

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS-----	iv
ÍNDICE DE FIGURAS-----	v
RESUMEN-----	vi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN-----	1
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES-----	5
2.1 PURIFICACIÓN DE GAS NATURAL-----	5
2.1.1 Gas natural-----	5
2.1.1.1 Clasificación-----	6
2.1.1.2 Uso del gas natural y marco regulatorio.-----	7
2.1.2 Remoción de CO ₂ y H ₂ S del gas natural-----	9
2.1.2.1 Proceso de endulzamiento por absorción con alcanolaminas-----	11
2.1.2.2 Selección la solución de alcanolamina-----	14
2.1.2.3 Concentración de las soluciones-----	16
2.2 CORROSIÓN-----	17
2.2.1 Definición de corrosión-----	17
2.2.2 Mecanismo de corrosión-----	18
2.2.3 Tipos de corrosión-----	21
2.2.4 Control de la corrosión-----	25
2.2.4.1 Selección del material-----	26
2.2.4.2. Uso de Inhibidores de corrosión-----	27
2.2.4.3 Recubrimientos-----	27
2.3. CORROSIÓN EN PLANTAS DE ALCANONOLALCANOLAMINAS-----	28
2.3.1 Procesos de corrosión y materiales de construcción de plantas de endulzamiento.-----	29
2.3.1.1 Mecanismo de corrosión por gases ácidos-----	31
2.3.1.2 Mecanismo de corrosión por soluciones de alcanolaminas.-----	31
2.3.2 Productos de degradación de alcanolaminas-----	32

2.3.2.1 Sales térmicamente estables	33
CAPÍTULO 3. MÉTODOS DE PRUEBA Y EVALUACIÓN DE CORROSIÓN.	36
3.1 Pruebas de laboratorio	37
3.1.1. Método de pérdida de peso	38
3.1.2 Resistencia eléctrica	38
3.1.2 Métodos electroquímicos	39
3.1.2. 1 Resistencia a la polarización lineal	39
3.1.3 Procedimientos y recomendaciones para realizar pruebas de corrosión en laboratorio por método de pérdida de peso.	40
3.1.3.1 Preparación de la superficie	40
3.1.3.2 Marcado de los testigos para identificación	41
3.1.3.3 Volumen de la solución	42
3.1.3.4 Número de testigos	42
3.1.3.5 Duración de la prueba	42
3.1.3.6 Limpieza de las muestras después de las pruebas	43
3.1.3.7 Lista de verificación de datos importantes en las pruebas de corrosión	45
3.2 Pruebas en planta	46
3.3 Evaluación de corrosión con microfotografías	47
CAPÍTULO 4. OBJETIVOS	48
4.1 General	48
4.2 Específicos	48
4.3 Hipótesis:	48
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA	49
5.1 Descripción del equipo	49
5.2 Materiales	51
5.3 Reactivos	52

5.4 Descripción de las pruebas	54
5.4.1 Método de preparación de los testigos.....	54
5.4.2 Elaboración de soluciones	56
5.4.3 Montaje de las celdas.....	56
5.4.4 Inicio de las pruebas y monitoreo.....	58
5.4.5 Tratamiento de los testigos posterior a las pruebas	59
5.4.6 Cálculo de velocidad de corrosión	60
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	62
6.1 Condiciones de las pruebas	62
6.2 Resultados para Acero al Carbón 1018	64
6.2.1 Velocidad de corrosión por efecto de bicina	66
6.2.2 Velocidad de corrosión por efecto de ácido oxálico.....	67
6.2.3 Resultados por efecto de la superficie del acero al carbón AISI 1018.....	67
6.2.3 Comparación de resultados de velocidad de corrosión.....	69
6.2.4 Comparación con resultados de la literatura	70
6.2.5 Discusión de resultados de acero al carbón AISI 1018.....	70
6.3 Resultados Acero al Carbón AISI 1010	71
6.3.1 Comparación de resultados de velocidad de corrosión.....	74
6.3.2 Comparación con resultados de la literatura.....	76
6.3.3 Discusión de resultados de acero al carbón AISI 1010.....	76
6.4 Comparación entre Aceros AISI 1010 y AISI 1018	77
6.5 Resultados por efecto del oxígeno para Acero al Carbón 1010	78
CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

ANEXOS -----	87
Anexo I. Calibración de termómetro -----	87
Anexo II. Concentraciones e incertidumbre de las soluciones -----	87
Anexo III. Ubicación de los testigos en las celdas de corrosión -----	93
Anexo IV. Constantes K para diferentes unidades de velocidad de corrosión -----	99
Anexo V. Resultados experimentales de velocidad de corrosión -----	100
Anexo VI. Efecto de corrosión en testigos -----	111

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Principales impurezas del gas natural</i>	6
<i>Tabla 2. Especificaciones del gas natural según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SECRE-2003</i>	9
<i>Tabla 3. Concentración de soluciones de alcanolaminas para endulzamiento de gas natural</i>	17
<i>Tabla 4. Productos de degradación de algunas alcanolaminas</i>	33
<i>Tabla 5. Fuentes de sales térmicamente estables en plantas de endulzamiento de gas natural</i>	34
<i>Tabla 6. Reactivos empleados en las pruebas de corrosión</i>	52
<i>Tabla 7. Compuestos de limpieza de testigos antes de las pruebas</i>	52
<i>Tabla 8. Reactivos empleados para la limpieza posterior a las pruebas de corrosión</i>	53
<i>Tabla 9. Composición y concentración en porcentaje masa de los aceros al carbón estudiados</i>	53
<i>Tabla 10. Sistemas estudiados y condiciones de las pruebas</i>	63
<i>Tabla 11. Resultados de velocidad de corrosión de acero al carbón AISI 1018</i>	64
<i>Tabla 12. Resultados de velocidad de corrosión por condición de la superficie de acero al carbón AISI 1018.</i>	68
<i>Tabla 13. Resultados de velocidad de corrosión a 120 °C de acero al carbón AISI 1010</i>	71
<i>Tabla 14. Resultados de velocidad de corrosión a 120 °C con efecto de oxígeno</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del gas natural	5
Figura 2. Consumo mundial de energía primaria por tipo de fuente	7
Figura 3. Tipos de tecnologías empleadas para purificación del gas natural	10
Figura 4. Proceso de endulzamiento de gas natural por absorción con alcanolaminas	13
Figura 5. Diagrama de una celda electroquímica	18
Figura 6. Representación de mecanismo de corrosión en la superficie de un metal	20
Figura 7. Tipos de corrosión	21
Figura 8. Diagrama de proceso de una planta típica de alcanolaminas mostrando los principales tipos de corrosión y materiales de construcción	30
Figura 9. Degradación de MEDA a bicina	34
Figura 10. Importancia de la evaluación para el control de la corrosión	36
Figura 11. Tipos de testigos de corrosión	41
Figura 12. Soporte de testigos tipo carrete para uso en pruebas de corrosión en tuberías	47
Figura 13. Sistema estático para la evaluación de velocidad de corrosión	50
Figura 14. Celda de corrosión de acero inoxidable 316	51
Figura 15. Metodología para determinación de velocidad de corrosión por pérdida de peso.	54
Figura 16. Metodología para la preparación de testigos	55
Figura 17. Testigo de acero al carbón	56
Figura 18. Metodología para el montaje de las celdas	57
Figura 19. Montaje de testigos	58
Figura 20. Metodología a realizar posterior a las pruebas de corrosión	59
Figura 21. Diagrama esquemático de Testigo y Empaque de PTFE	60
Figura 22. Velocidades de corrosión de acero al carbón AISI 1018 a 120 °C	65
Figura 23. Velocidad de corrosión por efecto de sales térmicamente estables en acero al carbón AISI 1018 a 120°C.	66
Figura 24. Velocidad de corrosión por efecto de la condición de la superficie	68
Figura 25. Comparación de velocidades de corrosión de acero al carbón a 120°C obtenidas con los reportados en el Instituto Mexicano del Petróleo empleando un sistema semi-estático.	69
Figura 26. Resultados de velocidad de corrosión en acero al carbón AISI 1010	72
Figura 27. Efecto de las sales térmicamente estables en la corrosividad de acero al carbón AISI 1010 por soluciones acuosas de MDEA	73
Figura 28. Comparación de velocidades de corrosión de acero al carbón 1010 obtenidas, con las alcanzadas empleando un reactor con agitación	75
Figura 29. Comparación de velocidad de corrosión entre aceros.	77
Figura 30. Velocidad de corrosión en acero al carbón 1010 por efecto del oxígeno	79