

PRACTICA EMPRESARIAL:
**INSTALACION, MANTENIMIENTO Y VERIFICACION DE PUNTOS DEL
SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO DE CORROSION (ICMS3) EN
LAS PLANTAS U-2000, U-250 Y U-150 DEL COMPLEJO PETROLERO DE
BARRANCABERMEJA**

JUAN CARLOS PRADA QUINTERO

**ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA**

2008

PRACTICA EMPRESARIAL:
**INSTALACION, MANTENIMIENTO Y VERIFICACION DE PUNTOS DEL
SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO DE CORROSION (ICMS3) EN
LAS PLANTAS U-2000, U-250 Y U-150 DEL COMPLEJO PETROLERO DE
BARRANCABERMEJA**

AUTOR:
JUAN CARLOS PRADA QUINTERO

**Tesis de grado para optar al titulo de
Ingeniero Metalúrgico**

TUTOR:
ING. EMILIANO SILVA GUTIERREZ

**ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA

A Dios por estar junto a mí en todos los momentos de la vida.

A mis padres Carlos y Nubia por que ellos son la guía en mi vida, por su apoyo y comprensión incondicional para alcanzar está meta.

A mis hermanas Andrea y Viviana por su compañía, colaboración y constante aliento.

A mi familia por el apoyo recibido en cada una de las etapas de mi vida.

A mis amigos y compañeros que de una u otra forma colaboraron para la obtención de está meta.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

La Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de formarme como persona y profesional.

La escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales y a todos sus docentes por brindarme su apoyo y conocimientos.

Señor Darío Yesid Peña Ballesteros, Docente de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander, por su apoyo y amistad.

La Empresa INSERCOR LTDA, por darme la oportunidad de realizar la practica empresarial.

Señor Henry Lizcano Páez, Gerente de la empresa INSERCOR LTDA. Por la oportunidad brindada.

Señor Jorge Curtidor, Ingeniero Electrónico de la empresa INSERCOR LTDA. Por su apoyo y amistad.

Señor Emiliano Silva Gutiérrez, Ingeniero Metalúrgico de la empresa INSERCOR LTDA. Por su apoyo en la dirección de esta practica empresarial.

Al personal de la empresa INSERCOR LTDA. Por su apoyo y amistad.

RESUMEN

TITULO: INSTALACION, MANTENIMIENTO Y VERIFICACION DE PUNTOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO DE CORROSION (ICMS3) EN LAS PLANTAS U-2000, U-250 Y U-150 DEL COMPLEJO PETROLERO DE BARRANCABERMEJA.*

AUTOR: JUAN CARLOS PRADA QUINTERO**

Palabras claves: ICMS3, AMULET, resistencia eléctrica, resistencia a la polarización lineal.

El proyecto, "INSTALACION, MANTENIMIENTO Y VERIFICACION DE PUNTOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO DE CORROSION (ICMS3) EN LAS PLANTAS U-2000, U-250 Y U-150 DEL COMPLEJO PETROLERO DE BARRANCABERMEJA" tenia como objetivo reparar el sistema de monitoreo de corrosión en las plantas U-2000, U-250 y U-150 del Complejo Petrolero de Barrancabermeja. El ICMS3 es un sistema de monitoreo de corrosión en línea, el cual permite la obtención de datos de pérdida de peso o velocidad de corrosión cada cinco minutos, esto se logra gracias a sensores electrónicos, llamados probetas que por medio de técnicas de monitoreo de corrosión como: resistencia eléctrica (ER) o resistencia a la polarización lineal (LRP); envían los datos a un computador, el cual por medio del software AMULET, muestra los datos en forma de graficas, histogramas, reportes y permite la manipulación de estos.

Para comprobar el funcionamiento del sistema de monitoreo de corrosión reparado, se realizaron pruebas de aceptación en campo (SAT), la primera fue la prueba SAT con probeta de prueba, la cual se realiza con patrones definidos con un valor de chequeo, que no tienen un significado físico y solo es para comprobar el funcionamiento; la segunda prueba SAT fue realizada a partir de la comparación de los resultados obtenidos entre el ICMS3 y el equipo CORRDATA MATE II, el cual es un equipo portátil que utiliza la técnica de resistencia eléctrica; La tercera prueba SAT se realizó con probetas CORROSOMETER, que fue la instalación de la probetas al sistema y comprobación de sus resultados.

* Trabajo de grado en la modalidad de practica empresarial.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Director Ing. Emiliano Silva.

ABSTRACT

TITLE: INSTALLATION, MAINTENANCE AND VERIFICATION OF POINTS OF INTEGRATED CORROSION MONITORING SYSTEM (ICMS3) IN THE LAYOUT U-2000, U-250 AND U-150 OF TANKERS COMPLEX OF BARRANCABERMEJA.*

AUTHOR: JUAN CARLOS PRADA QUINTERO**

Key words: ICMS3, AMULET, electrical resistance, lineal resistance polarization.

The project, "INSTALLATION, MAINTENANCE AND VERIFICATION OF POINTS OF INTEGRATED CORROSION MONITORING SYSTEM IN THE LAYOUT U-2000, U-250 AND U-150 OR TANKERS COMPLEX OF BARRANCABERMAJA" had as a goal repair the monitoring system of corrosion in the layout U-2000, U-250 and U-150 of tankers complex of Barrancabermeja. The ICMS3 is a monitoring corrosion system online, which allows data to weight loss and rate corrosion each five minutes, this is achieved through electronic sensors, known probets that through monitoring techniques corrosion as electrical resistance (ER) or resistance to polarización linear (LRP); sending data to a computer, which using the software amulets, shows the data in the form of diagrams, histograms, reports and allows the manipulation of these.

To check the functioning of the monitoring system corrosion repaired, acceptance tests were conducted in field (SAT), the first test was the SAT with test probe, which is done with patterns defined with a value of checkup, which have not a physical meaning and is only to verify operation, the second SAT test was conducted from the comparison of results between ICMS3 and equipment CORRDATA MATE II, which is a laptop that uses the technique of electrical resistance; The third test was conducted SAT CORROSOMETER probe, which was installing the system and test probe to check their results.

* Graduation Project in industrial practice type.

** Physical-Chemical Engineering Department, Metallurgical Engineering School, Director Ing. Emiliano Silva.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 CORROSIÓN	5
1.2 MONITOREO DE CORROSIÓN	6
1.3 TÉCNICAS DE MONITOREO DE CORROSIÓN	8
1.3.1 CUPONES DE CORROSIÓN DE PÉRDIDA DE PESO	9
1.3.2 MONITOREO POR RESISTENCIA ELECTRICA (ER)	11
1.3.3 MONITOREO POR RESISTENCIA DE POLARIZACIÓN LINEAL (LPR)	14
1.4 EL ICMS3	16
1.4.1 COMPUTADOR PARA EL MONITOREO DE CORROSIÓN	17
1.4.2 PC ANYWHERE	17
1.4.3 RCS PIM WEEGUY	17
1.4.4 AMULET	17
1.4.5 PROBETAS	18
1.4.6 CABLEADO	18

1.4.7 CONECTORES	18
1.4.8 PIM (PROBE INTERFACE MODULE)	19
1.4.9 STARNET (PIM COMMUNICATION REPEATER MODULE)	20
1.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL CORROSOMÉTRO	21
1.6 TEORIA DE OPERACIÓN DEL CORRATER	24
1.7 FACILIDAD PARA INSTALACIÓN DE PROBETAS	26
1.8 ACCESORIOS DE SEGURIDAD PARA LAS PROBETAS	26
1.8.1 Caperuzas	26
1.8.2 Clamps safety (abrazaderas de seguridad para probeta retráctil)	28
1.9 SOFTWARE AMULET	28
2. METODOLOGÍA	29
2.1 REVISION BIBLIOGRÁFICA	29
2.1.1 Actividad 1. Conocimiento del ICMS3	29
2.1.2 Actividad 2. Recopilación de información	29
2.2 RECONOCIMIENTO EN CAMPO DE EQUIPOS Y SOFTWARE	29
2.2.1 Actividad 1. Visita a campo para reconocimiento del sistema ICMS3	29
2.2.2 Actividad 2. Definición del estado actual del ICMS3	31
2.2.3 Actividad 3. Reconocimiento del software Amulet	34
2.3 REHABILITACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ICMS3	35
2.3.1 Actividad 1. Definición de Puntos de monitoreo a instalar y rehabilitar	35
2.3.2 Actividad 2. Recuperación de la infraestructura del sistema ICMS3	35

2.3.3 Actividad 3. Instalación de PIM's y tarjetas	38
2.3.4 Actividad 4. Realización de pruebas de continuidad a los cables instalados	39
2.4 VERIFICACIÓN DE MEDIDAS DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL SISTEMA ICMS3	39
2.4.1 Actividad 1. Pruebas SAT con probetas de prueba	39
2.4.2 Actividad 2. Pruebas SAT con CORRDATA MATE II	40
2.4.3 Actividad 3. Pruebas SAT con probetas CORROSOMETER.	40
2.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE VERIFICACION DEL ICMS3	40
2.5.1 Actividad 1. Análisis de las pruebas SAT con probetas de prueba	40
2.5.2 Actividad 2. Análisis de las pruebas SAT con CORRDATA MATE II	41
2.5.3 Actividad 3. Análisis de las pruebas SAT con probetas CORROSOMETER	42
2.6 MEJORAMIENTO DE RECURSOS DEL SOFTWARE AMULET	43
2.6.1 Actividad 1. Consejos para el manejo del software Amulet	43
3. RESULTADOS DE VERIFICACIÓN DEL ICMS3	44
4. CONCLUSIONES	58
5. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	60
ANEXOS ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA PROBAR CABLES DE PIM A PROBETAS	62
ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA PROBAR CABLES DE PIM A PROBETAS	63
ANEXO B. CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET	67

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Fig. 1 Probetas pérdida de peso	9
Fig 2. Probeta corrosometer	11
Figura 3. Probeta Corratel	14
Fig. 4 Circuito Equivalente	15
Fig. 5 Sensores eléctricos para monitoreo de corrosión	18
Fig. 6 Módulo de interfase para Probetas.	19
Fig. 7 Starnet	20
FIG. 8 Esquema general del ICMS3 en la GCB.	21
Fig. 9 Reporte Gráfico de Datos	22
Figura 10. Circuito de resistencia eléctrica	23
Figura 11. Rango de operación en los sistemas Corratel.	25
Figura 12. Esquema de facilidades para probetas	26
Figura 13. Caperuzas de protección para probetas.	27
Fig.14 Conectores en mal estado	30
Fig. 15 Conectores oxidados	30

Fig.16 PIM en mal estado	30
Fig.17 Esquema actual del ICMS3	31
Fig. 18 Ventana inicial del Amulet	34
Fig. 19 y 20 PIM	36
Fig.21 Esquema de conexión de Juntión Box	36
Fig.22 Juntión Box con pedestal y soporte	37
Fig. 23 Probeta completamente instalada	37
Fig. 24 Borneras	38

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Estado del Sistema ICMS3

32

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA PROBAR CABLES DE PIM A PROBETAS	63
ANEXO B. CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET	67

INTRODUCCION

Debido a los grandes daños y pérdida económica que ocasiona el deterioro de equipos por corrosión, trayendo consigo la reparación de éstos, paradas de planta y por tanto, disminución en la producción, se hace necesario tener un monitoreo continuo de los procesos de corrosión en los equipos más críticos, que en la mayoría de los casos se debe a las sales disueltas con las que entra el crudo y que luego en el proceso de refinación atacan la metalurgia. Además de prevenir los daños que puedan ocurrir en los equipos, el monitoreo permite inspeccionar los resultados de protección por la inyección de productos químicos (como fílmicos y neutralizante), consiguiendo optimizar la dosificación de esos tratamientos químicos y si es el caso el nivel de carga y las variables de operación de los equipos de acuerdo a las condiciones de diseño.

JUSTIFICACIÓN

El ICMS-3 es un sistema de monitoreo de la corrosión en línea, que permite medir con precisión la velocidad de corrosión y la pérdida de material en los equipos monitoreados. Su principal ventaja es que realiza constantemente este procedimiento sin necesidad de detener los procesos que monitorea y sin necesidad del desplazamiento de personal a zonas de riesgo.

El sistema trabaja con sensores electrónicos, de tipo probeta, que funcionan mediante los métodos de resistencia a la polarización lineal y resistencia eléctrica. Las señales de las probetas llegan a unos módulos, llamados PIM (probe interface module), los que registran y transmiten la señal a una red del tipo Starnet. Finalmente, los datos recolectados se transmiten a un computador central que los archiva y analiza mediante métodos estadísticos.

El sistema permite de esta manera, conocer variables de proceso y tener control en los puntos críticos de las tuberías de transporte de fluidos calculando velocidades de corrosión que son utilizadas para determinar las condiciones actuales de las estructuras.

El sistema fue instalado, configurado e implementado hace varios años, pero está fuera de servicio desde el año 2001. Por este motivo ECOPETROL S.A.

ha contratado a INSERCOR LTDA., mediante el contrato No. 4010967, para reparar y colocar de nuevo en servicio el sistema.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Restauración y puesta a punto del sistema de monitoreo de corrosión de las plantas U-2000, U-250 y U-150 del Complejo Petrolero de Barrancabermeja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Participación en la instalación, rehabilitación y mantenimiento de 16 puntos de monitoreo de corrosión en las plantas U-2000, U-250 y U-150.
- Verificación de los datos de velocidad de corrosión tomados por el Sistema Integrado de Monitoreo de Corrosión (ICMS3) en los puntos habilitados e instalados.
- Reconocimiento del software AMULET para el manejo estadístico de datos tomados por el ICMS.
- Mejoramiento del uso de los recursos ofrecidos por el software AMULET para obtener mayor información del sistema.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 CORROSIÓN

La corrosión puede ser definida como el deterioro de los materiales debido a su interacción química o electroquímica con el ambiente en que son usados. Esta concepción incluye todos los tipos de materiales metálicos y no metálicos.

En general, la corrosión metálica resulta de la reacción de los metales con elementos no metálicos, por ejemplo oxígeno y azufre, para generar “productos de corrosión” que casi siempre son de la misma naturaleza que los minerales de partida para la obtención de los metales.

En la producción de petróleo desde su etapa inicial de explotación hasta la etapa final de distribución cuenta con una infraestructura metálica que en su gran mayoría se encuentra expuesta de una u otra forma al contacto con medios corrosivos. Por tanto la corrosión es un fenómeno peligroso asociado a la producción y transporte de hidrocarburos, este fenómeno resulta del hecho que con el petróleo normalmente esta asociada una fase acuosa.

La corrosividad inherente en esta fase acuosa es dependiente de la concentración de los gases ácidos disueltos y de la química del agua; algunos factores como la velocidad del fluido tienen un efecto directo sobre la transferencia de masa de las diferentes especies.

1.2 MONITOREO DE CORROSIÓN¹

El monitoreo de corrosión es la medición, control y prevención de la corrosión que en campo abarca y amplio espectro de actividades técnicas. Dentro de la esfera del control de la corrosión y su prevención, existen diferentes opciones técnicas como lo son la protección catódica y anódica, la selección de materiales, la inyección química y la aplicación de recubrimientos externos e internos. La medición de la corrosión, por su parte emplea otra variedad de técnicas destinadas a determinar que tan corrosivos es el ambiente del sistema y a que tasa o rapidez se experimenta la pérdida de metal. La medición de la corrosión es un método cuantitativo por medio del cual la efectividad de las técnicas de control y prevención de la corrosión pueden ser evaluadas y proveer la retroalimentación necesaria para optimizarlas.

Existen una amplia variedad de técnicas para la medición de la corrosión, como son: las pruebas no destructivas, el análisis químico, fluido electroquímico, datos operacionales y monitoreo de corrosión. Algunas técnicas para la medición de la corrosión pueden ser utilizadas en línea a través de un monitoreo constante del proceso, mientras que otras mediciones deben ser determinadas a través de un análisis de laboratorio. Algunas técnicas proveen una medición directa de la pérdida de metal o de la tasa de corrosión, mientras que otras son indirectas, pues son utilizadas para inferir el ambiente corrosivo que pueda existir.

El monitoreo de corrosión en esencia es la práctica de la medición del potencial corrosivo de las condiciones de un proceso, a través del uso de probetas, las cuales son insertadas en el proceso y expuestas continuamente a las condiciones

¹ Metal Simples Corrosión Monitoring Systems. Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simples Rd.

ambientales del mismo. Las probetas de monitoreo de corrosión pueden ser dispositivos mecánicos, eléctricos o electroquímicos.

Las técnicas de monitoreo de corrosión proveen de una medición directa y en línea de la pérdida de metal y/o tasa de corrosión en el sistema de un proceso industrial. Típicamente, un programa de medición de la corrosión, inspección y mantenimiento utilizada en cualquier industria, utilizaría una combinación de técnicas de medición en línea, directa e indirecta.

La importancia del monitoreo de corrosión es que permite conocer la tasa de corrosión que determina que tan duradera puede ser la vida útil de una planta y su seguridad operacional. La medición de la corrosión y las acciones para remediar las tasas de corrosión elevadas permiten incrementar la efectividad costo-operativa de la planta para alcanzar la reducción de los costos asociados a la renovación de las instalaciones de un proceso.

Con las técnicas para el monitoreo de la corrosión se podría:

- Proveer una alarma anticipada de los daños potenciales que ocurrirían en las estructuras de producción, de mantenerse las condiciones corrosivas existentes.
- Estudiar la correlación de los cambios en los parámetros en el proceso y sus efectos en la corrosividad del sistema.
- Diagnosticar un problema de corrosión particular, identificar sus causas y los parámetros de control, como la presión, temperatura, pH, caudal, etc.

- Evaluar la efectividad de una técnica de prevención/control de la corrosión que se haya aplicado al sistema, tales como la inhibición química.
- Proveer información relacionada con los requerimientos de mantenimiento y condiciones de la planta.

1.3 TÉCNICAS DE MONITOREO DE CORROSIÓN²

Existe un gran número de técnicas para el monitoreo de la corrosión, algunas de las más utilizadas industrialmente son:

- Cupones de corrosión (Medición de pérdida de peso)
- Resistencia Electrica (Probetas E/R)
- Resistencia de polarización lineal (Probetas LPR)
- Galvánica (ZRA)/Potencial
- Penetración de Hidrógeno
- Microbiológica
- Erosión por arena.

De las técnicas mencionadas, la de los cupones de corrosión, el método E/R y el método LPR constituyen las más importantes en el monitoreo de la corrosión industrial. Las otras constituyen aplicaciones especiales.

² Metal Simple Corrosion Monitoring Systems. Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simple Rd

Estas técnicas de monitoreo de corrosión han sido exitosamente aplicadas, y han sido usadas ampliamente debido a que son fácilmente comprendidas e implementadas, los resultados son fáciles de interpretar, la medición de los equipos puede ser hecha de manera segura en áreas peligrosas, se experimentan beneficios económicos, reduciendo las paradas de planta y extendiendo su vida útil.

1.3.1 CUPONES DE CORROSIÓN DE PÉRDIDA DE PESO

Fig. 1 Probetas pérdida de peso. Metal Simple Corrosión Monitoring Systems, Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simple Rd



Es el tipo de prueba más común, el procedimiento de evaluación consiste en exponer una pieza del material bajo estudio al ambiente agresivo, por un periodo de tiempo específico. Como resultado del ataque corrosivo, el cupón pierde una fracción del material metálico mediante un proceso de disolución o a través de la formación de productos de oxidación que pueden eliminarse de la superficie mediante la limpieza cuidadosa de la pieza después de la prueba.

El resultado de la prueba se puede expresar en términos de masa pérdida por unidad de área expuesta y por unidad de tiempo o bien, utilizando la densidad del metal, en unidades de longitud de ataque por unidad de tiempo.

Para obtener la velocidad de corrosión por pérdida de peso se realizan los siguientes pasos:

1. Limpieza del Cupón (mecánica o química)
2. Pesar el cupón (w1)
3. Introducir el cupón en el sistema
4. Sacar el cupón después de un tiempo de exposición al medio corrosivo
5. Limpieza del cupón (mecánica o química)
6. Pesar el cupón (w2)

La velocidad de corrosión se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Mpy} = 22300W/DAT \quad (1)$$

Donde,

$$W = w1 - w2 \quad (\text{g})$$

$$D = \text{densidad del metal} \quad (\text{g} / \text{cm}^3)$$

$$A = \text{área expuesta} \quad (\text{pulg}^2)$$

$$T = \text{tiempo de exposición} \quad (\text{días})$$

Con esta fórmula se asume corrosión uniforme a través del cupón. Esta técnica además de tener una información cuantitativa, permite obtener una identificación del tipo de corrosión que se está presentando.

Las ventajas de los cupones de pérdida de espesor se deben a que son aplicables a todos los ambientes (gases, líquidos y flujos con partículas sólidas), puede realizarse inspección visual, los depósitos e incrustaciones pueden ser determinados y analizados, la pérdida de peso puede ser fácilmente determinada y la tasa de corrosión puede ser fácilmente calculada, la corrosión localizada

puede ser identificada y la eficiencia de los inhibidores puede ser fácilmente determinada.

En un típico programa de monitoreo, los cupones son expuestos entre unos 45 a 90 días antes de ser removidos para análisis de laboratorio. La frecuencia de extracción de los cupones para la toma de datos sería de un mínimo de cuatro veces por año. Las pérdidas de peso resultantes de cualquier cupón expuesto por un periodo de tiempo, será el valor promedio de la corrosión que ha ocurrido en ese intervalo temporal. La desventaja de la técnica de cupones es que, si la tasa de corrosión varía durante el periodo de exposición, es decir, si se incrementa o disminuye por alguna causa, dicho evento pico no sería evidenciado en el cupón, sin poderse determinar su duración y magnitud.

Es por ello que el monitoreo con cupones es más útil en ambientes donde la tasa de corrosión no presenta cambios significativos en largos periodos de tiempo. Sin embargo los cupones pueden proveer una útil correlación cuando se utiliza con otras técnicas como las mediciones ER y LPR.

1.3.2 MONITOREO POR RESISTENCIA ELECTRICA (ER)³

Fig 2. Probeta Corrosometer. ER (Electrical Resistance): General Guide and AC & GR Series
Porbe Information. Copyringh Cormon Ltda. 2002.



³ Metal Simples Corrosión Monitoring Systems. Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simples Rd

Las probetas de resistencia eléctrica (ER) pueden ser consideradas como cupones de corrosión “electrónicos”. 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, pero a diferencia de los cupones, la magnitud de la pérdida de metal puede ser medido en cualquier momento, a la frecuencia que sea requerida, mientras la probeta se encuentre in-situ y permanentemente expuesto a las condiciones del proceso.

La técnica E/R mide el cambio en la resistencia eléctrica (Ohms) de un elemento metálico corroído expuesto al medio ambiente del proceso. La acción de la corrosión en la superficie del elemento produce un decrecimiento en el área de la sección transversal de dicho sensor, lo cual representa un incremento en la resistencia eléctrica. El aumento en esta resistencia puede ser relacionada directamente con la pérdida de metal, y como la pérdida de metales es una función del tiempo, es la definición de la tasa de corrosión. Aunque es una técnica que promedia la corrosión en el tiempo, los intervalos entre cada medición pueden ser mucho más cortos que los de los cupones de pérdida de peso.

Principio de operación⁴

La resistencia eléctrica de una sección de material conductor de electricidad como un metal puede ser expresada por la formula

⁴ Rohrback Cosasco Systems, Inc. Corrosometer Probe Selection Guide. Febrero 2008

$$R = \rho * L/A \quad (2)$$

Donde: ρ , es la resistividad eléctrica intrínseca del material.

L, es la longitud de la sección.

A, es la zona de sección transversal.

La resistencia intrínseca varía de aleación a aleación y es dependiente de la temperatura. La compensación por el cambio de la resistividad, con la temperatura se logra mediante el uso de un elemento de referencia protegido de la corrosión. Como la resistencia eléctrica de la medición del elemento aumenta con la temperatura, también lo hace la resistencia eléctrica del elemento de referencia. Sin embargo, la proporción de resistencia de los dos elementos no ha cambiado, lo cual permite una compensación automática de los cambios de temperatura.

Las probetas E/R tiene todas las ventajas del cupón, pero adicionalmente son aplicables en todos los ambientes de trabajo, líquidos, gaseosos, sólidos, flujos con partículas sólidas, además la tasa de corrosión puede ser obtenida de forma directa, la probeta puede mantenerse instalada y conectada en línea hasta que su vida operacional haya sido agotada y responden de forma rápida a los cambios en las condiciones corrosivas, y pueden ser utilizado como disparador de alarmas.

1.3.3 MONITOREO POR RESISTENCIA DE POLARIZACIÓN LINEAL (LPR)⁵

Figura 3. Probeta Corratel. Metal Simple Corrosión Monitoring Systems, Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simple Rd



Prácticamente todos los procesos de corrosión son electroquímicos en la naturaleza. Estos requieren de la presencia de un ánodo, un cátodo, un electrolito y un circuito para conectar el ánodo y el cátodo. La técnica interactúa con el mecanismo de corrosión con el fin de determinar la velocidad a la que pasan los iones metálicos en solución. Si fuera posible medir directamente la densidad de corriente de corrosión que pasa entre el ánodo y el cátodo sería posible conocer la reacción de corrosión, para determinar la cantidad o masa del metal que pasa a la solución, es decir, la tasa de corrosión. No es posible medir directamente desde los ánodos y cátodos que existen en las zonas adyacentes de la misma pieza del material. Sin embargo, mediante el uso de al menos dos electrodos de metal en virtud de la prueba, es posible aplicar potenciales pequeños entre los electrodos y medir el resultado. Si los electrodos se están corroyendo a un ritmo elevado con iones metálicos que pasan fácilmente a solución, un pequeño potencial aplicado entre los electrodos produce una corriente de alta o baja resistencia a la

⁵ Rohrback Cosasco Systems, Inc. Corratel Probe Selection Guide. Febrero 2008.

polarización. Por el contrario, si los electrodos se están corroyendo a una baja tasa o los iones pasan lentamente a solución, un pequeño potencial aplicado entre los electrodos produce una baja tasa o alta polarización, por lo tanto una baja resistencia corresponde a una alta velocidad de corrosión.

Puesto que solo se aplican potenciales pequeños entre los electrodos, el proceso natural de corrosión no es perturbado. Basados en el análisis electroquímico demostrado por Stern y Geary, cuando se aplican pequeños potenciales, la densidad de corriente de corrosión es:

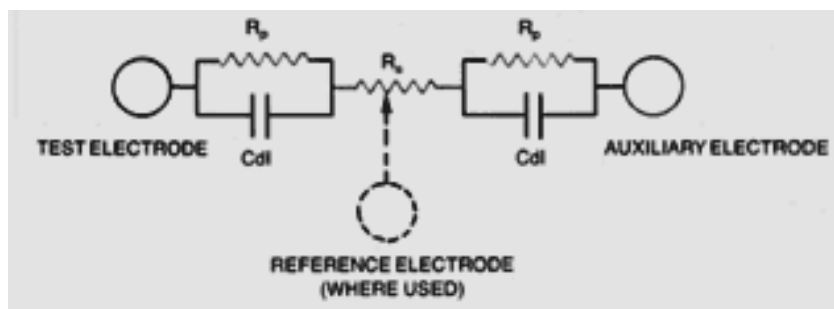
$$I_{\text{corr}} = B / R_p \quad (3)$$

Donde B es la combinación determinada empíricamente de las pendientes de tafel anódica y catódica y R_p es la resistencia a la polarización.

$$B = (b_a * b_c) / 2.303 (b_a + b_c) \quad (4)$$

Un circuito equivalente se da en la siguiente figura.

Fig. 4 Circuito Equivalente. Roheback Cosasco Systems, Inc. Corratier Probe Selection Guide. Febrero 2008.



La ventaja de la técnica LPR es que la medición de la tasa de corrosión es hecha instantáneamente. Esta es una herramienta más poderosa que las probetas E/R o los cupones cuando la medición fundamental no es la pérdida de metal si no la tasa de corrosión, y cuando no se desea esperar por un período de exposición para determinarla. La desventaja de la técnica LPR es que esta sólo puede ser ejecutada exitosamente en medios acuosos electrolíticos. Las probetas LPR no funcionan en gases o emulsiones de agua/crudo, en donde los electrodos puedan asentarse depósitos o impurezas que les impidan actuar debidamente.

1.4 EL ICMS3⁶

El ICMS3 es un Sistema Integrado de Monitoreo de Corrosión computarizado diseñado para líneas y equipos de proceso en la industria, opera sin interferir en el funcionamiento de los equipos, este sistema mide, registra y predice en forma remota e instantánea en un computador, datos de velocidad de corrosión y pérdida de peso en los equipos, por medio de sensores electrónicos, más conocidos como probetas. Las probetas operan bajo las técnicas de Resistencia Eléctrica y Resistencia a la Polarización Lineal.

Dentro de los aspectos más destacables que aporta el equipo al control de la corrosión está: accesibilidad a la información de una forma fácil y rápida, debido a sus registro continuo (cada 5 minutos), alta sensibilidad a los cambios del proceso, operación bajo diferentes condiciones de proceso, almacenamiento de la

⁶ Martínez Martínez Adriana. Informe Estado ICMS3, Enero 2002

información. El sistema está compuesto principalmente por un computador con su respectivo software, una starnet, PIM's, conectores y probetas, descritos así:

1.4.1 COMPUTADOR PARA EL MONITOREO DE CORROSIÓN: Este computador tiene instalados el Windows NT y 3 software que le permiten obtener y manejar la información de hasta 32 PIMs (128 probetas). Esta ubicado en el cuarto de control de la Topping U-200.

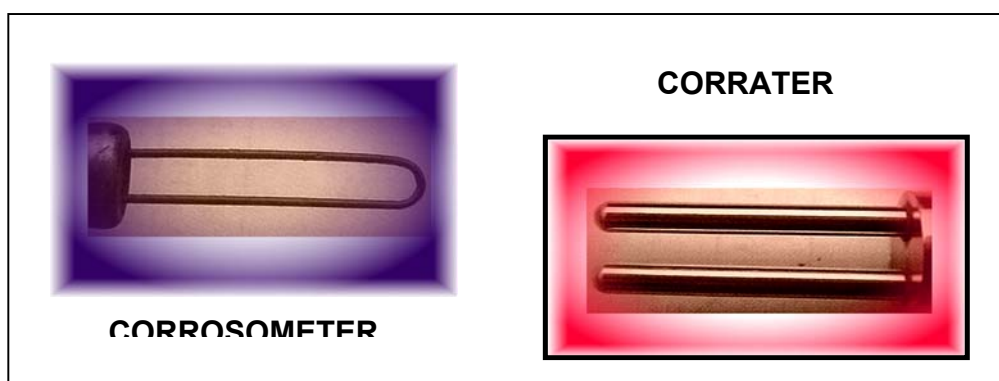
1.4.2 PC ANYWHERE: Software que permite la conexión remota al servidor ICMS3 desde cualquier computador de la refinería que se encuentre en red y cuente con el software instalado.

1.4.3 RCS PIM WEEGUY: Software que toma la información que viene de los PIMs cada 5 minutos y la envía a la base de datos del software Amulet. Este software permite chequear los últimos datos recibidos y la hora a la que fueron recibidos, además de ver el estado de conexión de los PIMs en una forma general.

1.4.4 AMULET: Software que se encarga del manejo estadístico de los datos que llegan al servidor, con manejo de gráficas, reportes, activación de alarmas, generación de históricos de alarmas, transferencia de archivos, etc. Permite también el modelamiento de la planta en el estilo que mejor se acomode a la forma o manera de trabajo y el despliegue de los datos en un amplio rango facilitando la consulta de los mismos, y facilitando también examinar únicamente los datos que se necesiten ver.

1.4.5 PROBETAS: Sensores eléctricos del tipo Corrosometer (técnica de medición- resistencia eléctrica) especial para medios conductores y las del tipo Corrater (técnica-resistencia a la polarización lineal) diseñada especialmente para medios conductores. La figura 5 muestra algunos de los modelos de los sensores empleados en el sistema de monitoreo. Sin embargo existe una gran variedad de modelos de acuerdo a las condiciones de proceso del medio en que se requiera el monitoreo.

Fig. 5 Sensores eléctricos para monitoreo de corrosión. Martínez Martínez Adriana, Informe



Estado ICMS3. Enero 2002

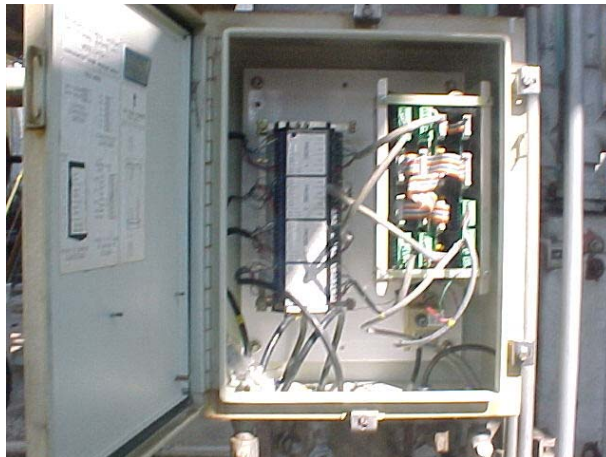
1.4.6 CABLEADO: Dependiendo del tipo de conexión el cable a utilizar puede ser *Heavy Duty Fire Resistant tray Cable for Corrosometer probes*, para la conexión entre el PIM Corrosometer y sus respectivas probetas; *Standard-Duty Corrater Cable*, para la conexión entre PIM y probetas Corrater; y el *RS 485*, para las conexiones entre PIM's y entre el PIM y la Starnet.

1.4.7 CONECTORES: Estos permiten la comunicación entre el PIM y la probeta. Hay para probetas Corrosometer, como el Type A conector P/N 032202 (requerido para las probetas modelo 3000, actualmente empleadas en la refinería) y para

probetas Corrater como el conector tipo B, y que son escogidos de acuerdo al modelo de la probeta. En la parte de accesorios para probetas Corrosometer y Corrater se encuentra las especificaciones de los conectores.

1.4.8 PIM (PROBE INTERFACE MODULE): Hay del tipo Corrosometer (Model 4104), Corrater (Model 9134). El módulo de interfase para probetas recoge la señal de hasta un máximo de cuatro probetas por PIM (por medio de 4 tarjetas electrónicas) y la envía al PC de monitoreo. Los PIM's van conectados en cascada a través de una de las tarjetas electrónicas del PIM.

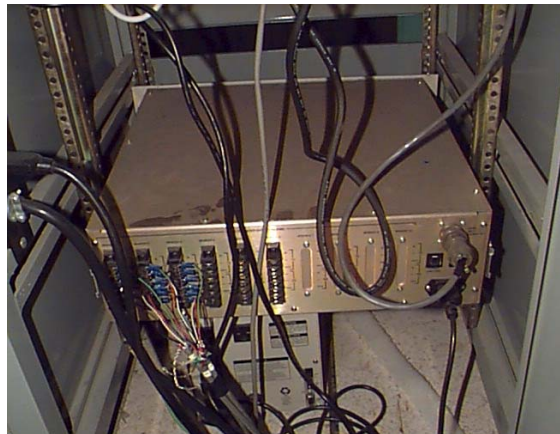
Fig. 6 Módulo de interfase para Probetas. Martínez Martínez Adriana. Informe Estado ICMS3. Enero 2002



1.4.8.1 Barreras de seguridad intrínseca: Estos dispositivos son usados para probetas en ambientes de proceso eléctricamente peligrosos, éstas previenen que cualquier nivel alto de energía bajo condiciones de falla sea transferido desde los elementos electrónicos Corrosometer a la probeta. Estos dispositivos van instalados en la parte interna del PIM y viene indicado por 1, 2, 3 o 4 canales de acuerdo a la cantidad de probetas que se quiera proteger.

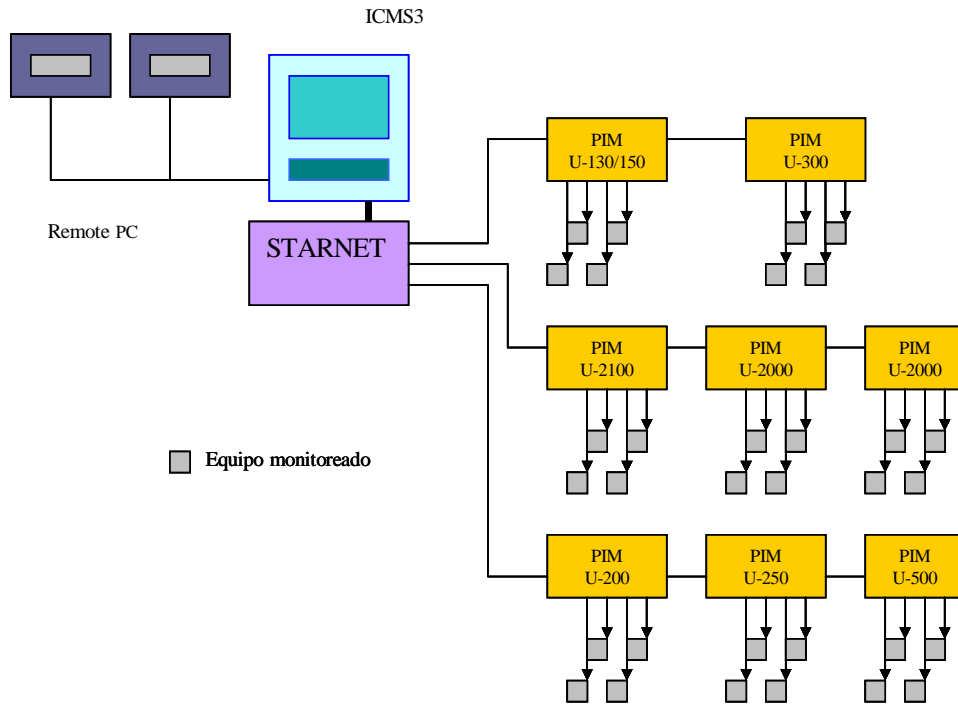
1.4.9 STARNET (PIM COMMUNICATION REPEATER MODULE): La starnet es un módulo repetidor de la señal que permite aumentar la flexibilidad de la comunicación entre el PIM y el computador, tiene 10 puertos de entrada disponibles para la conexión de los PIM's, por cada puerto pueden ir conectados en cascada cualquier número de PIM's teniendo en cuenta que el total de cable RS 485 empleado no puede exceder 1220 mt. El módulo está ubicado bajo el PC de monitoreo de corrosión en el cuarto de control de la U-200.

Fig. 7 Starnet. Martínez Martínez Adriana, Informe Estado ICMS3, Enero 2002



Los diferentes componentes físicos del sistema pueden ser identificados en la figura 8, donde se muestra el esquema general del sistema de monitoreo.

FIG. 8 Esquema general del ICMS3 en la GCB. Martínez Martínez Adriana. Informe Estado ICMS3, Enero 2002.



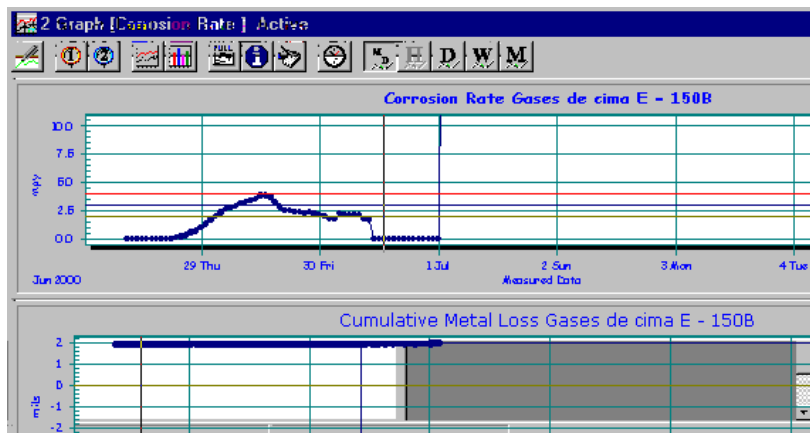
Esquema general del ICMS3

1.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL CORROSOMÉTRO⁷

Los instrumentos y probetas Corrosometer son básicamente cupones automáticos que permiten medir la pérdida de metal por corrosión o erosión en el tiempo y las velocidades de corrosión por medio del método de resistencia eléctrica (en la Figura 9 se puede ver un ejemplo).

⁷ Martínez Martínez Adriana, Informe Estado ICMS3. Enero 2002.

Fig. 9 Reporte Grafico de Datos. Martínez Martínez Adriana, Informe Estado ICMS3. Enero 2002



El método de resistencia eléctrica consiste en la medida de la resistencia al paso de corriente que opone un metal cuando ha sido energizado. La resistencia está expresada como:

$$R= \rho L/A \quad (5)$$

Donde: ρ es la resistividad eléctrica intrínseca del material.

L es la longitud de la sección

A es el área transversal de la sección

Así para una aleación dada a temperatura constante, la resistencia eléctrica a longitud fija incrementa con el decrecimiento del área de la sección transversal, y en consecuencia la medida de la resistencia eléctrica puede ser usada para determinar la pérdida de metal.

rango de sensibilidad en el que se quiera medir. De acuerdo a una buena selección de la probeta dependerá la confiabilidad de los resultados.

1.6 TEORIA DE OPERACIÓN DEL CORRATER⁸

Las probetas Corratel miden la velocidad de corrosión instantánea de un metal en un fluido conductor usando la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal (LPR). Esta técnica electroquímica consiste en la aplicación de un diferencial de voltaje por encima del potencial de oxidación de los electrodos (material en estudio) permitiendo medir en la interfase metal / electrolito la densidad de electrones liberados producto de la disolución del metal. Teniendo en cuenta que la corrosión es un proceso electroquímico en donde los electrones son transferidos entre áreas anódicas y catódicas en el metal que se está corroyendo, la determinación de la velocidad de transferencia de los electrones o densidad de corriente, es un indicativo de la velocidad de disolución del metal. Esto no es posible medirlo desde ánodos y cátodos adyacentes existentes en áreas adyacentes de la misma pieza del material. Sin embargo, por el uso de mínimo dos electrodos del metal bajo estudio, es posible aplicar pequeñas diferencias de potencial entre los electrodos y medir la corriente resultante. Si los electrodos se corroen a una velocidad alta con iones metálicos pasando fácilmente dentro de la solución, un pequeño potencial aplicado entre los electrodos produce una alta corriente o baja resistencia a la polarización, como también ocurre el caso inverso.

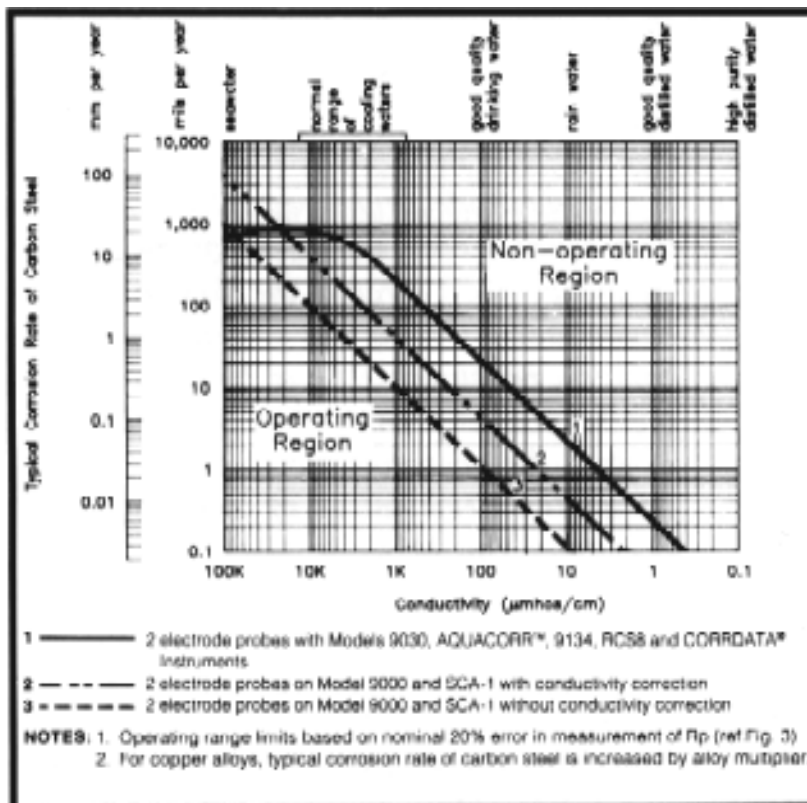
La ecuación que relaciona la velocidad de corrosión en (MPY), el voltaje aplicado (E_a) y la corriente medida (I_m) a causa de dicho voltaje es:

⁸ Rohrback Cosasco Systems. Inc. Corrosometer, Probe Selección Guide, Febrero 2008.

$$MPY = K1 \times K2 \times (I_m / E_a) \quad (6)$$

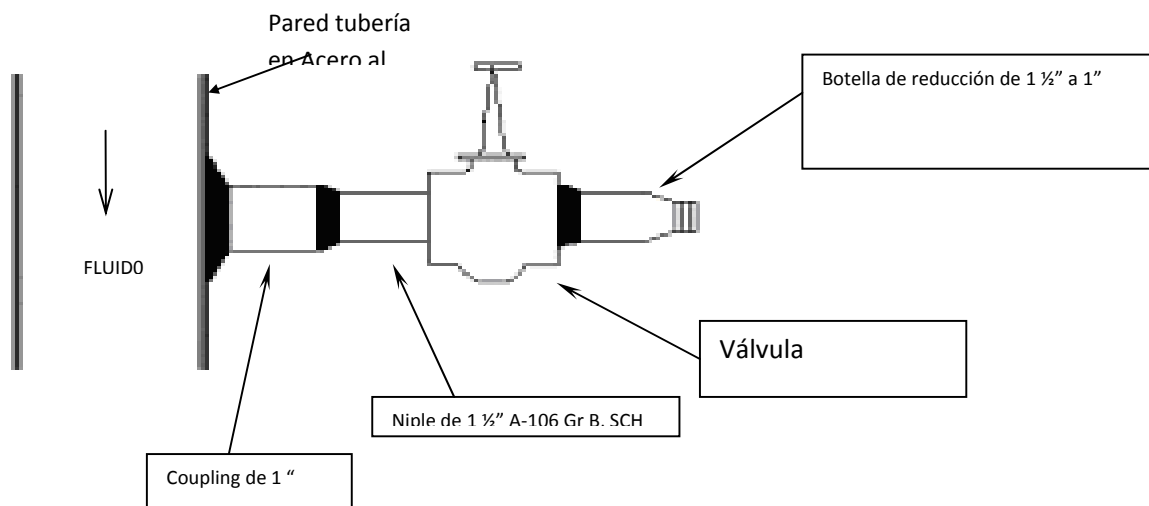
Una limitante de esta técnica es que opera solamente en medios conductores como es el caso del agua de enfriamiento y en medios acuosos que contengan como máximo un 5% de hidrocarburo, sin embargo, alrededor de este límite el hidrocarburo puede cubrir los electrodos e impedir la conexión eléctrica para el fluido del proceso, y por tanto la probeta necesitaría estarse limpiando con alguna frecuencia, así, para las cimas de vacío es aconsejable emplear la técnica Corrosometer. En la figura 11 se puede ver el rango de operación de la técnica.

Figura 11. Rango de operación en los sistemas Corratel. Rohrback Cosasco Systems, Inc, Selection Probe Guide, Febrero 2008



1.7 FACILIDAD PARA INSTALACIÓN DE PROBETAS: Construcción que permite el ingreso de la probeta en el punto a monitorear, en general, consta de un coupling, un niple, una válvula de compuerta y una botella de reducción; el paso mínimo que debe tener la facilidad es de 1½” para permitir el ingreso de la probeta con la caperuza de protección, el esquema se muestra en la figura 12.

Figura 12. Esquema de facilidades para probetas



1.8 ACCESORIOS DE SEGURIDAD PARA LAS PROBETAS⁹

1.8.1 Caperuzas: Todos los elementos loop requieren una caperuza protectora para prevenir el daño del elemento de medida expuesto. Existe una gran variedad de estas de acuerdo al tipo de probeta. Hay para operación en fluidos líquidos con

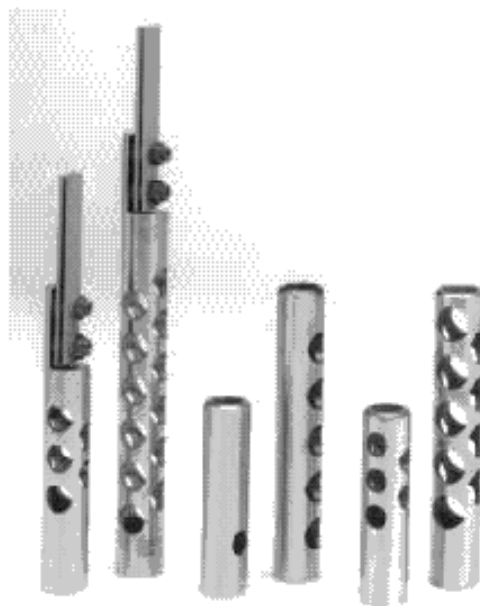
⁹ Martínez Martínez Adriana, Informe Estado ICMS3, Febrero 2002.

una velocidad de hasta 20 pies por segundo, y para alta velocidad (50 pies por segundo). Existe un tipo de caperuzas con soporte para cupón, permitiendo monitorear en un mismo punto, con sensor eléctrico y con cupón gravimétrico.

El uso de estos accesorios previene el daño de los sensores por esfuerzo mecánico externo.

En la figura 13 se muestran las caperuzas típicas, las del lado izquierdo son las de agarradera para cupón, las del medio son para alta velocidad y las del lado derecho las estándar.

Figura 13. Caperuzas de protección para probetas. Martínez Martínez Adriana, Informe Estado ICMS3. Febrero 2002



1.8.2 Clamps safety (abrazaderas de seguridad para probeta retráctil): Estos dispositivos han sido diseñados para la protección de las probetas en ambientes donde hay peligro de fuego o explosión. Los clamps son requeridos a presiones de 100psi o mayores y a temperaturas de 150 F o mayores.

1.9 SOFTWARE AMULET

Amulet contiene un sistema de corrosión de ayuda para los usuarios del sistema e Ingenieros de la corrosión. Incluye datos para la descripción de los mecanismos de corrosión, los materiales y los entornos más recomendados para la aplicación de técnicas de control y seguimiento, También incluye cálculos de tasa de corrosión y bases teóricas para los no ingenieros de corrosión. Además hay una información completa que incluye: materiales, normas, especificaciones, tablas de propiedad física, criterios de selección, y cálculos de vida del equipo.

2. METODOLOGÍA

2.1 REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Actividad 1. Conocimiento del ICMS3

En esta actividad se comenzó por estudiar la documentación existente del sistema de monitoreo de corrosión (ICMS3), a partir de manuales de la casa matriz del sistema (ROHRBACK COSASCO SYSTEMS).

2.1.2 Actividad 2. Recopilación de información

Se obtuvieron los informes ya existentes sobre el estado actual del sistema de monitoreo, y las recomendaciones realizadas en cada uno de estos informes.

2.2 RECONOCIMIENTO EN CAMPO DE EQUIPOS Y SOFTWARE

2.2.1 Actividad 1. Visita a campo para reconocimiento del sistema ICMS3

En la visita a campo para la inspección del sistema, se encontró deterioro en los PIM's, en las probetas y en la mayoría de componentes del sistema, pero en algunos puntos de monitoreo el sistema estaba en funcionamiento.

Fig.14 Conectores en mal estado

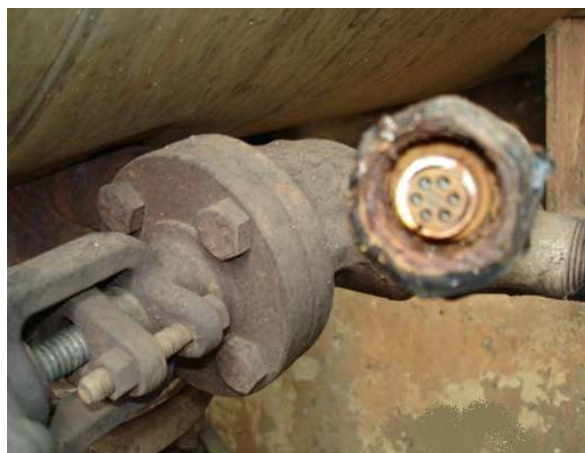


Fig. 15 Conectores oxidados

En la fotografía se observa que los conectores están deteriorados y desconectados, el flexiconduit también se observa deteriorado.

Fig.16 PIM en mal estado

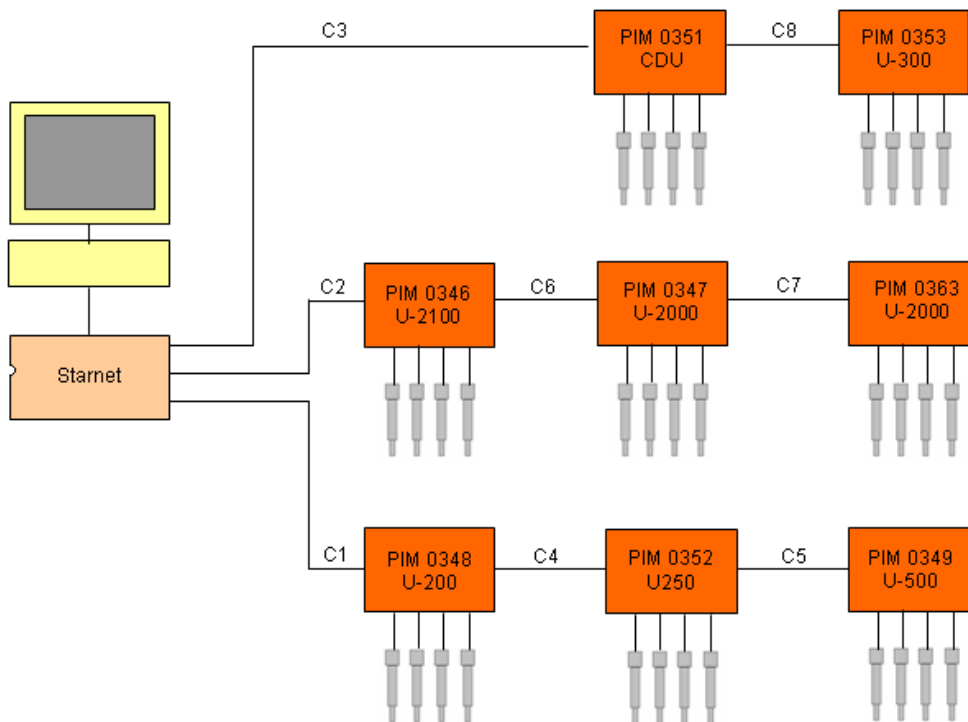


Los PIM's muestran deterioro, en sus cajas y algunos necesitan revisión técnica porque no están funcionando. En general aproximadamente el 50% del sistema estaba fuera de servicio.

2.2.2 Actividad 2. Definición del estado actual del ICMS3

A partir de informes realizados anteriormente del estado del sistema y de la inspección realizada, se definieron los puntos del ICMS3 que estaban en funcionamiento y se localizaron los puntos a restaurar.

Fig.17 Esquema actual del ICMS3



Según el estudio realizado se encontró que los PIM's: 0347, 0351, 0352 y 0363, se encontraban fuera de servicio. Las partes de los puntos de monitoreo de estos PIM's estaban deteriorados y algunos no existían como se muestra en la tabla 1. El sistema operativo al igual que la starnet se encontró en buen estado.

Tabla 1. Estado del Sistema ICMS3

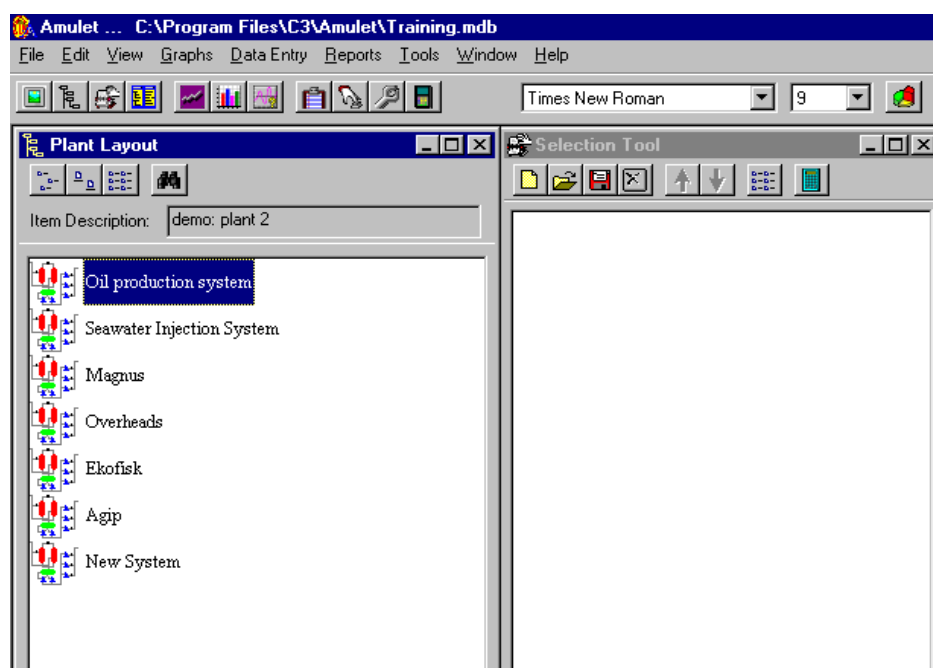
PIM	SN-0351 CDU				
EQUIPO	CONDUIT	CABLE	CONECTOR	FACILIDAD	PROBETA
E-163	DESHABILITADOS	CORTADOS	NO HAY	N/A	N/A
E-155B	DESHABILITADOS	CORTADOS	NO HAY	N/A	N/A
E-150A	DESHABILITADOS	CORTADOS	NO HAY	N/A	N/A
E-150B	DESHABILITADOS	CORTADOS	NO HAY	N/A	N/A
OBSERVACIONES: DEBIDO A CAMBIOS REALIZADOS EN PLANTA, SE REQUIERE INSTALAR NUEVOS PUNTOS DE MONITOREO.					
PIM	SN-0352 U-250				
EQUIPO	CONDUIT	CABLE	CONECTOR	FACILIDAD	PROBETA
E-250A	EXISTE	EXISTE	CORTADO	OK	SI HAY
E-250B	EXISTE EN MAL ESTADO	EXISTE	CORTADO	OK	SI HAY
E-251A	NO ESXISTE	CORTADO	CORTADO	OK	SI HAY
E-251B	EXISTE EN MAL ESTADO	EXISTE	CORTADO	INADECUADA	NO HAY
OBSERVACIONES: LOS PUNTOS DE MONITOREO REQUIEREN MANTENIMIENTO					

PARA SU FUNCIONAMIENTO					
PIM	SN-0363 U-2000				
EQUIPO	CONDUIT	CABLE	CONECTOR	FACILIDAD	PROBETA
E-2028A	CORTADO	EXISTE	CORTADO	INADECUADA	NO HAY
E-2126	EXISTE	EXISTE	EXISTE	INADECUADA	NO HAY
E-2127	EXISTE	EXISTE	EXISTE	INADECUADA	NO HAY
OBSERVACIONES: EL PIM NO TIENE TARJETAS, SE PUEDE INSTALAR UN NUEVO PUNTO DE MONITOREO.					
PIM	SN-0347 U-2000				
EQUIPO	CONDUIT	CABLE	CONECTOR	FACILIDAD	PROBETA
E-2002B	CORTADO	FALTA	CORTADO	OK	EXISTE
E-2002C	CORTADO	EXISTE	CORTADO	OK	EXISTE
E-2002D	CORTADO	FALTA	CORTADO	INADECUADA	EXISTE
E-2011A	EXISTE	FALTA	CORTADO	INADECUADA	EXISTE
OBSERVACIONES: EL PIM HA SIDO RETIRADO Y LOS CABLES ESTAN CORTADOS, SE REQUIERE MENTENIOMIENTO PARA SU FUNCIONAMIENTO.					

2.2.3 Actividad 3. Reconocimiento del software Amulet.

A partir del manual del software Amulet y de la observación del manejo en campo del mismo, se obtuvo un panorama más amplio del software desde su instalación hasta la creación de nuevas bases de datos. El software muestra en su ventana inicial, un menú y una barra de herramientas como se muestra en la figura.

Fig. 18 Ventana inicial del Amulet



Por medio de la barra de herramientas se puede observar diagramas de procesos y la localización de las probetas en la planta y los cálculos realizados por el software, también puede guardar información del día a día de los cambios que ocurren en el proceso, además muestra las graficas correspondientes a las velocidades de corrosión en intervalos de tiempo definidos por el operador, para

su interpretación; también muestra histogramas que permiten comparaciones en el desarrollo del proceso. Desde la barra de herramientas también se puede modificar o agregar puntos de una manera sencilla, permite de igual forma instalar alarmas, que se activan automáticamente según el rango que considere el operador. Desde el menú el software permite crear nuevas bases de datos simulando la planta a partir de iconos predeterminados por el software, pero se puede definir las unidades de medición de velocidad de corrosión y pérdida de peso y el tiempo entre cada toma de medición del sistema, permitiendo la interpretación de una forma tabulada.

2.3 REHABILITACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ICMS3

2.3.1 Actividad 1. Definición de Puntos de monitoreo a instalar y rehabilitar.

Se definieron los siguientes puntos, en la planta CDU (PIM 0351) se cambiaron los puntos y se instalaron puntos de monitoreo en los equipos E-150C, E-150D, E-163, E-169A; en la planta U-250 (PIM 0352) se instalaron puntos de monitoreo en los equipos E-250A, E-250B, E-251A, E-251B; en la planta U-2000 (PIM 0347) se instalaron puntos de monitoreo en los equipos E-2011, E-2002B, E-2002D, E-2002C; en la planta U-2000 (PIM 0363) se instalaron puntos de monitoreo en los equipos E-2024A/B, E-2127, E-2026, E-2126. Algunos puntos de monitoreo se cambiaron y otros se mantuvieron y se adecuaron.

2.3.2 Actividad 2. Recuperación de la infraestructura del sistema ICMS3

En esta actividad se empezó por adecuar las líneas de comunicación de PIM's a probeta, de PIM a PIM y de PIM's a servidor, para lo cual fue necesario cambiar tramos de tubería conduit, debido al deterioro. Los PIM's que estaban en mal

estado fueron enviados a la casa matriz para su reparación y algunos se adquirieron nuevos.

Fig. 19 y 20 PIM



Se adicionaron en la instalación cajas *junción box* con borneras legrad que permiten el empalme del cableado, antes de los puntos de monitoreo, para facilitar su posterior mantenimiento. Como se muestra en las figuras 21, 22 y 23.

Fig.21 Esquema de conexión de Junción Box

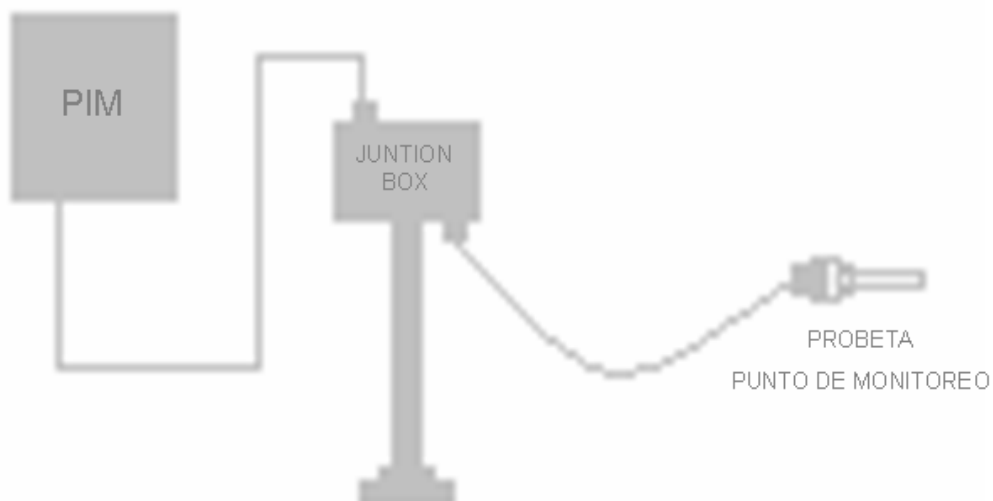


Fig.22 Juntión Box con pedestal y soporte



Fig. 23 Probeta completamente instalada



Fig. 24 Borneras



2.3.3 Actividad 3. Instalación de PIM's y tarjetas

Luego de la reparación de la tubería conduit, se hizo el cableo de dos tipos de cable, los cuales fueron importados de la fabrica ROHRBACK COSASCO SYSTEMS; el primero se conoce como cable de PIM a probeta que va por tubería conduit de ½" y el segundo conocido como cable de comunicación de referencia RS-485, el cual va de PIM a PIM o de PIM a servidor por tubería conduit de ¾". En total se instaló 1.467 metros de cable, 660 metros en cable de comunicación y 807 metros en cable de PIM a probeta.

Luego del cableado se realizó la instalación, conexión de los módulos de interfase de probetas PIM's, los cuales fueron reparados por la casa matriz ROHRBACK COSASCO SYSTEMS, éstos se recibieron listos para su instalación, la labor consistió en hacer las conexiones a tierra y conexiones de los cables de PIM a probeta y el cable de comunicaciones. Esta labor se realizó con ayuda de un Ingeniero Electrónico.

2.3.4 Actividad 4. Realización de pruebas de continuidad a los cables instalados.

Debido a que los cables, tanto el de comunicación como el de PIM a probeta en su ruta están expuestos a diferentes factores como altas temperaturas, cambio de dirección brusco, que puede dañar el cable en el proceso de cableado, se hace necesario realizar las pruebas de continuidad de los cables.

Se realizó un procedimiento de pruebas para evaluar la continuidad de estos cables y se llevo a cabo con ayuda de un Ingeniero Electrónico. Anexo A.

2.4 VERIFICACIÓN DE MEDIDAS DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL SISTEMA ICMS3

2.4.1 Actividad 1. Pruebas SAT con probetas de prueba

Las pruebas de aceptación en planta SAT, se hacen para comprobar que existe comunicación entre el PIM y los puntos de monitoreo, y que cada PIM esté conectado al computador central. Esta prueba consiste en la lectura de un dato de chequeo de una probeta de prueba (Tests Probes, abreviado TP), que son diseñadas especialmente para la verificación del funcionamiento de este tipo de sistemas con técnica de resistencia eléctrica.

Estas probetas tienen un valor de verificación fijo, el cual permite una medida para la verificación de la lectura, no permiten calcular ninguna tasa de corrosión, solo permiten un dato de chequeo.

2.4.2 Actividad 2. Pruebas SAT con CORRDATA MATE II

La prueba consistió en la comparación de los valores medidos por el equipo CORRDATA MATE II con los valores registrados en el AMULET por el ICMS3. El CORRDATA también muestra un valor check que permanece constante y debe concordar con el ICMS3.

2.4.3 Actividad 3. Pruebas SAT con probetas CORROSOMETER.

Esta prueba consiste en observar el registro del AMULET en cada uno de los puntos. El sistema registra los datos de pérdida de metal, así como el valor de chequeo que no debe tener un valor especial, pero si mantenerse constante.

En los equipos de la planta CDU (U-150), no se registro ningún dato con probeta corrosometer debido a que no se tiene poder de alimentación de 120VAC para el PIM.

2.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE VERIFICACION DEL ICMS3

2.5.1 Actividad 1. Análisis de las pruebas SAT con probetas de prueba

Debido a que las probetas son elementos de prueba, el valor que se obtiene no tiene ningún significado en el tema de monitoreo de corrosión, y solo es un número que permite verificar el funcionamiento del sistema, y que se representa como un valor de resistencia eléctrica.

Las gráficas mostradas en los resultados de las pruebas SAT con probetas de prueba, muestran variaciones en el check, esto se debe a la conexión y desconexión que se realiza cíclicamente para comprobar el funcionamiento, en

varios puntos de monitoreo como en el equipo E-2002D donde se puede observar que la conexión presentaba problemas, al mismo tiempo que eran corregidos.

En el equipo E-150D se observa un valor alto de check y que no es constante, inicialmente se pensó en fallas en la conexión, pero este fenómeno se ocasionó debido a que en el sitio, se presentaban variaciones altas de temperatura por encontrarse cerca de algunos extractores de calor, que afectaron la probeta de prueba. Las probetas corrosometer controlan las variaciones de temperatura por medio de un elemento de referencia, por lo cual no se vieron afectados los datos del sistema por esta variación de temperatura.

2.5.2 Actividad 2. Análisis de las pruebas SAT con CORRDATA MATE II

El CORRDATA MATE II es un equipo que utiliza la técnica de resistencia eléctrica para calcular la pérdida de metal, este equipo es frecuentemente usado en la refinería y es manejado por personal de ECOPETROL. El equipo entrega dos valores: El primero es el check, que es constante y deberá ser observado también en el ICMS3 dividido en mil. El segundo es el valor división, este valor puede ser convertido en pérdida de metal, utilizando la siguiente formula:

$$\text{Metal loss (mils)} = (\text{División} / 1000) * \text{spam} \quad (7)$$

El valor de spam es la vida útil de la probeta en mils, para nuestro caso es 10 mils, con estos datos se puede calcular la pérdida de metal de los dos equipos tomados:

$$\text{Metal loss (mils)}_{E-250B} = (44/1000) * 10 = 0.44\text{mils}$$

$$\text{Metal loss (mils)}_{E-251B} = (35/1000) * 10 = 0.35\text{mils}$$

Estos valores son similares a los mostrados por el ICMS3 en las graficas de comparación de las pruebas SAT con CARRDATA MATE II, además el valor de check es similar en el CORRDATA MATE II y en el ICMS3, el cual se observa en la pantalla cuando la probeta CORROSOMETER sale de línea, y la recuperación instantánea del dato de chequeo una vez que la probeta es reconectada.

2.5.3 Actividad 3. Análisis de las pruebas SAT con probetas CORROSOMETER

Para realizar las pruebas SAT con probetas CORROSOMETER, fue necesario dejar un tiempo de monitoreo suficiente (aproximadamente tres días), debido a que estas probetas eran nuevas y requieren un mínimo de exposición para que se desarrolle y consolide una capa protectora en su superficie con buenas propiedades. Este tiempo de exposición mínimo, también es llamado tiempo de pasividad, que permite la formación de películas superficiales delgadas sobre el metal y están formadas por óxido del mismo metal.

En las gráficas de pérdida de metal de los resultados de pruebas SAT con probetas CORROSOMETER se puede observar este fenómeno; por ejemplo, en el Equipo E-251A se muestra en la primera parte de la gráfica un aumento acelerado de la pérdida de metal, luego en un tiempo corto se estabiliza y empieza a disminuir de manera gradual hasta llegar a un valor casi constante de 0.436 mils. Esto muestra una pasividad que debe aumentar muy lentamente a medida que pase el tiempo.

Otro caso se muestra en la gráfica de las pruebas SAT con probetas CORROSOMETER del Equipo E- 2024, donde se presenta un aumento muy acelerado de la pérdida de metal, llega hasta un pico máximo y empieza a

disminuir gradualmente hasta mantenerse casi constante en el valor 0.011mils, mostrando el efecto de pasivación.

En el Equipo E-2011, se muestra en la primera parte de la grafica una variación continua de la pérdida de metal que es debido al mismo proceso de formación de capas resistentes, hasta descender a un valor constante de 0.418 mils.

En promedio, para los aceros al carbono y admiralty que se utilizan en estos equipos, la perdida de metal fue de 0.351 mils, aunque algunos equipos mostraron valores muy altos de pérdida de metal o muy pequeños que se deben a las condiciones particulares del equipo en planta.

Algunas probetas no fueron instaladas debido a que no fueron suministradas por ECOPETROL para el momento de la instalación y prueba de las mismas; en la planta U-150 no se instaló probetas debido a que no se contaba con el PIM energizado a 120VAC, pero estos puntos ya habían sido probados con las pruebas SAT con probetas de prueba.

2.6 MEJORAMIENTO DE RECURSOS DEL SOFTWARE AMULET

2.6.1 Actividad 1. Consejos para el manejo del software Amulet.

En esta actividad, se elaboró un pequeño manual que contiene tips para el manejo del software Amulet, por medio del cual, cualquier persona de manera sencilla puede entender y manejar el software Amulet en un nivel básico. Este se realizó para facilitar el manejo del software; además muestra la forma de agregar puntos de monitoreo con un procedimiento sencillo, mostrando como ejemplo la instalación de uno de los puntos de monitoreo realizados en este proyecto. Ver Anexo B.

3. RESULTADOS DE VERIFICACIÓN DEL ICMS3

Pruebas SAT con probetas de prueba

Los valores de las probetas son los siguientes:

TP1 = 806 +/- 5

TP2 = 805 +/- 5

TP3 = 807 +/- 5

TP4 = 822 +/- 5

Resultados de las pruebas SAT con probetas de prueba

Prueba 1. Planta U-250 (PIM 0358)

- Equipo E-250^a



- Equipo E-250B



- Equipo E-251A



- Equipo E-251B

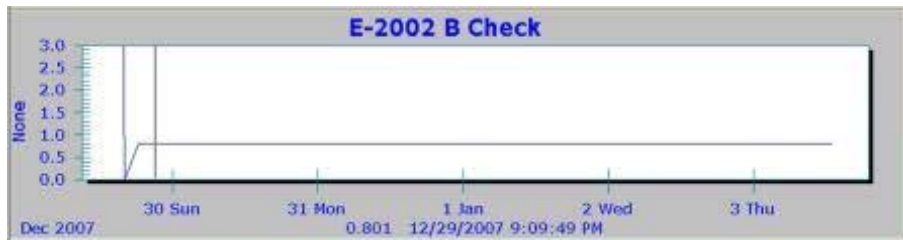


Prueba 2. Planta U-2000 (PIM 0347)

- Equipo E-2011



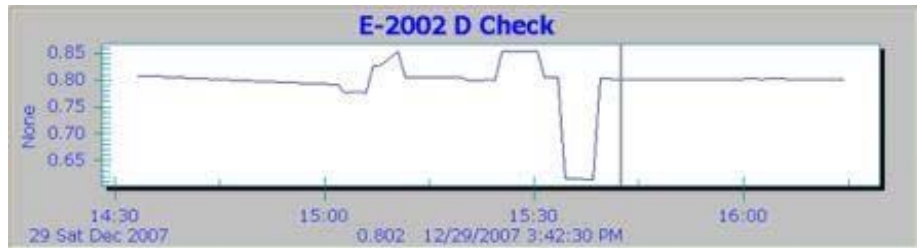
- Equipo E-2002B



- Equipo E-2002C



- Equipo E-2002D



Prueba 3. Planta U-2000 (PIM 3063)

- Equipo E-2024^a/B



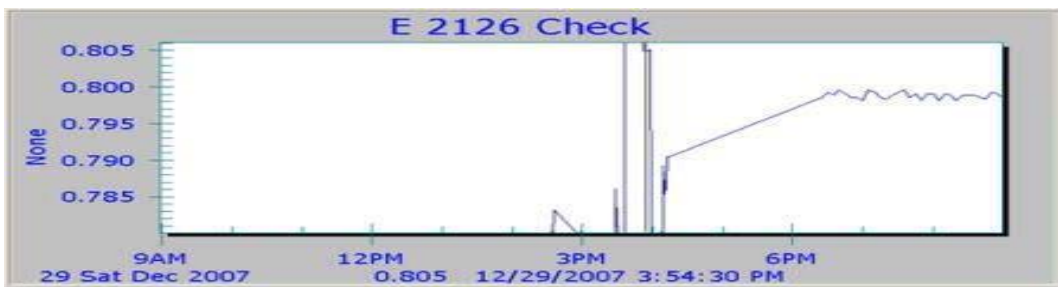
- Equipo E-2127



- Equipo E-2026

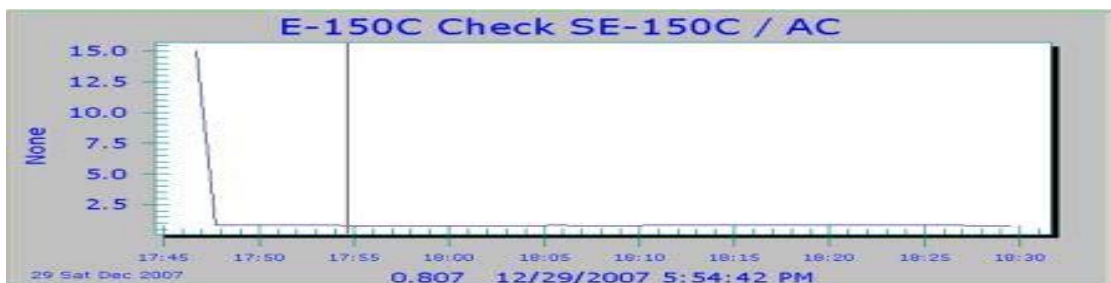


- Equipo E-2126

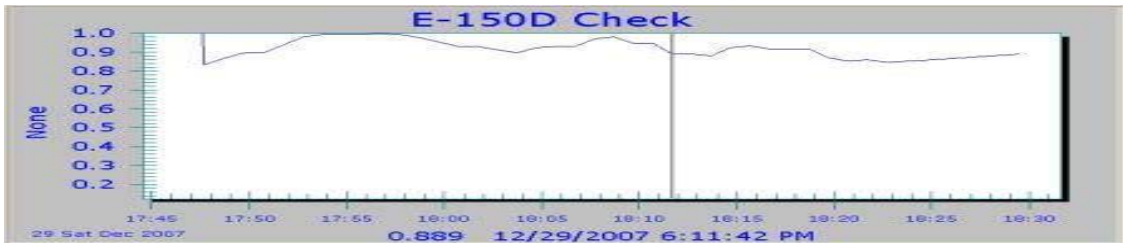


Prueba 4. Planta CDU (PIM 0351) se realizó con fuente de poder auxiliar.

- Equipo E-150C



- Equipo E-150D



- Equipo E-163



- Equipo E-169A



Pruebas SAT con CORRDATA MATE II

Para esta prueba se escogieron dos equipos en la planta U-250, el E-250B y el E-251B.

Prueba 1.

Corrdata mate II

EQUIPO: E-250B

HORA: 9:50 a.m.

DIVISION: 44

CHECK: 808

Verificación en el ICMS3



Check = 0.807

Prueba 2.

Corrdata mate II

EQUIPO: E-251B

HORA: 9:58 a.m.

DIVISION: 35

CHECK: 802

Verificación en el ICMS3



Check = 0.805

Pruebas SAT con probetas CORROSOMETER

Resultados

- Equipo E-250A



- Equipo E-250B



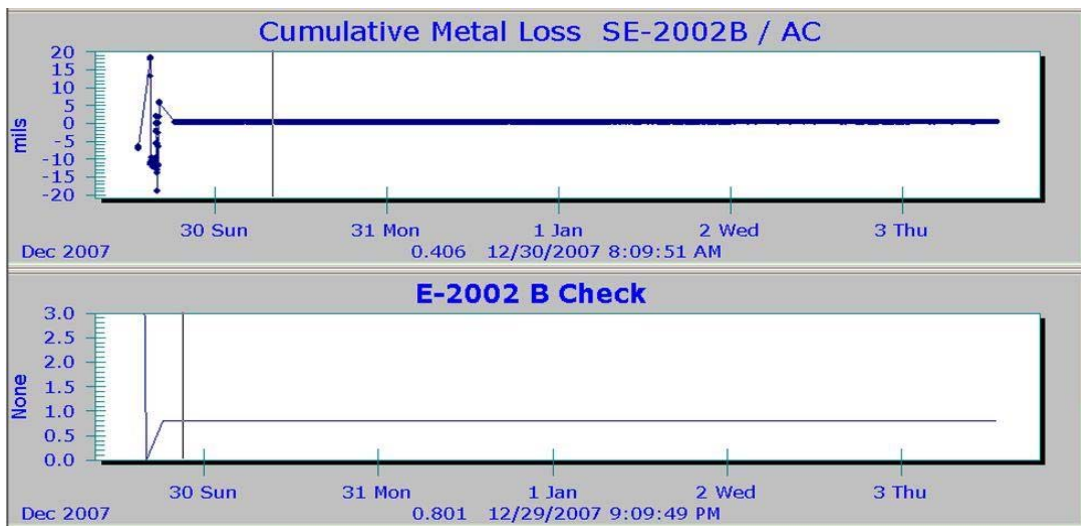
- Equipo E-251A



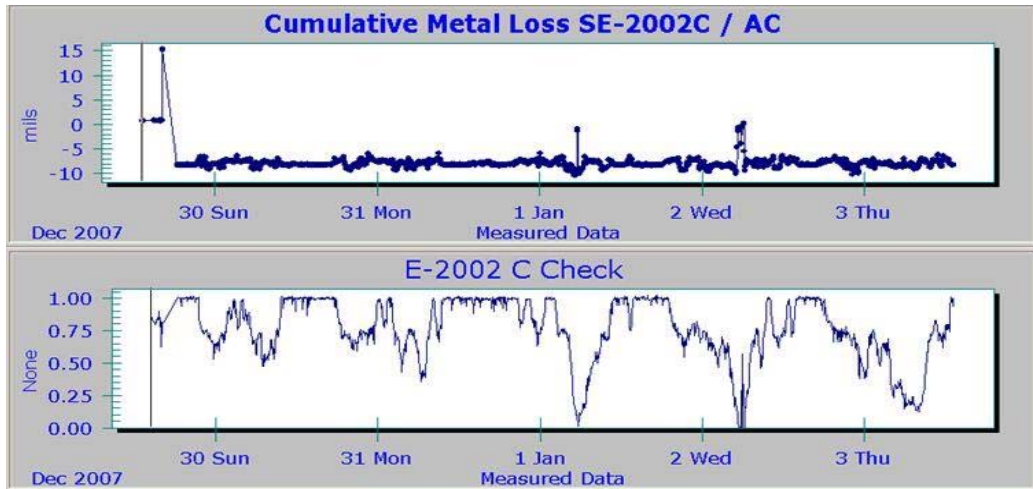
- Equipo E-251B



- Equipo E-2002B



- Equipo E-2002C (Probeta no instalada)



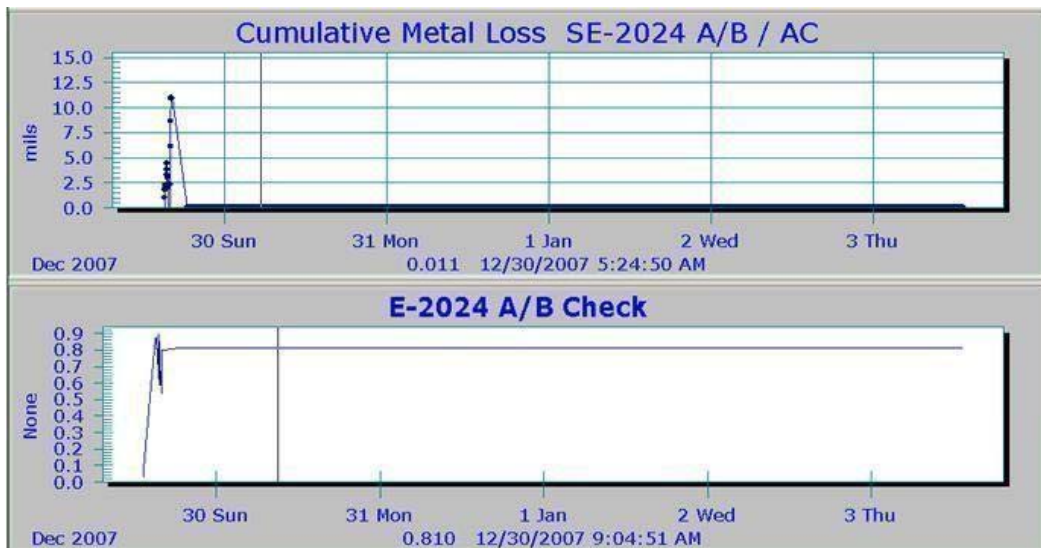
- Equipo E-2002D



- Equipo E-2011



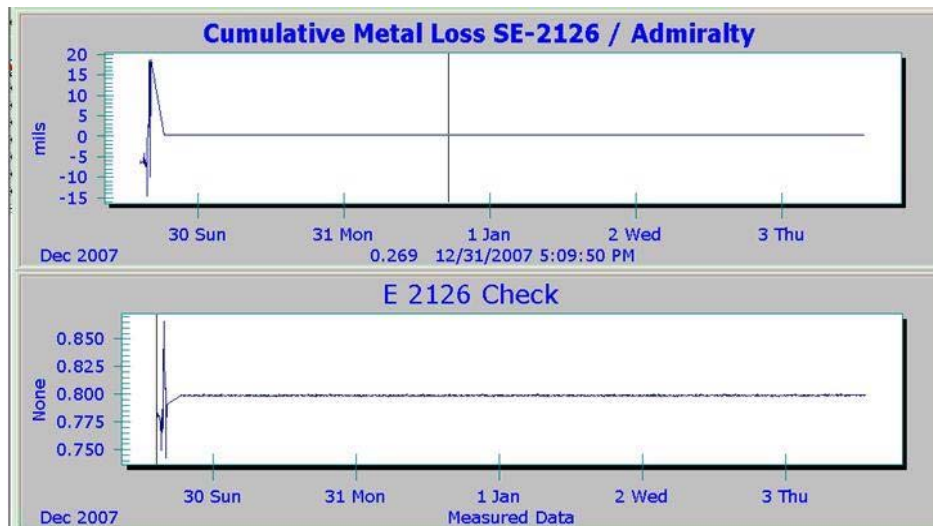
- Equipo E-2024A/B



- Equipo E-2026 (Porbeta no instalada)



- Equipo E-2126



- Equipo E-2127



4. CONCLUSIONES

- Los sistemas de monitoreo de corrosión son una necesidad en la industria hoy en día de gran importancia, debido a que por medio de estas técnicas se puede determinar la vida útil de una planta, monitorear sistemas de prevención de corrosión, estudiar parámetros de procesos y predecir daños anticipados.
- El Amulet es un completo Software que permite de manera fácil y eficaz el procesamiento estadístico de los datos obtenidos, permitiendo observar fácilmente las tendencias de los parámetros corrosivos en el sistema.
- La creación de tips para el manejo del Amulet a partir del manual y de experiencias de expertos ingenieros, será de gran ayuda para el personal que diariamente está en contacto con el software para su manejo, y posibles instalaciones futuras de nuevos puntos de monitoreo.
- La instalación y mantenimiento de 16 puntos de monitoreo, aumenta la cobertura del sistema ICMS3, permitiendo el monitoreo de corrosión en zonas de difícil acceso y de gran probabilidad de falla en la refinería del Complejo Petrolero de Barrancabermeja.
- Los resultados obtenidos en las pruebas SAT, fueron satisfactorios debido a que determinaron el buen funcionamiento de los puntos de monitoreo reparados e instalados.
- En la mayoría de los equipos monitoreados (intercambiadores de calor) se obtuvieron rangos de pérdida de metal bajos después de la estabilización de la capa protectora en las probetas nuevas.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer mantenimientos periódicos a todo el sistema de monitoreo con el fin de no dejar deteriorar sus partes por uso y factores ambientales.
- Con el fin de verificar la continuidad del buen funcionamiento del sistema de monitoreo se recomienda realizar pruebas comparativas con equipos que utilicen otra técnica de monitoreo como resistencia a la polarización lineal.
- Para tener conocimiento total de los fenómenos de corrosión que se presentan en los equipos se recomienda complementar las medidas de ICMS3 con la técnica de cupones de pérdida de peso.

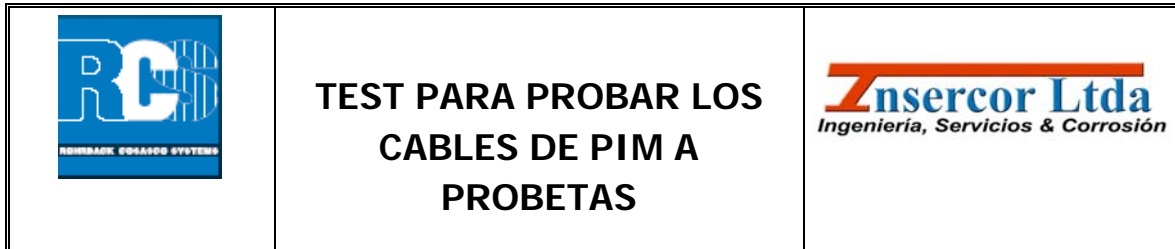
BIBLIOGRAFIA

1. Metal Simples Corrosión Monitoring Systems. Introducción al Monitoreo de Corrosión, 152 Metal Simples Rd.
2. Rohrback Cosasco Systems, Inc. Corrosometer Probe Selection Guide. Febrero 2008.
3. Roheback Cosasco Systems, Inc. Corratel Probe Selection Guide. Febrero 2008.
4. Martínez Martínez Adriana. Informe estado ICMS3. Enero 2002
5. Manual del software AMULET, versión 2000.
6. PRIETO, JOSE ANGEL. Monitoreo de corrosión como variable de control de procesos. Presentación
7. ROHRBACK COSASCO SYSTEMS. Microcor Systems, Monitoreo rápido de niveles de corrosión. Presentación.
8. AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Metals Handbook. Corrosion. Volumen 13, Ninth edition. USA, 1987.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 2688-90. Standard test methods for corrosivity of water in the absence of heat transfer (Weight loss methods). Annual book of ASTM standard. Water (I). Vol 11.01, Section 11. Philadelphia, 1991.

10. MENDEZ, Adriana Cortés. Evaluación de la resistencia a la corrosión de aleaciones para oleoducto. Pedro de Alba S/N, Cd. Universitaria San Nicolas. N.L. 66450 Mexico.

ANEXOS

**ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA PROBAR CABLES DE PIM A
PROBETAS**



PROCEDIMIENTO PARA PROBAR CABLES DE PIM A PROBETAS

OBJETIVO:

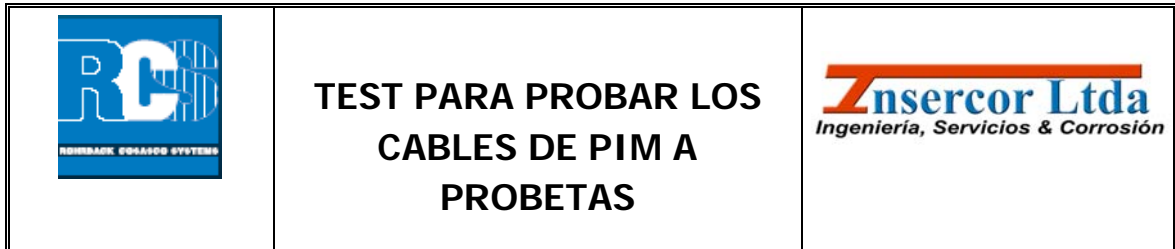
- Calificar en forma cualitativa el estado de los cables por medio de pruebas eléctricas.

ALCANCES:

- Determinar la conductividad y resistividad eléctrica de los cables con ayuda del Multímetro, verificando de esta manera el estado de funcionalidad del cable.

EQUIPOS:

- Multímetro fluke
- Alicates
- Cuchilla para cable
- Corta frío



PROCEDIMIENTO:

1. Preparación y limpieza:

Desconecte los cables de la barrera de protección.
Retire el acople del cable que conecta con la probeta.
Corte y abra las puntas de los cables.
En cada extremo decape las puntas de los cables.
Coloque el Multímetro en función de ohmios en alta escala.

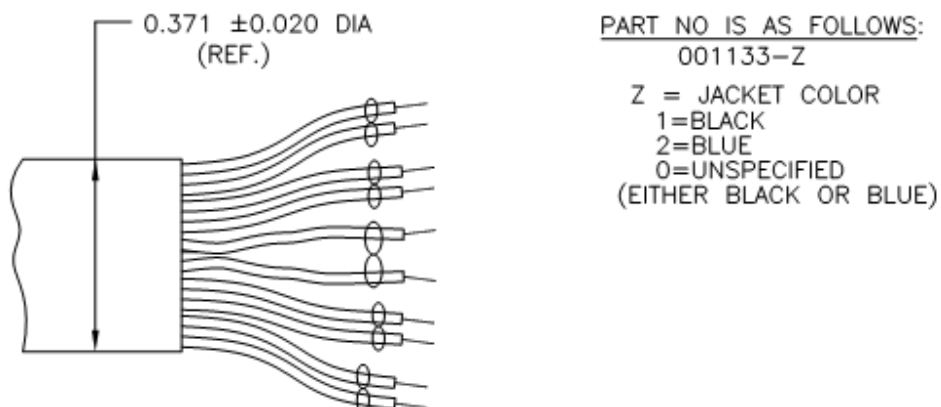
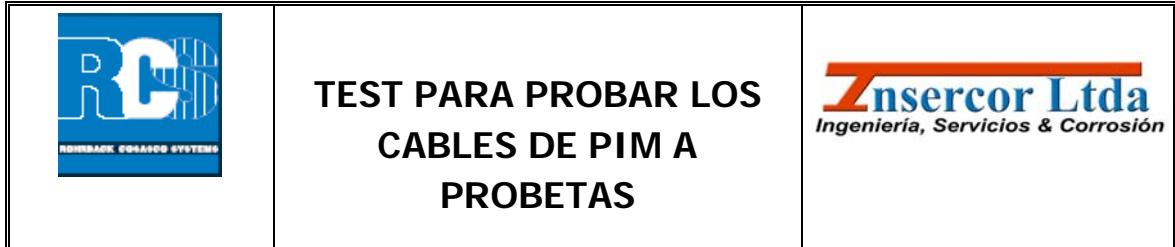


Fig. 1. Esquema del cable de PIM a probeta



2. Prueba de resistencia eléctrica de los cables:

Coloque la punta negra del Multímetro en el cable de tierra del policable, con la otra punta comience a probar cada punta del cable, debe obtener una lectura infinita por estar las puntas abiertas.

Tome las puntas del Multímetro y sujete una de las puntas de los cables para hacer pruebas entre línea y línea de los diez (10) cables para verificar que no esté en corto circuito un cable con el otro.

3. Prueba de conductividad eléctrica de los cables:

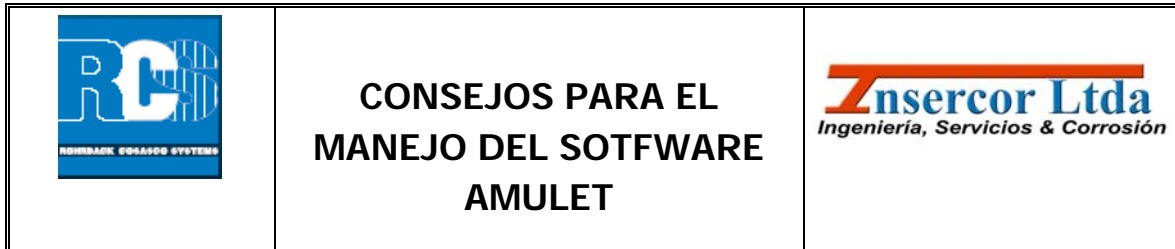
En uno de los extremos del cable trence los cinco pares de acuerdo a los colores (ejemplo: cable color azul trenzado con el cable de color combinado azul-marrón).

En el otro extremo del cable proceda a medir conductividad en ohmios, debe obtener un valor muy pequeño cercano a cero, esto quiere decir que el cable esta en buen estado.

OBSERVACIONES:

En la prueba de conductividad, si el tramo del cable es largo podemos encontrar lecturas en varios ohmios, esto ocurre por resistencia relativa del cable, de igual forma podemos decir que el cable está en buen estado.

ANEXO B. TIPS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET



CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOTFWARE AMULET

Objetivo

- Mostrar de una manera rápida y fácilmente entendible información sobre el manejo del software Amulet, creación de nuevos puntos de monitoreo y base de datos.

Alcance

- Facilitar una guía del software Amulet al personal que de una u otra manera está relacionada con el sistema de monitoreo.

Manejo del Software Amulet

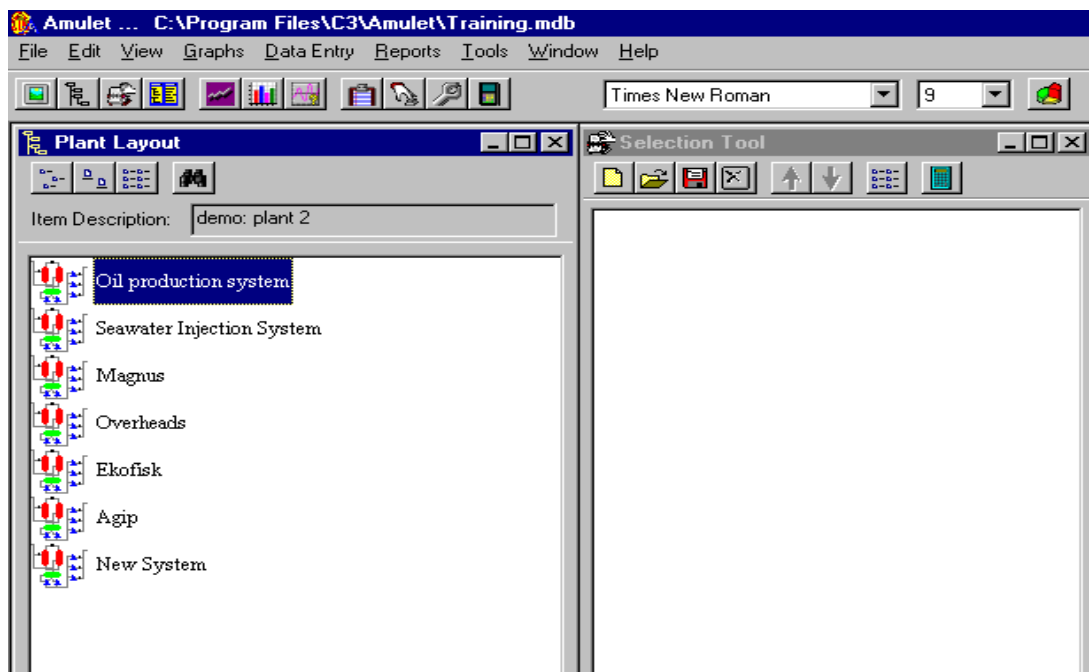
El Amulet ya instalado crea un acceso directo desde el escritorio, al iniciar el programa este se encuentra protegido y pedirá una contraseña para permitir el acceso, debido a que el software es fácilmente manipulable se hace necesario tener el password de entrada.

Al iniciar el programa se encontrará con un menú y una barra de herramientas como se muestra en la figura.







CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET




Znsercor Ltda
Ingeniería, Servicios & Corrosión

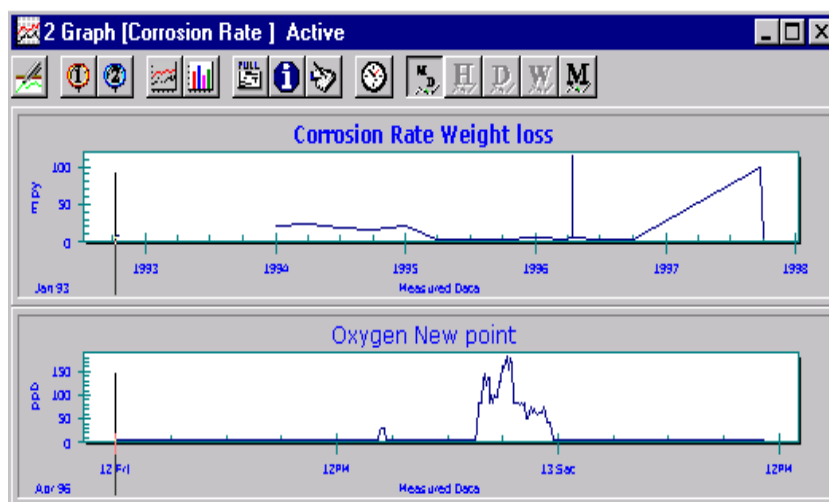


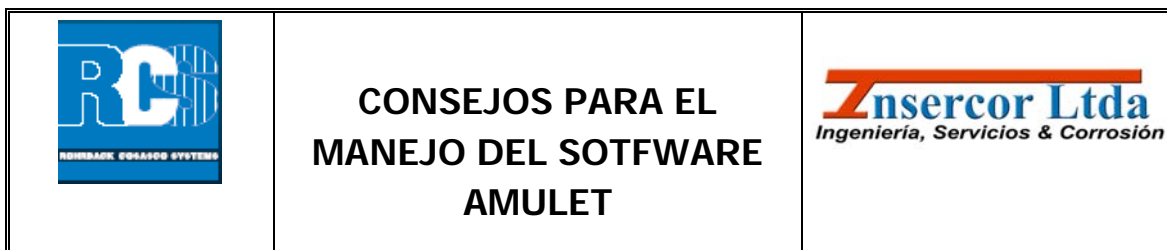
En la barra de herramientas encontramos los siguientes botones:






- Diagrama de proceso:  permite abrir el diagrama de proceso general de la planta, permitiendo ver la ubicación de cupones y puntos de inspección dentro de la planta.
- Diseño de planta:  permite otra forma de ver la planta, a partir de iconos, permite ver y seleccionar todos o algún punto de monitoreo de medición en el sistema.

	<p>CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET</p>	
---	---	---

- La herramienta de selección:  permite ver y guardar grupos de determinada medida por ejemplo datos que se desean conocer en forma periódica.
- Selección de herramientas + Diseño de planta:  permite construir ficheros desde cualquier punto de monitoreo medidos dentro de la base de datos
- incluyendo la recuperación de datos en forma periódica de un grupo de puntos de medición para crear un informe semanal.
- Plot:  este botón permite ver graficas de los datos seleccionados, las cuales permiten una interpretación de los datos medidos




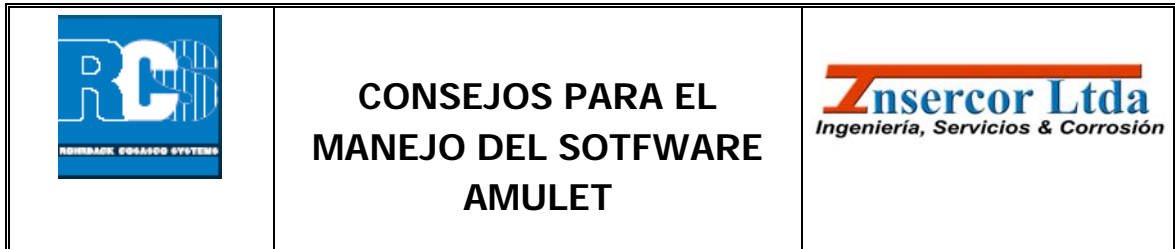



- Histograma:  muestra un cálculo individual de cada punto que permite ver las alarmas o las variaciones de dicho punto.
- Correlación:  muestra una grafica de un valor contra otro entre dos puntos de interés.
- Logbook:  permite observar notas que se hayan realizado por otras personas, acerca de cualquier tema como problemas que se presenten en algún punto de monitoreo, y permite la realización de notas guardándolas para verlas posteriormente.
- Herramienta de configuración:  permite configurar los puntos de monitoreo, seleccionando los parámetros pertinentes, permite activar las alarmas dependiendo de los rangos que sean necesarios.
- El icono de alarma:  dependiendo de los rangos de configuración de alarma Amulet muestra un icono en la bandeja de Windows que se encuentra en la esquina inferior derecha de la pantalla. Al hacer clic en este icono se presenta un menú desde el cual se puede determinar la próxima acción.

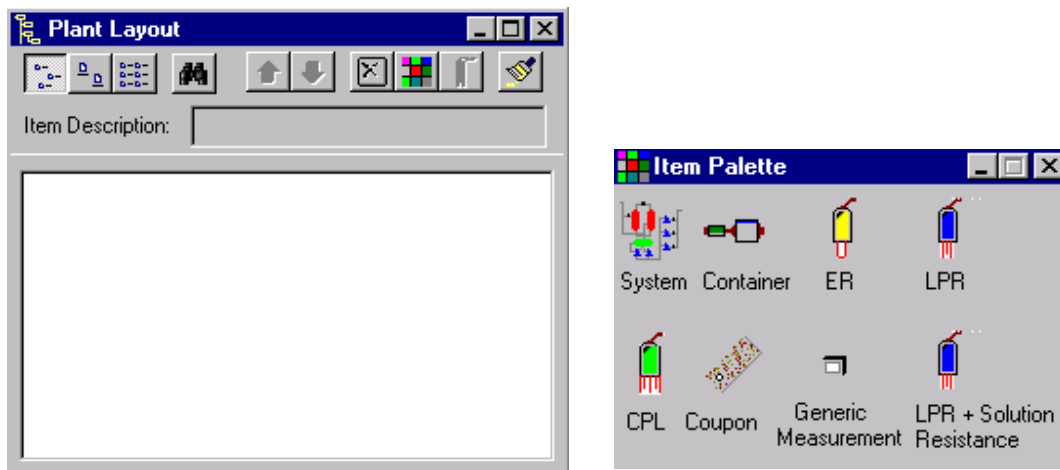
Creación de nuevos puntos de monitoreo

Para crear una nueva planta con nuevos puntos de monitoreo se realiza el siguiente procedimiento:

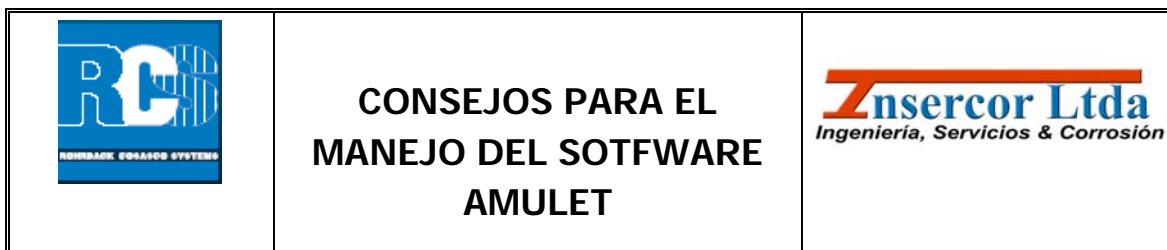
1. Pulse el botón diseño de plantas.  Se presenta una nueva ventana en blanco.
2. Seleccione del menú, edición y seleccione mostrar barra de herramientas. Se mostrara una serie de botones que permitirán construir la planta.



3. Seleccione el “ítem Palette”  el cual abre una ventana que muestra varios iconos como se muestra en la figura.



4. Arrastre el icono de container a la ventana Plant Layout si quiere agregar una nueva planta o el icono de ER si quiere agregar una nueva probeta a la planta ya existente.
5. De clic dos veces sobre los iconos para darles los nombres deseados.
6. Agregué el icono Generis Measurement el cual será utilizado como dato de chequeo para las probetas.
7. Verifique el número de identificación de la base de datos. Esto se realiza CTRL + ALT + clic derecho en el valor Metal Loss, Corrosion Rate y Check de la probeta. El “ident” es un número que se debe escribir en el archivo del Weeguy.



Para guardar este número en el Weeguy siga la siguiente ruta:

C:/Program Files/ICMS3/RCSWeeguy/RCSWeeguy.ini

Este archivo es de texto, se abre en el block de notas (notepad). Allí se modifica el número del PIM, y se ubican los números de Identificación adquiridos anteriormente en sus respectivas casillas. A continuación verá el ejemplo de la configuración del punto 207A:

U-200 Topping Corrosometer

[Node] 0346

[Probe] 1 (Esta es el canal de entrada en el PIM)

[Metal Loss] 13 (Aquí se guardará la pérdida de metal)

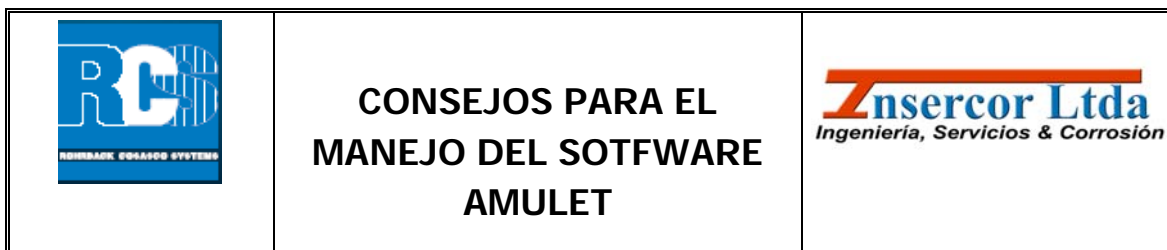
[Corrosion Rate] 14 (Aquí se guarda la tasa de corrosión calculada)

[Reference] 15 (Aquí se guarda el dato de chequeo)

[Span] 10 (Vida útil de la probeta)

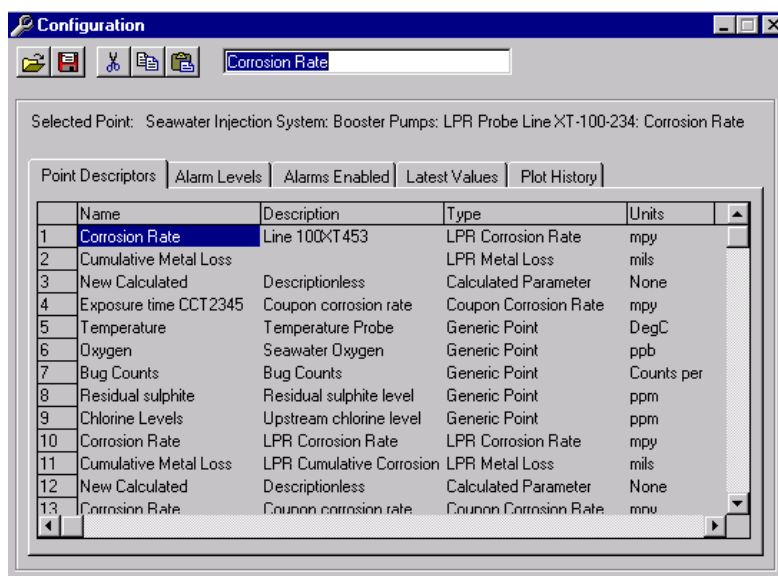
[Type] D (Tipo de la probeta dada por su geometría)

[TimeBase] 48 (Número de horas requeridas para calcular la
Tasa de corrosión)



Luego de configura el RCS Weeguy guarde y cierre, y vuelva a ejecutarlo para que se ejecute con esta nueva configuración.

- Vuelva al Amulet para personalizar cada punto de monitoreo. Esto se realiza dando clic en el parámetro a editar en el Plant Layout y dando clic en configuración.

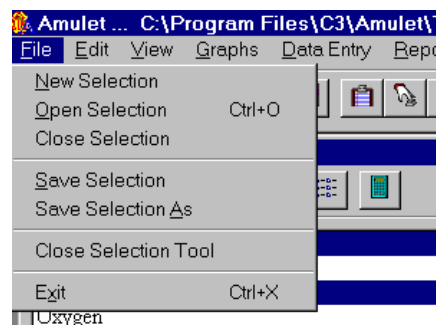


- Vaya al menú File y dé clic en “Save Selection As”, para guardar selecciones.



CONSEJOS PARA EL MANEJO DEL SOFTWARE AMULET

Znsercor Ltda
Ingeniería, Servicios & Corrosión



La próxima vez que requiera examinar la pérdida de peso en la planta, no tendrá que seleccionar punto por punto. Vaya a la opción Selección Tool y de clic en Open Selection, esta herramienta permite ahorrar tiempo significativo a largo plazo, sobre todo para la generación de reportes.

