



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR DE MEZCLA COMPLETA
PARA LA EVALUACIÓN DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN CRUDO,
AGUA DE FORMACIÓN Y PETRÓLEO DE PETROPRODUCCIÓN-LAGO
AGRIO”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por

MÉNDEZ RAMÍREZ JOSÉ ROBERTO

Riobamba * Ecuador

2010

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz

DECANO FAC. DE CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Gonzalo Sánchez

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Usiña

COLABORADOR

Tlgo. Carlos Rodríguez

**DIRECTOR CENTRO
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A Dios hacedor de mi vida que me ha dado perseverancia, capacidad y sabiduría, a mis padres y hermanos que siempre me han preocupado por mí y me han apoyado, al Ing. David Flor y todo el personal del Departamento de Corrosión quienes aportaron con ideas y me brindaron su apoyo, a mi Director y Colaborador de Tesis Ingenieros Gonzalo Sánchez y José Usiña quienes me guiaron para la realización del presente trabajo

DEDICATORIA

A mis padres, Sr. Luis Méndez y Sra. Margarita Ramírez, quienes me brindaron su apoyo moral y económico, motivándome día a día para culminar mis estudios; a mis hermanas, Mayra y Diana; a mis hermanos Fernando y Daniel quienes con su alegría me dieron fuerzas para seguir adelante; a mi sobrino José que alegra mi vida; a mis familiares y amigos, quienes siempre estuvieron junto a mí, dándome su apoyo incondicional.

Yo, José Roberto Méndez Ramírez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
Bbls	Barriles
BAPD	Barriles de agua por día
BFPD	Barriles de fluido por día
BPPD	Barriles de petróleo por día
BSR	Bacterias sulfato reductoras
BSW	Agua y sedimentos básicos
C	Grados centígrados
cm ³	Centímetros cúbicos
C _{ppm}	Concentración de inhibidor que se va a dosificar
CR	Velocidad de corrosión
D _{con}	Dígitos consumidos
E/R	Probetas de resistencia eléctrica
F	Grados Farenheid
F _d	Factor de dilución del químico inhibidor en porcentaje
gal	Galón
Hp	Caballos de fuerza
IPA	Alcohol isopropílico
L	Litros
lb	Libras
LPR	Probetas de polarización lineal

mL	Mililitros
mm	Milímetros
mpy	Milésima de pulgada por año
mV	Milivoltios
NACE	Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión
ohm	Ohmio
P	Presión
Pa	Pascal
P_f	Peso final
P_i	Peso inicial
ppm	Partes por millón
pulg	Pulgada
R	Resistividad
r	Radio
N_{Re}	Número de Reynolds
rps	Revoluciones por segundo
T	Temperatura
V	Volumen
V_{bot}	Volumen de solución salina que se coloca en la botella
V_{bot}	Volumen máximo de líquido en la botella de prueba
V_{dos}	Volumen calculado para la dosificación de químicos
V_M	Volumen de la muestra colocada en la botella de prueba
V_{sal}	Volumen de la solución salina a preparar
W	Watts

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pp.
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. CRUDO.....	1
1.1.1. AGUA DE FORMACIÓN.....	2
1.1.1.1. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA.....	2
1.1.2. EL PETRÓLEO.....	3
1.1.2.1. EVALUACIÓN DEL PETRÓLEO.....	4
1.2. CORROSIÓN.....	5
1.2.1. EXPOSICIÓN DE MUESTRAS.....	5
1.2.2. INHIBIDORES DE CORROSIÓN.....	18
1.2.2.1. OBJETIVOS DEL INHIBIDOR.....	19
1.2.2.2. ESTRUCTURA DE UN INHIBIDOR DE CORROSIÓN.....	20
1.2.2.3. MECANISMO DE INHIBICIÓN DE UNA SUPERFICIE METÁLICA CUBIERTA POR PRODUCTOS DE CORROSIÓN.....	21
1.2.2.4. LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN LOS CAMPOS PETROLEROS COMPOSICIÓN DE LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN.....	22
1.2.2.5. SELECCIÓN DE LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN.....	23
1.2.2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE INHIBIDORES.....	25
1.2.2.7. INHIBIDORES MÁS UTILIZADOS EN EL DISTRITO AMAZÓNICO.....	26
1.3. REACTORES.....	28
1.3.1. REACTOR DE FLUJO DE MEZCLA COMPLETA.....	29
1.3.2. AGITACIÓN.....	29
1.3.2.1. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE AGITADORES.....	29
1.3.2.2. AGITADORES MAGNÉTICOS.....	32
1.4. DISEÑO DE UN REACTOR.....	34
1.4.1. NÚMERO DE REYNOLDS.....	35
1.4.2. CONSUMO DE POTENCIA.....	36

CAPÍTULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL.....	39
2.1.	MUESTREO.....	39
2.2.	METODOLOGÍA.....	41
2.2.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	42
2.2.1.1.	MÉTODOS.....	42
2.2.1.1.1.	EXPERIMENTAL.....	42
2.2.1.2.	TÉCNICAS.....	43
2.2.1.2.1.	PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA Y DILUCIÓN DE QUÍMICOS.....	44
2.2.1.2.2.	PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA WHEEL TEST.....	45
2.3.	DATOS EXPERIMENTALES.....	47
2.3.1.	DIAGNÓSTICO.....	47
2.3.2.	DATOS.....	48
2.3.2.1.	DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL WHEEL TEST CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	49
2.3.2.2.	DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	54
2.3.2.3.	DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN AGUA.....	59
2.3.2.4.	DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN AGUA.....	64
2.3.2.5.	DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA CRUDO.....	66
2.3.2.6.	DATOS PARA LA PRUEBA EN EL WHEEL TEST CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	67

	Pp.
2.3.2.7. DATOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO.....	69
2.3.2.8. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA EL REACTOR DEL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO.....	70

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN.....	71
3.1. DISEÑO.....	71
3.1.1. CÁLCULO TEÓRICO DEL EQUIPO.....	72
3.1.1.1. GENERALIDADES.....	72
3.1.2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO.....	72
3.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR.....	73
3.1.3.1. DIMENSIONES INICIALES.....	73
3.2. CÁLCULOS.....	73
3.2.1. CALCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	73
3.2.1.1. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE.....	73
3.2.1.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL TANQUE.....	74
3.2.1.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TAPA DEL TANQUE.....	75
3.2.1.4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL AGITADOR.....	76
3.2.1.5. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE.....	76
3.2.1.6. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (N_{Re}).....	77
3.2.1.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA.....	78
3.2.2. CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EN EL WHEEL TEST CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	79
3.2.3. CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	83

3.2.3.1.	CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	84
3.2.3.2.	CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	85
3.2.4.	CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA CRUDO.....	86
3.2.5.	CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA CRUDO.....	88
3.3.	RESULTADOS.....	89
3.3.1.	RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR.....	89
3.3.2.	RESULTADOS DE LA PRUEBA WHEEL TEST CON INHIBIDORES DE REINYECCIÓN DE AGUA.....	90
3.3.3.	RESULTADOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO.....	91
3.3.3.1.	RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	92
3.3.3.2.	RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	92
3.3.4.	RESULTADOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA CRUDO.....	94
3.3.4.1.	RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO.....	94

	Pp.
3.3.4.2. RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCIÓN CONTINUA PARA CRUDO.....	95
3.4. CONSTRUCCIÓN.....	96
3.4.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	96
3.4.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO.....	97
3.4.3. MONTAJE DEL EQUIPO.....	99
3.5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	99
3.5.1. GENERALIDADES.....	99
3.5.2. RECURSOS HUMANOS.....	100
3.5.3. RECURSOS MATERIALES.....	100
3.5.4. RECURSOS TOTALES.....	101
3.5.5. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DEL EQUIPO.....	102
3.6. PROPUESTA.....	103
3.6.1. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN CON EL REACTOR DE MEZCLA COMPLETA.....	104
3.7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	105
3.7.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	105
3.7.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DEL REACTOR CON INHIBIDORES PARA CRUDO.....	106

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1. CONCLUSIONES.....	107
4.2. RECOMENDACIONES.....	109
5. BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pp.
ANEXO	
I. GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL WHEEL TEST PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	136
II. GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	137
III. GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	138
IV. GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	139
V. GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA.....	140
VI. GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO.....	141
VII. GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO.....	142
VIII. GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA CRUDO.....	143
IX. GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA CRUDO.....	144
X. INHIBIDOR DE CORROSIÓN IC-1176.....	145
XI. REACTIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN SALINA Y DETERMINAR LA SALINIDAD.....	146
XII. INHIBIDORES DE CORROSIÓN DE LAS COMPAÑÍAS.....	147

	Pp.
XIII.	EQUIPO WHELL TEST VISTA EXTERNA..... 148
XIV.	LIMPIEZA DE LOS CUPONES..... 149
XV.	CUPONES LISTOS PARA SECAR..... 150
XVI.	CUPONES PARA LA PRUEBA EN EL EQUIPO WHELL TEST..... 151
XVII.	EQUIPO WHELL TEST VISTA INTERNA..... 152
XVIII.	PELICULA DISCONTINUA DE UN CUPÓN LUEGO DE LA PRUEBA. 153
XIX.	EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA EL REACTOR..... 154
XX.	PROBETA DE POLARIZACIÓN LINEAL..... 155
XXI.	PROBETA DE POLARIZACIÓN LINEAL SIN CAPUCHA..... 156
XXII.	ADAPTADOR PARA LA PROBETA Y EL CARRATER..... 157
XXIII.	CORRATER..... 158
XXIV.	TIPOS DE AGITADORES MAGNÉTICOS..... 159
XXV.	REACTOR..... 160
XXVI.	PROBETA LUEGO DE LA PRUEBA..... 161
XXVII.	ESPECIFICACIONES Y OPERACIÓN DEL AGITADOR MAGNÉTICO CON CALENTAMIENTO..... 162

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
FIGURA	
1. Cupones de corrosión.....	5
2. Sistema de acceso del cupón de corrosión.....	6
3. Simetrías de probetas de resistencia eléctrica.....	10
4. Probetas de resistencia eléctrica.....	10
5. Corrosómetro.....	11
6. LPR de 2 electrodos.....	13
7. LPR de 3 electrodos.....	14
8. Corratel.....	15
9. Ubicación de probeta en relación al flujo.....	16
10. Estructura de un inhibidor de corrosión.....	20
11. Mecanismo de inhibición de una superficie metálica cubierta por productos de corrosión.....	21
12. Medidas de un tanque (reactor).....	34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		Pp.
I.	Producción en Lago Agrio	1
II.	Composición del petróleo.....	3
III.	Variación de la constante al calcular la CR en varias unidades.....	8
IV.	Ventajas y desventajas del uso de cupones de corrosión.....	9
V.	Ventajas y desventajas del uso de probetas de resistencia eléctrica..	11
VI.	Valores referenciales para la elección entre probetas.....	17
VII.	Ventajas y desventajas del uso de probetas de polarización lineal.....	17
VIII.	Ventajas y desventajas de los inhibidores solubles en agua.....	25
IX.	Ventajas y desventajas de los inhibidores no solubles en agua.....	26
X.	Valores de K_L y K_T para varios tipos de impulsores y tanques.....	38
XI.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor A para reinyección de agua.....	49
XII.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor B para reinyección de agua.....	50
XIII.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor C para reinyección de agua.....	51
XIV.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor D para reinyección de agua.....	52
XV.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor E para reinyección de agua.....	53
XVI.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor A para reinyección de agua.....	54
XVII.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor B para reinyección de agua.....	55
XVIII.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor C para reinyección de agua.....	56
XIX.	Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor D para reinyección de agua.....	57

	Pp.
XX. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor E para reinyección de agua.....	58
XXI. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor A para reinyección de agua.....	59
XXII. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor B para reinyección de agua.....	60
XXIII. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor C para reinyección de agua.....	61
XIV. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor D para reinyección de agua.....	62
XV. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor E para reinyección de agua.....	63
XVI. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor A para crudo.....	64
XVII. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor D para crudo.....	65
XVIII. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor A para crudo.....	66
XIX. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor D para crudo.....	67
XXX. Datos para el cálculo de la salinidad en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua.....	67
XXXI. Datos para el cálculo del número de cupones para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua.....	68
XXXII. Datos para el cálculo del volumen de solución salina en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua.....	68
XXXIII. Datos para el cálculo de la dosificación de químico a inyectar en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua.....	68
XXXIV. Datos para el cálculo del área del cupón en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua.....	69

	Pp.
XXXV.	Datos para el cálculo de los mpy en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua..... 69
XXXVI.	Datos para el cálculo de la dosificación de químico a inyectar en el reactor por lotes o inyección continua para reinyección de agua o crudo..... 69
XXXVII	Datos para el cálculo del N_{Re} 70
XXXVIII	Dimensiones iniciales del reactor..... 73
XXXIX.	Resultados del dimensionamiento del reactor..... 89
XL.	Resultados de la salinidad, número de cupones y volumen de solución salina de la prueba Wheel Test para reinyección de agua.... 90
XLI.	Resultados de las concentraciones y sus equivalencias en μL de la prueba Wheel Test para reinyección de agua..... 90
XLII.	Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores de la prueba Wheel Test para reinyección de agua..... 90
XLIII.	Resultados de las concentraciones y sus equivalencias en μl del reactor por lotes o inyección continua sea para reinyección de agua o crudo..... 91
XLIV.	Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para reinyección de agua..... 92
XLV.	Resultados obtenidos de las T_{em} prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para reinyección de agua..... 92
XLVI.	Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para reinyección de agua.....
XLVII.	Resultados obtenidos de las T_{emp} prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para reinyección de agua..... 93
XLVIII.	Resultados obtenidos de los mpy prom y T_{emp} prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para crudo... 94

		Pp.
XLIX.	Resultados obtenidos a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para crudo.....	95
L.	Composición química del vidrio pyrex.....	96
LI.	Recursos Humanos.....	100
LII.	Recursos Materiales.....	100
LIII.	Recursos Totales.....	101
LIV.	Materiales utilizados para la construcción y ensamblaje del reactor de mezcla completa.....	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN		Pp.
1.	Cálculo de la velocidad de corrosión.....	6
2.	Cálculo de la pérdida de peso.....	7
3.	Cálculo del área de cupón.....	7
4.	Reacción química.....	28
5.	Cálculo de la altura del tanque.....	34
6.	Cálculo de la altura del líquido.....	34
7.	Cálculo del diámetro del tanque.....	35
8.	Cálculo de la longitud del agitador.....	35
9.	Cálculo del volumen del tanque.....	35
10.	Cálculo del número de Reynolds.....	35
11.	Cálculo del consumo de potencia.....	36
12.	Cálculo de la potencia para flujo laminar.....	36
13.	Cálculo de la potencia para flujo turbulento.....	37
14.	Cálculo de la salinidad.....	44
15.	Cálculo del número de cupones a preparar.....	44
16.	Cálculo del volumen de solución salina.....	44
17.	Cálculo de la dosificación de químico a inyectar.....	44

RESUMEN

Se diseñó y construyó un reactor de mezcla completa para el Laboratorio de Corrosión en PETROPRODUCCIÓN-Lago Agrio, con la finalidad de evaluar inhibidores de corrosión en crudo, agua de formación y petróleo.

Se realizaron cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo. En su construcción se emplearon materiales como: vaso de vidrio pyrex y material acrílico; Accesorios: prensas, arandela, tuerca de precisión, empaques de polietileno, termómetro, corchos, probeta de polarización lineal, corrater; Los reactivos utilizados fueron: sal, nitrato de plata; Se emplearon cinco inhibidores de corrosión provenientes de compañías proveedoras para la realización de las pruebas a concentraciones de 10, 15, 20 y 25 ppm. Las pruebas se realizaron por tiempos de 16 horas, con agitación lenta y a temperatura de 48 C, mediante dos procedimientos: reactor por lotes e inyección continua, para concentraciones de 10, 15, 20 y 25 ppm. Se obtuvo un reactor con las siguientes dimensiones: diámetro del reactor 10,85 cm, alto del reactor 13,02 cm, altura del líquido en el reactor 10,85 cm y volumen máximo del reactor 1000,00 cm³

Se recomienda continuar con estudios acerca de este equipo, con el fin de mejorar su funcionamiento y sus métodos de evaluación para en lo posterior ser utilizado como método de evaluación en la Empresa.

SUMMARY

It was designed and built a reactor of complete mixture for the Laboratory Corrosion from PETROPRODUCTION-Lago Agrio, with the purpose evaluating inhibitors of corrosion in raw, formation water and petroleum.

They were carried out engineering calculations for the dimension from team. In their construction materials were used as: glass of glass Pyrex and acrylic material; Accessories: press, washer, nut precision, polyethylene packing, thermometer, corks, test tube of lineal polarization, corrater, The utilized reagents were: leave silver nitrate; five inhibitors of corrosion coming from company the supplying ones were used for realization from the tests to concentrations 10, 15, 20 and 25 ppm. The tests were carried out for times of 16 hours, with slow agitation and to temperature of 48 C, by means of two procedures: reactor for lots and continuous injection, for concentrations of 10, 15, 20 and 25 ppm. A reactor was obtained with the dimensions; reactor diameter 10,85 cm with, high 13,02 cm, height of the liquid in the reactor 10,85 cm and maximum volume of the reactor 1000,00 cm³

It is recommended to continue with studies, with the purpose of improving its operation and their appraisal methods it stops later thing utilized as appraisal method in the Company

INTRODUCCIÓN

La corrosión en los pozos en producción y en los sistemas de reinyección de agua constituyen los principales problemas para las operaciones petroleras.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y construcción de un reactor para establecer un procedimiento de evaluación de inhibidores de corrosión.

Se evaluaron cinco inhibidores de corrosión que se emplean en los diferentes campos del Distrito Amazónico, para establecer técnica y económicamente el mejor producto a ser usado en el campo.

PETROPRODUCCIÓN en la actualidad cuenta con el Wheel Test, equipo que es utilizado desde hace mucho tiempo para evaluar la eficiencia de los inhibidores de corrosión que se utilizan en el Distrito.

El reactor sería un método alternativo para que PETROPRODUCCION realice la evaluación de los distintos inhibidores de corrosión. Los resultados obtenidos por este método determinarían la eficiencia de los productos evaluados.

ANTECEDENTES

A medida que la explotación de crudo aumenta, la cantidad de agua también, por tanto los requerimientos para su manejo en los sistemas de producción son cada vez más estudiados para la implementación de tratamientos químicos específicos y para consideraciones en las etapas de diseño de equipos y facilidades.

Estudios realizados muestran la importancia del uso de productos químicos para disminuir la corrosión, entre ellos se destacan: “Estudio y selección de los inhibidores de incrustaciones y corrosión utilizados por PETROECUADOR en el nororiente”, realizado por Clara Albuja y Enrique Maya, ESPOCH; “Estudio de los factores responsables de los fenómenos de corrosión y escala de los sistemas de producción de crudo”, realizado por Germán Cáceres Mena, ESPOCH; “Corrosión, formas y control en un campo petrolero”, realizado por Elvia Guerra y María Espinoza, ESPOCH; “Diseño y construcción de un reactor con agitación para evaluar inhibidores de corrosión en aguas de formación”, realizado por María Gordillo y Paúl Santana, ESPOCH.

En la actualidad la Gerencia de Exploración y Producción cuenta con el equipo Wheel Test (prueba de la rueda), instalado en el Laboratorio de Tratamiento Químico y Corrosión de Lago Agrio, con el que, desde hace algunos años atrás, se ha evaluado los productos ofertados por las diferentes compañías de

servicio, obteniendo buenos resultados en la determinación de la eficiencia de los inhibidores de corrosión que se emplean en los distintos campos.

La construcción del reactor y la determinación de un procedimiento de ensayo, permite seleccionar inhibidores de corrosión para petróleo, crudo y agua de formación, de acuerdo a la eficiencia presentada en el desarrollo de las pruebas, que podrán ser aplicados en los campos productivos, a nivel de pozos y facilidades de superficie.

JUSTIFICACIÓN

El crudo explotado en Lago Agrio, está acompañado de agua de formación poseen características que los hacen sumamente corrosivos, causando daños en equipos, tuberías y accesorios, ocasionando fallas y tiempos de cierre, con la correspondiente pérdida de producción. Por esta razón, a fin de brindarles protección e incrementar su tiempo de vida útil, se aplica los productos denominados inhibidores de corrosión, evitando corrosión agresiva, altos costos por reposición y paros no programados.

PETROPRODUCCIÓN, realiza algunas pruebas de laboratorio entre las cuales tenemos: densidad, viscosidad, índice de refracción para determinar las características del crudo y las pruebas en Wheel Test para la evaluación de los inhibidores de corrosión tanto en crudo, petróleo y agua de formación, sin embargo en la actualidad se requiere verificar que tan eficiente es el poder inhibidor de los diferentes químicos que se están usando, según las condiciones específicas de trabajo en el campo Lago Agrio. Por esa razón surge la necesidad de construir un reactor que permita evaluar y seleccionar los inhibidores de corrosión de una forma más dinámica y exacta. Contar con ambos equipos, el Wheel test donde el tiempo de prueba es de 24 horas, y el reactor de mezcla completa, proporcionan una doble vía en lo que se refiere a la evaluación de inhibidores de corrosión para saber si éstos están actuando óptimamente, evitando gastos infructuosos para la empresa.

OBJETIVOS

GENERAL

“Diseñar y Construir el reactor de mezcla completa para la evaluación de inhibidores de corrosión para crudo, petróleo y agua de formación en PETROPRODUCCIÓN-Lago Agrio”.

ESPECÍFICOS

- Dimensionar el reactor de mezcla completa
- Construir el reactor de mezcla completa
- Determinar el tiempo óptimo de evaluación de los inhibidores de corrosión en el reactor
- Encontrar el procedimiento a seguir para la realización de las pruebas con el reactor
- Encontrar una relación entre ambos métodos de evaluación de inhibidores (Reactor de mezcla completa y Wheel Test)
- Realizar pruebas de eficiencia variando la concentración del inhibidor
- Seleccionar el inhibidor

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. CRUDO

“El crudo es la forma natural con la que el producto es extraído de su reservorio o yacimiento. El crudo va acompañado de agua de formación, gases y otras impurezas. Este es a menudo negro, pero puede ser de una amplia gama de colores, incluyendo amarillo (claro), dependiendo del contenido de la mezcla de hidrocarburos. El crudo es una mezcla compleja de químicos orgánicos, hidrocarburos en su mayoría. Más de 500 compuestos han sido encontrados en el crudo” ⁽¹⁾

Los datos correspondientes a la producción en Lago Agrio se encuentran en la tabla I.

TABLA I.
Producción en Lago Agrio

Estaciones	BFPD	BPPD	BAPD	Método de producción	Pozos
Guanta	5683	3797	1886	Levantamiento hidráulico con bomba Jet	23
Lago Central	3154	2156	998	Levantamiento hidráulico con bomba Pistón	10
Lago Norte	4425	2472	1953	Bombeo mecánico	3
Parahuacu	3759	3683	76	Levantamiento con bomba Electro-Sumergible	12
Total	17021	12108	4913	Total de pozos produciendo	48

⁽¹⁾ PINOS R._ 2000: Texto Básico de Petróleos, p. 26

1.1.1. AGUA DE FORMACIÓN

“Es el agua que se encuentra junto al petróleo y gas en los yacimientos y es responsable de los mayores problemas (corrosión, incrustaciones, emulsiones). Las aguas producidas varían en su composición química (sales disueltas, gases disueltos, sólidos en suspensión), y que luego por procedimientos químicos y físicos es separada del mismo

1.1.1.1. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA

El agua producida en el campo es altamente corrosiva e incrustante, por lo que el tratamiento químico que se aplica para mitigar los efectos de la corrosión y los depósitos de escala (incrustaciones), debe ser eficiente; de lo contrario se tendrá problemas permanentes en equipos, líneas y formaciones receptoras de agua de formación. Entre los problemas generados debido al agua de formación tenemos:

- Crea ambientes corrosivos
- Mantiene superficies húmedas en la tubería
- Incrementa la conductividad del fluido
- Disuelve gases corrosivos
- Promueve la formación de emulsiones
- Incrementa velocidad en las tuberías y reduce tiempo de retención en recipientes

- Puede causar la formación de incrustamientos” ⁽²⁾

1.1.2. EL PETRÓLEO

“El petróleo es una mezcla de gran cantidad de multicomponentes, cuyas moléculas están formadas por átomos de hidrógeno y carbono en mayor porcentaje, unidas por enlaces covalentes C-C y C-H, conocidos como hidrocarburos. En pequeñas cantidades se encuentran compuestos sulfurados, oxigenados, nitrogenados, órgano-metálicos, sales, sedimentos y agua emulsionada considerados como impurezas del petróleo. La composición del petróleo fundamentalmente está especificada en la tabla II.

TABLA II.

Composición del petróleo

Elemento	Porcentaje
Carbono	83 – 87
Hidrógeno	11 – 15
Azufre	0,1 – 0,6
Nitrógeno	0,1 – 1,5
Oxígeno	0,3 – 1,2

Fuente: Rosa Pinos, Procesos Industriales

⁽²⁾ SANTANA P y GORDILLO M._ 2008: Diseño y Construcción de un Reactor con Agitación para evaluar Inhibidores de Corrosión en Aguas de Formación (Tesis), p.35

1.1.2.1. EVALUACIÓN DEL PETRÓLEO

La evaluación del petróleo, se efectúa al hidrocarburo cuando han sido separadas sus fases: agua, petróleo y gas, cuando el hidrocarburo tiene en su composición valores porcentuales de agua menor a 1% se lo considera como hidrocarburo limpio que puede ser transferido o bombeado al oleoducto para que pueda ser utilizado en los diferentes procesos. Las razones son:

- Permite determinar su composición físico-química
- Determina su valoración en las operaciones de comercialización
- Fija los parámetros de calidad que el mercado lo exige
- Interviene en el diseño de las plantas o unidades de refinación
- Permite al refinador manipular con fundamentos las variables operacionales de las unidades de tratamiento existentes en una refinería

Para evaluar el petróleo crudo se requiere disponer del conocimiento de sus propiedades:

- Físico-químicas
- Contenido de impurezas
- Curva de destilación
- Características de sus fracciones
- Obtención de productos de acuerdo a las especificaciones requeridas”⁽³⁾

⁽³⁾ PINOS R._ 2000: Texto Básico de Petróleos, p. 36

1.2. CORROSIÓN

“NACE define a la corrosión como la deterioración de un material, usualmente un metal, como consecuencia de una interrelación con el medio circundante. Materiales como acero, concreto, etc., están propensos a corroerse” ⁽⁴⁾

1.2.1. EXPOSICIÓN DE MUESTRAS

“Las exposiciones de muestras son muy utilizadas para el monitoreo de corrosión en sistemas en servicio, monitorear la efectividad de los inhibidores de corrosión y efectos de los cambios de las condiciones de operación sobre los materiales dentro de los sistemas.

a) Cupones

Son pequeñas muestras de material colocadas dentro de un sistema para medir o monitorear el comportamiento de la corrosión. Los cupones pueden ser simples muestras planas que se pesan previamente y se montan para exponerlos al sistema. Luego de un tiempo determinado, estos cupones son retirados, limpiados y pesados nuevamente para obtener el peso perdido por efectos de la corrosión.

⁽⁴⁾ VALDIVIESO J._ 2003: Técnicas de Monitoreo de la Corrosión (Diapositivas), pp. 45-48

La figura 1., muestra los tipos de cupones de corrosión mientras que la figura 2., muestra el sistema de acceso del cupón de corrosión. Ambas figuras se muestran a continuación:

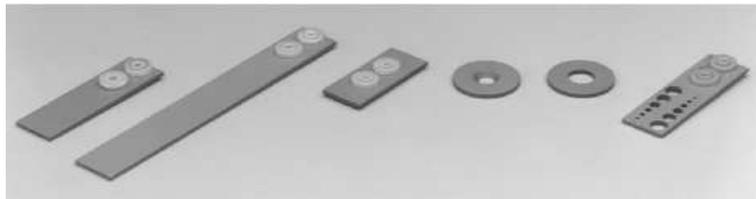


Figura 1. Cupones de corrosión



Figura 2. Sistema de acceso del cupón de corrosión

Cuando se hace la evaluación de los cupones, se saca y se lava con HCl (10%), agua carbonatada y por último agua destilada; una vez hecho esto se seca y, antes de ser pesados en la balanza analítica, son inspeccionados en forma visual y en muchos casos fotografiados”⁽⁵⁾

“Se emplea la siguiente ecuación para determinar la velocidad de corrosión en milésimas de pulgada por año (mpy):

$$CR = \frac{22,3 \times w}{D \times A \times T} \quad \text{Ec. 1}$$

⁽⁵⁾ HOWAR J._ 1996: Detección y Control de Corrosión en Campos Petroleros, pp. 24-27

Donde:

CR = Velocidad de corrosión (mpy)

w = Diferencia de pesos (mg)

A = Área del cupón (pulg²)

D = Densidad del metal (g/cm³)

T = Tiempo de exposición (días)

Para el cálculo de la pérdida de peso (w), se aplica la siguiente ecuación:

$$w = P_i - P_f \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

w = Diferencia de pesos (mg)

P_i = Peso inicial del cupón (mg)

P_f = Peso final del cupón (mg)

Para el cálculo del área (A) se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

A = Área del cupón (cm²)

π = Constante

r = Radio del cupón (cm)

La Ec. 3, se aplica siempre y cuando el cupón sea cilíndrico como en este caso, aunque esto no es siempre ya que en otras ocasiones los cupones son rectangulares.

En la tabla III, se muestra como la constante puede variar al calcular la velocidad de corrosión en varias unidades:

TABLA III.

Variación de la constante al calcular la CR en varias unidades

Velocidad de corrosión deseada		
Unidad (CR)	Área de unidad (A)	Sustituto del valor de 22,3
mmy	pulg ²	566
mpy	cm ²	143,7
mmy	cm ²	3,65

Fuente: [http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20\(spanish\).pdf](http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20(spanish).pdf)⁽⁶⁾

“En un típico programa de monitoreo, los cupones son expuestos entre unos 45 a 90 días antes de ser removidos para análisis del laboratorio. Las pérdidas

⁽⁶⁾ CUPONES DE CORROSIÓN._ 2008: [http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20\(spanish\).pdf](http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20(spanish).pdf)

de peso resultantes de cualquier cupón expuesto por un período de tiempo, será el valor promedio de corrosión que ha ocurrido en ese intervalo temporal. Las ventajas y desventajas del uso de cupones de corrosión se muestran en la tabla IV.

TABLA IV.

Ventajas y desventajas del uso de cupones de corrosión

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	Mediciones locales solamente
Medición directa	Medición promedio en tiempo
Inspección visual	No permite evaluación de cambios en el tratamiento

Fuente: BAKER PETROLITE, Control de Corrosión en Operaciones de Producción

Este método es comúnmente utilizado como medio de calibración, evaluación y respaldo de otros métodos de monitoreo de corrosión, tales como los métodos de Polarización Lineal o el de Resistencia Eléctrica” ⁽⁷⁾

b) Probetas de resistencia eléctrica

“Las probetas de resistencia eléctrica (E/R) pueden ser consideradas como cupones de corrosión “electrónicos”. Éstos cuentan con probetas que exponen una muestra de alambre al medio y en el otro extremo cuentan con un cable terminal para medir la resistencia eléctrica. Al igual que los cupones, las probetas E/R proveen una medición de la pérdida de metal de un elemento expuesto a un ambiente corrosivo la misma que es medida en forma periódica.

⁽⁷⁾ BAKER PETROLITE._ 2007: Control de Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), p. 29

La figura 3, muestra las simetrías de las probetas de resistencia eléctrica, mientras que la figura 4, muestra las probetas de resistencia eléctrica, ambas se ven a continuación:

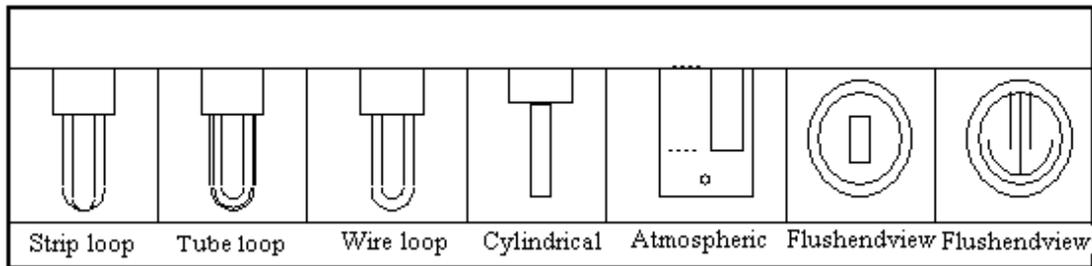


Figura 3. Simetrías de probetas de resistencia eléctrica



Figura 4. Probetas de resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica aumenta al reducirse el área de la sección transversal del alambre por corrosión” ⁽⁸⁾

“**Corrosómetro.** Es un equipo que sirve para medir la velocidad de corrosión en todos los medios, El corrosómetro es el más confiable y flexible, disponible para el monitoreo de la corrosión mediante Resistencia Eléctrica (E/R). A la resistencia eléctrica de un sensor tipo E/R, este se traduce en la pérdida de

⁽⁸⁾ SANTANA P y GORDILLO M._ 2008: Diseño y Construcción de un Reactor con Agitación para evaluar inhibidores de Corrosión en Aguas de Formación (Tesis), pp. 63-65

metal y a su vez, en la velocidad de corrosión, de cualquier ambiente ya sea líquido, gaseoso o sólido. Éstos instrumentos operan en ambientes hostiles y las probetas pueden operar en medios químicos extremos a temperaturas que alcanzan los 850 F (450 C) y una presión de 6000 psi (41,3 MPa).

En la figura 5, se muestra al corrosómetro.



Figura 5. Corrosómetro⁽⁹⁾

“Las ventajas y desventajas del uso de probetas de resistencia eléctrica se muestran en la tabla V.

TABLA V.

Ventajas y desventajas del uso de probetas de resistencia eléctrica

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	Requiere equipo electrónico
No requiere medio conductor	Ensuciamiento en medio agrio
Medición casi directa de la corrosión	Probetas con rangos definidos

Fuente: BAKER PETROLITE, Control de Corrosión en Operaciones de Producción

⁽⁹⁾ CUPONES DE CORROSIÓN._ 2010: [http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20\(spanish\).pdf](http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20(spanish).pdf)

El inconveniente con este tipo de monitoreo es que el tipo de corrosión no se puede determinar” ⁽¹⁰⁾

c) Probetas de polarización lineal.

“La técnica LPR está basada en una teoría electroquímica compleja. Para su aplicación en mediciones industriales, ha sido simplificada a un concepto básico. En términos fundamentales, un pequeño voltaje (o potencial de polarización) es aplicado a un electrodo en solución. Así tenemos diferentes probetas:

Probetas de 2 electrodos

Estas probetas utilizan dos electrodos de prueba idénticos, que están montados al final del cuerpo de la probeta, enroscados en dos cuerpos eléctricamente aislados. Son usadas para la mayoría de problemas donde este tipo de probetas son aplicables, es debido también a la gran diferencia de costos ante las probetas de 3 electrodos, la instrumentación para estas probetas de 2 elementos, es menos costosa. En la figura 6, se muestran las LPR de 2 electrodos.

⁽¹⁰⁾ BAKER PETROLITE._ 2007: Control de Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), p. 38

	Probeta de laboratorio
	Probeta de flujo ajustable
	Probeta de no flujo ajustable
	Probeta retráctil

Figura 6. LPR de 2 electrodos

Probetas de 3 electrodos

Este tipo de probetas están compuestas por dos electrodos de prueba idénticos que son reemplazables y un electrodo auxiliar que no es reemplazable, ubicado muy cerca de los electrodos de prueba. El tercer electrodo (referencia) mejora la exactitud de las medidas de corrosión en líquidos con baja conductividad eléctrica. Si es cierto que el Corrater puede ser empleado tanto para las probetas de 2 electrodos como para las de 3 electrodos, éstas últimas no son recomendadas a menos que sea para medidas de corrosión de una solución cuya resistividad exceda los 10000 ohm.cm.mpy.

En la figura 7, se muestran las LPR de 3 electrodos.

	Probeta de laboratorio
	Probeta de flujo ajustable
	Probeta de no flujo ajustable
	Probeta retráctil

Figura 7. LPR de 3 electrodos

Las LPR son conectadas mediante un cable a un instrumento llamado corrater, que permite directa y exactamente determinar lecturas de velocidad de corrosión de menos de un mpy (0,025 mm por año) y por encima de 100 mpy (2,5 mm por año) en pocos minutos. El método de las LPR, trabaja extremadamente bien para medidas de corrosión en líquidos eléctricamente conductivos, aunque no puede ser utilizado en hidrocarburos puros o gases.

La corriente necesitada para mantener una tensión (típicamente 10 mV) es directamente proporcional a la corrosión en la superficie del electrodo sumergido en la solución. Por medio de la medición de la corriente, la tasa de corrosión puede ser deducida” ⁽¹¹⁾

⁽¹¹⁾ SANTANA P y GORDILLO M._ 2008: Diseño y Construcción de un Reactor con Agitación para evaluar Inhibidores de Corrosión en Aguas de Formación (Tesis), pp.95-97

“**Corrater**. La medición de la velocidad de corrosión en sistemas de agua puede realizarse por medio de la utilización de la técnica de Resistencia de Polarización Lineal, usando un equipo llamado Corrater. Una medición electroquímica directa de la velocidad de corrosión es posible simplemente a través de una sola medición con este método electroquímico. Estas mediciones deben ser precisas para poder aplicar de forma efectiva los tratamientos químicos a los sistemas de agua. En la figura 8, se muestra al corrater.



Figura 8. Corrater

En la actualidad para elegir entre probetas indiferentemente del número de electrodos, puede emplearse de manera general: $R \cdot C$, que es el producto de la resistividad de la solución y la medida esperada de corrosión, expresada como: ohm.cm.mpy” ⁽¹²⁾

⁽¹²⁾ GUÍA PARA SELECCIÓN DE PROBETAS CORRATER._ 2010:

http://www.cosasco.com/pdfs/spanish/Corrater%20Probe%20Selection_SP.pdf

Ubicación de la probeta en la tubería

“Como sucede con los cupones, la ubicación de una probeta debe considerarse detalladamente para obtener lecturas que representen con la mayor precisión posible la corrosión real existente en el sistema. Normalmente, no se debe colocar una sonda de modo que un electrodo evite que otro electrodo reciba todo el flujo. Ambos electrodos deben estar en posición perpendicular al flujo, siempre que sea posible.

La figura 9, muestran la ubicación recomendada de la probeta en la línea en relación al flujo.

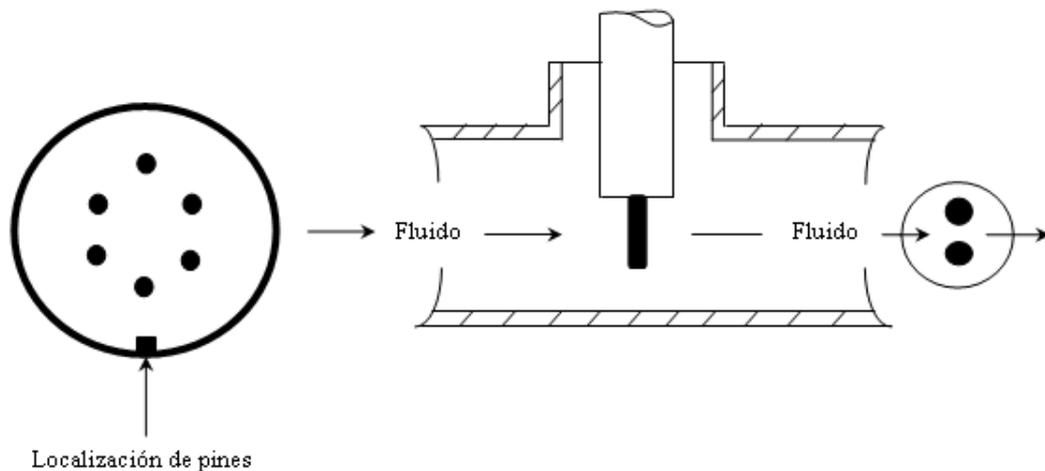


Figura 9. Ubicación de probeta en relación al flujo

Normalmente, las LPR se deben ubicar de modo que el líquido pueda desplazarse por los electrodos a una velocidad no menor a 1 pie (30,48 cm) por segundo. Las probetas ubicadas en áreas de estancamiento con frecuencia

producirán datos de corrosión o de corrosión por picaduras que no representan las condiciones reales de la planta.

En la tabla VI, se muestran los valores referenciales para la elección entre probetas.

TABLA VI.

Valores referenciales para la elección entre probetas

$R \cdot C < 10000$	2 electrodos sin curvas de corrección*
$10000 < R \cdot C < 25000$	2 electrodos con curvas de corrección*
$25000 < R \cdot C < 100000$	3 electrodos sin curvas de corrección*
$100000 < R \cdot C < 250000$	3 electrodos con curvas de corrección*
$250000 < R \cdot C$	No es recomendable el uso de LPR

Fuente: http://www.cosasco.com/pdfs/spanish/Corrater%20Probe%20Selection_SPA.pdf⁽¹³⁾

“Dentro de ciertas limitaciones, esta corriente puede relacionarse a la proporción de la corrosión en general. Además, los sistemas del corrater pueden medir también la tendencia a producirse corrosión por picadura. La tabla VII, muestra las ventajas y desventajas del uso de una probeta de polarización lineal.

⁽¹³⁾ PRODUCTOS PARA EL MONITOREO DE LA CORROSIÓN._ 2010:

http://www.cosasco.com/pdfs/spanish/CMS_Spanish_Brochure.pdf

TABLA VII.

Ventajas y desventajas del uso de probetas de polarización lineal

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	Requiere equipo electrónico
Medición en tiempo real	Requiere mínima conductividad
Medición directa de corrosión	

Fuente: BAKER PETROLITE, Control de Corrosión en Operaciones de Producción ⁽¹⁴⁾

1.2.2. INHIBIDORES DE CORROSIÓN

“Son combinaciones de productos químicos que se adhieren a las paredes metálicas internas y cuya función principal es la de formar una película de protección que aísla el metal de los agentes que causan corrosión. Las películas las pueden formar ya sea por adsorción, la formación de precipitados o la formación de capas pasivas en la superficie del metal.

Los inhibidores de corrosión tienen las siguientes características:

- Combinación de varios productos con diferente función
- Trabajan a dosificaciones relativamente bajas
- Bajo costo

La efectividad de un inhibidor es además dependiente de múltiples factores tales como concentración del inhibidor, del material metálico, del tipo y

⁽¹⁴⁾ BAKER PETROLITE._ 2007: Control de Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), p. 48

concentración de la solución, la temperatura, la presencia de otros agentes tensoactivos, etc” ⁽¹⁵⁾

1.2.2.1. OBJETIVOS DEL INHIBIDOR

“Además el inhibidor ideal de corrosión debe cumplir tres objetivos:

- Hábil para alcanzar muy pronto la superficie metálica y absorberse rápidamente (buena solubilidad ó dispersibilidad en agua, particularmente en aplicaciones de alta fricción y tiempo de contacto mínimo).
- Interactuar fuertemente con la superficie metálica o los productos de corrosión para formar una unión resistente a la disolución ó disrupción
- Formar una barrera fílmica de protección altamente insoluble en agua y que permanezca íntegra en condiciones de alta fricción” ⁽¹⁶⁾

“Los inhibidores se aplican en los siguientes sistemas:

- Sistemas acuosos líquidos
- Sistemas líquidos no acuosos
- Ambientes gaseosos

⁽¹⁵⁾ VALDIVIESO J._ 2003: Técnicas de Monitoreo de la Corrosión (Diapositivas), p.51

⁽¹⁶⁾ BAKER PETROLITE._ 2007: Control de la Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), p.56

Las técnicas de aplicación de los inhibidores de corrosión son:

- a) Inyección continua
- b) Tratamiento por lotes
- c) Tratamiento en sistemas a presión” ⁽¹⁷⁾

1.2.2.2. ESTRUCTURA DE UN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

“La figura 10, muestra la estructura de un inhibidor de corrosión.

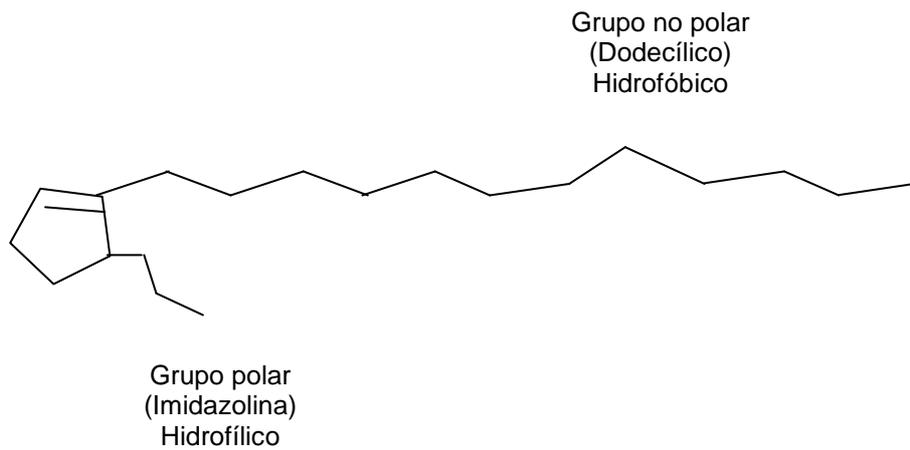


Figura 10. Estructura de un inhibidor de corrosión

⁽¹⁷⁾ HOWAR J._ 1996: Detección y Control de Corrosión en Campos Petroleros, pp. 55-56

1.2.2.3. MECANISMO DE INHIBICIÓN DE UNA SUPERFICIE METÁLICA CUBIERTA POR PRODUCTOS DE CORROSIÓN

La figura 11, muestra el mecanismo de inhibición de una superficie metálica cubierta por productos de corrosión.

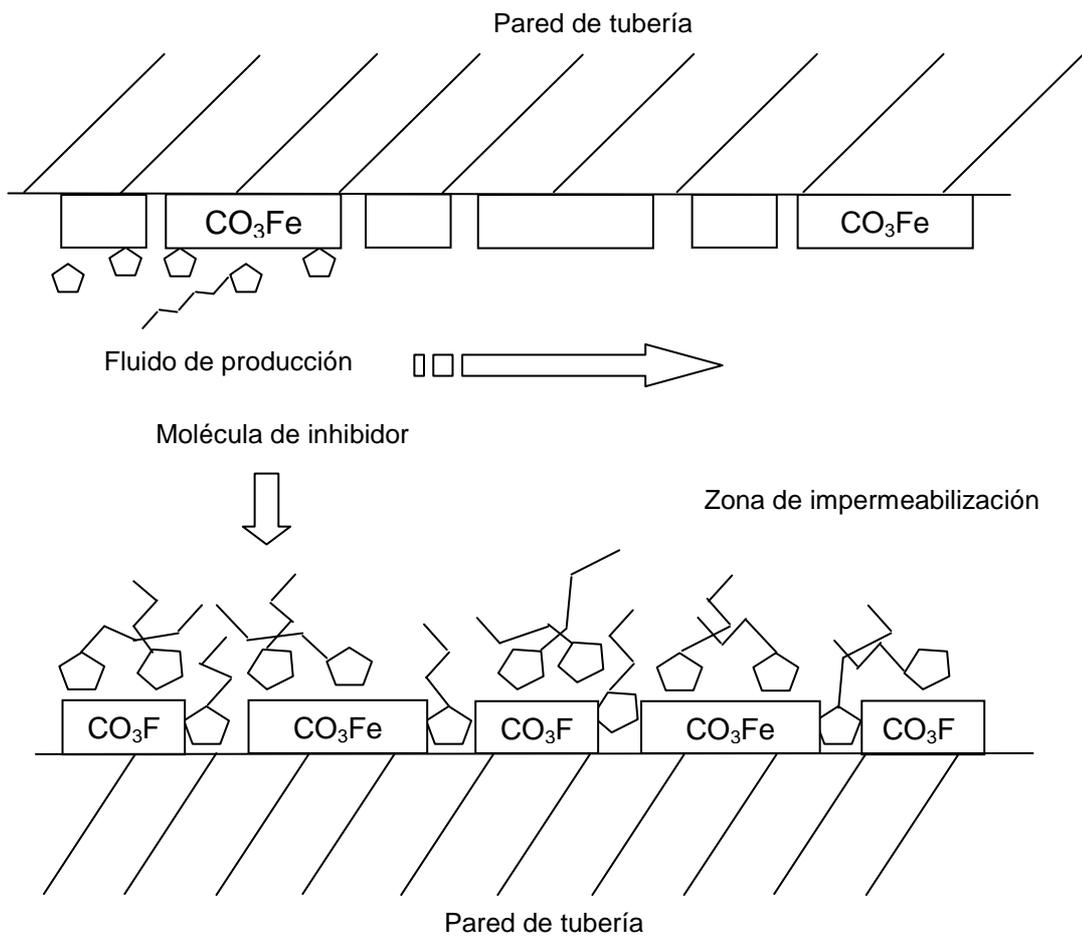


Figura 11. Mecanismo de inhibición de una superficie metálica cubierta por productos de corrosión⁽¹⁸⁾

⁽¹⁸⁾ BAKER PETROLITE._ 2007: Control de Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), p. 69

1.2.2.4. LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN LOS CAMPOS PETROLEROS

“Los inhibidores de la corrosión no dispersibles en agua se disuelven en la fase de petróleo. Cuando este tipo de producto se mezcla con el agua, este se separa inmediatamente y no permanece suspendido ni disperso en el agua.

Los inhibidores de la corrosión dispersibles en agua no se disuelven en el petróleo, y cuando se los mezcla con agua permanecen temporalmente suspendidos en el agua por variados periodos de tiempo. El tiempo que el inhibidor permanece suspendido determina la dispersibilidad del producto. Como regla general es más difícil hacer que se disperse un inhibidor de la corrosión soluble en salmueras espesas (con alto contenido de cloruro) que en agua dulce (con poco contenido de cloruro). Ejemplo (ver ANEXO X)

1.2.2.5. COMPOSICIÓN DE LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN

La mayoría de los inhibidores de corrosión en los campos petroleros son aminas que forman películas. Estos productos recubren el metal evitando así la acción de los agentes corrosivos como el CO_2 y el H_2S sobre el metal. Entre las más comunes se citan las siguientes:

a) Aminas

- Cíclicas: imidazolinas, piperazina, morfolina
- Lineales: amidas, diaminas

b) Ácidos grasos - Función RCOOH

c) Aminas cuaternarias

Estos productos en base a amina forman una película de amina o la amina es atraída electroquímicamente a la superficie de los metales, colocando una película de petróleo que evita la corrosión.

Las aminas cuaternarias usadas en los campos petroleros son generalmente solubles en agua, pero también pueden ser solubles en petróleo.

1.2.2.6. SELECCIÓN DE LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN

La selección de un inhibidor de corrosión se efectúa previo estudio detallado del sistema y de las condiciones de operación del mismo, se debe considerar lo siguiente:

a) Análisis

- Crudo
- Agua
- Petróleo

b) Análisis de gases

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Sulfuro de hidrogeno (H₂S)
- Oxígeno (O₂)

c) Condiciones operativas

- Flujos: agua, petróleo, gas
- Perfil de temperatura y presión
- Velocidades de flujos

d) Metalurgia del sistema

- Tipo de aceros utilizados

e) Consideraciones de diseño del sistema

- El mecanismo de la corrosión en el sistema debe ser bien comprendido
- La localización del problema de corrosión debe ser analizada
- Otros problemas de producción pueden afectar, (intensificar), el problema
- Condiciones del sistema” ⁽¹⁹⁾

1.2.2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE INHIBIDORES

“La tabla VIII, muestra las ventajas y desventajas de los inhibidores solubles en agua.

TABLA VIII.

Ventajas y desventajas de los inhibidores solubles en agua

Ventajas	Desventajas
Costo	Contaminación
	Requiere re-inyección
	Eliminación de desechos
	Revestimiento no uniforme
	Excluido de combustibles militares

Fuente: HOWAR J, Detección y Control de Corrosión en Campos Petroleros

⁽¹⁹⁾ HOWAR J._ 1996: Detección y Control de Corrosión en Campos Petroleros, p. 64

La tabla IX, muestra las ventajas y desventajas de los inhibidores no solubles en agua.

TABLA IX.

Ventajas y desventajas de los inhibidores no solubles en agua

Ventajas	Desventajas
Fácil de inyectar	Costos más altos
Larga distancia de protección	Algunos emulsifican el agua
Buen control de la corrosión	Algunos son incompatibles
	Se forma algo de ceniza

Fuente: MANZANO E, Inhibidores de Corrosión" ⁽²⁰⁾

1.2.2.8. INHIBIDORES MÁS UTILIZADOS EN EL DISTRITO AMAZÓNICO

Los inhibidores que se están utilizando en los diversos campos del Distrito Amazónico son:

Lago Agrio:

- C-960 en el Auca, Proveedor Quimipac, Inhibidor para el Tratamiento Anticorrosivo en Líneas de Flujo y Pozos Productores.
- C-RW-100, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo en Instalaciones de Reinyección de Agua.
- COR-CONTROL, Proveedor Nalco, Anticorrosivo para Planta de Reinyección de Agua Auca 16.

⁽²⁰⁾ MANZANO E._ 2004: Inhibidores de Corrosión (Diapositivas), p. 24

- COR-830 Proveedor Baker Petrolite, Inhibidor para Líneas de Flujo y Pozos Productores.
- COW-28, Proveedor Baker Petrolite, Inhibidor Anticorrosivo para Reinyección de Agua.

Sacha:

- R-1160, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo para Reinyección de Agua Sacha Norte.
- R-1106, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo para Reinyección de Agua.
- P-860, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo para Líneas de Flujo y Pozos Productores.

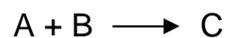
Shushufindi:

- C-963, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo para Líneas de Flujo y Pozos Productores.
- T-1036X, Proveedor Quimipac, Inhibidor para Líneas de Gas.
- P-1176, Proveedor Quimipac, Inhibidor Anticorrosivo para Reinyección de Agua

1.3. REACTORES

“Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas. La selección de un sistema de reacción que opera con una buena seguridad y de la manera más eficiente, puede ser la clave para el éxito o fracaso económico de una planta química.

Un reactor puede tener todas las formas físicas que uno crea convenientes, los hay desde simples tubos hasta los más complejos y llenos de accesorios de seguridad. Imaginemos que se tiene que llevar a cabo la siguiente reacción química:



Ec. 4

Los factores que se deben tomar en cuenta son los siguientes:

- Condiciones específicas en las que la reacción es posible (P,T)
- En qué grado se produce la reacción
- Cuál es la rapidez de la reacción

- Qué fases se encuentran presentes en la reacción”⁽²¹⁾

1.3.1. REACTOR DE FLUJO DE MEZCLA COMPLETA

“Los reactores de mezcla completa son ideales para fines industriales cuando se han de tratar grandes cantidades de sustancia y cuando la velocidad de reacción es bastante alta o muy alta. Permite un control extremadamente bueno de la calidad del producto y se emplea grandemente en la industria del petróleo”⁽²²⁾. El reactor trabajará en sistema cerrado

1.3.2. AGITACIÓN

“Es una operación unitaria mecánica que consiste en realizar movimientos violentos e irregulares en el seno de una masa fluida o que se comporte como tal para obtener una mezcla homogénea, es decir mantener la concentración constante en todas partes de la masa.

1.3.2.1. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE AGITADORES

Para diseñar agitadores es necesario determinar la potencia para accionar el rodete del sistema de agitación; el cálculo de la potencia deberá realizarse a partir de datos experimentales, es decir, mediante un procedimiento teórico-experimental, para esto existen fórmulas que dan la potencia necesaria

⁽²¹⁾ REACTORES_ 2008: http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_de_reactores

⁽²²⁾ LEVENSPIEL O._1975: Ingeniería de las Reacciones Químicas. P. 52

para accionar un agitador, dadas las dimensiones de éste, su tipo y las características del sistema que se trata de agitar.

En general los factores que condicionan las características de un agitador son:

- Sistema agitador (rodete-recipiente)
- Sistema agitado
- Efecto que se pretende obtener con el agitador
- Tiempo en el que se quiere tener este efecto
- Potencia puesta en juego para accionar el agitador

Todos estos factores están relacionados entre sí, por ejemplo: si a un rodete se le modifica el número, la longitud, el ancho o la inclinación de sus paletas, tendremos que variar la potencia necesaria para su funcionamiento si queremos mantener el mismo efecto del agitador sobre el mismo sistema y que ese efecto se produzca en el mismo tiempo.

La complejidad del problema se aprecia mejor si la consideración de un caso general pasamos a la de un caso particular como por ejemplo: la dispersión de catalizador en el seno de un líquido. En este caso los factores que condicionan las características son:

a) Del sistema agitador

- Tipo
- Dimensión
- Velocidad y posición del rodete
- Forma y dimensiones del recipiente
- Presencia o ausencia de cortacorrientes, etc

b) Del sistema agitado

- Líquido: Propiedades físico-químicas
- Sólido: Superficie específica, tamaño y forma de los granos, isotropía o anisotropía del material.
- Mezcla: Cantidades relativas, relación de densidades, tensión interfacial.

c) Efecto pretendido

- Este factor se lo toma como invariable

d) Tiempo necesario

- También se lo puede tomar como un factor invariable

e) Potencia necesaria

La existencia de tanta variable se comprende que haya dificultado la resolución del problema e incluso que condiciones esta solución, al tiempo que explica la divergencia que se observa entre los resultados que se obtienen al aplicar fórmulas encontradas empíricamente por diversos autores, adecuadas para el caso particular estudiado, pero estas no pueden ser generalizadas. Tales fórmulas pueden servir para comparar dos agitadores, pero en general para prever el trabajo de cualquier otro tipo no sometido a comparación” ⁽²³⁾

1.3.2.2. AGITADORES MAGNÉTICOS

“Un agitador magnético consiste de una pequeña barra magnética (llamada barra de agitación) la cual esta normalmente cubierta por una capa de plástico (usualmente Teflón) y una placa debajo de la cual se tiene un magneto rotatorio o una serie de electromagnetos dispuestos en forma circular a fin de crear un campo magnético rotatorio. Es muy frecuente que tal placa tenga un arreglo de resistencias eléctricas con la finalidad de dotarle de calor necesario para calentar algunas soluciones químicas. Durante la operación de un agitador magnético típico, la barra magnética de agitación (también llamada pulga, frijol o bala magnética) es deslizada dentro de un contenedor ya sea un matraz o vaso de precipitados de vidrio borosilicato preferentemente conteniendo algún líquido para agitarle. El contenedor es colocado encima de la placa en donde

⁽²³⁾ BRITO H._ 2006: Texto Básico de Operaciones Unitarias I, pp. 77-84

los campos magnéticos o el magneto rotatorio ejercen su influencia sobre el magneto recubierto y propician su rotación mecánica.

Los agitadores magnéticos son preferidos en lugar de los de mecanismo de engranes debido a que son más silenciosos, más eficientes, y no tienen partes móviles que puedan romperse o desgastarse (simplemente la barra de agitación en sí). Debido a su pequeño tamaño, la barra de agitación es más fácil de limpiar y esterilizar que otros aparatos de agitación. Las agitadoras magnéticas resuelven dos problemas mayores al usarse en lugar de los agitadores motorizados. Primero, los agitadores motorizados requieren el uso de lubricantes, los cuales pueden en un momento dado contaminar los reactivos. Segundo, en un agitador motorizado el sellar herméticamente la conexión mecánica rotatoria del agitador motorizado puede ser un problema en el caso de tratarse de un sistema cerrado, o por regulación ambiental o por tratarse de un proceso en el cual debe haber ausencia de polvo, agua u oxígeno

El agitador magnético también tiene sus desventajas, las limitadas dimensiones de la barra de agitación significan que no puede ser utilizado más que para experimentos a nivel laboratorio (en pequeña escala o análisis químico). Además los líquidos viscosos o suspensiones espesas, son muy difíciles de agitar por este dispositivo, aunque existen algunos modelos con imanes especiales que consiguen el objetivo”⁽²⁴⁾

⁽²⁴⁾ TIPOS DE REACTORES._ 2008: http://es.wikipedia.org/wiki/tipo_%C3%&de_reactores

Las especificaciones y operación del agitador magnético con calentamiento se muestran en el ANEXO XXVII

1.4. DISEÑO DE UN REACTOR

“Como punto de partida para el diseño de los problemas ordinarios de agitación se tiene las siguientes proporciones típicas:

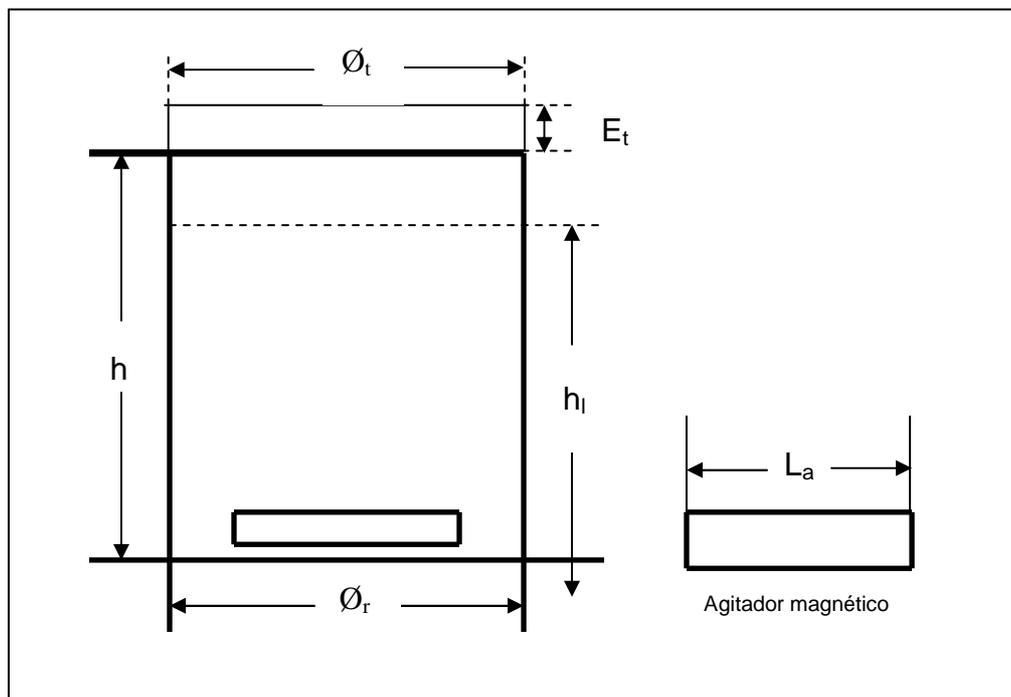


Figura 12. Medidas de un tanque (reactor)

Las ecuaciones que se presentan a continuación son ampliamente aceptadas y son la base de muchas correlaciones publicadas sobre el funcionamiento de los agitadores.

$$h = 1,2\emptyset \quad \text{Ec. 5}$$

$$\frac{h_1}{\emptyset} = 1 \quad \text{Ec. 6}$$

$$\emptyset_t = \emptyset + 1(E_t) \quad \text{Ec. 7}$$

$$L_a = \frac{\emptyset}{3} \quad \text{Ec. 8}$$

$$V = \pi r^2 h_1 \quad \text{Ec. 9}$$

1.4.1. NÚMERO DE REYNOLDS

La presencia o ausencia de turbulencia en un recipiente agitado mediante un impulsor se puede correlacionar con el número de Reynolds del impulsor. Además el número de Reynolds indica si un fluido está en régimen laminar, transición o turbulento, por ello se debe determinar el tipo de flujo al interior de un tanque de acuerdo al trabajo que se pretende realizar., que se define como sigue:

$$N_{Re} = \frac{L_a^2 n \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

L_a = Longitud del agitador

n = Revoluciones por segundo (r/s)

ρ = Densidad del líquido (Kg/m³)

μ = Viscosidad (Pa*s)

1.4.2. CONSUMO DE POTENCIA

Una consideración importante en el diseño de tanques agitados es la potencia que se requiere para mover el impulsor. La potencia comunicada al líquido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = N_p n^3 L_a^5 \rho \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

N_p = Número de potencia

Para flujo laminar la Ec.11 se transforma en:

$$P = K_L n^2 L_a^3 \mu \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

K_L = constante

μ = viscosidad del líquido

La Ec. 12, se utiliza cuando el Número de Reynolds es menor a 10.

Para números de Reynolds superiores a aproximadamente 10000, y de flujo turbulento la Ec.11 se transforma en:

$$P = K_T n^2 L_a^5 \rho \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

K_T = constante

En la Tabla X, muestra los valores de las constantes K_L y K_T para varios tipos de impulsores y tanques.

TABLA X.**Valores de K_L y K_T para varios tipos de impulsores y tanques**

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Impulsor de hélice, tres palas		
Paso 1,0	41	0,32
Paso 1,5	48	0,87
Turbina		
Disco de seis palas ($S_3 = 0,25$; $S_4 = 0,2$)	65	5,75
Seis palas inclinadas (45° , $S_4 = 2$)	–	1,63
Cuatro paletas inclinadas (45° , $S_4 = 2$)	44,5	1,27
Paleta plana, dos palas ($S_4 = 2$)	36,5	1,70
Impulsor HE-3	43	0,28
Cinta helicoidal	52	-
Ancla	300	0,35

Fuente: Gordillo M y Santana P. Diseño y Construcción de un reactor con agitación para evaluar inhibidores de corrosión en agua de formación” ⁽²⁵⁾

⁽²⁵⁾ SANTANA P y GORDILLO M. 2008: Diseño y Construcción de un Reactor con Agitación para evaluar Inhibidores de Corrosión en Aguas de Formación (Tesis), pp. 115-121

CAPITULO II

PARTE

EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

Mediante una serie de cálculos se diseñó y construyó el reactor de mezcla completa para la evaluación de inhibidores de corrosión en crudo, petróleo y agua de formación, se trabajó a condiciones similares a las de campo como son: salinidad, temperatura, agitación. Realizándose una serie de pruebas y como resultado se obtuvieron 2 procedimientos para evaluar inhibidores de corrosión estos son: reactor por lotes e inyección continua. Al inicio se trabajo con salinidad elevada, con agitación fuerte, sólo la temperatura se ha mantenido constante.

2.1. MUESTREO

Al inicio se tomó una muestra del tanque de lavado, pero durante las pruebas tanto en el Wheel Test como en el reactor evaluando de ambas formas, se notaron algunos problemas.

Durante las pruebas en el Wheel Test se notó la presencia de sulfuro de hierro, compuesto que se adhirió a los cupones de prueba y no permitió que el inhibidor de corrosión forme la película protectora por tanto no se podía apreciar la verdadera pérdida de metal.

En cambio en el reactor por ambos métodos de evaluación se notó la presencia de sulfuro de hierro, compuesto que se adhirió a los electrodos de la probeta de polarización lineal y no permitió que el inhibidor de corrosión forme la película protectora por ende no permitía una lectura real de la velocidad de corrosión,

otro problema fue la presencia de Fe^{2+} que al entrar en contacto con el oxígeno presente en la atmósfera se oxidó a Fe^{3+} y que por sus características magnéticas se impregnaba en la barra magnética, dificultando la agitación.

Debido a estas interferencias, se formuló agua sintética (salmuera) para realización de todas las pruebas, la que estaba compuesta de agua mineral, que contiene CO_2 en solución, y sal.

Para las pruebas en el equipo Wheel Test se prepararon 10 L de solución salina por prueba, se realizaron 4 pruebas, en total se emplearon 40 L para inhibidores para reinyección de agua.

Para el reactor por lotes se prepararon 0,8 L de solución salina por prueba, se realizaron 5 pruebas, con 4 concentraciones diferentes (10, 15, 20 y 25 ppm), en total se emplearon 16 L.

Para el reactor por inyección continua se prepararon 0,8 L de solución salina por prueba, se realizaron 5 pruebas, la diferencia con el otro método de evaluación (por lotes) radica en que cada 3 horas se adicionó inhibidor en concentraciones de 5 en 5 ppm.

2.2. METODOLOGÍA

Se consideró trabajar con agua sintética cuya salinidad fue 13500 mg/L, similar a la que presenta el agua de formación en Lago Agrio, la temperatura estuvo comprendida entre 48 a 50 C para que fuera comparable a la condición de prueba en el equipo Wheel Test, que es de 49 C aproximadamente. Se consideró someter la salmuera a agitación lenta, con la ayuda de una barra magnética, para realizar las pruebas en el laboratorio.

En la prueba en el reactor por lotes, con la misma solución salina se evaluará el mismo día los 5 inhibidores a la misma concentración hasta finalizar las evaluaciones.

En la prueba en el reactor por inyección continua se evaluará diariamente un producto químico, a concentraciones que se incrementan de 0 a 10, 15, 20 y 25 ppm agregando de 5 en 5 ppm.

Los procedimientos ya sea para evaluación por lotes o por inyección continua se detallan en la propuesta.

2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Los métodos y las técnicas a ser empleadas durante el diseño y construcción del reactor así como los procedimientos para evaluar inhibidores de corrosión se describen a continuación:

2.2.1.1. MÉTODOS

Se empleo el método experimental, de manera que se pudo responder algunas interrogantes que se presentaron como son: el poder inhibidor y la concentración necesaria de inhibidor a dosificar (ppm) de cada producto evaluado. Las pruebas de laboratorio se realizaron con agua sintética, empleando el Reactor sea por lotes o por inyección continua y el equipo Wheel Test, con el fin de obtener datos experimentales que se puedan relacionar.

2.2.1.1.1. EXPERIMENTAL

Este método consistió en diseñar y construir un reactor para la evaluación de inhibidores de corrosión, además con el equipo se evaluó 5 inhibidores de corrosión, provenientes de diferentes compañías proveedoras, a concentraciones de 10, 15, 20 y 25 ppm, en agua sintética. Los datos obtenidos de manera experimental permitieron determinar cuál de los productos es el más eficiente en función de la concentración (ppm). El reactor de mezcla completa es una simulación de las condiciones del campo a nivel de laboratorio,

permitiendo modificar las características del medio agresivo. La principal ventaja de este equipo es que permite obtener resultados en menor tiempo, comparados con el tiempo requerido para la obtención de datos confiables utilizando el equipo Wheel Test (24 horas). Las pruebas se realizarán con ambos equipos (Reactor de Mezcla completa por lotes y por inyección continua) y Wheel Test, con la finalidad de relacionar los resultados obtenidos, por lo que se tuvo la precaución de realizar las pruebas con los mismos inhibidores a las mismas concentraciones, utilizando la misma salmuera.

2.2.1.2. TECNICAS

Las técnicas utilizadas son los diferentes procedimientos, los cuales se describen a continuación:

2.2.1.2.1. PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA Y DILUCIÓN DE QUÍMICOS

OBJETIVO	MATERIALES Y EQUIPOS	CÁLCULOS	CALCULOS
<p>El presente procedimiento tiene por objeto describir el instructivo de trabajo para realizar una evaluación de químicos anticorrosivos usados para controlar los procesos de corrosión que se dan en líneas de flujo, equipos y estaciones de tratamiento de crudo mediante la prueba Wheel Test, utilizando como guía la publicación de la NACE PUBLICATION 1D182.</p>	<p>Lija numeración 240 para metales Estropajo Papel toalla Balones aforados de color marrón con capacidad para 100 mL Micropipetas de 0 a 1000 μL Tips Agitador magnético con su pastilla imantada Matraz de 250 ml Pistola tituladora HACH Equipo Wheel Test Estufa Botellas de plástico con tapa de 480 ml Recipiente de polietileno transparente de 10 l transparente Balanza analítica (Ap. $\pm 0,0001$ g) Tubos de ensayo numerados Tres probetas de 100 ml Pinza para cupones Guantes de nitrilo Cinta de embalaje</p> <p>SUSTANCIAS Y REACTIVOS</p> <p>Detergente Ácido clorhídrico 10% Bicarbonato de sodio Agua destilada Alcohol isopropílico Químicos anticorrosivos Agua mineral con gas Diesel Cloruro de sodio Cartucho de Nitrato de plata 1,128 N Sachet de Dicromato de potasio</p>	<p>CÁLCULO DE SALINIDAD DE LA SOLUCIÓN SALINA</p> $\text{Sal} = 50 \times D_{\text{con}} \text{ (ppm Cl}^-) \quad \text{Ec. 14}$ <p>Donde:</p> <p>Dígitos consumidos de AgNO_3 Sal = Cloruros (salinidad)</p> <p>CÁLCULO DEL NÚMERO DE CUPONES A PREPARAR</p> $\text{CU}_{\text{pre}} = a \times n + 2 \text{ unidades)} \quad \text{Ec. 15}$ <p>Donde:</p> <p>CU_{pre} = Número de cupones que se van a usar en la prueba a = Número de químicos a evaluar n = Número de repeticiones c = Concentraciones a utilizar</p> <p>CÁLCULO DEL VOLUMEN DE SOLUCIÓN SALINA</p> $V_{\text{sol}} = \text{CU}_{\text{pre}} \times V_{\text{bot}} \times X_1 + 1000 \text{ (mL)} \quad \text{Ec. 16}$ <p>Donde:</p> <p>V_{sal} = Volumen de solución salina a utilizar en la prueba CU_{pre} = Número de cupones a usar en la prueba V_{bot} = Volumen de la botella de prueba X_1 = Fracción volumétrica de agua</p>	<p>CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DE QUÍMICO A INYECTAR</p> $V_{\text{dos}} = \frac{V_{\text{M}} \times C_{\text{ppm}} \times F_{\text{d}}}{1000} \text{ (}\mu\text{L)} \quad \text{Ec. 17}$ <p>Donde:</p> <p>V_{dos} = Volumen de demulsificante que se va a dosificar en μl V_{M} = Volumen de la muestra colocada en la botella de prueba en ml C_{ppm} = Concentración que se va a dosificar F_{d} = Factor de dilución del químico inhibidor en porcentaje (10%)</p> <p>INFORME DE RESULTADOS</p> <p>Se deben reportar los valores de salinidad de la solución, relación agua/aceite utilizada y los pesos inicial y final de cada cupón y los blancos.</p>

2.2.2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA WHEEL TEST

DESARROLLO	PROCEDIMIENTO		
<p>PARTE OPERATIVA</p> <p>VARIABLE A DETERMINAR:</p> <p>Diferencia de peso en un cupón de prueba</p> <p>MUESTRA: Capacidad máxima de la botella de prueba</p> <p>NUMERO DE MUESTRAS: 1</p> <p>NUMERO DE ENSAYOS: 1 por cada muestra</p>	<p>El desarrollo de la prueba de evaluación de químicos anticorrosivos se realiza en 3 etapas, la primera es la preparación de los cupones de prueba, la segunda es el desarrollo de la prueba y la última es el corte de la prueba.</p> <p>PREPARACIÓN DE LOS CUPONES DE PRUEBA</p> <p>Calcular el número de cupones a utilizar en la prueba Cu_{pre}</p> <p>Rotular los tubos de ensayo de acuerdo al número de cupones a utilizarse</p> <p>Colocarse los guantes de nitrilo y manipular los cupones con una pinza en toda la prueba</p> <p>Llenar 3 probetas de 100 mL que contengan, respectivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una solución de ácido clorhídrico 10% V • Una solución saturada de bicarbonato de sodio • Agua destilada <p>Preparar cada cupón de acuerdo al siguiente procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lijar y retirar todo el óxido adherido en las paredes • Lavar el cupón usando detergente y un estropajo • Introducir el cupón en la probeta de ácido clorhídrico, seguidamente colocarlo en la probeta que contiene bicarbonato de sodio y por último lavar el cupón en la probeta que contiene agua destilada • Secar el cupón levemente, con papel toalla 	<p>Introducir los cupones en la estufa a 70 °C, por un a hora</p> <p>Sacar los cupones y colocarlos en el desecador por una hora hasta que se enfríen</p> <p>Pesar cada cupón en la balanza analítica y colocarlos ordenadamente dentro de los tubos de ensayo que se encuentran numerados</p> <p>Reportar los pesos iniciales P_i de los cupones.</p> <p>DESARROLLO DE LA PRUEBA</p> <p>Tiempo de corte de prueba (24 horas)</p> <p>Dependiendo del tipo de químico anticorrosivo que se va a evaluar, seleccionar la relación agua/aceite</p> <p>DILUCIÓN DE LOS QUÍMICOS AL 10% V</p> <p>Ver el tipo de químico que se va a evaluar, puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corrosión pozos, químico soluble en agua • Corrosión pozos, químico soluble en aceite • Corrosión, reinyección de agua • Corrosión de gas <p>Probar la solubilidad de los químicos de acuerdo al siguiente ensayo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar 0,5 mL de químico en 4 tubos de ensayo • En cada tubo de ensayo colocar un solvente diferente: agua, tolueno, xileno, IPA, etc • Observar el comportamiento de miscibilidad del químico y seleccionar el solvente adecuado <p>Para diluir los químicos al 10% V, utilizar una jeringa de vidrio y los balones aforados color marrón, marcar cada uno de ellos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar 10 mL de inhibidor en el balón y aforarlo. <p>DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD</p>	<p>MÉTODO DE NITRATO DE PLATA</p> <p>Tomar 1 mL de solución salina con la micropipeta y agregarla en una probeta de 100 mL</p> <p>Llenar con agua destilada la probeta de 100 mL, para obtener una solución de 1% en volumen.</p> <p>Colocar la solución 1% V, en un matraz de 250 mL.</p> <p>Poner el matraz en el agitador magnético.</p> <p>Adicionar medio sobre de Dicromato de potasio.</p> <p>Comenzar a agitar el sistema.</p> <p>Colocar un cartucho de nitrato de plata en la pistola tituladora HACH, encerar la pistola y proceder a la titulación.</p> <p>Titular el sistema hasta que la solución cambie de color amarillo a rojo.</p> <p>Tomar la lectura de los dígitos consumidos (D_{con}) de nitrato de plata en la titulación.</p> <p>Hacer el cálculo de la salinidad, con ayuda de la Ec. 14.</p> <p>Reportar el valor de la salinidad.</p> <p>PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA</p> <p>Con una probeta de 500 mL, medir el volumen máximo de líquido que puede contener la botella plástica de prueba salina V_{bot}</p> <p>Calcular la relación agua/diesel a utilizar</p> <p>Para realizar la solución salina seguir el siguiente procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medir el volumen de agua mineral con gas calculado para hacer la solución salina V_{sal} • Adicionar el 50% del volumen del agua mineral con gas en el envase de polietileno transparente de 10 L de capacidad • Agregar aproximadamente 500 g de la sal de mesa y diluirla lentamente para evitar la fuga total de CO_2 de la solución • Medir la salinidad de la solución formada, por el método de nitrato de plata, si la salinidad es menor a 30000 ppm de cloruro, adicionar más sal de mesa a la solución. • Adicionar el resto de agua mineral <p>Medir la salinidad final de la solución, la cual debe, encontrarse en un rango entre 25000 y 40000 ppm de cloruro</p>

2.2.2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA WHEEL TEST.

PROCEDIMIENTO

MONTAJE DEL WHEEL TEST

Numerar las botellas de prueba de acuerdo al número de cupones que se van a evaluar

Con la ayuda de una pinza colocar cada cupón en la botella que esta rotulada con el mismo número del cupón

De acuerdo al tipo de químico que se va a evaluar, proceder a llenar las botellas de acuerdo a la relación agua/aceite correspondiente

Llenado y dosificación de las botellas

Ver la relación agua/aceite con la cual se va a trabajar

Con una probeta medir y adicionar en cada botella que contiene el cupón el volumen parcial del agua calculado, dejar libre las dos botellas finales de la numeración para usarlas como blanco

Los cálculos de la concentración de dosificación de los químicos anticorrosivos dependen del documento

Ajustar la micropipeta para dosificar el químico en las botellas a la medida V_{dos} (volumen calculado para la dosificación)

Colocar un tips en la boca de la micropipeta, dosificar y eliminar el tips, repetir este proceso para cada botella de prueba

Aforar con diesel a todas las botellas, para evitar derrames porque se puede perder químico anticorrosivo del sistema formado

En las dos botellas que van a ser usadas como blanco, lograr que en estas botellas quede con aire en su interior para hacer más corrosivo al medio acuoso al cual se somete a los cupones de prueba

Tapar las botellas con sus respectivas tapas y empaques

Sellar con cinta adhesiva todas las botellas, con el fin de evitar derrames al momento de agitarlas

Colocar todas las botellas en el equipo Wheel test, verificar que las botellas se encuentren bien aseguradas

Cerrar el equipo, setear a 120 F y encenderlo

Agitar el sistema por un lapso de 24 horas

CORTE DE LA PRUEBA

Transcurrido las 24 horas de agitación apagar el equipo de prueba y sacar las botellas

Retirar la cinta adhesiva de las botellas y colocarlas en orden cerca de un lavabo

Colocarse los guantes de nitrilo y manipular los cupones con una pinza

Llenar 3 probetas que contengan respectivamente:

- Una solución de HCl al 10% V
- Una solución saturada de bicarbonato de sodio
- Agua destilada

Limpiar cada cupón de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Abrir la botella, eliminar su contenido en el sumidero y tomar el cupón de la botella
- Lijar suavemente y retirar todo el óxido retenido en las paredes del cupón, evitar pérdidas de material por acción mecánica
- Lavar el cupón usando detergente y un estropajo
- Introducir el cupón en la probeta de ácido clorhídrico, seguidamente colocarlo en la probeta que contiene bicarbonato de sodio y por último lavar el cupón en la probeta que contiene agua destilada
- Secar el cupón levemente con papel toalla y colocarlo en su respectivo tubo de ensayo
- Repetir el procedimiento de limpieza para cada cupón, teniendo cuidado de evitar confusiones al colocar los cupones en los tubos de ensayo

Introducir los cupones en la estufa a 70 F, por una hora

Colocar los cupones en el desecador y esperar que se enfríen

Pesar cada cupón en la balanza analítica y reportar su peso final (P_f).

2.3. DATOS EXPERIMENTALES

Los datos obtenidos son de tres tipos de pruebas que se realizaron para evaluar los inhibidores estas son: en el equipo Wheel Test, en el reactor con inyección continua y en el reactor por lotes.

2.3.1. DIAGNÓSTICO

Las pruebas en el equipo Wheel Test nos proporcionaron datos de pérdida de peso en los cupones o testigos metálicos, los cuales se convirtieron mediante cálculos a velocidades de corrosión (mpy).

Las pruebas en el reactor, provisto de una probeta de polarización lineal, dieron datos directos de velocidades de corrosión (mpy), ya sea en forma continua o por lotes (de acuerdo a cargas), realizadas para cada ensayo. Podremos correlacionar estos datos, con la ventaja que el monitoreo y la interpretación con el método del reactor es más dinámico y permite simular de mejor forma las condiciones de temperatura, movimiento del fluido y cambios de concentración, lo cual es más favorable para la selección y evaluación de inhibidores y su posterior aplicación en el campo.

2.3.2. DATOS

Los datos que se obtuvieron, según los métodos de evaluación y concentraciones de los productos, se encuentran en las tablas que se presentan a continuación.

2.3.2.1. DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL WHEEL TEST CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

TABLA XI.

Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del inhibidor A para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Densidad (g/cm ³)	Constante	Tiempo (días)	Área (pulg ²)	P inicial (g)	P final (g)	w (mg)	Velocidad (mpy)
0	7,85	22,3	1	0,26	14,4900	14,4613	28,7	313,58
	7,85	22,3	1	0,26	14,6672	14,6391	28,1	307,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,4580	14,4248	33,2	362,74
	7,85	22,3	1	0,26	14,6374	14,6050	32,4	354,00
	7,85	22,3	1	0,26	14,3725	14,3403	32,2	351,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5219	31,7	346,35
10	7,85	22,3	1	0,26	14,2702	14,2624	7,8	85,22
	7,85	22,3	1	0,26	14,5272	14,5199	7,3	79,76
	7,85	22,3	1	0,26	14,3078	14,3007	7,1	77,57
15	7,85	22,3	1	0,26	14,2610	14,2545	6,5	71,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,5188	14,5086	10,2	111,45
	7,85	22,3	1	0,26	14,2973	14,2883	9,0	98,33
20	7,85	22,3	1	0,26	14,2507	14,2442	6,5	71,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,5078	14,4989	8,9	97,24
	7,85	22,3	1	0,26	14,2871	14,2801	7,0	76,48
25	7,85	22,3	1	0,26	14,2400	14,2328	7,2	78,67
	7,85	22,3	1	0,26	14,4753	14,4694	5,9	64,46
	7,85	22,3	1	0,26	14,2570	14,2503	6,7	73,20

Elaborado por: José Méndez

TABLA XII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del
inhibidor B para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Densidad (g/cm ³)	Constante	Tiempo (días)	Área (pulg ²)	P inicial (g)	P final (g)	w (mg)	Velocidad (mpy)
0	7,85	22,3	1	0,26	14,4900	14,4613	28,7	313,58
	7,85	22,3	1	0,26	14,6672	14,6391	28,1	307,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,4580	14,4248	33,2	362,74
	7,85	22,3	1	0,26	14,6374	14,6050	32,4	354,00
	7,85	22,3	1	0,26	14,3725	14,3403	32,2	351,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5219	31,7	346,35
10	7,85	22,3	1	0,26	14,8123	14,8056	6,7	73,20
	7,85	22,3	1	0,26	13,8222	13,8115	10,7	116,91
	7,85	22,3	1	0,26	13,9759	13,9671	8,8	96,15
15	7,85	22,3	1	0,26	13,7995	13,7928	6,7	73,20
	7,85	22,3	1	0,26	13,8079	13,8005	7,4	80,85
	7,85	22,3	1	0,26	13,9641	13,9579	6,2	67,74
20	7,85	22,3	1	0,26	13,7911	13,7823	8,8	96,15
	7,85	22,3	1	0,26	13,7980	13,7897	8,3	90,69
	7,85	22,3	1	0,26	13,9551	13,9476	7,5	81,95
25	7,85	22,3	1	0,26	13,7770	13,7694	7,6	83,04
	7,85	22,3	1	0,26	13,7874	13,7814	6,0	65,56
	7,85	22,3	1	0,26	13,9435	13,9373	6,2	67,74

Elaborado por: José Méndez

TABLA XIII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del
inhibidor C para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Densidad (g/cm ³)	Constante	Tiempo (días)	Área (pulg ²)	P inicial (g)	P final (g)	w (mg)	Velocidad (mpy)
0	7,85	22,3	1	0,26	14,4900	14,4613	28,7	313,58
	7,85	22,3	1	0,26	14,6672	14,6391	28,1	307,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,4580	14,4248	33,2	362,74
	7,85	22,3	1	0,26	14,6374	14,6050	32,4	354,00
	7,85	22,3	1	0,26	14,3725	14,3403	32,2	351,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5219	31,7	346,35
10	7,85	22,3	1	0,26	14,3533	14,3455	7,8	85,22
	7,85	22,3	1	0,26	14,1641	14,1542	9,9	108,17
	7,85	22,3	1	0,26	14,6995	14,6908	8,7	95,06
15	7,85	22,3	1	0,26	14,3426	14,3355	7,1	77,57
	7,85	22,3	1	0,26	14,1516	14,1433	8,3	90,69
	7,85	22,3	1	0,26	14,6885	14,6816	6,9	75,39
20	7,85	22,3	1	0,26	14,3338	14,3265	7,3	79,76
	7,85	22,3	1	0,26	14,1414	14,1339	7,5	81,95
	7,85	22,3	1	0,26	14,6803	14,6729	7,4	80,85
25	7,85	22,3	1	0,26	14,3227	14,3175	5,2	56,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,1291	14,1248	4,3	46,98
	7,85	22,3	1	0,26	14,6698	14,6635	6,3	68,83

Elaborado por: José Méndez

TABLA XIV.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del
inhibidor D para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Densidad (g/cm ³)	Constante	Tiempo (días)	Área (pulg ²)	P inicial (g)	P final (g)	w (mg)	Velocidad (mpy)
0	7,85	22,3	1	0,26	14,4900	14,4613	28,7	313,58
	7,85	22,3	1	0,26	14,6672	14,6391	28,1	307,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,4580	14,4248	33,2	362,74
	7,85	22,3	1	0,26	14,6374	14,6050	32,4	354,00
	7,85	22,3	1	0,26	14,3725	14,3403	32,2	351,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5219	31,7	346,35
10	7,85	22,3	1	0,26	14,6610	14,6537	7,3	79,76
	7,85	22,3	1	0,26	14,6724	14,6655	6,9	75,39
	7,85	22,3	1	0,26	14,7792	14,7717	7,5	81,95
15	7,85	22,3	1	0,26	14,6507	14,6441	6,6	72,11
	7,85	22,3	1	0,26	14,6606	14,6543	6,3	68,83
	7,85	22,3	1	0,26	14,7692	14,7628	6,4	69,93
20	7,85	22,3	1	0,26	14,6428	14,6352	7,6	83,04
	7,85	22,3	1	0,26	14,6531	14,6450	8,1	88,50
	7,85	22,3	1	0,26	14,7614	14,7534	8,0	87,41
25	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5479	5,7	62,28
	7,85	22,3	1	0,26	14,6417	14,6367	5,0	54,63
	7,85	22,3	1	0,26	14,7483	14,7436	4,7	51,35

Elaborado por: José Méndez

TABLA XV.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Wheel Test del
inhibidor E para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Densidad (g/cm ³)	Constante	Tiempo (días)	Área (pulg ²)	P inicial (g)	P final (g)	w (mg)	Velocidad (mpy)
0	7,85	22,3	1	0,26	14,4900	14,4613	28,7	313,58
	7,85	22,3	1	0,26	14,6672	14,6391	28,1	307,02
	7,85	22,3	1	0,26	14,4580	14,4248	33,2	362,74
	7,85	22,3	1	0,26	14,6374	14,6050	32,4	354,00
	7,85	22,3	1	0,26	14,3725	14,3403	32,2	351,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,5536	14,5219	31,7	346,35
10	7,85	22,3	1	0,26	14,4093	14,3880	21,3	232,72
	7,85	22,3	1	0,26	13,7806	13,7562	24,4	266,59
	7,85	22,3	1	0,26	14,2830	14,2621	20,9	228,35
15	7,85	22,3	1	0,26	14,3858	14,3702	15,6	170,45
	7,85	22,3	1	0,26	13,7541	13,7381	16,0	174,82
	7,85	22,3	1	0,26	14,2599	14,2470	12,9	140,95
20	7,85	22,3	1	0,26	14,3691	14,3560	13,1	143,13
	7,85	22,3	1	0,26	13,7359	13,7224	13,5	147,50
	7,85	22,3	1	0,26	14,2485	14,2324	16,1	175,91
25	7,85	22,3	1	0,26	14,3518	14,3440	7,8	85,22
	7,85	22,3	1	0,26	13,7177	13,7100	7,7	84,13
	7,85	22,3	1	0,26	14,2261	14,2183	7,8	85,22

Elaborado por: José Méndez

**2.3.2.2. DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR LOTES
CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA**

TABLA XVI.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del
inhibidor A para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,2	49	15	35,3	49
	53,8	49		34,1	48
	41,1	50		37,7	48
	41,5	49	20	30,0	49
	25,6	48		27,2	48
	22,2	49		27,8	49
	24,3	49		28,6	48
	23,5	48		31,4	49
	53,0	49		34,7	49
	47,8	49		31,7	49
31,6	49	32,1	50		
10	33,9	49	25	34,3	49
	30,3	49		25,7	49
	29,1	49		25,1	50
	32,7	48		26,9	50
	27,9	48		27,2	48
	26,8	48		34,3	50
	29,5	48		34,3	50
	29,2	48		30,3	49
	33,3	49		33,4	49
15	37,7	49	32,5	48	
	35,7	48	34,6	49	
	36,6	48			

Elaborado por: José Méndez

TABLA XVII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del
inhibidor B para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,2	49	15	41,5	49
	53,8	49		40,6	48
	41,1	50		36,9	48
	41,5	49		36,5	48
	25,6	48		33,0	48
	22,2	49		30,3	49
	24,3	49		31,7	49
	23,5	48		20	28,2
	53,0	49	25,6		49
	47,8	49	24,0		50
10	26,2	48	30,7		50
	27,0	49	28,2	48	
	27,2	49	29,7	49	
	26,6	48	35,8	48	
	26,7	49	36,5	50	
	28,8	48	25	32,6	50
	25,8	48		40,6	50
	28,4	48		45,7	49
	28,0	48		54,1	48
	24,5	48		55,1	49
26,9	48	50,0		50	
15	41,8	49	42,9	50	
	45,0	48	45,3	49	

Elaborado por: José Méndez

TABLA XVIII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del
inhibidor C para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,2	49	15	26,9	48
	53,8	49		25,9	48
	41,1	50		24,7	48
	41,5	49		24,5	49
	25,6	48		24,8	48
	22,2	49	20	28,8	50
	24,3	49		21,7	48
	23,5	48		23,7	48
	53,0	49		21,1	49
	47,8	49		22,8	48
10	49,8	49		22,0	50
	48,6	49		19,0	48
	45,2	49		22,3	48
	46,4	48		19,3	48
	39,1	48		25	30,8
	38,7	48	31,5		49
	36,8	49	30,5		49
15	34,3	49	23,7		50
	32,2	48	30,2		49
	28,4	50	24,9		50
	26,3	48	24,4		50

Elaborado por: José Méndez

TABLA XIX.

Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor D para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,2	49	15	70,7	48
	53,8	49		71,3	49
	41,1	50		69,6	50
	41,5	49		72,1	49
	25,6	48		73,2	49
	22,2	49	20	23,4	50
	24,3	49		21,0	49
	23,5	48		24,8	50
	53,0	49		30,1	49
	47,8	49		32,2	48
10	45,5	49	33,8	49	
	48,7	48	25	63,6	50
	44,1	48		69,8	50
	46,6	48		70,7	50
	43,7	48		69,1	50
	37,6	47		68,2	50
15	65,1	49		70,6	49
	65,2	48	70,1	48	

Elaborado por: José Méndez

TABLA XX.

Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del inhibidor E para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,2	49	15	47,0	48
	53,8	49		45,9	48
	41,1	50		44,4	49
	41,5	49		44,8	49
	25,6	48		45,0	48
	22,2	49	20	18,1	49
	24,3	49		17,6	48
	23,5	48		19,2	48
	53,0	49		19,3	49
	47,8	49		22,4	49
10	50,0	49		24,2	48
	48,7	49		25,8	48
	45,7	49	25,2	49	
	45,3	49	25	48,3	49
	45,4	48		48,3	49
	45,2	49		46,9	48
	45,6	48		44,6	48
15	44,3	48		49,9	49
	45,6	48		45,5	49
	44,5	49		40,5	48
	47,2	49	35,7	48	

Elaborado por: José Méndez

2.3.2.3. DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN AGUA

TABLA XXI. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor A para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	34,5	50	15	26,8	48
	32,8	48		28,3	48
	33,0	48		27,7	48
	33,6	49		26,6	48
	36,8	50		30,0	49
	36,9	50		31,1	50
	38,4	49		20	26,4
	36,5	49	24,1		48
	34,2	49	27,9		48
10	23,3	48	26,4		48
	23,8	48	25,3		48
	22,2	49	24,9		48
	23,3	48	24,6		47
	25,4	48	24,9		48
	24,9	47	26,1		47
	23,9	49	26,7		48
	21,8	48	25,3	47	
	23,8	48	26,1	48	
	25,6	47	24,0	48	
31,8	50	24,8	49		
15	29,9	51	25,9	48	
	28,5	50	25,8	48	
	26,4	48	23,3	48	
	25,3	48	24,9	49	
	23,5	47	25	24,0	48
	25,4	48		26,3	48
	27,0	48		25,6	48
	27,6	47		23,4	48
	27,2	48		25,7	48
	26,2	48		25,4	48
27,6	48	26,0		48	

TABLA XXII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por
inyección continua del inhibidor B para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	63,6	49	15	30,7	47
	56,2	48		32,8	48
	57,2	48		31,1	48
	59,9	48		33,9	48
	60,0	48		34,2	47
	57,8	47		31,6	48
	56,6	48		20	35,6
	60,4	49	34,6		48
	60,2	47	36,3		49
10	23,9	47	35,2		47
	24,0	48	34,8		48
	24,9	48	33,6	48	
	25,5	48	35,1	48	
	25,8	48	35,7	49	
	25,4	48	34,6	49	
	21,0	48	35,0	49	
	26,1	48	32,2	49	
	25,3	48	38,0	49	
15	31,6	48	25	35,3	47
	34,5	49		35,7	48
	30,6	49		34,1	48
	32,5	49		34,8	48
	34,2	48		32,6	47
	33,8	49		33,9	48
	31,8	47		36,0	48

Elaborado por: José Méndez

TABLA XXIII. Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor C para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	43,8	49	15	22,6	48
	40,2	50		23,3	48
	36,0	50		21,9	49
	34,0	49		21,4	48
	35,2	49		22,2	48
	34,6	48	20	20,2	48
	37,1	47		19,3	48
	39,1	48		18,8	48
	43,0	48		18,1	47
30,0	48	18,2		47	
30,3	48	18,9		47	
24,9	47	18,2		48	
29,0	48	18,4		48	
23,5	49	18,4		47	
10	27,8	48	17,4	48	
	23,6	48	18,2	48	
	24,9	48	16,8	48	
	26,2	48	18,3	48	
	29,1	48	18,5	49	
	23,6	48	18,3	49	
	24,0	48	25	16,6	49
	24,9	49		16,2	47
	24,8	48		16,4	49
23,0	48	15,6		48	
21,1	48	15,7		48	
22,5	48	16,3		47	
22,6	48	16,4		49	
23,0	48	15,2		48	
22,4	46	14,9		46	
22,1	49	15,9	49		

TABLA XXIV.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por
inyección continua del inhibidor D para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	54,6	48	15	58,0	48
	52,6	49		57,0	48
	50,3	48		51,6	48
	52,7	49		53,7	48
	47,3	48		61,5	47
	52,1	48		61,1	48
	48,3	49		20	67,8
	48,5	48	70,4		49
	48,0	48	63,5		49
	49,0	48	65,1		48
10	32,0	49	66,9		48
	28,0	49	62,9		48
	33,4	49	63,0	49	
	34,8	48	64,2	48	
	37,6	48	61,0	48	
	42,9	48	57,6	47	
	41,3	49	25	56,3	50
	40,4	48		60,7	48
	43,3	48		60,9	48
	42,7	49		60,5	49
43,2	49	58,7		49	
15	51,7	49		56,3	48
	59,2	49	57,3	47	
	54,0	48	56,9	48	
	56,2	48	55,6	47	
	56,5	48	55,4	48	
	59,6	48	50,7	47	

Elaborado por: José Méndez

TABLA XXV.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por
inyección continua del inhibidor E para reinyección de agua**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	
0	27,3	48	15	30,0	49	
	23,5	48		29,8	48	
	26,0	47		30,7	49	
	22,5	47		31,7	50	
	25,9	48		30,9	48	
	22,6	48		30,8	48	
	25,8	48		31,0	49	
	27,0	49		30,4	48	
	24,2	48		20	32,0	48
	25,5	48			42,7	48
10	28,8	48	42,6		47	
	25,3	48	29,2		48	
	27,5	49	35,8		48	
	26,7	49	32,0		47	
	27,5	48	42,0		48	
	28,9	49	48,9		48	
	28,4	48	25		29,0	47
	27,9	48			28,1	49
	28,9	48		28,4	48	
	27,2	48		28,0	49	
27,9	48	26,4		47		
15	30,5	48		28,2	48	
	31,0	48		26,4	47	
	30,2	49		26,1	47	
	32,7	48		27,7	48	

Elaborado por: José Méndez

**2.3.2.4. DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR LOTES
CON INHIBIDORES PARA CRUDO**

TABLA XXVI.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del
inhibidor A para crudo**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	
0	42,40	49	15	38,3	49	
	41,60	50		40,9	49	
	42,60	49		39,6	50	
	42,90	49		38,3	49	
	39,20	49		39,4	50	
	37,50	50		39,2	50	
	36,50	49		46,8	50	
	37,00	49		20	45,1	49
	38,20	49			43,8	49
10	41,9	49	48,2		49	
	43,5	48	44,1		49	
	43,0	49	43,1		50	
	43,5	49	44,8		50	
	41,8	49	46,8	50		
15	40,3	49				

Elaborado por: José Méndez

TABLA XXVII.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por lotes del
inhibidor D para crudo**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	41,60	50	15	38,3	49
	39,20	49		40,9	49
	37,50	50		39,6	50
	36,50	49		38,3	49
	37,00	49		39,4	50
	38,20	49		39,2	50
10	41,9	49	20	38,3	49
	43,5	48		45,1	49
	43,0	49		43,8	49
	43,5	49		44,1	49
	41,8	49		43,1	50
15	40,3	49	44,8	50	

Elaborado por: José Méndez

2.3.2.5. DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA PETRÓLEO

TABLA XXVIII.

Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por inyección continua del inhibidor A para crudo

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	37,2	50	15	40,8	49
	35	49		20	41
	39,3	49	40,3		50
	34,3	49	39,4		49
10	44,7	49	40,8		49
	45,9	40	40,6		49
	43,2	49	39,3		49
	46,7	49	25	42,6	48
	38,3	49		38,1	48
15	42	50		39,4	49
	40	49		37,7	49
	43,7	49		40,9	48
	43,6	49	41,9	49	

Elaborado por: José Méndez

TABLA XXIX.

**Datos obtenidos a diferentes concentraciones en el Reactor por
inyección continua del inhibidor D para crudo**

Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)	Concentración (ppm)	Velocidad (mpy)	Temperatura (C)
0	48,3	49	15	44,9	49
	46,3	49	20	47,2	48
	45,9	49		44,0	48
	45,4	49		44,4	49
10	49,6	49		48,7	49
	46,4	49	43,9	49	
	45,9	48	25	47,7	48
	47,6	49		47,6	49
15	49,6	49		45,8	48
	49,3	49		44,1	49
	47,8	48			

Elaborado por: José Méndez

**2.3.2.6. DATOS PARA LA PRUEBA EN EL WHEEL TEST CON
INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA**

TABLA XXX.

**Datos para el cálculo de la salinidad en el Wheel Test con inhibidores para
reinyección de agua**

Dígitos consumidos
270

Fuente: José Méndez

TABLA XXXI.

Datos para el cálculo del número de cupones para la prueba en el Wheel

Test con inhibidores para reinyección de agua

Número de químicos a evaluar (a)	Número de repeticiones (n)	Concentraciones a utilizar (c)
5	3	1

Fuente: José Méndez

TABLA XXXII.

Datos para el cálculo del volumen de solución salina en el Wheel Test con

inhibidores para reinyección de agua

Número de cupones (Cu_{pre})	Volumen de botella (V_{bot})	Fracción de agua (X_1)
17	480	1

Fuente: José Méndez

TABLA XXXIII.

Datos para el cálculo de la dosificación de químico a inyectar en el Wheel

Test con inhibidores para reinyección de agua

Volumen de muestra (V_M)	Concentración del inhibidor (C_{ppm})	Factor de dilución del químico (F_d)
480	10	10

Fuente: José Méndez

TABLA XXXIV.

Datos para el cálculo del área del cupón en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua

r (cm)	h (cm)	Constante (π)
0,15	23,8	3,1416

Fuente: José Méndez

TABLA XXXV.

Datos para el cálculo de los mpy en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua

D (g/cm³)	Constante	T (días)
8,60	22,3	1

Fuente: José Méndez

2.3.2.7. DATOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO

TABLA XXXVI.

Datos para el cálculo de la dosificación de químico a inyectar en el reactor por lotes o inyección continua para reinyección de agua o crudo

Volumen de muestra (V_M)	Concentración del inhibidor (C_{ppm})	Factor de dilución del químico (F_d)
800	10	10

Fuente: José Méndez

2.3.2.8. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA EL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO

Tabla XXXVII.

Datos para el cálculo del N_{Re}

n (r/s)	ρ (Kg/m³)	μ (Pa*s)
25	1010	0,001

Fuente: José Méndez

CAPITULO III

DISEÑO Y

CONSTRUCCIÓN

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. DISEÑO

El objetivo del diseño es especificar tamaño, tiempos, flujos, temperaturas, presión, concentración, materiales y cuanto sea necesario para realizar la producción de una sustancia que cumpla establemente con determinadas condiciones de calidad.

En la práctica tenemos que cuantificar una serie de variables del proceso como son:

- Temperatura
- Presión de operación

Con toda esta información se podrá entonces decidir:

- Las dimensiones del equipo.
- Materiales de construcción.
- Necesidad de calefacción, refrigeración, compresión, etc

3.1.1. CÁLCULO TEÓRICO DEL EQUIPO

3.1.1.1. GENERALIDADES

Para evaluar los inhibidores de corrosión a nivel de laboratorio, es necesario un equipo que logre simular las condiciones de trabajo del campo, es decir que soporte cierta presión, temperatura y que el flujo en su interior sea semejante al que se presenta en el campo.

En los requerimientos de diseño se detallan las variables a ser consideradas para el diseño del equipo:

3.1.2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Para diseñar el equipo evaluador, se parte de las variables reales de trabajo que se manejan en el campo; a continuación se indican estas variables:

- Temperatura
- Presión
- Velocidad del fluido
- Flujo

3.1.3. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

3.1.3.1. DIMENSIONES INICIALES

Tabla XXXVIII.

Dimensiones iniciales del reactor

Parámetro	Dimensión	Unidad
Diámetro del tanque (\emptyset)	10,85	cm
Espesor de la tapa	0,15	cm

A continuación se muestran ecuaciones necesarias para el dimensionamiento y construcción del reactor.

3.2. CÁLCULOS

3.2.1. CÁLCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

3.2.1.1. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE

Haciendo uso de la tabla XXXVIII y de la Ec. 5, tenemos:

$$h = 1,2\emptyset$$

Donde:

h = Altura del tanque (cm)

1,2 = Factor de seguridad del 20% (del diámetro)

\varnothing = Diámetro del tanque (cm)

Entonces:

$$h = 1,2 \times 10,85$$

$$h = 13,02 \text{ cm}$$

3.2.1.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL TANQUE

Haciendo uso de la Ec. 6, tenemos:

$$\frac{h_1}{\varnothing} = 1$$

Donde:

h_1 = Altura del líquido en el tanque (cm)

Entonces:

$$h_l = \emptyset$$

$$h_l = 10,85 \text{ cm}$$

Por cuestiones de seguridad del reactor y para que asegure que se produzca una correcta agitación se ha considerado que el volumen que debe ser llenado el reactor sea un 20% menos que el volumen total, lo que equivale a 800 ml o lo equivalente a h_l .

3.2.1.3. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TAPA DEL TANQUE

Haciendo uso de la tabla XXXVIII y de la Ec. 7, tenemos:

$$\emptyset_t = \emptyset + 1(E_t)$$

Donde:

E_t = Espesor de la tapa

Entonces:

$$\emptyset_t = 10,85 + 1(0,15)$$

$$\emptyset_t = 11 \text{ cm}$$

3.2.1.4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL AGITADOR

Haciendo uso de la Ec. 8, tenemos:

$$L_a = \frac{\varnothing}{3}$$

Donde:

L_a = Longitud del agitador

Entonces:

$$L_a = \frac{10,85}{3}$$

$$L_a = 3,616 \text{ cm}$$

$$L_a = 0,3616 \text{ m}$$

3.2.1.5. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE

Haciendo uso de la Ec. 9, tenemos:

$$V = \pi r^2 h l$$

Donde:

r = Radio del tanque (cm)

h = Altura del tanque (cm)

Entonces:

$$V = 3,1416 (5,425)^2 (10,85)$$

$$V = 1003 \text{ cm}^3$$

3.2.1.6. CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS (N_{Re})

Haciendo uso de la tabla XXXVII y de la Ec. 10, tenemos:

$$N_{Re} = \frac{L_a^2 n \rho}{\mu}$$

Donde:

L_a = Longitud del agitador

n = Revoluciones por segundo (r/s)

ρ = Densidad del líquido (Kg/m^3)

μ = Viscosidad ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

Entonces:

$$N_{Re} = \frac{(0,0361)^2 (25)(1010)}{0,001}$$

$$N_{Re} = 32905,8$$

El fluido se encuentra en flujo turbulento, ya que el número de Reynolds es mayor a 2500.

3.2.1.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA

Haciendo uso de la Ec. 13, tenemos:

$$P = K_T n^2 L_a^5 \rho$$

Como el número de Reynolds es mayor a 10000, y según la tabla X, para impulsor HE-3, tenemos que $K_T = 0,28$

Entonces:

$$P = (0,28) (25)^2 (0,0361)^5 (1010)$$

$$P = 0,011 \text{ W}$$

$$P = 1 \times 10^{-5} \text{ Hp}$$

3.2.2. CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EN EL WHEEL TEST CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

- **Cálculo de la salinidad de la solución en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Con el valor de número de dígitos consumidos de la tabla XXX, procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ec. 14, así tenemos:

$$\text{Sal} = 50 \times D_{\text{con}} \text{ (ppm Cl}^{-}\text{)}$$

$$\text{Sal} = 50 \times 270 = 13500 \text{ ppm Cl}^{-}$$

Nota: Está salinidad es la misma para las pruebas con el Wheel Test o con el Reactor sea por lotes o por inyección continua para agua o crudo

- **Cálculo del número de cupones para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Con los datos de la tabla XXXI, procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ecuación 15, así tenemos:

$$C_{u_{\text{pre}}} = a * n * c + 2 \text{ (unidades)}$$

$$C_{u_{\text{pre}}} = 5 \times 3 \times 1 + 2 = 17 \text{ unidades}$$

- **Cálculo del volumen de solución salina para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Con los datos de la tabla XXXII., procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ec. 16, así tenemos:

$$V_{\text{sol}} = C_{\text{u}_{\text{pre}}} * V_{\text{bot}} * X_1 + 1000 \quad (\text{mL})$$

$$V_{\text{sol}} = 17 \times 480 \times 1 + 1000 = 9,160 \text{ mL} = 9,16 \text{ L}$$

Se prepararon 10 L por si acaso haya algún problema durante la prueba.

- **Cálculo de la dosificación de químico a inyectar para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Con los datos de la tabla XXXIII., procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ec. 17, así tenemos:

$$V_{\text{dos}} = \frac{V_{\text{M}} * C_{\text{ppm}} * F_{\text{d}}}{1000} \quad (\mu\text{L})$$

$$V_{\text{dos}} = \frac{480 * 10 * 10}{1000} = 48 \quad (\mu\text{L})$$

Los resultados de la salinidad, número de cupones y el volumen de la solución salina se encuentran en la tabla XXXIX.

Los cálculos del volumen de dosificación, también se realizan para 10, 15, 20 y 25 ppm, cuyos valores se muestran en la tabla XI

- **Cálculo de la pérdida de peso (w) para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Se hace uso de la Ec. 2, esto se hace para cada uno, los valores de w se encuentran en las tablas de la XI a la XV, así tenemos:

$$w = P_i - P_f$$

$$w = (14,4900\text{g} - 14,4613\text{g}) = 0,0287 \text{ g}$$

$$w = 28,7 \text{ mg}$$

Nota: Los valores de la diferencia de peso deben estar en mg

- **Cálculo del área del cupón para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Con los datos de la tabla XXXIV, procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ec. 3, la misma que se aplico ya que los cupones son cilíndricos, así tenemos:

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,1416 \times (0,15\text{cm})^2 = 1,6823268\text{cm}^2$$

$$1,6823268\text{cm}^2 \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 0,26076118 \cong 0,26 \text{ pulg}^2$$

El área es constante, para todos los cálculos de velocidad de corrosión (mpy)

- **Cálculo de los mpy para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de los valores de la tabla XXXV, y de la Ec. 1, tenemos:

$$CR = \frac{22,3 \times w}{D \times A \times T}$$
$$CR = \frac{22,3 \times 28,7}{7,85 \times 0,26 \times 1} = 313,58$$

Los resultados de w, A (constante) y mpy se encuentran en las tablas XI a la XV.

- **Cálculo de los mpy promedio para la prueba en el Wheel Test con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración, así tenemos:

$$mpy \text{ prom} = \frac{\sum n}{n}$$
$$mpy \text{ prom} = \frac{(315 + 307 + 363 + 354 + 352 + 346)}{6} = 339$$

Los resultados de los mpy prom, para el Wheel Test a diferentes concentraciones para los inhibidores se muestran en la tabla XLI

3.2.3. CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

- **Cálculo de la dosificación de químico a inyectar para la prueba en el reactor sea por lotes o por inyección continua con inhibidores para reinyección de agua**

Con los datos de la tabla XXXIII., procedemos a hacer el cálculo haciendo uso de la Ec. 17, así tenemos:

$$V_{\text{dos}} = \frac{V_M * C_{\text{ppm}} * F_d}{1000} \quad (\mu\text{L})$$

$$V_{\text{dos}} = \frac{800 * 10 * 10}{1000} = 80 \quad (\mu\text{L})$$

Los cálculos del volumen de dosificación también se realizan para 10, 15, 20 y 25 ppm, cuyos valores se muestran en la tabla XLII

3.2.3.1. CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

- **Cálculo de los mpy promedio para el reactor por lotes con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración, así tenemos:

$$\text{mpy prom} = \frac{\sum n}{n}$$
$$\text{mpy prom} = \frac{(54,2 + 53,8 + 41,1 + 41,5 + 25,6 + 22,8 + 24,3 + 23,5 + 53,0 + 47,8)}{10}$$
$$\text{mpy prom} = 38,7$$

- **Cálculo de la temperatura promedio para el reactor por lotes con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración, así tenemos:

$$\text{Temp prom} = \frac{\sum n}{n}$$

$$\text{mpy prom} = \frac{(49 + 49 + 50 + 49 + 48 + 49 + 49 + 48 + 49 + 49)}{10}$$

$$\text{mpy prom} = \frac{(49 + 49 + 50 + 49 + 48 + 49 + 49 + 48 + 49 + 49)}{10}$$

$$\text{Temp prom} = 48,90$$

Los resultados de la mpy prom y de la Temp prom para el reactor por lotes con inhibidores para reinyección de agua se muestran en las tablas XLIII y XLIV.

3.2.3.2. CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCIÓN CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

- **Cálculo de los mpy promedio para el reactor por inyección continua con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{mpy prom} = \frac{\sum n}{n}$$

$$\text{mpy prom} = \frac{(34,5 + 32,8 + 33,0 + 33,6 + 36,8 + 36,9 + 38,4 + 36,5 + 34,2)}{9}$$

$$\text{mpy prom} = 35,19$$

- **Cálculo de la temperatura promedio para el reactor por inyección continua con inhibidores para reinyección de agua**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{Temp prom} = \frac{\sum n}{n}$$
$$\text{mpy prom} = \frac{(50 + 48 + 49 + 50 + 50 + 49 + 49 + 49)}{9} = 49,11$$

Los resultados de la mpy prom y de la Temp prom para el reactor por inyección continua con inhibidores para reinyección de agua se muestran en las tablas XLV y XLVI

3.2.4. CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA CRUDO

- **Cálculo de los mpy promedio para el reactor por lotes con inhibidores para crudo**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{mpy prom} = \frac{\Sigma n}{n}$$

$$\text{mpy prom} = \frac{(42,4 + 41,6 + 42,6 + 42,9 + 39,2 + 37,5 + 36,5 + 37,0 + 38,2)}{9}$$

$$\text{mpy prom} = 39,77$$

- **Cálculo de la temperatura promedio para el reactor por lotes con inhibidores para crudo**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{Temp prom} = \frac{\Sigma n}{n}$$

$$\text{mpy prom} = \frac{(49 + 50 + 49 + 49 + 49 + 50 + 49 + 49 + 49)}{9} = 49,22$$

Los resultados de la mpy prom y de la Temp prom para el reactor por lotes con inhibidores en crudo se muestran en la tabla XL

3.2.5. CÁLCULOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA CON INHIBIDORES PARA CRUDO

- **Cálculo de los mpy promedio para el reactor por inyección continua con inhibidores para crudo**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{mpy prom} = \frac{\sum n}{n}$$
$$\text{mpy prom} = \frac{(37,2 + 35,0 + 39,3 + 36,3)}{4} = 36,95$$

- **Cálculo de la temperatura promedio para el reactor por inyección continua con inhibidores para crudo**

Haciendo uso de la siguiente Ecuación, se calculan los mpy promedio para cada concentración:

$$\text{Temp prom} = \frac{\sum n}{n}$$
$$\text{mpy prom} = \frac{(50 + 48 + 49 + 50 + 50 + 49 + 49 + 49)}{9} = 49,11$$

Los resultados de la mpy prom y de la Temp prom para el reactor por inyección continua se muestran en la tabla XLVII

3.3. RESULTADOS

3.3.1. RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

TABLA XXXIX.

Resultados del dimensionamiento del reactor

Descripción	Valor	Indicador
Diámetro del tanque	10,85	cm
Altura del tanque	13,02	cm
Altura del líquido	10,85	cm
Espesor de la tapa	0,15	cm
Diámetro de la tapa	11,00	cm
Longitud del agitador	3,616	cm
Volumen del tanque	1003	cm ³
Número de Reynolds	32905,8	-
Potencia requerida	1×10^{-5}	Hp

Elaborado por: José Méndez

3.3.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA WHEEL TEST CON INHIBIDORES DE REINYECCIÓN DE AGUA

TABLA XL.

Resultados de la salinidad, número de cupones y volumen de solución salina de la prueba Wheel Test para reinyección de agua

Salinidad	Número de cupones	Volumen de la solución salina
13500	17	9,16

Elaborado por: José Méndez

TABLA XLI.

Resultados de las concentraciones y sus equivalencias en μL de la prueba Wheel Test para reinyección de agua

Concentración (ppm)	Volumen (μL)
10	48
15	72
20	96
25	120

Elaborado por: José Méndez

TABLA XLII.

Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores de la prueba Wheel Test para reinyección de agua

Concentración	mpy prom de los inhibidores				
	A	B	C	D	E
0	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00
10	81,00	95,00	96,00	79,00	243,00
15	94,00	74,00	81,00	70,00	162,00
20	82,00	90,00	81,00	86,00	156,00
25	72,00	72,00	81,00	56,00	85,00

Elaborado por: José Méndez

3.3.3. RESULTADOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES O INYECCIÓN CONTINUA CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA O CRUDO

TABLA XLIII.

Resultados de las concentraciones y sus equivalencias en μL del reactor por lotes o inyección continua sea para reinyección de agua o crudo

Concentración (ppm)	Volumen (μL)
10	80
15	120
20	160
25	200

Elaborado por: José Méndez

3.3.3.1. RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

TABLA XLIV.

Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para reinyección de agua

Concentración	mpy prom de los inhibidores				
	A	B	C	D	E
0	38,70	38,70	38,70	38,70	38,70
10	30,11	26,92	43,51	44,37	46,56
15	35,77	37,48	27,56	69,60	45,41
20	30,87	29,84	22,30	27,55	21,48
25	30,43	45,79	28,00	68,87	44,96

Elaborado por: José Méndez

TABLA XLV.

Resultados obtenidos de las Tem prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para reinyección de agua

Concentración	Temp prom de los inhibidores				
	A	B	C	D	E
0	48,90	48,90	48,90	48,90	48,90
10	48,44	48,27	48,57	48,00	48,71
15	48,43	48,44	48,44	48,86	48,44
20	48,89	49,25	48,56	49,17	48,50
25	49,20	49,38	49,43	49,57	48,50

Elaborado por: José Méndez

3.3.3.2. RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y LA TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA

TABLA XLVI.

Resultados obtenidos de los mpy prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para reinyección de agua

Concentración	mpy prom de los inhibidores				
	A	B	C	D	E
0	35,19	59,10	38,11	50,34	25,03
10	24,53	24,66	26,63	38,15	27,73
15	27,26	32,56	22,79	56,68	30,81
20	25,41	35,08	18,40	64,24	38,15
25	25,49	34,52	15,92	57,21	27,59

Elaborado por: José Méndez

TABLA XLVII.

Resultados obtenidos de las Temp prom a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para reinyección de agua

Concentración	Temp prom de los inhibidores				
	A	B	C	D	E
0	49,11	48,00	48,67	48,30	47,90
10	48,18	47,89	48,00	49,00	48,27
15	48,32	48,08	48,07	48,08	48,50
20	48,00	48,23	47,87	48,20	47,75
25	47,89	47,83	48,00	48,09	47,78

Elaborado por: José Méndez

3.3.4. RESULTADOS PARA LA PRUEBA EN EL REACTOR POR LOTES CON INHIBIDORES PARA CRUDO

Los resultados de las concentraciones y sus equivalentes son las mismas ver en la tabla XL

3.3.4.1. RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO

TABLA XLVIII.

**Resultados obtenidos de los mpy prom y Temp prom a diferentes
concentraciones de los inhibidores del reactor por lotes para crudo**

Concentración	Inhibidor A		Inhibidor D	
	mpy prom	Temp prom	mpy prom	Temp prom
0	39,77	49,22	38,33	49,33
10	42,74	48,80	42,74	48,80
15	39,40	49,43	39,43	49,43
20	45,13	49,43	44,18	49,40

Elaborado por: José Méndez

3.3.4.2. RESULTADOS DE LOS mpy PROMEDIO Y TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL REACTOR POR INYECCIÓN CONTINUA PARA CRUDO

TABLA XLIX.

Resultados obtenidos a diferentes concentraciones de los inhibidores del reactor por inyección continua para crudo

Concentración	Inhibidor A		Inhibidor D	
	mpy prom	Temp prom	mpy prom	Temp prom
0	36,95	49,25	46,48	49,00
10	43,76	48,80	47,38	48,75
15	42,02	49,20	47,90	48,75
20	40,57	49,00	45,64	48,60

Elaborado por: José Méndez

3.4. CONSTRUCCIÓN

Para la construcción de un tanque agitado se tiene que tomar en cuenta una serie de aspectos tales como: material del que va a ser construido, tiempo de vida útil, accesorios, entre otros.

3.4.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la selección del material más adecuado que deberá emplearse en la construcción del reactor, se debe tomar en cuenta su resistencia a la corrosión, costo, manipulación, entre otros.

Cilindro del reactor

Para el cilindro del reactor se empleó un vaso de precipitación de 1000 cm³, al cual se lo trabajó a alta temperatura con la finalidad de quitarle el pico y formarle una ceja, el material del que está hecho el vaso es vidrio pyrex debido a que este material presenta las siguientes características:

Características químicas

“El vidrio pyrex o el vidrio de borosilicato tiene una resistencia química muy buena; al agua, ácidos (menos al ácido fluorhídrico y fosfórico caliente), soluciones de salmuera, disolventes orgánicos.

La Tabla L, muestra la composición química del vidrio pyrex.

TABLA L.
Composición química del vidrio pyrex

Elemento	Porcentaje (%)
Sílice	80,6
Oxido de Sodio	4,2
Oxido Bórico	12,6
Alúmina	2,2

Fuente: <http://www.wikipedia, la enciclopedia libre/borosilicatado.mht>⁽²⁶⁾

Otra de las razones por las cuales se considera al vidrio pyrex para la construcción del reactor a parte de su resistencia a la corrosión, es porque se necesita evaluar la eficiencia de los inhibidores, ya que si el reactor se construyera de acero u otro material metálico el inhibidor procedería a proteger las paredes del reactor y no se realizaría una apreciación real acerca de la protección.

3.4.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

a) Arandela

La arandela fue enviada a fabricar para que ayude a sujetar la probeta a la tapa del reactor, el material utilizado para su fabricación fue el hierro.

⁽²⁶⁾ VIDRIO PYREX._ 2008: <http://www.wikipedia, la enciclopedia libre/borosilicatado.mht>

b) Corchos

Los corchos se enviaron a hacer de caucho, cuya función es tapar el orificio de ingreso del inhibidor y ayudar a sujetar el termómetro.

c) Empaques

Los empaques son de material polietileno, material que ayudará a que el reactor tenga sello hermético.

d) Probeta

La probeta que se va a ocupar es de polarización lineal (PPR) la cual puede ser usada para evaluar crudo o agua de formación.

e) Tapa

La tapa fue fabricada de acrílico, debido a su resistencia a la manipulación.

f) Termómetro

Se empleo un termómetro de 0 a 100 C ya que el agua de formación se encuentra a una temperatura de 49 C o aproximadamente 120 F, y de esa forma se simula las condiciones de operación.

g) Tuerca

La tuerca fue enviada a fabricar debido a que en el mercado no existe tuerca de ese diámetro de precisión, el material utilizado para la fabricación de la misma fue de hierro.

3.4.3. MONTAJE DEL EQUIPO

Ver en la propuesta y escoger si el inhibidor se va a evaluar por lotes o por inyección continua, estos sistemas de evaluación se aplican para agua de reinyección o crudo

3.5. ANÁLISIS DE COSTOS

3.5.1. GENERALIDADES

En todo proyecto de planeación, diseño y construcción es necesario elaborar un análisis de costos, el cual indicara si el proyecto es factible.

3.5.2. RECURSOS HUMANOS

TABLA LI.

Recursos Humanos

DENOMINACIÓN	COSTO (Dólares)
Construcción y ensamblaje del equipo	258,40
TOTAL	258,40

Elaborado por: José Méndez

3.5.3. RECURSOS MATERIALES

TABLA LII.

Recursos Materiales

DENOMINACIÓN	COSTO (Dólares)
Materiales y suministros de oficina	100,00
Evaluación de anticorrosivos utilizando el método Wheel Test	1000,00
Análisis de la tendencia corrosiva del agua de formación	80,00
Sustancias y reactivos	98,00
Materiales para la construcción del equipo	2110,00
Varios	296,00
TOTAL	3684,00

Elaborado por: José Méndez

3.5.4. RECURSOS TOTALES

TABLA LIII.

Recursos Totales

DENOMINACIÓN	COSTO (Dólares)
Recursos Humanos	258,40
Recursos Materiales	3684,00
SUBTOTAL	3942,40
Imprevistos (10%)	394,24
TOTAL	4336,64

Elaborado por: José Méndez

El costo total del equipo es de: \$ 4336,64 (Cuatro mil trescientos treinta y seis dólares americanos con 64/100)

3.5.5. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DEL EQUIPO

TABLA LIV.

Materiales utilizados para la construcción y ensamblaje del reactor de mezcla completa

Material	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Vaso de vidrio 1 L	Pyrex	2	9,00	18,00
Tapa	Acrílico	1	20,00	20,00
Probeta de polarización lineal	2 electrodos	1	1000,00	1000,00
Adaptador	Metal	1	150,00	150,00
Pilas energizer	9 V	9	4,00	36,00
Corrater	9000 PLUS	1	350,00	350,00
Termómetro de mercurio	-10 a 260 °C, Ap ± 1°C	2	35,00	70,00
Tapones sintéticos	Caucho	3	1,00	3,00
Prensas 1 pulg	Metálicas	4	4,50	18,00
Empaques	Poliuretano	3	1,00	3,00
Tuerca de precisión	Hierro	1	10,00	10,00
Arandela de ½ pulgada	Hierro	1	2,00	2,00
Plancha calentador/agitador	Metal/cerámica	1	430,00	430,00
TOTAL				2110,00

Elaborado por: José Méndez

Nota: La probeta de polarización lineal se puede emplear para agua, crudo y petróleo

3.6. PROPUESTA

Se realizó el diseño y construcción de un reactor de 1 L de volumen, debido a su fácil reproducción, además en este equipo se podrán variar las condiciones de operación, para simular de mejor manera las condiciones del campo e incluso, volver más extremas estas condiciones.

Adicionalmente se presento el procedimiento para evaluar los inhibidores de corrosión con el reactor de mezcla completa, dicha evaluación se puede realizar de 2 formas: por lotes e inyección continua esta elección dependerá de la persona que este evaluando los inhibidores. A continuación se describe ambos procedimientos:

3.6.1. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN CON EL REACTOR DE MEZCLA COMPLETA

DESARROLLO	PROCEDIMIENTO	
<p>PARTE OPERATIVA</p> <p>VARIABLES A DETERMINAR: Velocidad de corrosión (mpy) MUESTRA: 800 mL NUMERO DE MUESTRAS: 1 NUMERO DE ENSAYOS: 1 por cada inhibidor de corrosión</p>	<p>DISEÑO DE LA PRUEBA</p> <p>Tiempo de corte de la prueba 16 horas Se va a trabajar con agua sintética</p> <p>DILUCIÓN DE LOS QUÍMICOS AL 10% V</p> <p>Ver procedimiento de dilución de químicos al 10% (procedimiento 2.2.1.2.1)</p> <p>La diferencia entre utilizar un inhibidor de corrosión soluble en agua o en crudo (aceite) radica en que en el caso de utilizar inhibidor soluble en crudo, a éste se lo debe diluir en IPA en lugar de agua destilada, pero el procedimiento de evaluación es el mismo tanto por lotes como por inyección continua.</p> <p>DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD</p> <p>Ver procedimiento de nitrato de plata (procedimiento 2.2.1.2.1.)</p> <p>PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA</p> <p>Para realizar la solución salina seguir el siguiente procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Adicionar volumen del agua mineral con gas en el envase de polietileno transparente de 4 L de capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> Agregar aproximadamente 21 g de la sal de mesa por cada litro de agua a preparar y diluirla lentamente para evitar la fuga total de CO₂ de la solución Medir la salinidad de la solución formada, por el método de nitrato de plata, esta salinidad va a ser de 13500 ppm aproximadamente. <p>MONTAJE DE LA PRUEBA CON EL REACTOR DE INYECCIÓN DE INHIBIDOR POR LOTES</p> <p>Colocar los corchos en la tapa del reactor. Colocar la pastilla imantada dentro del reactor. Llenar el reactor con 800 mL de solución. Sujetar la probeta a la tapa del reactor con ayuda de la arandela y la tuerca Colocar la tapa y sujetarla con ayuda de las prensas. Colocar el reactor sobre el agitador magnético. Ensamblar el corrater a la probeta con ayuda del adaptador Comenzar a agitar el sistema. Encender el agitador magnético a la velocidad mínima Encender la temperatura Esperar hasta que la temperatura se encuentre en un rango entre 48 a 50 C Tomar lecturas con ayuda del corrater sin adicionar químico por un tiempo de 1 hora, cada 15 minutos Adicionar el inhibidor de corrosión (10% V), en un equivalente a 10 ppm lo que corresponde a 80 µL, tomar lecturas por 3 horas procurando que la temperatura no se salga del rango de evaluación Desechar la prueba y montar otra, así mismo tomar lecturas con ayuda del corrater sin adicionar químico por un tiempo de 1 hora, cada 15 minutos, pero esta vez adicionar 15 ppm de inhibidor lo que corresponde a 120 µL y tomar lecturas por 3 horas cuidando que la temperatura no se salga del rango de evaluación Seguir adicionando inhibidor de corrosión en proporción</p> <p>de 5 ppm y continuar con las lecturas, hasta llegar a 25 ppm.</p> <p>MONTAJE DE LA PRUEBA CON EL REACTOR PARA INYECCIÓN CONTINUA DE INHIBIDOR</p> <p>Colocar los corchos en la tapa del reactor. Colocar la pastilla imantada dentro del reactor. Llenar el reactor con 800 mL de solución. Sujetar la probeta a la tapa del reactor con ayuda de la arandela y la tuerca Colocar la tapa y sujetarla con ayuda de las prensas. Colocar el reactor sobre el agitador magnético. Ensamblar el corrater a la probeta con ayuda del adaptador Comenzar a agitar el sistema. Encender el agitador magnético a la velocidad mínima Encender la temperatura Esperar hasta que la temperatura se encuentre en un rango entre 48 a 50 C Tomar lecturas con ayuda del corrater sin adicionar químico por un tiempo de 1 hora, cada 15 minutos, para que se establezca el sistema Adicionar el inhibidor de corrosión (10% V), en un equivalente a 10 ppm lo que corresponde a 80 µL, tomar lecturas por 3 horas procurando que la temperatura no se salga del rango de evaluación Seguir adicionando inhibidor de corrosión en proporciones de 5 ppm y continuar con las lecturas, hasta llegar a 25 ppm.</p>

3.7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De las pruebas realizadas utilizando el Wheel Test y el Reactor de mezcla completa a diferentes a diferentes concentraciones tenemos:

3.7.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS CON INHIBIDORES PARA REINYECCIÓN DE AGUA

Para la prueba en el Wheel Test (ver ANEXO I), la menor velocidad de corrosión es 56 mpy esto se da a 25 ppm para un cupón que está protegido con el inhibidor D, teniendo una eficiencia del 83,40%, en comparación con el cupón utilizado como referencia cuya velocidad de corrosión es 313 mpy

Para la prueba en el Reactor por lotes (ver ANEXO II), la menor velocidad de corrosión es 21,48 mpy esto se da a 20 ppm para los electrodos de la probeta de polarización lineal que están protegidos con el inhibidor E, teniendo una eficiencia del 61,50%, en comparación con los electrodos cuando no están protegidos cuya velocidad de corrosión es 55,80 mpy

Para la prueba en el Reactor por inyección continua (ver ANEXO IV), la menor velocidad de corrosión es 15,92 mpy esto se da a 25 ppm para los electrodos de la probeta de polarización lineal que están protegidos con el inhibidor C, teniendo una eficiencia del 58,30%, en comparación con los electrodos cuando no están protegidos cuya velocidad de corrosión es 38,19 mpy

Estos valores de protección nos indican que son los más adecuados para proteger las facilidades de problemas de corrosión, pero a la vez no son los más idóneos ya que en todos los casos se produce corrosión.

3.7.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DEL REACTOR CON INHIBIDORES PARA CRUDO

Para la prueba en el Reactor por lotes (ver ANEXO VI), la menor velocidad de corrosión es 39,40 mpy esto se da a 15 ppm para los electrodos de la probeta de polarización lineal que están protegidos con el inhibidor A, teniendo una eficiencia del 0,93%, en comparación con los electrodos cuando no están protegidos cuya velocidad de corrosión es 39,77 mpy

Para la prueba en el Reactor por inyección continua (ver ANEXO VIII), la menor velocidad de corrosión es 15,92 mpy esto se da a 25 ppm para los electrodos de la probeta de polarización lineal que están protegidos con el inhibidor C, teniendo una eficiencia del 3,99%, en comparación con los electrodos cuando no están protegidos cuya velocidad de corrosión es 42,26 mpy

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se diseño y construyo un reactor de 1003 cm^3 de capacidad, por la facilidad de reproducir reactores del mismo tipo ya que si se hubiese diseñado un de mayor capacidad hubiese sido imposible reproducirlo, de igual manera se utilizaron los criterios de diseño como: diámetro del reactor (10,85 cm), altura del mismo (13,02 cm), velocidad de agitación (25 r/s), cantidad de agua sintética a utilizar o altura del líquido (10,85), diámetro de la tapa (11,00 cm).
- Mediante las pruebas realizadas en el reactor por lotes en inyección continua, se determinó que luego de alcanzar la temperatura de 49 C y evaluar por 1 hora a concentración cero, se añade el inhibidor y se toma lecturas por el lapso de 3 horas aproximadamente, esto se debe hacer para cada inhibidor y método de evaluación; tiempo en el cual los valores de la velocidad de corrosión se encontraban dentro de un rango de datos dando valores similares. El tiempo y método de evaluación se detallan de mejor manera en la propuesta

- Con datos obtenidos de las pruebas y mediante la variación de parámetros como: concentración de la solución salina, temperatura, velocidad de agitación y concentración del inhibidor, se encontraron 2 procedimientos a seguir para evaluar los inhibidores de corrosión en el reactor, la diferencia radica en que si la evaluación del inhibidor es por lotes o por inyección continua, estos procedimientos se encuentran explicados de mejor manera en la propuesta
- Ambos métodos el Wheel Test y el Reactor no se pueden relacionar ya que parámetros de evaluación son totalmente diferentes; en el reactor de mezcla completa por lotes o por inyección continua se usan electrodos para evaluar la velocidad de corrosión (mpy), mientras que en el Wheel Test se utilizan cupones donde se calcula pérdida de peso y mediante cálculos se puede obtener la velocidad de corrosión (mpy). Además la evaluación en el equipo Wheel Test es un método estandarizado; mientras que el método del reactor es más dinámico permitiendo variar parámetros de evaluación como son: velocidad de agitación, temperatura.

- Se realizó el cálculo de la eficiencia de los inhibidores de corrosión tomando como referencia los valores que presentan la menor de velocidad de corrosión (mpy), este es un indicativo que son los mejores químicos para proteger las facilidades sea para reinyección de agua o crudo. Pero esto no significa que las facilidades estén libres de corrosión ya que esta sí se produce.
- En cuestión de seleccionar el inhibidor más adecuado, se tiene que considerar si es para reinyección de agua o para crudo y si se va a evaluar por lotes o inyección continua, así tenemos: en el reactor por lotes para reinyección de agua el mejor inhibidor fue C a 20 ppm cuya velocidad de corrosión fue 22,30; en el reactor por inyección continua para reinyección de agua el mejor inhibidor fue C a 25 ppm cuya velocidad de corrosión fue 15,92; en el reactor por lotes para crudo el mejor inhibidor fue A a 15 ppm cuya velocidad de corrosión fue 39,40; en el reactor por inyección continua para crudo el mejor inhibidor fue A a 20 ppm cuya velocidad de corrosión fue 40,57

4.2. RECOMENDACIONES

- Instalar un sistema de control automático de temperatura al equipo de tal forma que la temperatura se mantenga constante es decir a 49 C y de no ser posible instalar un control automático de control que mantenga la temperatura entre 48 y 49 C
- Instalar un sistema de dosificación para el inhibidor con la finalidad que el inhibidor se adicione a los lugares donde hay la turbulencia para que este se disperse de mejor manera
- Lavar bien la probeta de polarización lineal con ayuda de una esponja y en caso de ser requerido lijar los electrodos con la lija más fina de forma cuidadosa
- Tener cuidado que la temperatura de trabajo no exceda los 49 C ya que esto acarrea errores de medición ya que a mayor temperatura la velocidad de corrosión es mayor
- Tomar las mediciones cada 15 minutos ya que se trata de tener datos concisos y de forma periódica
- Cada que se realice una prueba lavar el reactor con detergente enjuagarlo y volverlo a enjuagar con agua destilada

- Tener mucho cuidado al momento de manipular el vaso del reactor ya que si se golpea se puede trisar como ya sucedió una vez
- Los electrodos tienen un diámetro de $3/16$ ", se recomienda reemplazar los electrodos cuando se reduce el diámetro a no menos de $5/32$ ", ya que caso contrario si producen errores en las lecturas de la velocidad de corrosión.
- Cuando se haga el cambio de los electrodos usar guantes ya que nuestros dedos contienen grasa y esto forma una capa sobre los electrodos que afecta las lecturas de la velocidad de corrosión

BIBLIOGRAFIA

5. BIBLIOGRAFÍA

1. **BAKER PETROLITE**, Control de Corrosión en Operaciones de Producción (Diapositivas), Riobamba, 2007, pp. 29, 38, 48, 56, 69
2. **BRITO H**, Texto Básico de Operaciones Unitarias I, Riobamba, Ecuador, s. ed, 2006, pp. 77-84
3. **HOWAR J**. Detección y Control de Corrosión en Campos Petroleros, México, CHAMPION TECHNOLOGIES, 1996, pp. 24-27, 55-56, 64
4. **LEVENSPIEL O**. Ingeniería de las Reacciones Químicas, Oregon, Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Estado de Oregon, 1975, p. 52
5. **MANZANO E**, Inhibidores de Corrosión (Diapositivas), Quito, 2004, p. 23
6. **PINOS R**, Texto Básico de Petróleos, Riobamba, Ecuador, s. ed, 2000, pp. 26, 36
7. **SANTANA P y GORDILLO M**, Diseño y Construcción de un Reactor con Agitación para Evaluar Inhibidores de Corrosión en Aguas de Formación (Tesis), Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química 2008, pp. 35, 95-97, 115-121
8. **VALDIVIESO J**, Técnicas de Monitoreo de la Corrosión (Diapositivas), Quito, 2003, pp. 45-48, 51

5.1. INTERNET

1. CUPONES DE CORROSIÓN

[http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20\(spanish\).pdf](http://www.alspi.com/Spanish/Coupons%20-%20intro%20(spanish).pdf)

(2010/03/09)

2. GUÍA PARA SELECCIÓN DE PROBETAS CORRATER

http://www.cosasco.com/pdfs/spanish/Corrater%20Probe%20Selection_SP.pdf

(2010/03/09)

3. PRODUCTOS PARA EL MONITOREO DE LA CORROSIÓN

http://www.cosasco.com/pdfs/spanish/CMS_Spanish_Brochure.pdf

(2010/03/09)

4. REACTORES

http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_de_reactores

(2008/10/22)

5. TIPOS DE REACTORES

http://es.wikipedia.org/wiki/tipo_%C3%&de_reactores

2008/10/24

6. VIDRIO PYREX

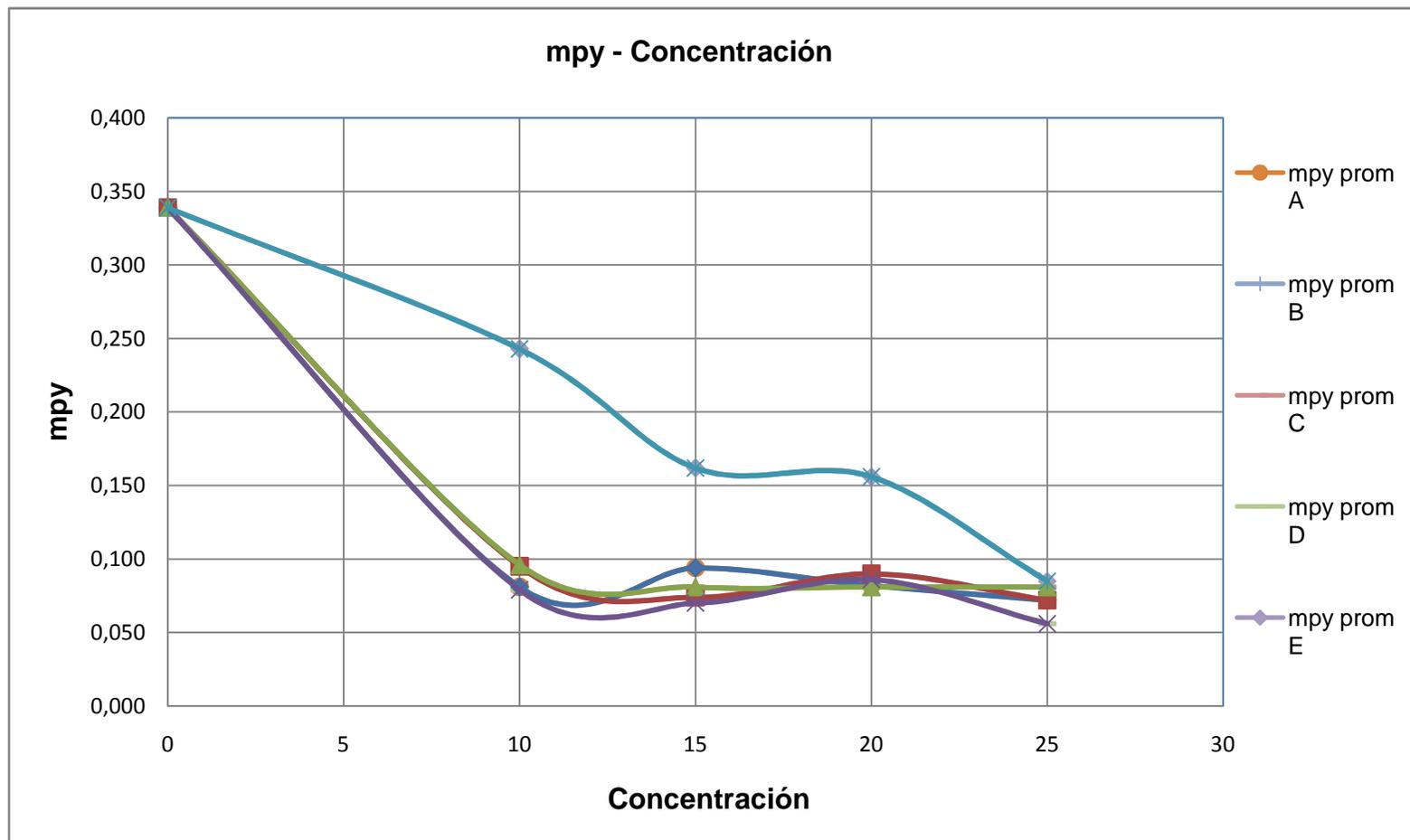
<http://www.wikipedia, la enciclopedia libre/borosilicatado.mht>

2008/12/08

ANEXOS

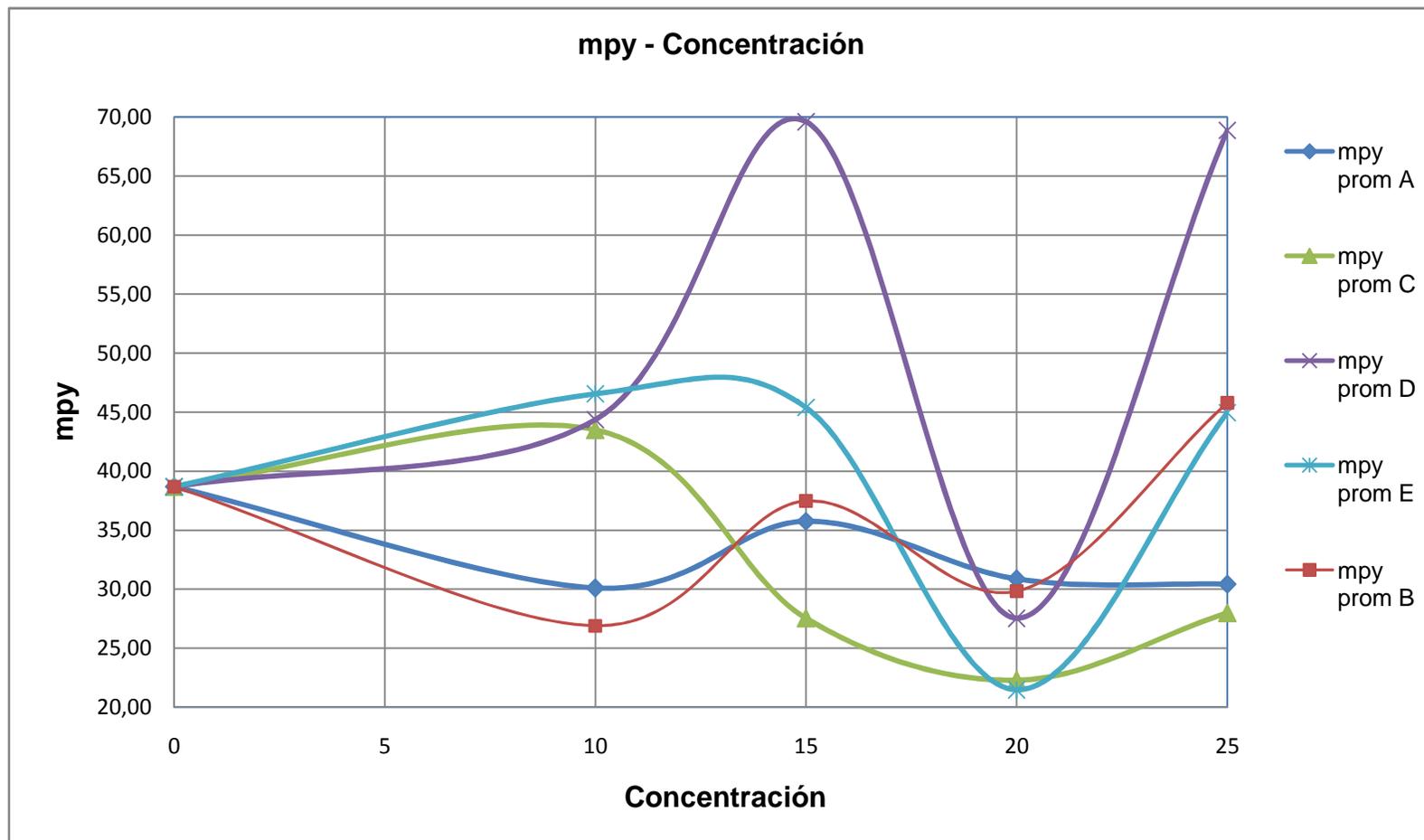
ANEXO I

GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL WHEEL TEST PARA REINYECCIÓN DE AGUA



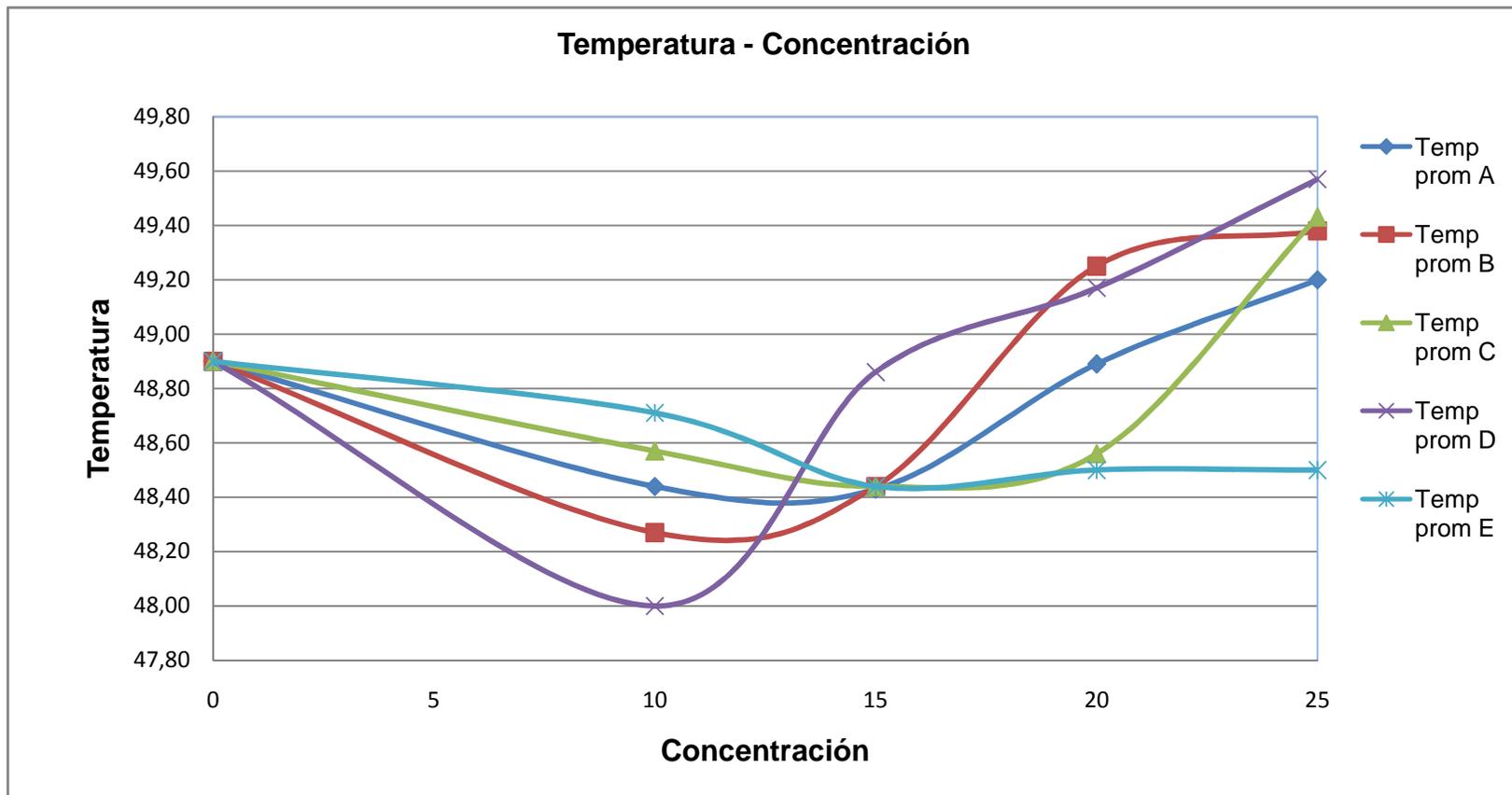
ANEXO II

GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA



ANEXO III

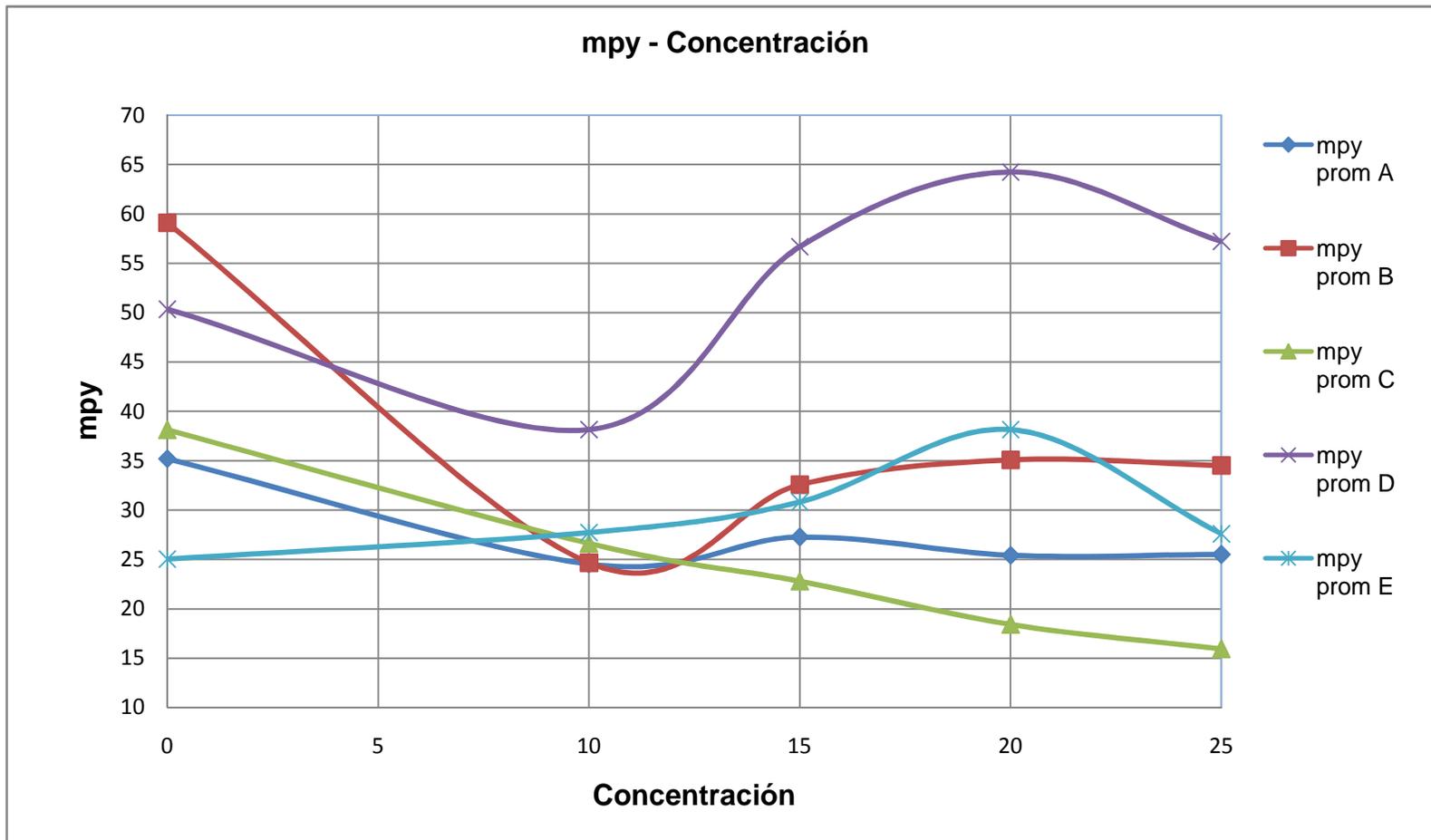
GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA REINYECCIÓN DE AGUA



ANEXO IV

GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION

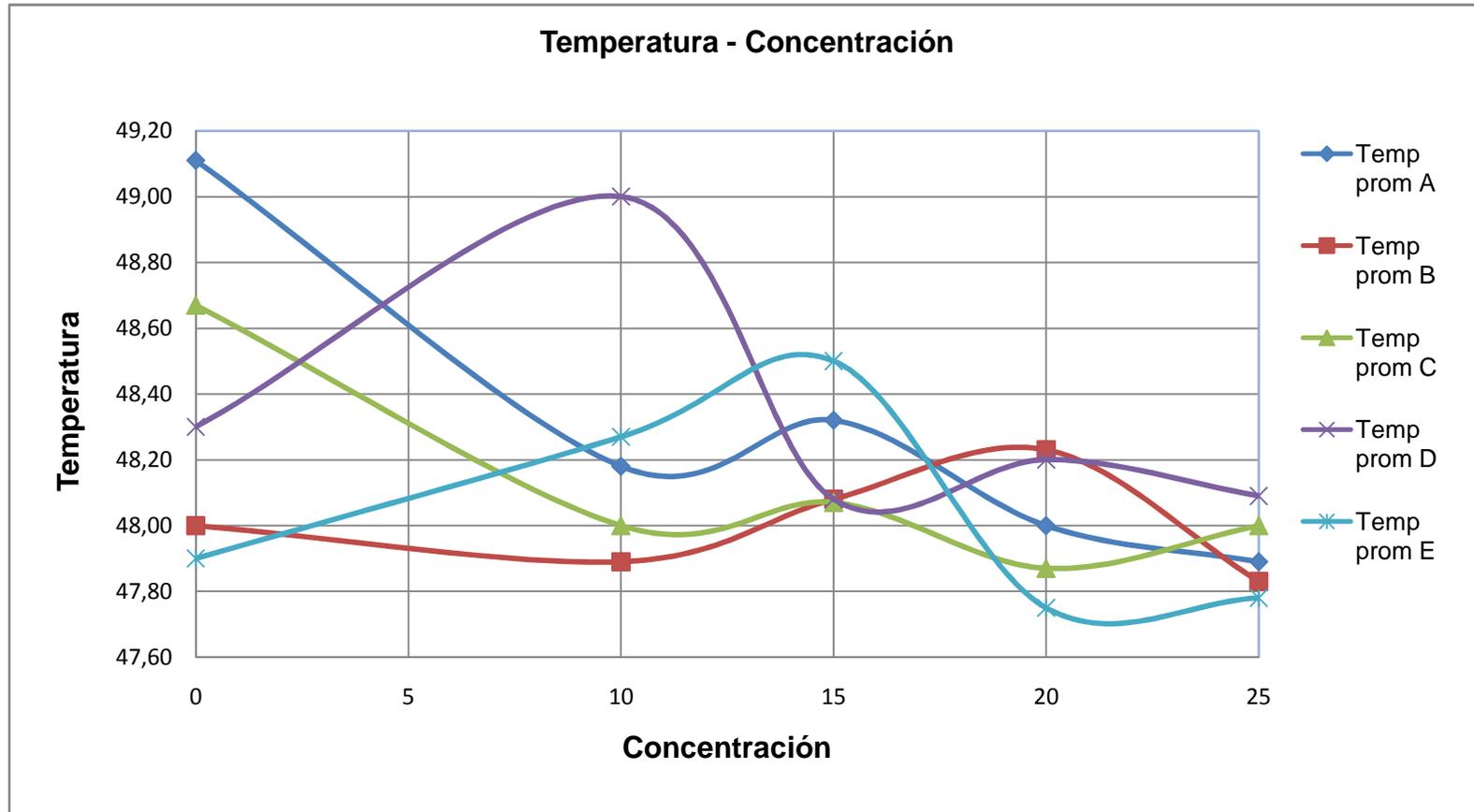
CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA



ANEXO V

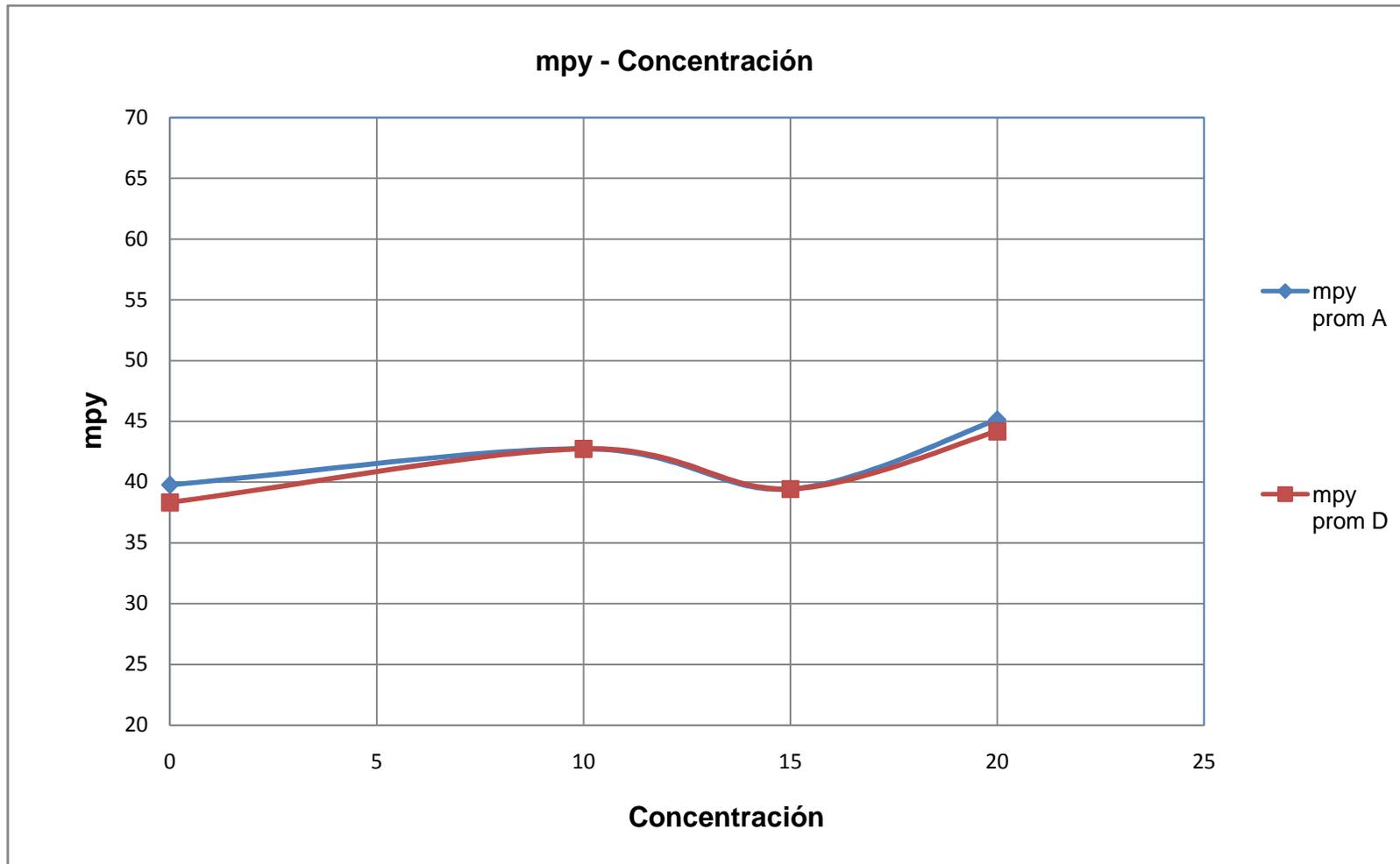
GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 5 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION

CONTINUA PARA REINYECCIÓN DE AGUA



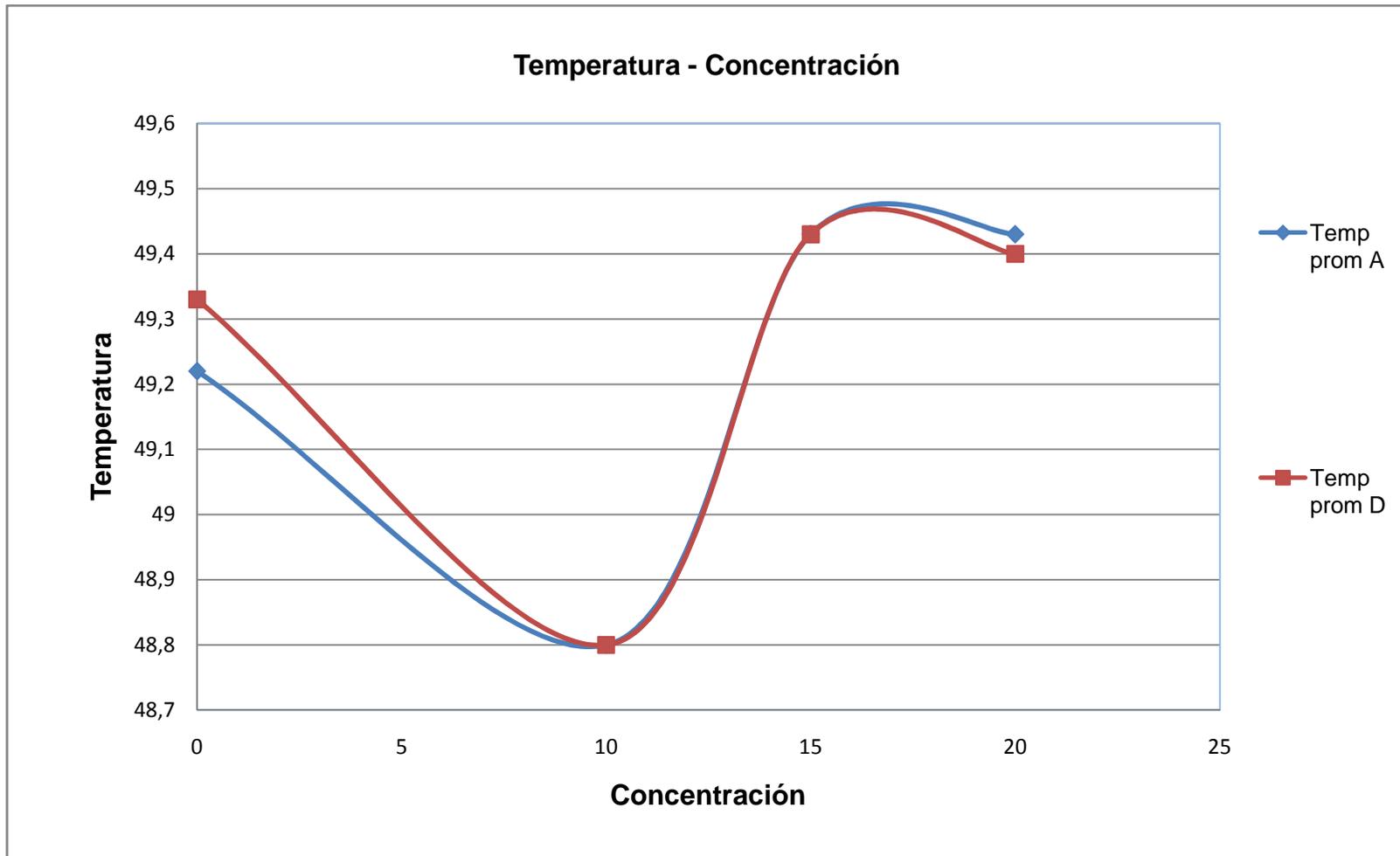
ANEXO VI

GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO



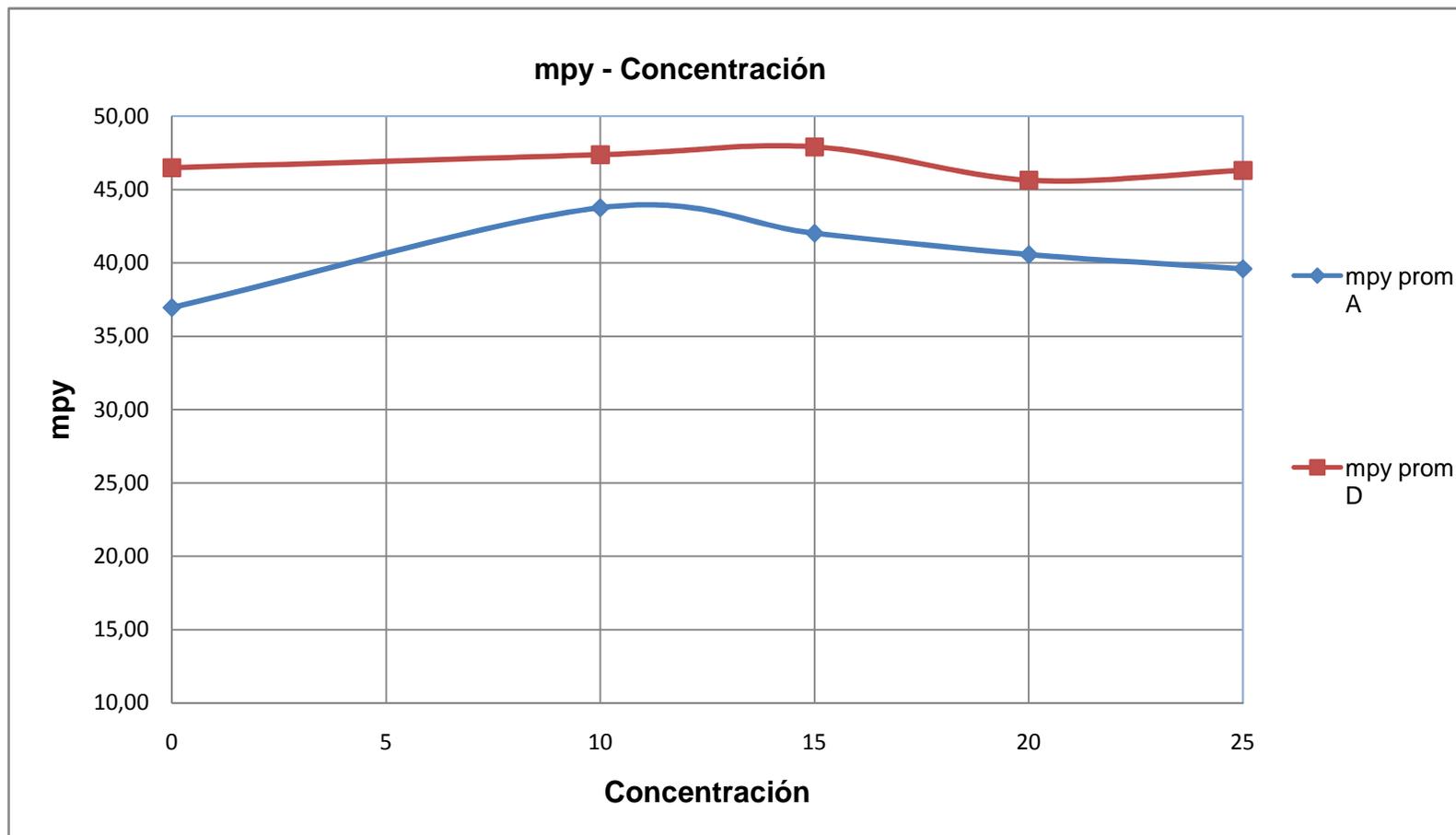
ANEXO VII

GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR LOTES PARA CRUDO



ANEXO VIII

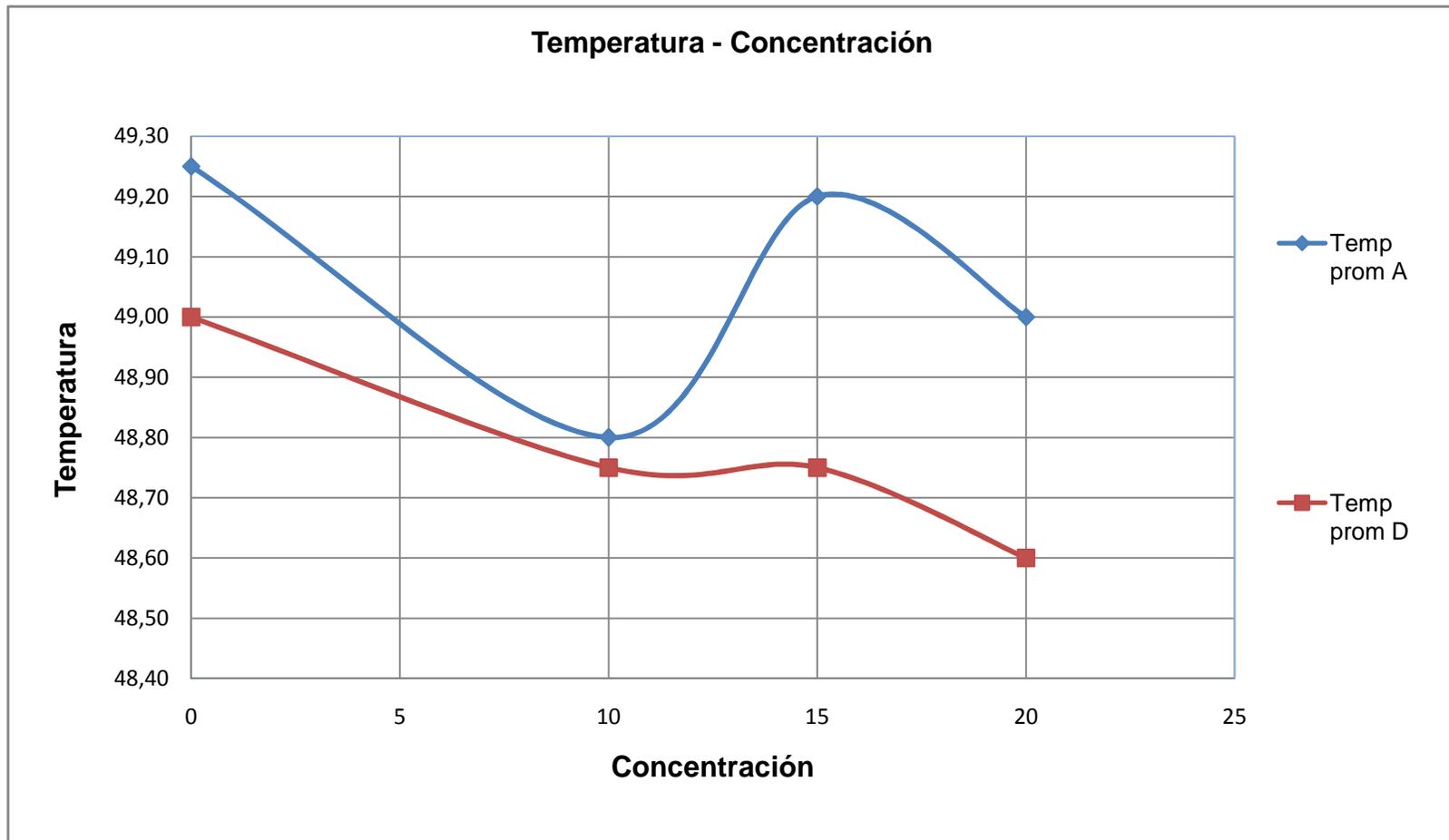
GRAFICA mpy PROM – CONCENTRACION PARA 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION CONTINUA
PARA CRUDO



ANEXO IX

GRAFICA TEMP PROM – CONCENTRACION PARA LOS 2 INHIBIDORES EVALUADOS CON EL REACTOR POR INYECCION

CONTINUA PARA CRUDO



ANEXO X

INHIBIDOR DE CORROSIÓN IC-1176

DESCRIPCIÓN GENERAL

El producto IC-1176 es un inhibidor de corrosión de solución soluble en agua de alta velocidad, utilizado principalmente en sistemas de producción y sistemas de inyección de agua. Este inhibidor puede ser aplicado en sistemas con temperaturas sobre 250 F y debido a su alta solubilidad en agua, puede ser aplicado en sistemas de recirculación sin la necesidad de ser inyectado por el tubo capilar en pozos

PROPIEDADES FÍSICAS

Apariencia	Líquido transparente café claro
pH	4,0 – 6,0
Gravedad específica	0,990 – 1,00
Solubilidad	Totalmente soluble en agua

APLICACIÓN

Para mayor efecto IC-1176 debería ser aplicado continuamente a una dosis de 5 a 20 ppm. Sin embargo, la optimización depende de la corrosividad del sistema y otros factores de los materiales

MANEJO

El personal que maneja este producto debería estar completamente enterado de los peligros en tambores de 55 galones, bulk tanks de 330 galones e isotanques de 4200 galones

ANEXO XI

REACTIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN SALINA Y DETERMINAR LA SALINIDAD



ANEXO XII

INHIBIDORES DE CORROSIÓN DE LAS COMPAÑÍAS



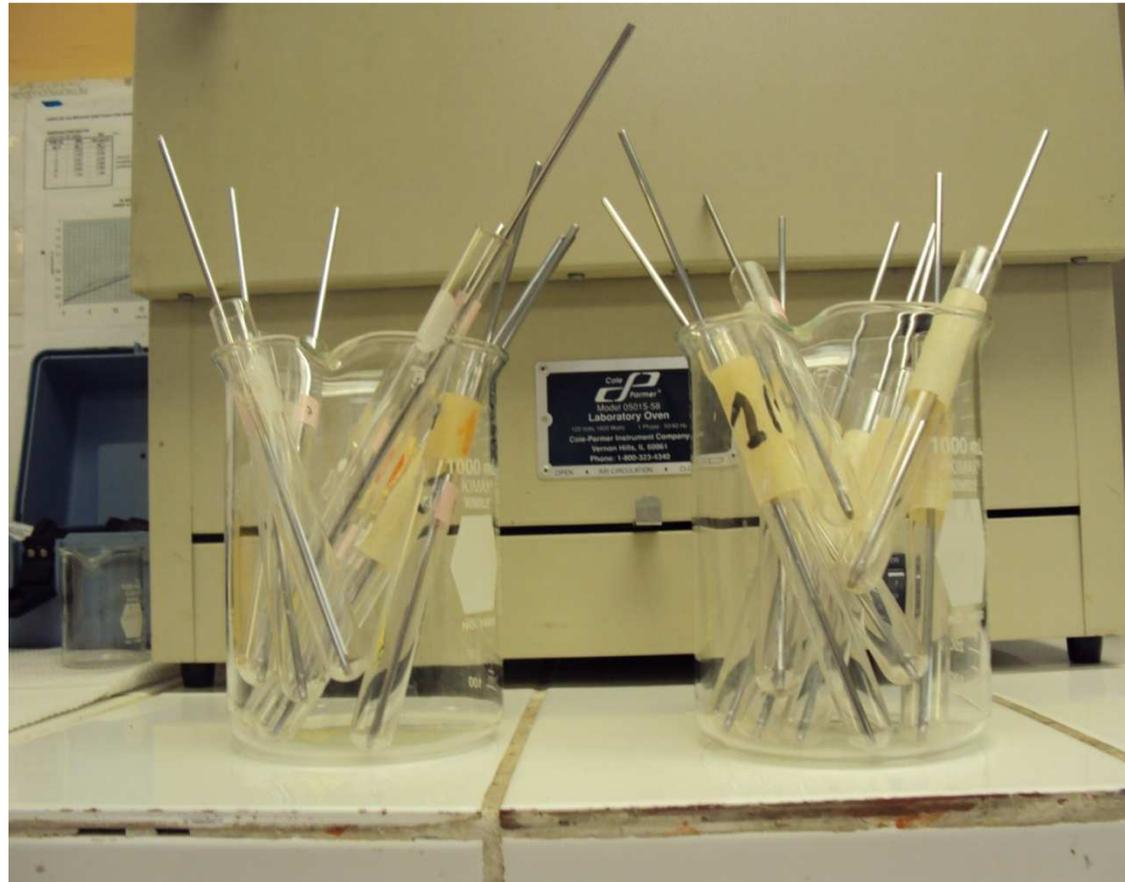
ANEXO XIII
EQUIPO WHELL TEST VISTA EXTERNA



ANEXO XIV
LIMPIEZA DE LOS CUPONES



ANEXO XV
CUPONES LISTOS PARA SECAR



ANEXO XVI

CUPONES PARA LA PRUEBA EN EL EQUIPO WHELL TEST



ANEXO XVII

EQUIPO WHELL TEST VISTA INTERNA

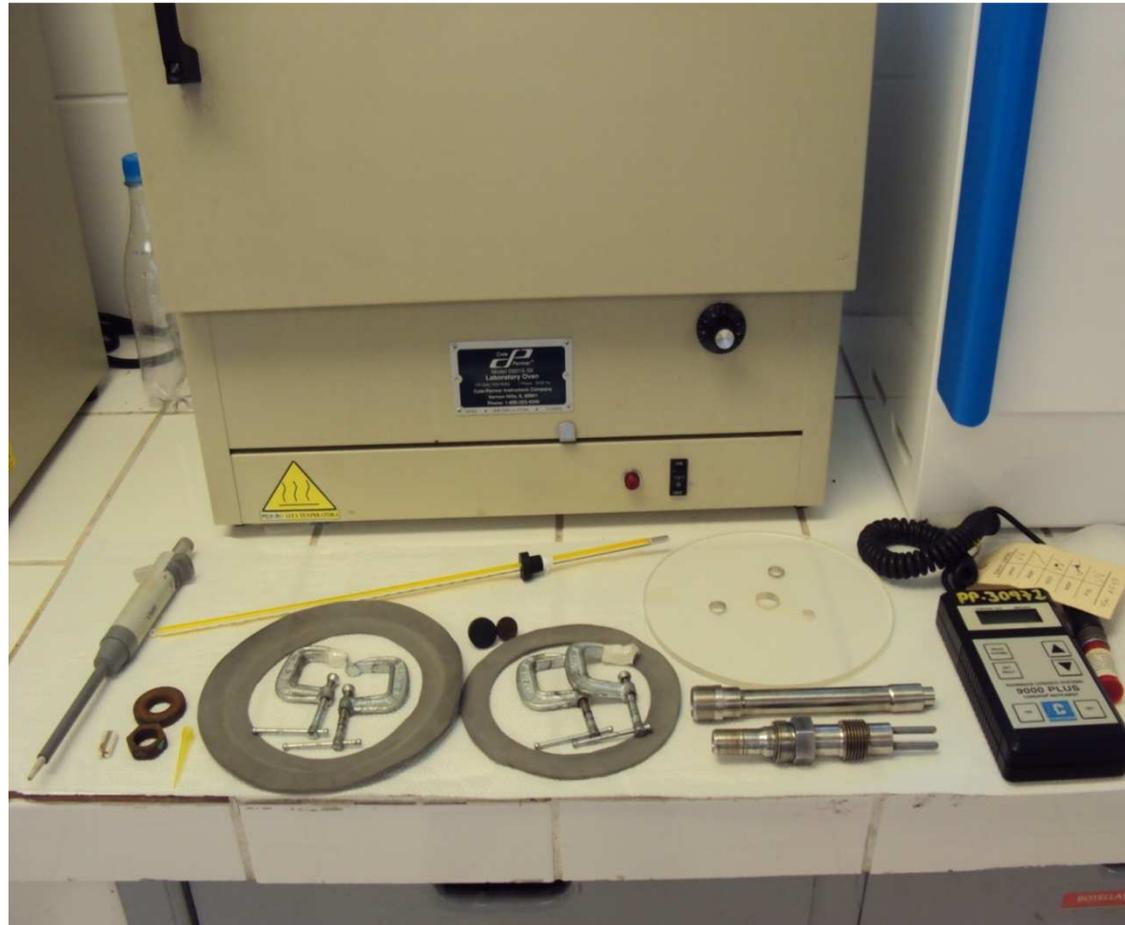


ANEXO XVIII

PELICULA DISCONTINUA DE UN CUPÓN LUEGO DE LA PRUEBA



ANEXO XIX
EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA EL REACTOR



ANEXO XX

PROBETA DE POLARIZACIÓN LINEAL



ANEXO XXI

PROBETA DE POLARIZACIÓN LINEAL SIN CAPUCHA



ANEXO XXII

ADAPTADOR PARA LA PROBETA Y EL CARRATER



ANEXO XXIII

CARRATER



ANEXO XXIV
TIPOS DE AGITADORES MAGNÉTICOS



ANEXO XXV

REACTOR



ANEXO XXVI

PROBETA LUEGO DE LA PRUEBA



ANEXO XXVII
ESPECIFICACIONES Y OPERACIÓN DEL AGITADOR MAGNÉTICO CON
CALENTAMIENTO

ESPECIFICACIONES

Condiciones ambientales

Funcionamiento

17 a 27 °C; 20 a 80% de humedad relativa, sin condensación

Categoría de instalación II (sobretensión), de conformidad con la norma IEC 664

Grado de contaminación 2, de conformidad con la norma IEC 664

Límite de altitud: 2000 metros

Almacenamiento

-25 a 65 °C

10 a 85% de humedad relativa

OPERACIÓN

Advertencia

Peso bruto de los puntos incluidos en las placas de la parte superior y en caliente no debe exceder de 25 libras. (11,4 kg) en los modelos: 7" x 7" y 12" x 12" y 10 libras (4.5 kg) en el modelo 4" x 4"

Solicite las reparaciones a técnicos calificados

Desconecte el suministro eléctrico antes de reparar

No utilizar en presencia de flama o fuego de materiales combustibles, puede causar explosión

Esta equipo contiene componentes que pueden encender otros materiales, No utilice papel de aluminio sobre la placa térmica. No utilice baño de arena, recipientes de metal o material de aislamiento de otros en la placa de agitación en caliente - placa superior se puede dañar

Superficie caliente

Precaución: Evite el contacto

Precaución

Al girar el control de apagado, asegúrese que la perilla está en "OFF", asegúrese de que el mando es la posición "OFF" y el indicador luminoso este apagado

Algunos rodamientos del motor pueden haber ocurrido durante el envío y manejo. Antes del primer uso, el agitador debe hacerse funcionar a velocidad máxima durante 10 minutos para realinear los rodamientos del motor

Tanto los controles de temperatura y la velocidad son la combinación para activar o desactivar y el establecimiento de selectores

Para seleccionar una temperatura

Gire el control hacia la derecha a la posición deseada. El iluminado "calor" indicador muestra cuando la unidad esta encendida. El control mantiene la temperatura de la placa agitación caliente. Cuanto mayor es el intervalo, mayor es la temperatura. En la posición alta, se obtiene temperatura máxima. Desde la posición "OFF", el mando puede ser gire hacia la derecha o la izquierda. Para el calor rápidamente, gire la perilla a la posición alta. Cuando la

temperatura deseada, reduzca la configuración hasta el punto donde la temperatura se mantenga

Para seleccionar una velocidad

Gire el control de velocidad hasta la acción deseada. El indicador ILUMINADO muestra cuando la unidad está encendida. La capacidad de agitación es de 100 a 1000 rpm. La unidad viene completa con una barra de agitación que está cubierta con resina de teflón fluorocarbono