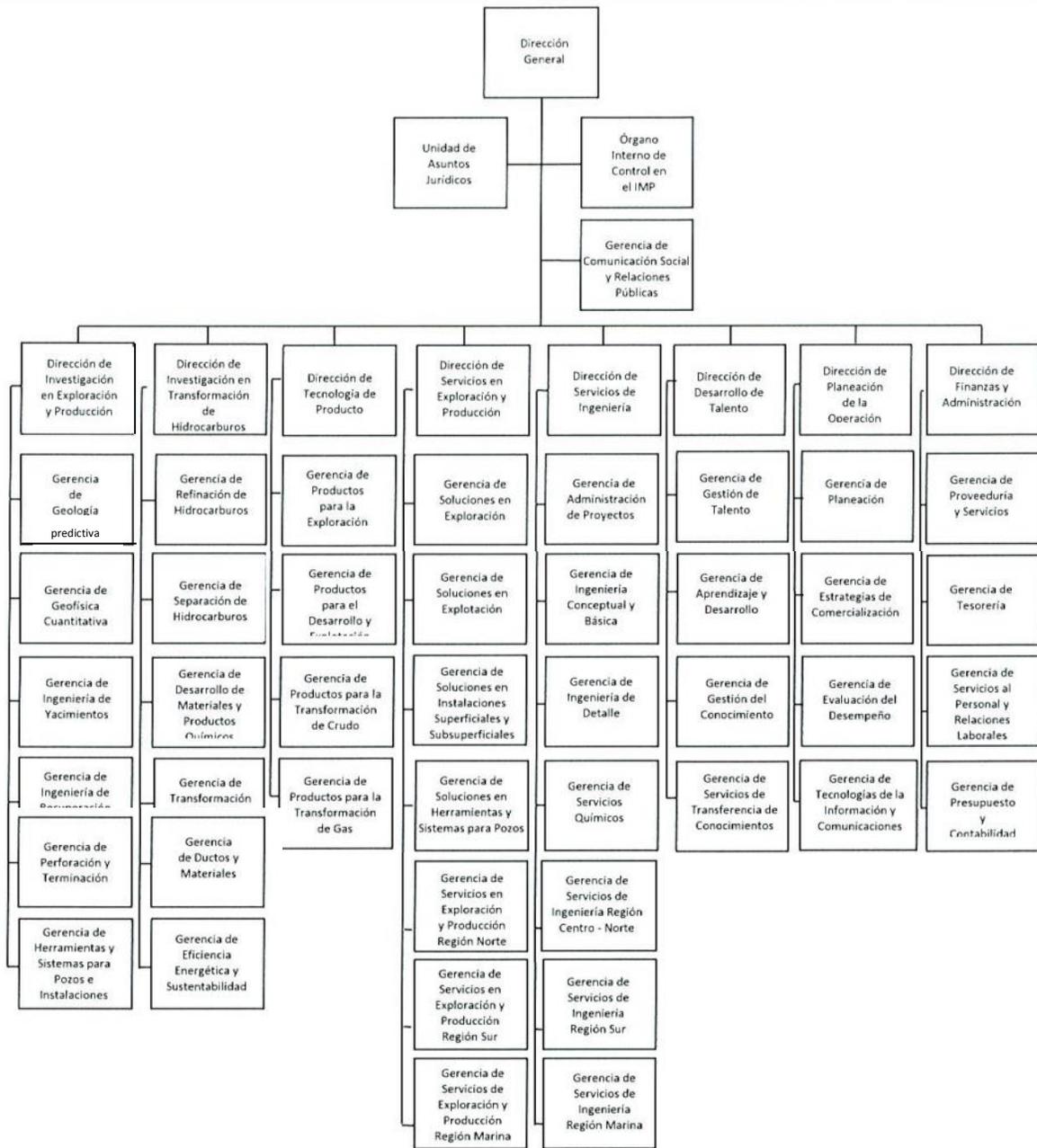


Figura 1. Organigrama del Instituto Mexicano de Petróleo. Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo, Organigrama.

ÁREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

El proyecto se encuentra asociado a la Gerencia de Ductos y materiales, área encargada de desarrollar métodos de inspección instrumentados, corrosión, inhibidores para protección interior, sistemas de monitoreo y control en tiempo real, diseño y tendido de ductos, riesgos y análisis de fallas, protección catódica.

El desarrollo de las actividades se llevó a cabo en los laboratorios de producción de hidrocarburos y control de la corrosión, perteneciente al área de corrosión y materiales, la cual se encuentra ubicado en el edificio 32 cubículo 012 del Instituto Mexicano de Petróleo (IMP) SEDE el cual se encuentra en Eje Central Lázaro Cárdenas Norte No. 152, San Bartolo Atepehuacan, Del. Gustavo A. Madero, Ciudad De México C.P. 07730.

En la figura 2 se muestra la macro-localización del Instituto Mexicano de Petróleo, así mismo en la figura 3 se muestra la micro-localización del laboratorio de hidrocarburos y control de la corrosión en el Instituto Mexicano de Petróleo.

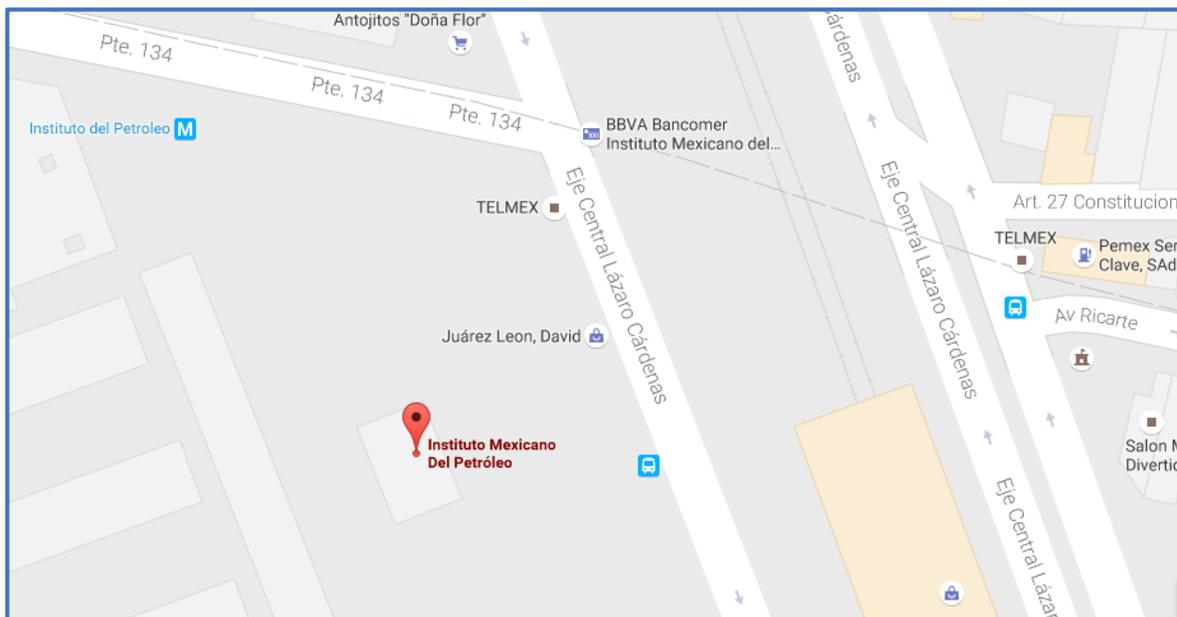


Figura 2. Macro localización del Instituto Mexicano del Petróleo. Fuente: Google Maps (2018). Ciudad de México. Recuperado en <https://www.google.com.mx/maps/place/Instituto+Mexicano+Del+Petróleo/@19.4898993,-99.1480921,17z/data=!4m12!1m6!3m5!1s0x85d1f9ad4acbf5f1:0xe4733621813ec62c!2sInstituto+Mexicano+Del+Petróleo!8m2!3d19.4898993!4d-99.1458981!3m4!1s0x85d1f9ad4acbf5f1:0xe4733621813ec62c!8m2!3d19.4898993!4d-99.1458981>



1 Torre Administrativa	9 Talleres	18 Capacitación	27 José López Portillo y Weber
2 Javier Barros Sierra	10 Talleres	19 "S.I.P.P.I."	28 "S.I.P.E."
3 Auditorio Bruno Mascaroni	11 Plantas Piloto	20 Sismología	29 Estancia para el Bienestar y Desarrollo Infantil No. 25
4 "Estudios Económicos"	12 Servicio Médico y Vigilancia	21 Cafetería	30 Servicios
5 Jesús Silva Herzog	13 Conmutador	22 Motoquímica	31 Antonio Dovall Jaime (Biblioteca)
6 Exploración	14 Almacén General	23 "Investigación Básica de Procesos"	32 Héctor Lara Sosa
7 Juan Hefferan	16 Teleáulas	24 "Refinación y Petroquímica"	33 "Altice"
8 Adquisiciones	17 "Maquetas"	25 "Laboratorios de PPQ"	

Figura 3. Mapa del instituto Mexicano del Petróleo. Fuente: Plano interior del Instituto Mexicano del Petróleo.

PROBEMAS A RESOLVER

La corrosión interna del acero de los ductos que transportan petróleo crudo, gas natural, agua asociada y/o producto terminado (diésel, gasolina, turbosina, residuo de vacío, entre otros) se ve afectado por el tipo de medio al que están expuestos, la concentración de especies electroactivas, así como el efecto hidrodinámico, la temperatura y presión del sistema. Por tal motivo se pretende realizar pruebas electroquímicas con parámetros similares utilizados en campo mediante soluciones representativas de salmueras que trae consigo el hidrocarburo durante su transporte.

Con la finalidad de estudiar las variables de presión, temperatura y condición hidrodinámica en el proceso de corrosión interna, se llevó a cabo el montaje y modificación de un sistema experimental conocido como equipo PARR para realizar pruebas electroquímicas de impedancia EIS a alta temperatura y presión.

OBJETIVOS

GENERALES

- Identificar los problemas de corrosión existentes en aceros de ductos inmersos en medios corrosivos en la industria petrolera.
- Conocer las ventajas y desventajas de métodos gravimétricos y electroquímicos para el cálculo de la velocidad de corrosión.
- Estudiar la velocidad de corrosión interna del acero de ducto API 5L X52 inmersos en medios corrosivos mediante pruebas de laboratorio tomando en consideración parámetros temperatura, presión y condición hidrodinámica.

ESPECÍFICOS

- Realizar estudios electroquímicos de Impedancia para poder estudiar la velocidad de corrosión del acero de ducto API 5L X52 expuesto a una salmuera representativa de NaCl 3.5% bajo condiciones de temperatura de 60, 70, 80, 85 y 93°C.
- Realizar estudios electroquímicos de Impedancia para poder estudiar la velocidad de corrosión del acero de ducto API 5L X52 expuesto a una salmuera representativa de NaCl 3.5% bajo condiciones hidrodinámicas de 0, 250 y 500 rpm.
- Realizar estudios electroquímicos de Impedancia para poder estudiar la velocidad de corrosión del acero de ducto API 5L X52 expuesto a una salmuera representativa de NaCl 3.5% con tiempos de exposición de 0, 1, 3 y 5 horas.
- Determina la condición hidrodinámica, temperatura y presión que más afecta a la velocidad de corrosión del acero de ducto API 5L X52.

JUSTIFICACIÓN

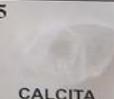
En los últimos años, el estudio del proceso de corrosión interna ha sido de gran importancia en la industria del petróleo, dado que, los costos asociados con el reemplazo de los equipos corroídos afectan significativamente, los costos operacionales de la industria. Con el fin de realizar pruebas electroquímicas bajo condiciones operacionales cercanas a un ducto de petróleo en campo, se han realizado estudios de corrosión por pérdida de peso utilizando autoclaves. No obstante, estos sistemas de autoclave no cuentan con un sistema de medición electroquímico para llevar a cabo estudios alta presión y alta temperatura. Por lo tanto, fue necesario el diseño, montaje y adaptación de una celda electroquímica a un sistema de alta temperatura y presión para estudios de corrosión que simulan condiciones de operación en ductos elaborado por el Instituto Mexicano de Petróleo. El cual opera a una temperatura de hasta 500°C y 345 bar (5000 psi o 34.5 MPa).

Obteniendo así un reactor modificado desde su diseño con adaptación de un sistema electroquímico de prueba utilizando dos pseudo-electrodos de acero API 5L X52 con 6.28 cm² de área expuesta.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Corrosión

La corrosión se define como el proceso inverso de la metalurgia extractiva puesto que los materiales metálicos tienden a volver al estado natural o nativo; los que comúnmente se encuentra combinados (compuestos químicos con diferentes apariencias fisicoquímicas y coloraciones) con otros elementos químicos, formando óxidos, sulfuros, carbonatos, entre otros [6]. De esta manera, se estudia el ciclo del proceso de corrosión de los materiales metálicos. En la figura 4 se muestran algunos ejemplos de diferentes compuestos (minerales) en su estado nativo.

1		2		3	
	PIRITA PYRITE		OBSIDIANA OBSIDIAN		OPALO OPAL
4		5		6	
	JASPE JASPER		CUARZO QUARTZ		AZURITA AZURITE
7		8		9	
	CELESTINA CELESTITE		CRISOCOLA CHYMSOCOLLA		CUARZO ROSADO PINK QUARTZ
10		11		12	
	MANGANOCALCITA MANGANOCALCITE		SERPENTINA SERPENTINE		ARAGONITA ARAGONITE
13		14		15	
	MARMOL MARBLE		ONIX ONYX		CALCITA CALCITE

N°	Nombres	FORMULA QUIMICA	Composición Química
1	PIRITA	$Fe S_2$	Sulfato de Hierro
2	OBSIDIANA	Vidrio Volcánico	Roca ignea
3	OPALO	$Si O_{2n} 2H_2O$	Silicato Hidratado
4	JASPE	Si_2O	Oxido de Siliceo
5	CUARZO	Si_2O	Oxido de Siliceo
6	AZURITA	$(Co_3)_2Cu(OH)_2$	Carbonato de Cobre
7	CELESTINA	$SrSO_4$	Silicato de Estroncio
8	CRISOCOLA	SiO_3Cu2H_2O	Silicato de Cobre Hidratado
9	CUARZO ROSADO	SiO_2	Oxido de Silicio
10	MANGANOCALCITA	$CO_3(Ca,Mn)$	Carbonato de Magnesio
11	SERPENTINA	$Si_2O_5Mg_3(OH)_4$	Silicato de Magnesio
12	ARAGONITA	CO_3Ca	Carbonato de Calcio
13	MARMOL	ROCA METAMORFICA	Roca Metamorfica
14	ONIX	SiO_2	Oxido de Silicio
15	CALCITA	CO_3Ca	Carbonato

Figura 4. Materiales nativos. Fuente: "Curso de corrosión interna Modulo 1, L.M Queja Ake, 2017, IMP"

Existen diferentes formas que se atribuyen al deterioro (corrosión) de los metales. Estas manifestaciones son identificadas mediante tres grupos: inspección visual (macroscópica), especial (uso de equipos especiales: ultrasonido, líquidos penetrantes, radiografía, entre otros) y microscópico (lupa, microscopio óptico, SEM, entre otros) [7].

[6] N.A. Bruce, O.B. Marko, J.E. Jackson, A. Jenkins, D. Melot, J. Scheie, J. Vittonato, "La corrosión: La lucha más extensa", Oilfield vol. 28, (2016), 37-40.

[7] P. R. Roberge, Handbook of Corrosion Engineering, United states of America, Mc Graw Hill, first edition, 2000).

De acuerdo a las tres categorías, el proceso de corrosión se manifiesta en: general o uniforme (disminución del espesor de pared del metal o pérdida de metal de manera homogénea), localizada (picaduras), hendiduras o fisuras (crevice, por su definición en inglés), galvánica (unión de dos metales diferentes), erosión o por el flujo (impacto de partículas sólidas), cavitación (desprendimiento de metal debido al desprendimiento de burbujas formadas a alta temperatura), frotamiento (fricción entre dos superficies), intergranular (deterioro del metal debido a fallas en los límites de grano), exfoliación (presencia de impurezas, escoria y/o precipitados presentes en las aleaciones), de-aleación (de-laminación o desprendimiento del metal en forma de capas), esfuerzo (agrietamiento por corrosión bajo tensión y esfuerzo debido a ciclos de movimiento muy cortos de tensión o esfuerzo), fatiga (ciclos de movimiento grandes), entre otros. Otros tipos de corrosión son la corrosión atmosférica, zonas afectadas por calor (soldaduras) y la corrosión microbiana [8].

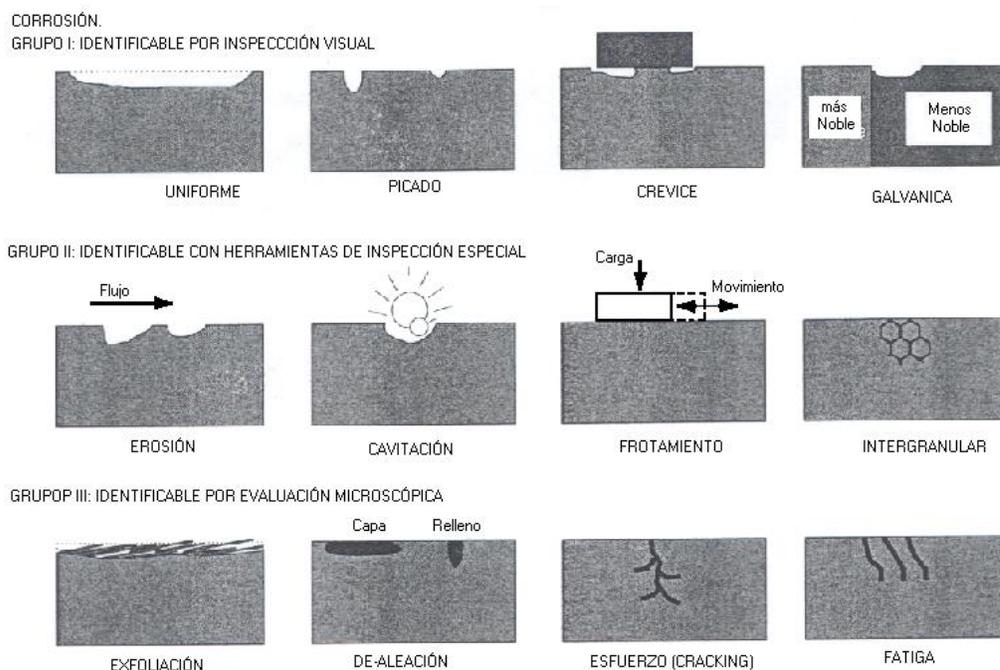


Figura 5. Tipos de corrosión presentes en los materiales metálicos. Fuente J.A González Fernández, "Control de la corrosión estudio y medida por técnicas electroquímicas", Editorial GRAFIPREN, S.A., 1989

Factores que afectan el proceso de la corrosión

La velocidad de corrosión se ve afectada por distintos factores, desde las propiedades fisicoquímicas del medio (pH, potencial REDOX, salinidad, entre otras), como las condiciones de operación (Temperatura, Presión, Condición hidrodinámica, por mencionar algunos). En la figura 6 se muestran los distintos factores que afecta a la velocidad de corrosión [8].

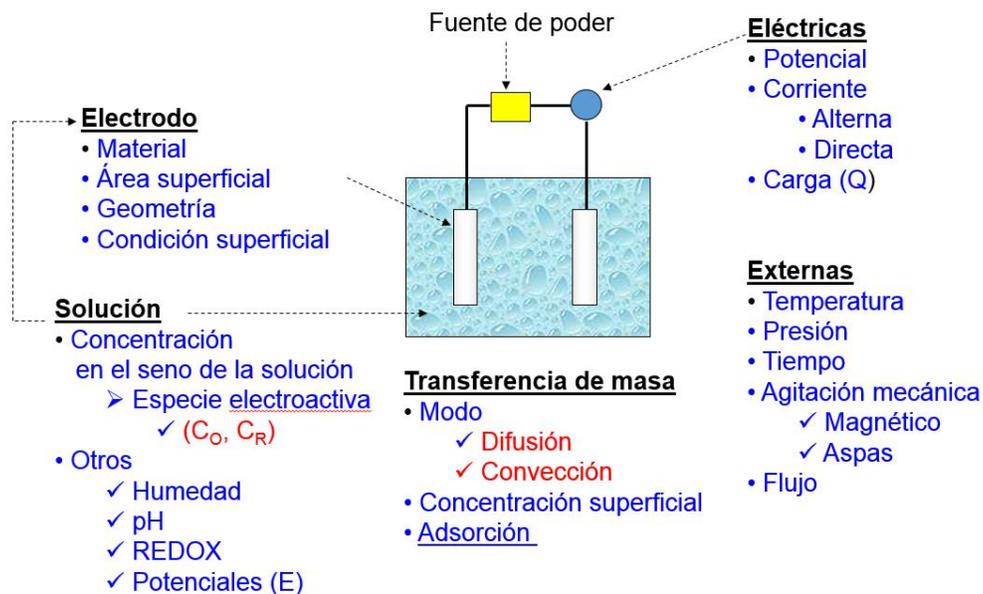


Figura 6. Variables que afectan la velocidad corrosión. Fuente "curso de corrosión interna Modulo 1, L.M Queja Ake, 2017, IMP"

Métodos para estudiar el proceso de corrosión

Existen diferentes métodos para estudiar el proceso de corrosión interna como los equipos especializados (equipo de limpieza y equipo instrumento para la detección de daños por corrosión), los métodos gravimétricos y los métodos electroquímicos los cuales tiene ventajas y desventajas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos para estudiar los procesos de corrosión interna

Método	Ventaja	Desventaja
Equipos Especializados (diablo instrumentado) [9]	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la detección de daños externos e internos • Remueve depósitos en ductos, sedimentos o productos de corrosión. • Ayuda detección de sustancias corrosivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de operación • Rango de aplicación solo se da en ductos lineales (no involucra paso de válvulas). • Las superficies internas de los ductos después de la limpieza son más susceptible a corroerse si no se recubre de manera correcta puesto que habrá superficies renovadas (limpias) para corroerse.
Gravimétrico [10]	<ul style="list-style-type: none"> • Determina la velocidad de corrosión a partir de la pérdida de peso mediante la instalación y retiro de probetas o testigos de corrosión de acero al carbono SAE1018 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un tiempo de exposición de los testigos de corrosión alrededor de 30 días con base a la norma NRF-005-PEMEX.
Electroquímico [11]	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de corrosión interna en tiempos relativamente cortos. • Bajo costo de operación. • Involucran parámetros cinéticos en el cálculo de velocidad de corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de equipos especializados y celdas electroquímicas.

[9] NRF-030-PEMEX-2009: Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios

[11] NACE Standard RP0775-99: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, NACE, international the corrosion society.

Electroquímica

La electroquímica se define como el área de la química que trata la conversión de energía eléctrica y energía química [12]. Otra definición de la electroquímica considera a la electroquímica como la ciencia que estudia las propiedades físico-químicas de los sistemas iónicos, así como los procesos y fenómenos en las superficies de separación interfacial en los que participan partículas cargadas (electrones o iones) [13]. Por lo tanto, la electroquímica es el área de la química que se encarga de estudiar la influencia de los fenómenos eléctricos y químicos de las soluciones de los electrolitos (conductor iónico), sobre las superficies de materiales metálicos, estableciendo una relación entre la acción química y la eléctrica [14].

Existen diferentes aplicaciones de las electroquímicas en diferentes campos de la ciencia, abarcando desde la construcción de celdas electroquímicas hasta la generación de energía. A manera de ejemplo, la figura 7 se muestra algunas de las aplicaciones principales de la misma.

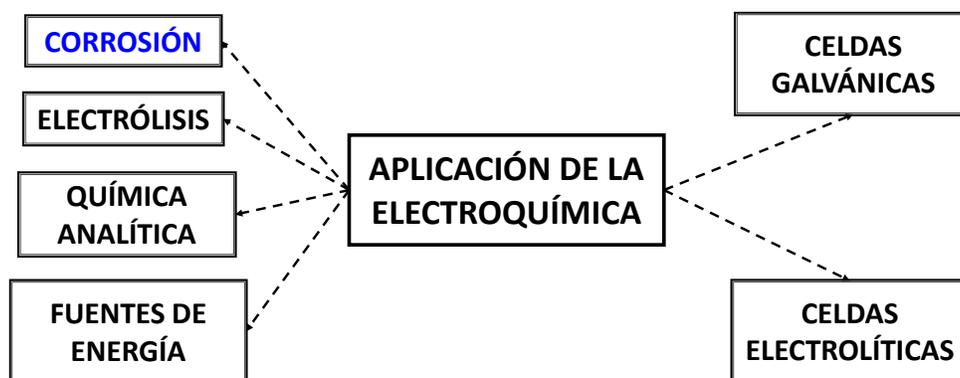


Figura 7. Algunas aplicaciones de la electroquímica. “curso de corrosión interna Modulo 1, L.M Queja Ake, 2017, IMP”

[12] R. Chang, Química, 4ª ed., McGraw-Hill, 1992.

[13] B.B. Damaskin, O.A. Petri, Fundamentos de la electroquímica teórica, Mir Moscú, 1980, pág. 12.

[14] D.L Piron, The electrochemistry of corrosion, NACE International, 1994.

- [12] R. Chang, Química, 4ª ed., McGraw-Hill, 1992.
[13] B.B. Damaskín, O.A. Petri, Fundamentos de la electroquímica teórica, Mir Moscú, 1980, pág. 12.
[14] D.L Piron, The electrochemistry of corrosion, NACE International, 1994.

Técnicas electroquímicas

Las técnicas electroquímicas (T.E.) estudian las reacciones de oxidación y reducción durante las interacciones entre superficies metálicas y un medio; así como la energía (potencial), la materia (especie electroactiva como conductor iónico).

A manera de ejemplo, la figura 8 muestra algunas técnicas electroquímicas más empleadas para el estudio de la velocidad de corrosión [15].

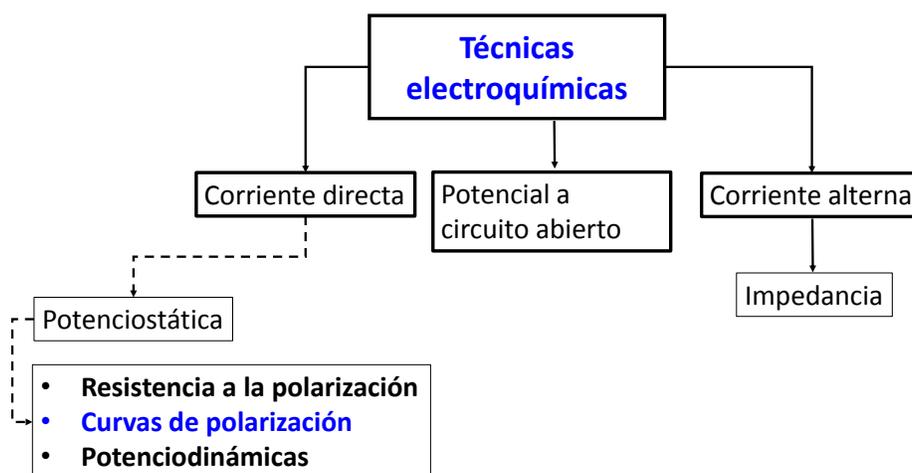


Figura 8. Algunas técnicas electroquímicas empleadas en el análisis de la velocidad de corrosión. Fuente "curso de corrosión interna Modulo 1, L.M Queja Ake, 2017, IMP"

Celdas electroquímicas

Son consideradas como recipientes capaces de alojar dos o más electrodos como conductores electrónicos y un medio electrolítico como conductor iónico [15].

[15] R.D. Port, H.M. Herro, The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, Mc Graw Hill, first edition, 1991

Componentes de una celda electroquímica

Los componentes principales de una celda electroquímica son [16]:

- **Ánodo:** Es el electrodo donde ocurre la oxidación a medida que algunas especies pierden electrones.
- **Cátodo:** Se define como el electrodo donde ocurre la reducción a medida que algunas especies ganan electrones.
- **Conductor iónico:** Normalmente es el electrolito, como una disolución acuosa de una sal, de un ácido o de una base; otras posibilidades incluyen disolventes no acuosos tales como acetonitrilo o metanol (a los que se adiciona un electrolito soporte inerte), junto con sales fundidas, polímeros iónicamente conductores y cerámicas conductoras.
- **Conductor electrónico:** Normalmente es el metal y los cables conductores.

Tipos de celdas electroquímicas

Las celdas electroquímicas se clasifican en dos tipos:

- Las **celdas electrolíticas:** Son aquellas en las que la energía de una fuente externa produce diferentes reacciones electroquímicas (reacciones de oxidación-reducción).
- Las **celdas voltaicas:** Son aquellas que producen energía espontánea sin el uso de una fuente externa [17].

Celdas Especializadas

Son consideradas como recipientes capaces de alojar al menos dos o tres electrodos y un medio electrolítico que trabaja bajo condiciones extremas (altas temperaturas y altas presiones) [18].

[16] K.W. Whitten, R.E. Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley, "Química", Cengage Learning, 10a. Edición, pág. 804-805.

[17] F. Walsh, "Un primer curso de ingeniería electroquímica", Editorial Club Universitario, 2000, pág. 13-15.

[18] J.A González Fernández, "Control de la corrosión estudio y medida por técnicas electroquímicas", Editorial GRAFIPREN, S.A., 1989, pág. 33-35.

Electrodo

La definición de un electrodo se asocia a la inmersión de un material en estudio (sólido) en un medio líquido, semisólido (suelo, plasma) o gaseoso [19].

Los electrodos son buenos conductores electrónicos, presentan poca resistencia al flujo de electrones. Normalmente, los electrodos son metales sólidos o carbón, aunque también es posible utilizar un amplio rango de otros materiales, incluyendo polímeros conductores y cerámicas conductoras. Aunque también pueden ser semiconductores y se considera que conducen a través del movimiento de los huecos electrónicos [18].

Tipos de electrodos

Existen diferentes tipos de electrodos para llevar a cabo pruebas electroquímicas, sin embargo, los electrodos más utilizados a nivel laboratorio son:

- Electrodos de referencia: Se asocia a potenciales (mediciones) termodinámicamente estables que sirve para medir los cambios de voltaje (potencial) entre el metal y el electrolito, uno de ellos se conoce como el electrodo de calomel saturado (SCE, por sus siglas en inglés).
- Electrodos auxiliares (contraelectrodo): Es usado como conductor electrónico inerte (no debe reaccionar y contaminar el medio de estudio) y se considera como conductor electrónico que sirve como fuente-colector de electrones (corriente), su función principal es medir el cambio del valor de la corriente entre el metal y electrolito; algunos de ellos son alambre o malla de platino, barra de grafito, entre otros.

[19] F. Tapia Bernal, "Caracterización de la interfase Acero API-X52/Medio Amargo/Ácido de octadec-9-enoic [2-(2-hidroxi-etilamino)-etil]-amida, Tesis de licenciatura, ESIQIE, Instituto Politécnico Nacional, 2007

- **Electrodos de trabajo:** Es un material metálico (conductor electrónico) utilizado para estudios de las reacciones de oxidación-reducción (redox) en el que se encuentran involucrados diferentes parámetros cinéticos, como potenciales naturales, pendientes de oxidación (pendientes anódicas), pendientes de reducción (pendientes catódicas) y densidades de corrientes de corrosión que permites conocer el fenómeno de corrosión y consecuencias (efectos). Estos parámetros se ven afectados por la diferente geometría y área superficial (área de exposición al medio) que llega a tener el electrodo [1b].

Arreglo de celda experimental para dos electrodos

En el área de la electroquímica se utilizan recipientes de diferentes materiales y diferentes geometrías donde es posible colocar diferentes accesorios que son utilizados como conductores eléctricos o electrónicos, con la finalidad de llevar a cabo el contacto electroquímico de una sustancia con las superficies de al menos dos materiales similares o distintos. Dependiendo de la polaridad, uno de estos materiales es considerado como ánodo cuando en una reacción electroquímica, su signo es positivo (+); mientras que el segundo es considerado como cátodo con signo negativo (-). Es importante describir que, en una celda galvánica, el ánodo es considerado de signo (-), mientras que el cátodo es considerado de signo (+) [15].

Electrodos de Trabajo utilizados en pruebas electroquímicas de laboratorio.

Electrodo de Disco Rotatorio (RDE)

Es el electrodo más utilizado para estudios electroquímicos por métodos hidrodinámicos a nivel laboratorio. Los RDE se utilizan para atraer especies electrolíticas hacia la superficie del metal en forma circunferencial. Este tipo de electrodo normalmente tiene un área de contacto de 0.5cm² y se acopla con un cilindro de material aislante (porta-muestra de vidrio, resina epoxy, plástico o teflón). Es importante mencionar que, para evitar la filtración de solución a través de las paredes del cupón, es necesario adicionar una resina polimérica en los bordes del electrodo [20].

[15] R.D. Port, H.M. Herro, The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, Mc Graw Hill, first edition, 1991

[20] J. González Velasco, "Métodos experimentales en electroquímica: volumen III", Cultiva Libros S.L, 1era edición, 2012, Pág. 11-12.

La resina se utiliza de acuerdo a las siguientes proporciones: por cada 100mL de polímero se adicionan 50 gotas de catalizador (endurecedor). Otra manera es: de 10mL de polímero adicionar 5 gotas de endurecedor. Dejar curar durante 24 horas o secar a 50°C y 20 minutos utilizando un horno.

Electrodo de Cilindro Rotatorio (RCE)

Consiste en una unidad giratoria accionada por un motor que está unido a un porta-muestra. La geometría del cilindro generalmente se define en términos de relación longitud-diámetro; las relaciones se encuentran entre 0.3 y 3.0. En muchos diseños, se usan dos electrodos a nivel laboratorio, un electrodo interno (giratorio) y externo (estacionario). El electrodo externo es generalmente el contra-electrodo. La distribución de corriente (transferencia de masa) es uniforme si el electrodo y los planos de aislamiento eléctrico están en ángulo recto. Si los electrodos no están colocados de esta manera, la distribución actual no es uniforme. Además, en este tipo de electrodos las especies son atraídas en la superficie del metal en forma tangencial [21].

Electrodo de la Caja Giratoria (RC)

Estos electrodos son utilizados para evaluar la eficiencia de inhibidores de corrosión en condiciones hidrodinámicas severas mediante el uso del equipo Rotating Cage o caja giratoria a nivel laboratorio. Se requiere por lo general 8 electros de trabajo cuyas medidas son: 75 mm de longitud, 19 mm de ancho y 3 mm de grosor y un área de superficie de aproximadamente 34.14 cm² [22].

Electrodo para pruebas de herrumbre

En este caso, estos electrodos son utilizados para evaluar la eficiencia de inhibidores de corrosión en condiciones hidrodinámicas severas mediante el uso de testigos de corrosión o herrumbre a nivel laboratorio. Se requiere por lo general 8 electros de trabajo cuyas medidas son: alrededor de 5.8 cm de longitud, 1.2 cm de diámetro exterior y 1 cm de forma cónica,

[21] ASTM G185- 06(2016): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using the Rotating Cylinder Electrode.

[22] ASTM G184 (2006): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage, ASTM, West Conshohocken, PA.

[23] NACE TM0172-2015-SG Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines, NACE, international the corrosion society,2015.

acoplado a una salida de un área de superficie de aproximadamente 22.5 cm² [23].

[21] ASTM G185- 06(2016): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using the Rotating Cylinder Electrode.

[22] ASTM G184 (2006): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage, ASTM, West Conshohocken, PA.

[23] NACE TM0172-2015-SG Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines, NACE, international the corrosion society,2015.

Tipos de aceros de ductos que transportan petróleo crudo

Los ductos diseñados para el transporte de hidrocarburos (poliductos y oleoductos, gasoductos, amoniacoductos) están contruidos de acero de bajo carbono, los que se encuentran en contacto con diferentes parámetros que afectan el proceso de corrosión interna. De acuerdo a las características fisicoquímicas de los crudos mexicanos, los problemas en los ductos que transportan estos aceites crudos se presentan de manera general de corrosión por picaduras que podrían atribuirse a los cambios de temperatura y presión [24].

Cupones

Los cupones de corrosión (testigos de corrosión o probetas) consisten en la exposición de una pequeña muestra del metal (el cupón) a un ambiente de interés durante un período de tiempo determinado con el fin de determinar la reacción del metal en el medio ambiente. Los cupones de corrosión se usan para estudiar la susceptibilidad a la corrosión de los mismos en contacto con varios sistemas; monitorear la efectividad de los programas de mitigación de corrosión y para evaluar nuevos materiales. Los cupones pueden analizarse en campo y/o laboratorio [11].

Probetas utilizadas en campo.

Las probetas o testigos de corrosión utilizados en campos son generalmente aceros al carbón SAE-1018 o SAE-1010. Las formas geométricas de este tipo de electrodo son:

- Cupones circulares (tipo arandela): Se ajusta entre un par de bridas de junta anular, depende del tamaño y tipo de brida en la que se va a instalar el cupón circular.
- Cupones de tipo anillo: Para uso en juntas de herramientas de tubería de perforación [1b].

[24] L.M. Quej A., A. Contreras, H.B. Liu, J.L. Alamilla, E. Sosa "The Effect of the Hydrodynamic and Temperature on Corrosion Rate of API Steels Exposed to Oilfield Produced Water", Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 65 (2018),

Probetas utilizadas en laboratorio

Los cupones generalmente están hechos de 0.1 a 0.2% de acero al carbono. Los metales utilizados en las probetas deberían ser idénticos a los del sistema, pero también pueden incluir metales y aleaciones que se están considerando para su uso en el sistema de ductos.

Se prefiere una muestra de prueba rectangular o circular para las pruebas de corrosión en el laboratorio, su tamaño y dimensión se determinarán mediante el recipiente de prueba utilizado y el volumen de la solución de prueba. Típicamente, se prefieren probetas rectangulares de 20 mm por 50 mm (0,75 pulgadas por 2 pulgadas) con un grosor de 1,6 a 4,8 mm (0,063 a 19 pulgadas), con o sin orificio. Si se usan muestras circulares, se cortarán de hoja o placa, no en forma de barras, para minimizar el grano final expuesto (a menos que la intención sea evaluar o evaluar el contenido en barras) [25].

Preparación de probetas de materiales metálicos para pruebas de corrosión

Las probetas deberán presentar una superficie libre de grasas, polvo u óxidos, por lo que deberá pulirse con lija y limpiarse con acetona o algún derivado ligero de hidrocarburo, antes de las pruebas [26].

Desbaste Mecánico usando diferentes tipos de lijas

Consiste en eliminar las capas distorsionadas de una probeta de metal para obtener una superficie plana y homogénea mediante el uso de diferentes números de lijas; de modo que, las primeras sean de grano grueso y las últimas de grano fino [27].

[25] NACE TM0169: Laboratory Corrosion Testing of Metals, NACE, international the corrosion society, 2000

[26] ASTM G170-01a. (2001), Guide for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors in the Laboratory, ASTM, West Conshohocken, PA.

[27] F.R. Morral, E. Jimeno, P. Molera, "Metalurgia general: Volumen II", Reverté, S.A., 2004, pág. 698.

Desbaste Mecánico usando un motor monofásico

En este caso, el desbaste consiste en colocar el testigo de corrosión al porta-electrodo acoplado al motor monofásico de tal manera que quede fijo. Asegurando la probeta como se muestra en la figura 9 inciso a). Después se asegura la probeta del portaelectrodo; luego, encender el motor monofásico. El inicio del proceso de desbaste mecánico mediante el uso de diferentes lijas se muestra en la figura 13 inciso b). Es importante sostener la lija, de tal manera que permita un lijado homogéneo. Además, para realizar el desbaste en la parte cónica es necesario colocar la lija en un ángulo de 30°. Posteriormente, se procede a limpiar el electrodo con acetona.



Figura 9. a) Motor monofásico acoplado a un porta-electrodo cilíndrico. b) Proceso de desbaste de un electrodo cilíndrico. Fuente propia.

Limpieza de superficies corroídas

Los métodos de limpieza de superficie corroídas se pueden dividir en tres categorías generales: mecánica, química y electrolítica.

- **Limpieza mecánica:** Incluye el desbaste mecánico, raspado, cepillado, choque mecánico (limpieza con corro de arena a alta presión) y procedimientos ultrasónicos (uso de baños de

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. (1-34)

[28] ASTM G1 (2003): Guide for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test specimens, ASTM, West Conshohocken, PA

ultrasonidos). Frotar con un cepillo de cerdas y un abrasivo suave es el más popular de estos métodos. Los otros se usan principalmente como un suplemento para eliminar los productos de corrosión fuertemente incrustados antes de fregar. Se debe tener cuidado para evitar la eliminación de metales sanos.

- **Limpieza química:** Implican la inmersión de la muestra en una solución específica (ácidos inhibidos) que está diseñada para eliminar los productos de corrosión con una disolución mínima del metal. Los ácidos inhibidos, se eligen para la limpieza de un material específico mediante la norma ASTM G1-03. La limpieza química es precedida por un ligero cepillado (cerdas no metálicas) o limpieza sónica para eliminar productos de corrosión sueltos y voluminosos. Posterior a la limpieza química se realiza un cepillado ligero o limpieza ultrasónica en agua desionizada para eliminar los productos sueltos.
- **Limpieza electrolítica:** Comúnmente conocida como el proceso de electrolisis que eliminar los productos de corrosión poco adheridos, esto ayudará a minimizar cualquier redeposición. Se deben tomar precauciones para asegurar un buen contacto eléctrico con la muestra, para evitar la contaminación de la solución con iones metálicos fácilmente reducibles y para garantizar que no se haya producido la descomposición del inhibidor [28].

Condiciones hidrodinámicas

Nivel campo

Es necesario conocer el tipo de flujo del ducto, si es laminar o turbulento, continuo o intermitente, la temperatura, presión, volumen, pH, control de calidad del energético transportado, topografía del terreno y perfil del ducto, ubicación precisa de las instalaciones superficiales y subterráneas, composición del fluido, dimensiones del ducto y cualquier otra información relacionada con la instalación.

Generalmente los sistemas de transporte presentan operación que pueden variar debido a demandas de producto, reparaciones y limitaciones condiciones de operación del ducto, por lo cual la mayoría de los sistemas de transporte por ducto, se consideran como sistemas dinámicos [10].

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. (1-34)

[28] ASTM G1 (2003): Guide for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test specimens, ASTM, West Conshohocken, PA

Condiciones hidrodinámicas alcanzadas en laboratorio por cupones

Electrodo de disco rotatorio

Las velocidades de rotación máximas que pueden alcanzar son de alrededor de 5000 rpm, por lo que, pese a la posible rugosidad de su superficie, se puede asegurar que siempre se trabaja en régimen laminar [20].

Electrodo de cilindro rotatorio

En este tipo de sistemas el rango de velocidades de rotación es de 100 a 10 000 rpm con una precisión de ± 2 rpm. Es esencial poder rotar el electrodo a velocidades bajas y altas y poder medir la velocidad y mantenerla constante [21].

Caja giratoria

Para trabajos experimentales de la rueda giratoria (RC) las velocidades de rotación máximas que suele alcanzar son de 1000 rpm y temperaturas de hasta 70 °C [22].

Formas de mitigar el proceso de corrosión interna

El proceso de corrosión interna puede ser controlado mediante el uso de aditivos (formulaciones) o moléculas (activos) que evitan el contacto directo entre especies corrosivas (electrolitos) del conductor iónico con los sitios activos (zonas susceptibles a la corrosión [10].

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. (1-34)

[20] J. González Velasco, "Métodos experimentales en electroquímica: volumen III", Cultiva Libros S.L, 1era edición, 2012, Pág. 11-12.

[21] ASTM G185- 06(2016): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using the Rotating Cylinder Electrode.

[22] ASTM G184 (2006): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage, ASTM, West Conshohocken, PA.

Inhibidores

Un inhibidor es un compuesto químico o de formulación, ya sea orgánico o inorgánico, que se adiciona al fluido transportado en concentraciones adecuadas para controlar o reducir la corrosión [29].

Tipos de inhibidores

Existen varias formas de clasificar los inhibidores de corrosión, la más aceptada se atribuye a su mecanismo de acción. Esta clasificación comprende a los inhibidores pasivadores, convertidores de película, inhibidores de adsorción ó filmicos, neutralizantes, secuestrantes, biocidas, entre otros. Los primeros tres grupos son los más numerosos y corresponden a compuestos que pueden formar barreras entre el metal y el medio agresivo, mientras que los secuestradores y neutralizadores actúan sobre el medio, eliminado agentes agresivos, tales como el ion hidrógeno o el oxígeno disuelto entre otros.

Para la protección interior de ductos, la familia de inhibidores más utilizada es la de los inhibidores que actúan por adsorción o filmicos. Este tipo de compuestos se adsorben sobre la superficie del metal formando películas delgadas que resultan de la atracción física o química entre el compuesto y la superficie del metal. Su nivel de protección depende tanto de su concentración, que conduzca a una cobertura de la superficie, como de la fuerza de atracción entre el metal y el compuesto. Las barreras de inhibidor formadas son hidrofóbicas, las cuales rechazan la fase acuosa que contiene las especies corrosivas [10].

Velocidad de corrosión

Además, del análisis de la inhibición a la corrosión de los materiales metálicos (validación), una manera estudiar la pérdida del espesor de pared de los mismos es mediante el cálculo de las velocidades de corrosión (VC). Las que pueden determinarse mediante métodos gravimétricos y electroquímicos [30].

[29] ASTM G170-01a. (2001), Guide for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors in the Laboratory, ASTM, West Conshohocken, PA.

[30] NACE Internal Corrosion for pipelines – advance course manual, NACE, international the corrosion society, 2011, (1-48).

Cálculo de la velocidad de corrosión mediante el método electroquímico de impedancia

Se trata de una técnica cuantitativa de corriente alterna que comenzó a aplicarse en los años 70, permitiendo cubrir un rango de frecuencias muy amplio. Se basa en la aplicación de una perturbación sinusoidal de pequeña amplitud sobre el potencial del electrodo de trabajo. Es una técnica no destructiva cuando se trabaja en condiciones de equilibrio, muy sensible a pequeños cambios en el sistema, permitiendo la caracterización de sus propiedades.

A cada frecuencia aplicada se recoge una respuesta de corriente de onda sinusoidal, diferente al aplicado. Al conocerse el potencial aplicado y la respuesta de corriente del sistema, se puede determinar la impedancia que presenta [31].

$$V = E_0 \text{ sen } (\omega \times t) \quad \text{ecuación 2.1}$$

Donde E_0 es la amplitud máxima, ω es la velocidad angular y t es el tiempo.

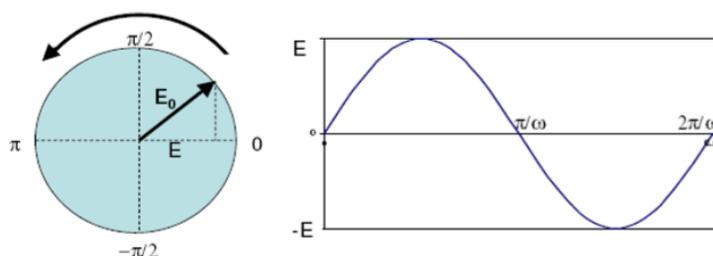


Figura 10. onda sinusoidal de impedancia. Fuente: P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Del mismo modo, la intensidad de corriente, representada en la figura 7, que atraviesa el sistema se relaciona con el potencial a través de la siguiente expresión [31]:

$$i = I \text{ sen } (\omega t + \Phi) \quad \text{ecuación 2.2}$$

[31] P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Donde Φ es el desfase.

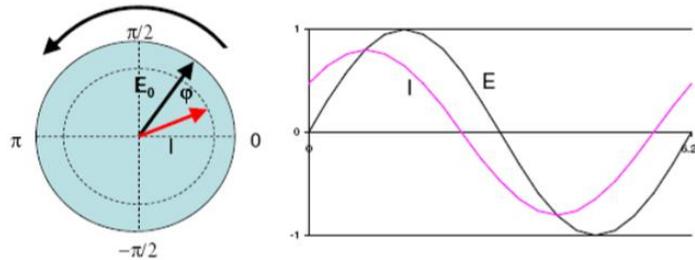


Figura 11. Onda sinusoidal de potencia e intensidad. Fuente P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Al cumplirse la Ley de Ohm, tenemos:

$$i = E_0 / R \text{ sen } (\omega t) \quad \text{ecuación 2.3}$$

La respuesta a un potencial, en un circuito simple con resistencia pura R, puede ser descrita por la ley de Ohm. En impedancia, corresponde a una situación donde el ángulo de fase es igual a cero ($\Phi = 0$). Desarrollando la expresión obtenemos que

$$I = E_0 / R \quad \text{ecuación 2.4}$$

Al variar la frecuencia de una señal sinusoidal, la corriente circula por la interfase. Análogamente a un circuito eléctrico, el flujo de corriente pasa a través de los diferentes componentes obteniéndose una respuesta en impedancia (Z), que se define como la oposición al paso de la señal eléctrica.

[31] P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Siguiendo con la analogía con un circuito de corriente continua, donde la resistencia (R) es igual al cociente entre el potencial y la intensidad, obtenemos la siguiente expresión para corriente alterna [31]:

$$Z = E / I \quad \text{ecuación 2.5}$$

Donde el potencial (E) y la intensidad (I) estarán en función de la frecuencia. La impedancia (Z) depende de la frecuencia que sea aplicada. Un listado de este parámetro a diferentes frecuencias, constituye el espectro de impedancia.

Una vez aplicada la técnica, la representación gráfica de los resultados obtenidos nos aporta información sobre el comportamiento del sistema. La impedancia (Z) se puede representar en función de su componente real e imaginaria. Como podemos ver en la figura 9 [ibí].

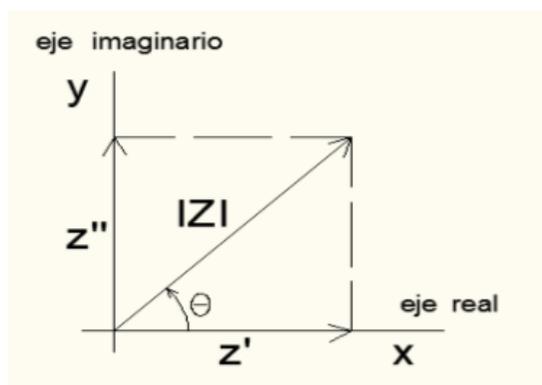


Figura 12. Descomposición vectorial de la impedancia. Fuente: P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Podemos descomponer los componentes del vector y el ángulo según las siguientes expresiones [31]:

$$\Theta = \tan^{-1} (Z' / Z'') \quad \text{ecuación 2.6}$$

$$|Z| = [(Z')^2 + (Z'')^2]^{1/2} \quad \text{ecuación 2.7}$$

[31] P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

Cálculo de la velocidad de corrosión mediante el método gravimétrico

Para calcular el valor de la velocidad de corrosión (o la disminución del espesor de pared de un material metálico) mediante el método gravimétrico. Un cupón (testigo de corrosión, electrodo de trabajo, probeta, muestra de material metálico) es utilizado y cuidadosamente limpiado y, pesado (peso inicial). Popularmente, en la industria del petróleo, el cupón es expuesto durante un período de 30 días, tanto para la evaluación en blanco (línea de referencia) y la evaluación con inhibidor (línea de validación) a diferentes condiciones (temperatura, presión, condiciones hidrodinámicas, tiempo de exposición, concentración de inhibidor, sitios de muestreo, entre otros). Después de la exposición, el cupón es limpiado y pesado. El peso final del cupón es comparado con el peso inicial cuando fue instalado (pérdida de masa o diferencia) [10]. Por lo que el valor de la velocidad de corrosión es calculado mediante la siguiente ecuación 2.8, recomendada por la norma NACE RP0775[32].

$$\text{Velocidad de Corrosión} = \frac{(\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}) \times \text{Factor}}{\text{Área} \times \text{Densidad} \times \text{Tiempo de exposición}} \quad \text{ecuación 2.8}$$

En la tabla 2, se muestran los parámetros utilizados para la determinación de la velocidad de corrosión mediante pérdida de peso.

Tabla 2. Parámetros utilizados para el cálculo de la velocidad de corrosión por pérdida de peso.

Variable	Unidades de SI	Unidades Imperiales
Velocidad de corrosión	de Milímetros por año (mm/año)	Milésimas de pulgadas por año (mpa)
Peso	Gramos (g)	Gramos (g)
Tiempo de Exposición	Días (d)	Días (d)
Área	Milímetros cuadrados (mm ²)	Pulgadas cuadradas (in ²)
Factor	36,5000	22,300

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. (1-34)

[32] NACE Standard RP0775-99: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, NACE, international the corrosion society.

Es importante mencionar que los valores de la velocidad de corrosión deben ser comparadas con los límites permisibles de la velocidad de corrosión (especificaciones) recomendada por la norma NACE RP0775 [32].

Tabla 3. Clasificación de velocidades de corrosión de aceros al carbón de la norma NACE RP0775.

	VC promedio		VC máxima por picadura	
	mm/año	mpa	mm/año	mpa
Baja	< 0.025	< 1.0	< 0.13	< 5.0
Moderada	0.025 – 0.12	1.0 – 4.9	0.13 – 0.20	5.0 – 7.9
Alta	0.13 – 0.25	5.0 – 10	0.21 – 0.38	8.0 – 15
Severa	> 0.25	> 10	> 0.38	> 15

Criterio de Aceptación

En la industria del petróleo, se recomienda los valores de la velocidad de corrosión sean menores a 2 mpa cuando se estudian inhibidores de corrosión [10].

[10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. (1-34)

[32] NACE Standard RP0775-99: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, NACE, international the corrosion society.

CAPITULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Desbaste mecánico de aceros de ducto (cupones de 0.5 cm² de área) mediante el uso de diferentes tipos de lijas (desbaste mecánico).

Se llevó a cabo el desbaste mecánico de superficies de materiales metálicos para alcanzar una superficie plana y homogénea mediante el uso de diferentes números de lijas; de modo que, las primeras sean de grano grueso y las últimas de grano fino. Las lijas utilizadas para el desbaste mecánico de los cupones a analizar fueron del número 150, 240 y 600.

PROCEDIMIENTO:

1. Cortar cada número de lija en piezas de 5cm de ancho x 15 cm de largo.
2. Colocar la piza de la lija más gruesa (numero 150) sobre una superficie plana (un pedazo de vidrio, una placa: plástico o acero).
3. Humedecer la lija 150.
4. Iniciar el proceso de desbaste mecánico con la lija número 150.
 - a. Procurar que el desbaste en los cupones sea uniforme aplicando siempre la misma fuerza.
 - b. Cambiar en intervalos de tiempo la dirección del desbaste en el sentido donde todavía no se logre homogenizar.
 - c. Observar constantemente el desbaste para poder ver la homogeneidad.
5. Repetir los pasos 2 a 4 para la lija de numero 240 (para obtener un acabado medio del cupón).
6. Repetir los pasos 2 a 4 para la lija de numero 600 (para obtener un acabado fino del cupón).
7. Lavar el cupón con agua destilada con el fin de eliminar residuos.
8. Limpiar y secar el cupón (si no se seca bien los cupones se empezarán a oxidar).

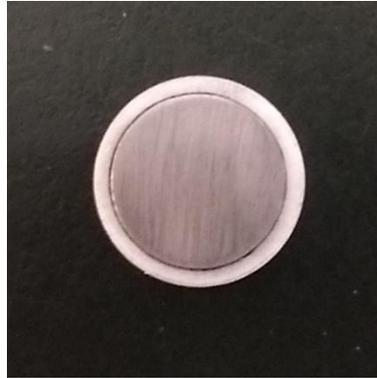


Figura 13. Imagen de una superficie plana y homogénea utilizando las lijas 150, 240 y 600. Fuente: elaboración propia

NOTA: Las superficies internas de los ductos que transportan hidrocarburo, tienen rugosidades mucho más gruesas que la utilizada para estudios electroquímicos a nivel laboratorio. Como se observa en la figura, además del efecto de la rugosidad, la superficie interna del ducto contiene productos de corrosión de diferente naturaleza y zonas afectadas por la soldadura circular. Si a estas superficies se les lleva a cabo estudios electroquímicos para determinar la velocidad de corrosión interna se obtendrán datos relacionados con la velocidad de corrosión que incluye los productos de corrosión (óxidos) y no la interacción entre el metal del ducto y la solución electrolítica (medio corrosivo). Este último frecuentemente se utiliza para estudio de crecimientos de óxidos y crecimiento de depósitos.



Figura 14. Imagen de la superficie interna de un ducto. Fuente: elaboración propia

3.2 Desbaste mecánico de testigos de corrosión de 22.5 cm² de área, mediante el uso de un motor monofásico.

Se llevo a cabo el desbaste mecánico de superficies del testigo de corrosión para pruebas de herrumbre (NACE-TM-0172) para alcanzar una superficie plana y homogénea. Las lijas utilizadas para el desbaste mecánico del cupón a analizar fueron del número 150, 240 y 600. Además, se utilizó motor monofásico acoplado a un porta-electrodo para realizar pruebas de herrumbre y electrodos cilíndricos. El montaje del sistema se puede observar en la figura 15.

PROCEDIMIENTOS:

1. Colocar el testigo de corrosión al porta-electrodo acoplado al motor monofásico de tal manera que quede fijo. Asegurar la probeta como se muestra en de la figura.
2. Después de asegurar la probeta del porta-electrodo proceder a encender el motor monofásico.
3. Iniciar el proceso de desbaste mecánico utilizando la lija número 600 como se muestra en de la figura.
 - a) Usar guantes, lentes y bata como medidas de protección.
 - b) Sostener la lija de tal manera que permita un lijado homogéneo.
 - c) Para realizar el desbaste en la parte cónica es necesario colocar la lija en un ángulo de 30°.
 - d) Devastar uniformemente el cilindro.
4. Limpiar el electrodo cilindro los restos de lija que puedan quedar en la superficie.
5. Aguardar el electrodo de cilindro para evitar su oxidación.



Figura 15. a) Motor monofásico acoplado a un porta-electrodo cilíndrico, b) Proceso de desbaste de un electrodo cilíndrico. Fuente: elaboración propia

3.3 Curado de cupones usando resina epóxica y catalizador.

Para evitar la filtración de la salmuera a través de las paredes de los cupones de disco rotatorio se realizó el curado del cupón mediante el uso de una resina polimérica. De esta forma solamente se encontrará en contacto un área determinada de aproximadamente 0.5 cm^2 .

PROCEDIMIENTOS:

1. Retirar el cilindro metálico (cupón metálico) del Teflón
2. Limpiar mecánicamente toda la superficie del cupón metálico
3. Utilizar la resina epoxica de acuerdo a las siguientes proporciones por cada 100mL de polímero se adicionan 50 gotas de catalizador (endurecedor) o bien de 10mL de polímero adicionar 5 gotas de endurecedor.
4. Coloca la resina epoxica alrededor del cupón metálico
5. Empotrar el cilindro metálico (cupón metálico) en el cilindro de Teflón (material aislante).
6. Dejar curar durante 24 horas o secar a 50°C y 20 minutos utilizando un horno.

3.4 Conocimiento preliminar del equipo especializado para llevar a cabo estudios a temperatura y presión elevada: Equipo PARR.

El equipo Auto PARR es una celda electroquímica especializada para realizar pruebas de velocidad de corrosión a altas temperaturas y altas presiones (HT/HP) puesto que sus condiciones de máximas de operación son de 500°C y 345 bar (5000 psi o 34.5 MPa) como se muestra en la figura 16. Las características de este equipo especializados son: recipiente para alojar un volumen de 7.5 L que contiene puertos de entrada y salida de la solución electrolítica y gas un dispositivo de calentamiento (de manta, placa caliente o baño), un controlador de velocidad de rotación, un rotor (varilla como eje de rotación), un motor, un regulador de temperatura y un soporte para las muestras (portaelectrodos). El recipiente utilizado tiene 15 cm de diámetro y está fabricado de un material inerte como acrílico o politetrafluoroetileno. El dispositivo portaelectrodo, está diseñado para alojar al menos 8 cupones de 7.5cm x 1.9cm x 0.3cm con un área de alrededor de 34.14cm². Además, el recipiente portaelectrodo contiene dos discos de politetrafluoroetileno de 8cm de diámetro para soportar los 8 cupones.



Figura 16. Celda especializada Equipo PARR. Fuente: elaboración propia

Se identificaron las partes fundamentales del equipo PARR las cuales se mencionarán a continuación

- Cuerpo del Reactor:

Está formado por dos partes: el portamuestra hecho de teflón y cuerpo exterior de acero inoxidable 316.

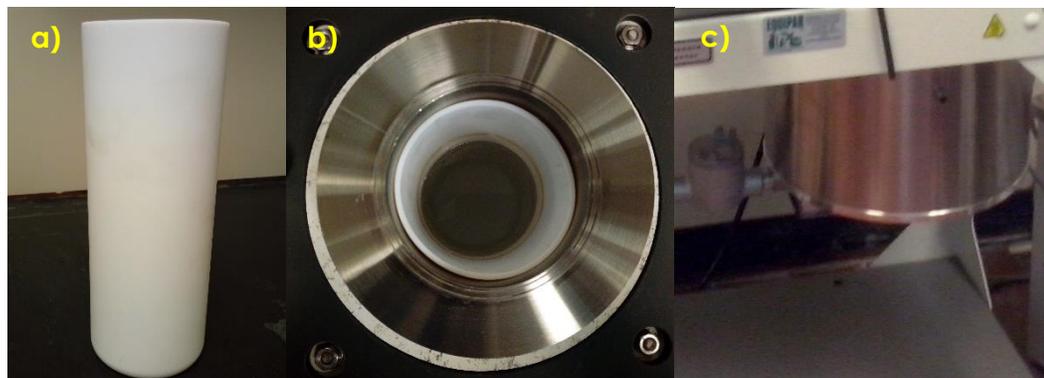


Figura 17. Cuerpo del Reactor a) porta-muestra de teflón, b) cuerpo exterior de reactor con el porta-muestra vista superior, c) vista exterior del reactor del Equipo PARR. Fuente: elaboración propia

- Cabezal del Reactor

En esta sección se encuentra la parte instrumental del equipo como se muestra en la figura 18. En esta sección se encuentra el manómetro, el portamuestra, porta electrodo válvula de seguridad, además de eje de rotor



Figura 18. Cabezal del reactor. a) parte exterior del cabezal y b) parte interior del cabezal. Fuente: elaboración propia

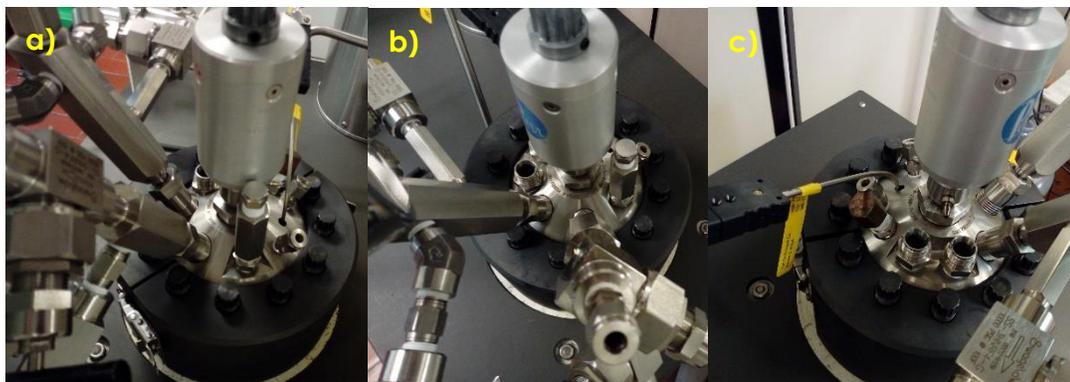


Figura 19. a) parte trasera del cabezal, b) parte del costado derecho del cabezal y c) parte del costado izquierdo del cabezal. Fuente: elaboración propia

- Portaelectrodos

El portaelectrodos fue diseñado con la finalidad de poder empotrar los electrodos de trabajo y tener un contacto eléctrico como se muestra en la figura 20.

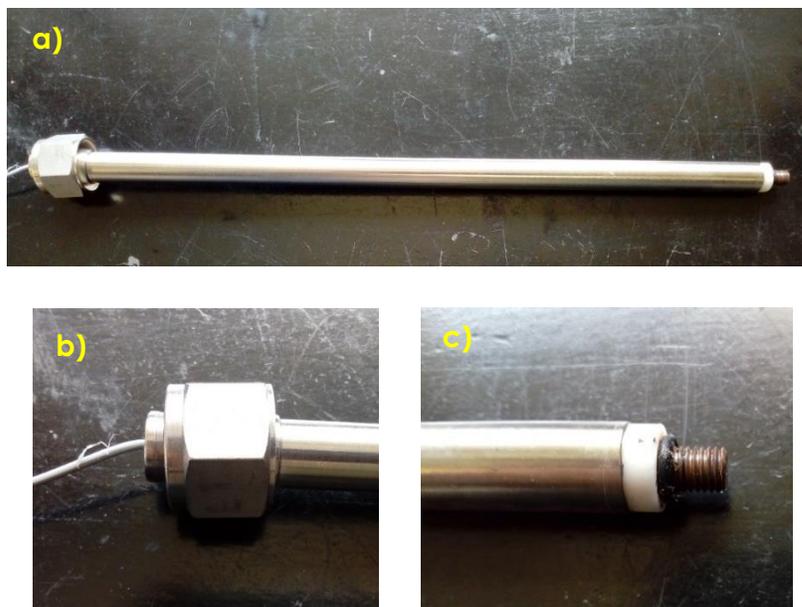


Figura 20. a) porta electrodos utilizados, b) parte eléctrica del electrodo y c) parte inferior del electrodo donde se empotra las muestras. Fuente: elaboración propia

- Electrodo
Debido a que el arreglo experimental fue de dos electrodos se utilizó electrodos de cilindro rotatorio de acero al carbono X52 como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Electrodo de cilindro rotatorio utilizados en las pruebas electroquímicas. Fuente: elaboración propia

- Panel de Control
En esta sección es donde se opera el equipo PARR como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Panel de control del equipo PARR. Fuente: elaboración propia

- Bidas
Las bidas de seguridad que utiliza el equipo PARR son bidas bipartidas para un mejor aseguramiento como se muestra en la figura 23.

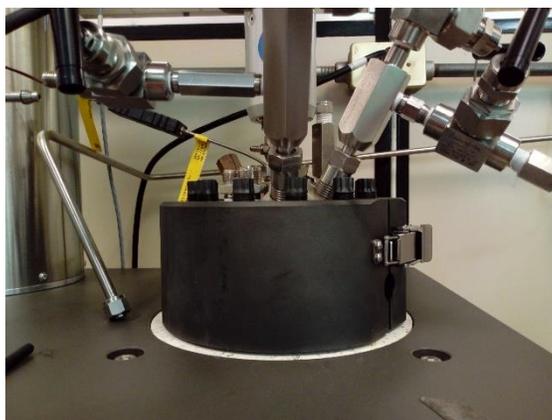


Figura 23. Bidas bipartidas utilizadas en el equipo PARR. Fuente: elaboración propia

3.5 Conocimiento preliminar y operación de Potenciostato-Galvanostato Gill-AC para la obtención de pruebas de impedancia.

Se conoció la manera correcta de operar software “sequenser” del Potenciostato-Galvanostato Gill-Ac para la obtención de pruebas electroquímica de impedancia.

PROCEDIMIENTO: Metodología para el uso del software “sequenser”

1. Proceder a abrir el software “sequenser” para las pruebas electroquímicas
2. Seleccionar AC impedancia.
3. Editar los parámetros establecidos para la prueba electroquímica: 10kHz a 1Hz, 10mV de perturbación y 42 puntos.
4. Editar el área del electrodo de trabajo.
5. Editar el tipo de material a usar (mild Steel).
6. Crear una carpeta para que sean guardados los datos experimentales colocando el nombre del experimento.
7. Una vez alcanzada la temperatura a estudiar en el equipo PARR proceder a correr el programa “sequenser”.

3.6 Operación del equipo especializado para llevar estudios de corrosión de un acero de ducto expuesto en una salmuera de temperatura y presión elevada: Equipo PARR.

Con la finalidad de realizar estudios electroquímicos del acero de ducto X52, se procedió a realizar pruebas electropuesto en una salmuera con alta temperatura mediante el uso del equipo PARR.

Se realizaron diferentes pruebas electroquímicas con el equipo PARR a diferentes temperaturas de operación las cuales fueron a °C

Se realizaron diferentes pruebas electroquímicas con el equipo PARR en diferentes tiempos de exposición los cuales fueron tiempo 1 hr, 3 hr, 6 hr.

Con el objetivo de observar como la condición hidrodinámica de la salmuera influye en el estudio electroquímico de la impedancia.

Se realizaron diferentes pruebas electroquímicas con el equipo PARR con dos condiciones hidrodinámicas las cuales fueron a 0 rpm y a 600 rpm.

MATERIALES Y EQUIPO:

- Salmuera (NaCl 3.5%)
- Electrodo de trabajo (acero X52)
- Electrodo de Referencia (electrodo de calomel)
- Equipo PARR
- Potenciostato-Galvanostato Gill-Ac
- Equipo de cómputo
- Sellador-aislante especial (scotchfil).

PROCEDIMIENTO: Metodología para el manejo y uso del equipo PARR con temperatura constante.

1. Asegurar que los equipos se encuentren debidamente conectados a la fuente de corriente eléctrica.
2. Encender el panel de control del equipo PARR, el Potenciostato-Galvanostato y el equipo de cómputo.
3. Fijar la temperatura deseada en el set-point ubicado en el panel de control: utilizando el botón de incremento de temperatura y luego dar clic en "set up".
4. Retirar el sello ubicado en la brida bipartida. La brida se ubica en el cabezal del reactor.

5. Retirar los tornillos que se encuentran en la brida bipartida.
6. Retirar las bridas bipartidas.
7. Retirar el termopar alojado en el termo-pozo.
8. Retirar el cuerpo del reactor (cabezal) y colocarlo en el soporte especial.
9. Retirar el porta-muestra alojada en el recipiente de calentamiento del reactor PARR.
10. Instalar los electrodos en los porta-electrodos correspondientes incluyendo un sellador tipo anillo (O´ring de un polímero resistente a altas temperaturas).
11. Cortar 0.3 cm x 5cm de un sellador-aislante especial (scotchfil).
12. Colocar el sellador-aislante especial en el borde del sellador tipo anillo, con la finalidad de evitar alguna filtración de la solución entre la interface del porta-electrodo y el electrodo de trabajo.
13. Colocar 900 ml de solución (NaCl 3.5%) en el recipiente (porta-muestra) de Teflón.
14. Alojarse el porta-muestra con la solución en el interior del recipiente de calentamiento del reactor.
15. Colocar el cabezal al cuerpo del reactor.
16. Colocar el sello de seguridad de la brida bipartida.
17. Colocar cada tornillo de la vida bipartida hasta alcanzar el torque recomendado por el fabricante (35 pie-lb) utilizando un torquímetro especial (recomendado por el fabricante). Nota. Los tornillos deben sellarse en forma entrecruzada.
18. Colocar el termopar en el termo-pozo.
19. Por seguridad se debe inspeccionar todos los sellos del reactor.
20. Conectar los cables de los electrodos con las terminales correspondientes del potencióstato, se consideró el arreglo eléctrico tipo capacitor, la terminal del electrodo de trabajo del Potencióstato-Galvanostato es conectado al electrodo del acero X52 y las terminales de los electrodos de referencia y auxiliar del Potencióstato -Galvanostato son conectados en el segundo electrodo del acero X52
21. Realizar las pruebas electroquímicas

Metodología para el retiro de los electrodos y muestra del Equipo PARR

1. Utilizando los botones de disminución de temperatura, bajar a 15 unidades de temperatura y luego dar clic en "set up".
2. Apagar el panel de control del reactor PARR.

3. Apagar equipos auxiliares: Potenciostato-Galvanostato y computadora.
4. Desconectar y retirar los cables del Potenciostato-Galvanostato de la conexión eléctrica de los electrodos de trabajo (alambre de Ni).
5. Retirar el termopar ubicado en el termo-pozo.
6. Retirar el seguro de las abrazaderas ubicada en la brida bipartida.
7. Utilizar un torquímetro para el retiro de los tornillos de las bridas girando en el sentido contrario de las manecillas del reloj.
8. Retirar las bridas bipartidas.
9. Retirar el cabezal del cuerpo del reactor y colocarlo en el soporte especial.
10. Retirar los porta-electrodos con los electrodos de trabajo del cabezal del reactor.
11. Retirar los electrodos de trabajo del porta-electrodo.
12. Retirar el porta-muestra con la solución del recipiente de calentamiento.
13. Depositar la solución en un recipiente especial de residuos.
14. Lavar y secar el porta-muestra.
15. Colocar el porta-muestra en el recipiente de calentamiento.
16. Colocar el cabezal en el cuerpo de reactor.
17. Colocar el termopar en el termo-pozo.
22. Colocar el sello ubicado en la brida bipartida.
23. Colocar los tornillos de la brida bipartida.

3.7 Determinación de la velocidad de corrosión del acero de ducto X52 mediante el método gravímetro.

Se determinó cuando material perdía los electrodos usados para las pruebas electroquímicas después de la exposición del medio corrosivo y de las condiciones que se encontraba dicho medio (alta temperatura). De esa forma se procedió de la siguiente manera:

MATERIALES Y EQUIPO:

- Electrodos usados en pruebas electroquímicas con el equipo PARR
- Balanza analítica
- Lija 600
- Cepillo

SUSTANCIAS:

- Agua
- Agua desionizada
- Ácido clorhídrico inhibido

PROCEDIMIENTO:**Metodología para la determinación de pérdida de peso de los cupones antes de las pruebas electroquímicas:**

1. Desbastar los cupones hasta la lija 600 para obtener una superficie homogénea y siempre renovada.
2. Limpiar los electrodos con agua desionizada y un cepillo especial.
3. Secar los electrodos.
4. Obtener el peso inicial de los cupones.

Metodología para la determinación de pérdida de peso de los cupones después de las pruebas electroquímicas:

1. Obtener el peso de los electrodos con óxidos.
2. Colocar los electrodos en un recipiente y realizar limpieza como se muestra a continuación:

Utilizando vasos de precipitados de 100 mL, colocar secuencialmente los siguientes medios de limpieza

- Acetona.
- Agua destilada o bidestilada.
- Ácido Clorhídrico inhibido (HCl inhibido).
- Bicarbonato de sodio al 5% (NaHCO₃ al 5%).
- Agua bidestilada.

Posteriormente se procede a sumergir el cupón en cada uno de los medios en el orden indicado anteriormente. En cada medio, el cupón debe ser agitado vigorosamente por un espacio de tiempo de 20 segundos. Posteriormente, el cupón es cepillado con agua y jabón neutro para desprender completamente los productos de corrosión. Se enjuaga con agua del grifo y finalmente con agua destilada. Una vez enjuagado, todos los cupones limpiados se secan

en una estufa a 120 °C durante 1 hora; posteriormente se enfrían en un desecador durante 30 minutos.

3. Pesar nuevamente los cupones después de la limpieza química (peso final).
4. Tomando en cuenta la diferencia de pesos de los cupones (peso inicial-peso final), proceder a la determinación de los valores de las velocidades de corrosión.

3.8 Preparación de Ácido Clorhídrico inhibido en el Instituto Mexicano del Petróleo

Con la finalidad de obtener un medio adecuado para la limpieza química, es necesario la preparación de un medio ácido inhibido, como se describe a continuación.

MATERIALES Y EQUIPO:

- Balanza analítica
- Matraz Aforado de 1L
- Vidrios de reloj
- Agitadores

SUSTANCIAS:

- Cloruro estanoso (SnCl_2).
- Trióxido de antimonio (Sb_2O_3).
- HCl grado R.A.
-

PROCEDIMIENTO:

1. Preparar un volumen de 773.7 ml de HCl grado R.A.
2. Pesar 50 gr SnCl_2 .
3. Pesar 20 gr de Sb_2O_3 .
4. Utilizando un matraz aforado de 1 litro, mezclar los 50 gr de SnCl_2 + 20 gr de Sb_2O_3 y aforar con HCl.
5. Introducir un agitador magnético y agitar a velocidad moderada mediante una parrilla de agitación hasta alcanzar la completa disolución de los reactivos.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos mediante el método gravimétrico.

Dado que la velocidad de corrosión para el método gravimétrico es determinada por la pérdida de masa de cupón, el tiempo de exposición y el área superficial se procedió obtener los pesos iniciales y finales de los cupones utilizados antes y después 5 horas de exposición como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Cupón A antes de las pruebas electroquímicas. Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4 con los pesos finales de cupón de trabajo de API 5L X52 a diferentes temperaturas.

Tabla 4. Pesos iniciales y finales obtenidos antes y después del tiempo de exposición.

Sistema (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
60	7.5110	7.5095
70	7.4845	7.4823
80	7.5198	7.5177
85	7.5304	7.5273
93	7.5401	7.5349

Posteriormente se determinó la velocidad de corrosión de los cupones mediante la ecuación 2.8 (ver sección 3) de velocidad de corrosión saca de la norma NACE RP0775 como se mencionó previamente, se procedió a calcular de la siguiente manera:

$$\text{Velocidad de Corrosión} = \frac{(\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}) \times \text{Factor}}{\text{Área} \times \text{Densidad} \times \text{Tiempo de exposición}} \quad \text{ecuación 2.8}$$

- **Cálculo de velocidad de corrosión del cupón de trabajo de API 5L X52 a una temperatura de 60° C y un tiempo de exposición de 5hr en sistema internacional (SI).**

A continuación, se muestra en la tabla 5 los datos obtenidos en las unidades internacionales que se requiere para calcular la velocidad de corrosión del electrodo de trabajo.

Tabla 5. Datos obtenidos en el sistema internacional para el electrodo de trabajo API 5L X52 antes y después 5 horas de exposición.

Variable	Datos	Unidades de SI
Peso inicial	7.5110	Gramos (g)
Peso final	7.5095	Gramos (g)
Tiempo de Exposición	0.2083	Días (d)
Área	628	Milímetros cuadrados (mm ²)
densidad	7.86	Gramos por centímetro cubico (g/cm ³)
Factor	365,000	365,000

Por lo tanto

$$\text{Velocidad de Corrosión} = \frac{(7.5110g - 7.5095g) \times 365000}{628 \text{ mm}^2 \times 7.86 \text{ g/cm}^3 \times 0.2083 \text{ d}}$$

$$\text{Velocidad de Corrosión} = 0.5324$$

- **Cálculo de velocidad de corrosión del cupón de trabajo de API 5L X52 a una temperatura de 60° C en sistema internacional (SI).**

A continuación, se muestra en la tabla 6 los datos obtenidos en las unidades internaciones que se requiere para calcular la velocidad de corrosión del electrodo de trabajo.

Tabla 6. Datos obtenidos en el sistema internacional para el electrodo de trabajo API 5L X52 antes y después 5 horas de exposición.

Variable	Datos	Unidades Imperiales
Peso inicial	7.5110	Gramos (g)
Peso final	7.5095	Gramos (g)
Tiempo de Exposición	0.2083	Días (d)
Área	0.9734	Pulgadas cuadradas (In ²)
densidad	7.86	Gramos por centímetro cubico (g/cm ³)
Factor	22,300	22,300

Por lo tanto

$$Velocidad\ de\ Corrosión = \frac{(7.5110g - 7.5095g) \times 22300}{0.9734\ In^2 \times 7.86\ g/cm^3 \times 0.2083\ d}$$

$$Velocidad\ de\ Corrosión = 0.02991$$

A continuación, se presenta en tabla 7 los resultados obtenidos de velocidad de corrosión a las temperaturas de 60°, 70°, 80° ,85° y 93°C del acero API 5L X52 con un tiempo de exposición de 5 horas utilizando el método gravimétrico.

Tabla 7. Valores de las velocidades de corrosión del cupón A de acero X52 expuesto en NaCl de 3.5% utilizando el método gravimétrico

Número de experimento	Sistema (°C)	Tiempo (h)	Tiempo (días)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia	VC (mm/año)	VC (mpa)
1	80	5	0.208	7.5435	7.5426	0.0009	0.319	12.59
2	80	5	0.208	6.6870	6.6850	0.0020	0.709	0.039
3	80	5	0.208	7.4983	7.4980	0.0003	0.106	0.0059
4	93	5	0.208	7.5401	7.5349	0.0052	1.845	0.103
5	90	5	0.208	7.4953	7.4911	0.0042	1.490	0.083
6	85	5	0.208	7.5304	7.5273	0.0031	1.1003	0.061
7	90	5	0.208	7.4889	7.4869	0.0029	1.0293	0.057
8	90	5	0.208	7.5242	7.5225	0.0017	0.603	0.033
9	70	5	0.208	7.484	7.4823	0.0017	0.6033	0.033
10	80	5	0.208	7.5198	7.5177	0.0021	0.7453	0.041
11	70	5	0.208	7.4814	7.4798	0.0016	0.567	0.031
12	70	5	0.208	7.5153	7.515	0.0003	0.106	0.0059
13	70	5	0.208	7.4765	7.4763	0.0002	0.070	0.0039
14	60	5	0.208	7.5110	7.5095	0.0015	0.532	0.0299
15	60	5	0.208	7.4732	7.4721	0.0011	0.390	0.0219

Dado que el arreglo experimental de la celda electroquímica fue de dos electros de acero API 5L X52 se obtuvieron los valores velocidad de corrosión del electrodo auxiliar como se muestra en la tabla 8 siendo el cupón A el electrodo de trabajo y siendo el cupón B el electrodo auxiliar.

En la tabla 8. Velocidades de corrosión del electrodo de trabajo y del electrodo auxiliar.

TEMPERATURA	VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL CUPÓN A (MM/AÑO)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL CUPÓN B (MM/AÑO)
60	0.53	0.39
70	0.60	0.60
80	0.74	0.56
85	1.10	1.02
93	1.84	1.49

Los resultados de velocidad de corrosión por pérdida de peso del acero API 5L X52 indican que temperaturas de 60°C ofrecen velocidades de corrosión máximas de 0.5mm/año, incrementándose hasta un valor de 1.8mm/año cuando se alcanzan temperaturas mayores a 90°C como se muestra en la figura 25.

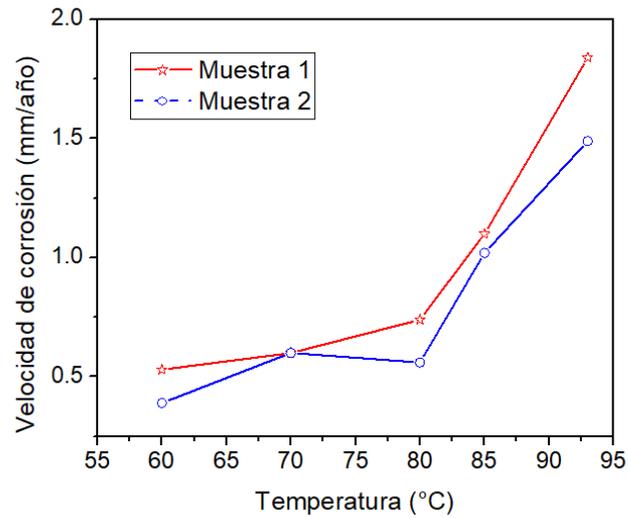
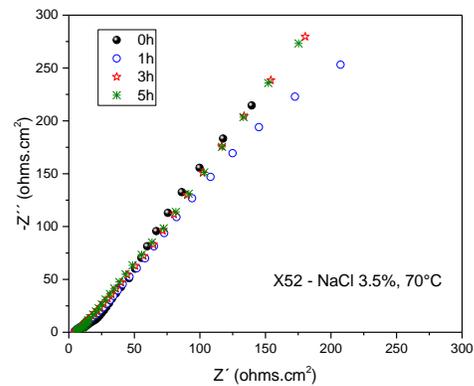
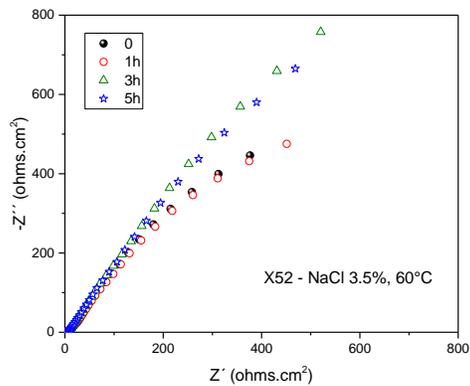


Figura 25. Velocidades de Corrosión obtenidas a diferentes temperaturas.
Fuente: Elaboración propia

4.2 Resultados obtenidos mediante el método electroquímico.

- Efecto del tiempo de exposición



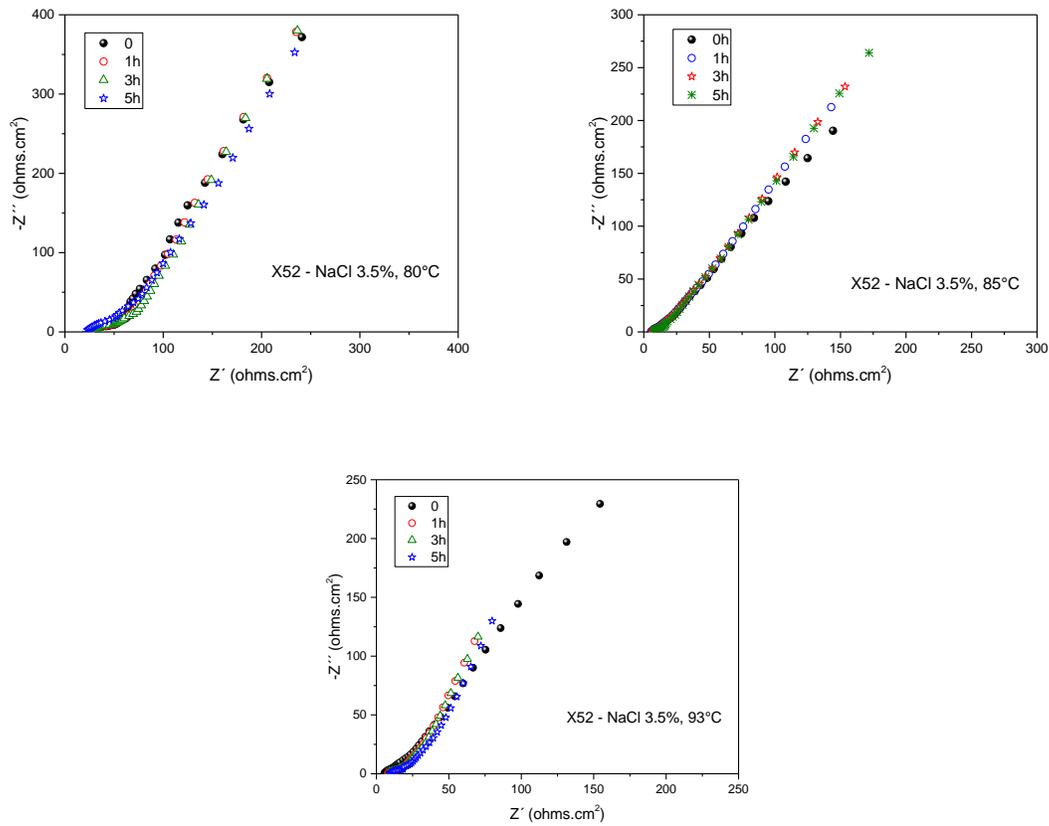


Figura 26. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5% posterior a 5 horas de exposición, a las temperaturas de 60 °C, 70, 80, 85 y 93 °C y 0 rpm.

- Efecto de la temperatura

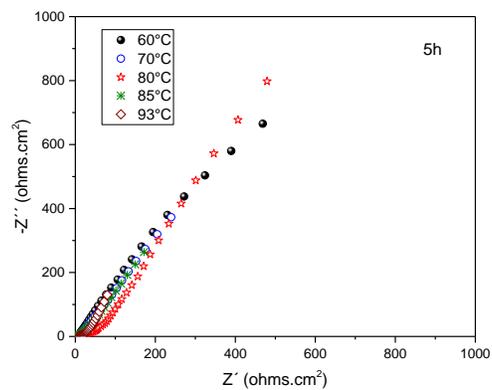


Figura 27. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5%. Comparativo a 5 horas de exposición, a las temperaturas de 60 °C, 70, 80, 85 y 93 °C y 0 rpm.

- Efecto de la velocidad de rotación

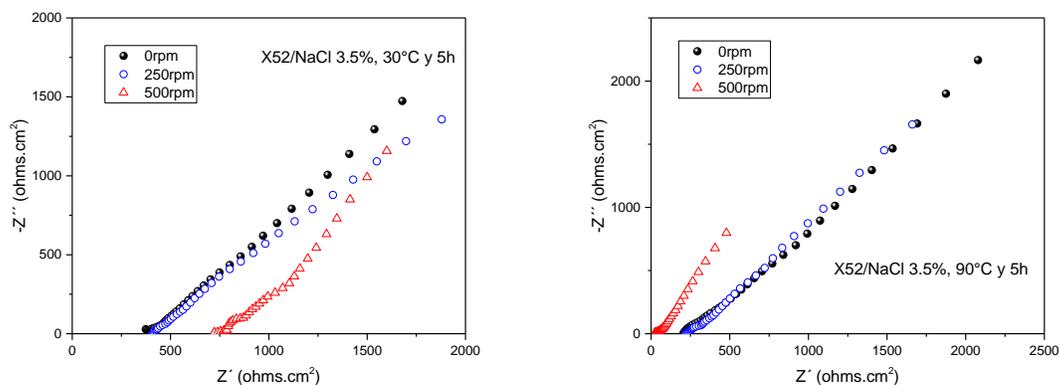


Figura 28. Diagramas de Nyquist obtenido en la interface acero X52/NaCl 3.5%. Comparativo a 5 horas de exposición, 30 y 90°C, a las velocidades de rotación de 0, 250 y 500 rpm

4.3 Análisis de resultados

De acuerdo con la tabla 3 de clasificación de velocidades de corrosión con base a la norma NACE RP0775 (véase en el marco teórico) los datos obtenidos ronda en velocidad de corrosión severa ya que se encuentra de 0.5 a 1.84 mm/año.

Tabla 3. Clasificación de velocidades de corrosión de aceros al carbón de la norma.

<i>VC promedio</i>		<i>VC máxima por picadura</i>	
mm/año	mpa	mm/año	mpa

Baja	< 0.025	< 1.0	< 0.13	< 5.0
Moderada	0.025 – 0.12	1.0 – 4.9	0.13 – 0.20	5.0 – 7.9
Alta	0.13 – 0.25	5.0 – 10	0.21 – 0.38	9.0 – 15
Severa	> 0.25	> 10	> 0.38	> 15

En los espectros de Nyquist, se observan diferentes fenómenos a los reportados en la literatura cuando se prueba acero al carbono en medio de cloruros.

Los datos reportados en este informe involucran el uso de dos electrodos y los resultados reportados en publicaciones utilizan un sistema convencional de medición electroquímica de tres electrodos. Sin embargo, el primer elemento es característico de la corrosión de un acero al carbono en salmuera.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

El presente equipo fue diseñado y adaptado por el Instituto Mexicano de Petrolé (IMP) en el departamento de ductos y materiales, con la finalidad de llevar a cabo estudios de corrosión interna que simulan condiciones hidrodinámicas y de temperatura en ductos que transportan hidrocarburos.

El equipo esta diseñado para realizar pruebas electroquímicas con arreglo experimental de dos electrodos, por lo tanto, consta de un portamuestra que aloja a 2 porta-electrodos, 2 electrodos y la solución electrolítica a estudiar (muestra).

Los porta-electrodos utilizados se diseñaron para poder acoplar cada uno un electrodo de trabajo de disco rotatorio y un electrodo de pseudo-

referencia de disco rotatorio. El electrodo de trabajo utilizado en la celda, está formado por acero de ducto API 5L X52. En la figura 29 se muestra el portamuestra-electrodo diseñado.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	ELECTRODO	1
2	CONDUCTOR	1
3	RONDANA	1
4	EJE	1
5	buje apoyo	1
6	53200	1
7	TUERCA	1
8	SELLO	1
9	TAPA	1
10	arandela 01	1

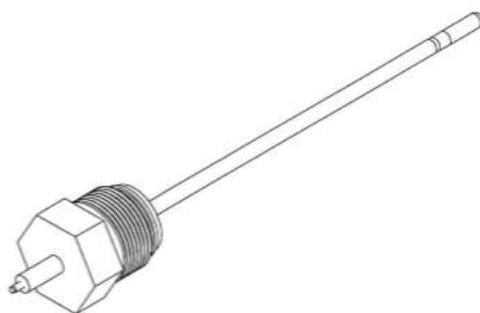


Figura 29. Portaelectrodo diseñado para el Equipo PARR. Fuente: Instituto Mexicano de Petroleó, laboratorio de perforación, terminación y mantenimiento de pozos, sistemas y herramientas, "Celda de prueba armado".

De esta manera, se diseñó la celda electroquímica de cilindro rotatorio (Equipo PARR) con un volumen de 1.8 litros de solución (electrolito), que puede operar a presiones elevadas (5000psi, 34.5 MPa, 345 bar, 351.5 kg/cm² como presión máxima) y soportar hasta 500°C como temperatura máxima de operación. Esto con la finalidad de evaluar la morfología y tipo de la corrosión, así como la velocidad correspondiente por medio de técnicas electroquímicas a condiciones de altas temperaturas y condiciones hidrodinámicas bajas (flujo laminar) y altas (flujo turbulento).

Los métodos utilizados para el estudio de la velocidad de corrosión difieren de muchas formas, por ejemplo, mientras que el método gravimétrico (pérdida de peso) nos cuantifica la velocidad de corrosión, los métodos electroquímicos (como impedancia) no solo cuantifica la velocidad de corrosión si no también nos detalla el mecanismo del proceso de corrosión.

En las pruebas electroquímicas obtenidas se pudo observar la presencia de dos procesos electroquímicos; el primero ocurre a baja impedancia, el cual está asociado a la corrosión del acero X52 expuesto en la solución sintética preparada (NaCl 3.5%), y el segundo es asociado a las propiedades dieléctricas del electrolito. Sin embargo, el primer proceso (baja impedancia) es un tipo comportamiento característico de la corrosión de un acero al carbono en salmuera.

Mientras que los resultados obtenidos mediante el método gravimétrico (pérdida de peso) muestran como al aumentar la temperatura la velocidad de corrosión incrementa, en los datos obtenidos de las temperaturas de 60° y 93°C muestran como la velocidad de corrosión se triplica con respecto al temperatura de 60°C.

Cabe destacar que conforme a los datos obtenidos las condiciones más severas que se obtuvieron fueron en condiciones de 90°C y 5 horas con 0 rpm esto se debe la presión del sistemas, puesto como se sabe las condiciones hidrodinámicas influyen en las caídas de presión, por lo tanto, en condiciones hidrodinámicas altas (flujo turbulento) las caídas de presión son muy pequeñas, sin embargo en condiciones hidrodinámicas bajas o nulas existen una pérdida de presión elevada debido a la rugosidad del ducto, por lo tanto, la condición hidrodinámica y la presión influye en la velocidad de corrosión puesto que si tenemos condiciones hidrodinámicas bajas el electrolito tendrán mayor contacto con la superficie metálica del ducto.

CAPITULO VI. REFERENCIAS

[1] N.A. Bruce, O.B. Marko, J.E. Jackson, A. Jenkins, D. Melot, J. Scheie, J. Vittonato, "La corrosión: La lucha más extensa", Oilfield vol. 28, (2016), 37-40.

[2] L. M. Quej, A. Contreras, "Electrochemical Study of 1018 Steel Exposed to Different Soils from South of Mexico", Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 1766 (2015) p. 81-94.

3] L. Quej-Aké, A. Contreras and J. Aburto, "Electrochemical Study on Corrosion Inhibition of X52 Steel by Non-ionic Surfactant in Substitute Ocean Water" Int. J. Electrochem. Sci., 13 (2018) 7416-7431.

- [4] L. Quej-Aké, A. Contreras, H.B. Liu, J.L. Alamilla, E. Sosa "The Effect of the Hydrodynamic and Temperature on Corrosion Rate of API Steels Exposed to Oilfield Produced Water", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 65 (2018).
- [5] IMP (2018). CIUDAD DE MÉXICO. Recuperado en <https://www.imp.mx/Templates/mision.dwt>
- [6] N.A. Bruce, O.B. Marko, J.E. Jackson, A. Jenkins, D. Melot, J. Scheie, J. Vittonato, "La corrosión: La lucha más extensa", *Oilfield* vol. 28, (2016), 37-40.
- [7] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, United states of America, Mc Graw Hill, first edition, 2000).
- [8] R.D. Port, H.M. Herro, *The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis*, Mc Graw Hill, first edition, 1991
- [9] NRF-030-PEMEX-2009: Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos
- [10] NRF-005-PEMEX-2009: Protección interior de ductos con inhibidores, Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios
- [11] NACE Standard RP0775-99: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, NACE, international the corrosion society.
- [12] R. Chang, *Química*, 4ª ed., McGraw-Hill, 1992.
- [13] B.B. Damaskín, O.A. Petri, *Fundamentos de la electroquímica teórica*, Mir Moscú, 1980, pág. 12.
- [14] D.L Piron, *The electrochemistry of corrosion*, NACE International, 1994.
- [15] R.D. Port, H.M. Herro, *The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis*, Mc Graw Hill, first edition, 1991
- [16] K.W. Whitten, R.E. Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley, "Química", Cengage Learning, 10a. Edición, pág. 804-805.
- [17] F. Walsh, "Un primer curso de ingeniería electroquímica", Editorial Club Universitario, 2000, pág. 13-15.
- [18] J.A González Fernández, "Control de la corrosión estudio y medida por técnicas electroquímicas", Editorial GRAFIPREN, S.A., 1989, pág. 33-35.

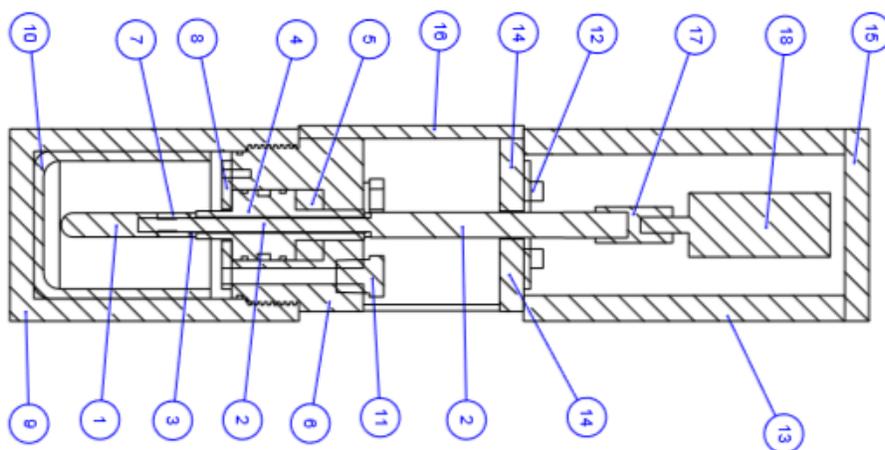
- [19] F. Tapia Bernal, "Caracterización de la interfase Acero API-X52/Medio Amargo/Ácido de octadec-9-enoico [2-(2-hidroxi-etilamino)-etil]-amida, Tesis de licenciatura, ESIQIE, Instituto Politécnico Nacional, 2007
- [20] J. González Velasco, "Métodos experimentales en electroquímica: volumen III", Cultiva Libros S.L, 1era edición, 2012, Pág. 11-12.
- [21] ASTM G185- 06(2016): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using the Rotating Cylinder Electrode.
- [22] ASTM G184 (2006): Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage, ASTM, West Conshohocken, PA.
- [23] NACE TM0172-2015-SG Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines, NACE, international the corrosion society, 2015.
- [24] L.M. Quej A., A. Contreras, H.B. Liu, J.L. Alamilla, E. Sosa "The Effect of the Hydrodynamic and Temperature on Corrosion Rate of API Steels Exposed to Oilfield Produced Water", Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 65 (2018),
- [25] NACE TM0169: Laboratory Corrosion Testing of Metals, NACE, international the corrosion society, 2000
- [26] ASTM G170-01a. (2001), Guide for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors in the Laboratory, ASTM, West Conshohocken, PA.
- [27] F.R. Morral, E. Jimeno, P. Molera, "Metalurgia general: Volumen II", Reverté, S.A., 2004, pág. 698.
- [28] ASTM G1 (2003): Guide for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test specimens, ASTM, West Conshohocken, PA
- [29] ASTM G170-01a. (2001), Guide for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors in the Laboratory, ASTM, West Conshohocken, PA.
- [30] NACE Internal Corrosion for pipelines – advance course manual, NACE, international the corrosion society, 2011, (1-48).
- [31] P. Monzón Bello, "Determinación de la Velocidad de Corrosión en Armaduras Mediante Técnicas Cuantitativas de Análisis Electroquímico" Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

[32] NACE Standard RP0775-99: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, NACE, international the corrosion society.

ANEXOS

Dibujos del equipo PARR diseñado por instituto mexicano de petróleo

EQUIPO AUTOCLAVE PARR



N° DE ELEMENTO	N° DE PIEZA	CANTIDAD
1	ELECTRODO	1
2	CONDUCTOR	1
3	RONDANA	2
4	EJE	1
5	BALERO 51201	1
6	TUERCA	1
7	TAPA	1
8	ARANDELA 01	1
9	CELDA	1
10	MANGA	1
11	PUERTO	3
12	PORTA ESCOBILLA	1
13	CARCAZA	1
14	TAPA CARCAZA IN	1
15	TAPA CARCAZA SUP	1
16	SOPORTE	3
17	COPILE MOTOR	1
18	MOTOR	1

Derecho de autor del equipo autoclave PARR

	DIRECCIÓN DE DESARROLLO DE TALENTO	06GC-01-05-FG-06
		06GC GESTIONA LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO
SOLICITUD DE REGISTRO DE DERECHOS DE AUTOR		



Nº. de oficio GDM/010-18
Fecha: 26/07/2018

Ing. Alfonso Partida Romo
Encargado del despacho de la
Gerencia de Gestión del conocimiento
Presente.

Por este medio, le solicito se realicen los trámites correspondientes con la finalidad de registrar la obra(s) señalada(s) en el cuerpo del presente, para lo cual le proporciono la siguiente información:

Datos de la Obra:

Título de la Obra:	Diseño y adaptación de una celda electroquímica a un sistema de alta temperatura y presión para estudios de corrosión que simulan condiciones de operación en ductos
Objetivo de la Obra:	Documentar el contenido del diseño, montaje y adaptación de un sistema experimental para pruebas electroquímicas y estudios de corrosión en aceros de ducto. El contenido del informe será utilizado en el proceso de capacitación para personal de ductos e ingeniería, especialmente en la Gerencia de Ductos y Materiales. Las metodologías elaboradas tienen como propósito principal evaluar velocidades de corrosión de acero en proceso de transporte de crudo por ductos y se asocian al proyecto D.61067 "Integridad de oleoductos no inspeccionados en líneas afectadas por corrosión interior".
Tipo de Obra:	Literaria
Dirección, Gerencia y/o equivalente; de procedencia	Dirección de investigación en Transformación de Hidrocarburos/Gerencia de Ductos y Materiales.

Datos del Proyecto:

No. de Proyecto:	D.61067
Nombre del Proyecto:	"Integridad de oleoductos no inspeccionados en líneas afectadas por corrosión interior".

Datos del Contacto:

Clave	Nombre:	e-mail	No. Extensión
14841	Elicso Sosa Hernández	esosa@mp.mx	8255

	DIRECCIÓN DE DESARROLLO DE TALENTO	06GC-01-05-FG-06
		06GC GESTIONA LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO
SOLICITUD DE REGISTRO DE DERECHOS DE AUTOR		

Datos del autor (es):

Empleados IMP

CLAVE:	13795
NOMBRE:	Rosana Val
Grado Académico	M. en C.
R.F.C.	VAR0660104K-15
E-mail	rval@imp.mx
% de participación	10
Extensión	8200
Nacionalidad	Italia

CLAVE:	14826
NOMBRE:	Antonio Contreras Cuevas
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	COCA7310205Y3
E-mail	acontrer@imp.mx
% de participación	10
Extensión	8194
Nacionalidad	Mexicana

CLAVE:	14841
NOMBRE:	Eliseo Sosa Hernández
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	SOHE690113D-H6
E-mail	esosa@imp.mx
% de participación	15
Extensión	8255
Nacionalidad	Mexicana

CLAVE:	14822
NOMBRE:	Jorge Luis Alamillo López
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	AALJ690604US1
E-mail	jalamil@imp.mx
% de participación	10
Extensión	6929
Nacionalidad	Mexicana

CLAVE:	14827
NOMBRE:	Hongbo Liu
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	LIHO701123RK7
E-mail	hblu@imp.mx
% de participación	10
Extensión	8259
Nacionalidad	China

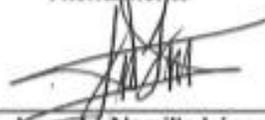
 IMP <small>INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO</small>	DIRECCIÓN DE DESARROLLO DE TALENTO	06GC-01-05-FG-06
		06GC GESTIONA LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO
SOLICITUD DE REGISTRO DE DERECHOS DE AUTOR		

CLAVE:	9056
NOMBRE:	Marco Antonio Domínguez Aguilar
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	DOAM610129M27
E-mail	madomina@imp.mx
% de participación	15
Extensión	8163
Nacionalidad	Mexicana

CLAVE:	15044
NOMBRE:	Luis Manuel Quej Ake
Grado Académico	Dr.
R.F.C.	QUAL720803NW3
E-mail	lquej@imp.mx
% de participación	20
Extensión	8162
Nacionalidad	Mexicana

Becarios IMP

CLAVE:	91666
NOMBRE:	Rosario Lizzeth Mendoza Robles
Grado Académico	Pasante de Ingeniería
R.F.C.	MERR961006P23
E-mail	lizzeth_0095@hotmail.com
% de participación	10
Extensión	8182
Nacionalidad	Mexicana

Atentamente


Dr. Jorge L. Alamilla López
Clave IMP: 14922
Gerente de Ductos y Materiales.

Con anexos:

- a) Dos copias de la obra literaria titulada "Diseño y adaptación de una celda electroquímica a un sistema de alta temperatura y presión para estudios de corrosión que simulan condiciones de operación en ductos".
- b) Formato de manifestación de derechos patrimoniales.

MANIFESTACIÓN SOBRE DERECHOS PATRIMONIALES DE OBRA



Fecha: 26/07/2018

**APODERADO/A LEGAL DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO.**

Por medio del presente, conforme al artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y el artículo 46 del Reglamento de la Ley Federal de Derecho de autor, le manifiesto/manifestamos que en virtud de que tengo/tenemos una colaboración remunerada con el Instituto Mexicano del Petróleo, le reconozco/reconocemos al mismo la titularidad de los derechos patrimoniales de la obra "Diseño y adaptación de una celda electroquímica a un sistema de alta temperatura y presión para estudios de corrosión que simular condiciones de operación en ductos", con todo lo que ello implica.

ATENTAMENTE

NOMBRE(S)	FIRMA(S)
Antonio Contreras Cuevas	
Eliceo Sosa Hernández	
Jorge Luis Alamilla López	
Hongbo Liu	
Rossana Vai	
Marco Antonio Domínguez Aguilar	
Luis Manuel Quej Ake	
Rosario Lizzeth Mendoza Robles	