Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 114-119, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

INSTRUMENTO VIRTUAL PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

V. M. Moo-Yam[1], M. Vázquez Gómez[2], J. R. Lagunas-Jiménez[2], H. Quej Cosgaya[2],
F. Lezama-Zarrága[2], T. Pérez-López[1]
[1]Centro de Investigación en Corrosión-UACAM, Campus 6 de Investigaciones,Av. Heroe de Nacozari No. 480, C.P. 24070, San Francisco de Campeche, Cam., México
[2]Facultad de Ingeniería-UACAM, Campus 5, Predio s/n x Av. Lanz Cárdenas,C. P. 24085, San Francisco de Campeche, Cam., México.
Tel., (+52) (981) 811-98-00 Ext. 2060110
victmmoo@uacam.mx

RESUMEN.

El control y protección del acero enterrado en el suelo del proceso de corrosión se realiza mediante la protección catódica por ánodos de sacrificio o bien por protección por corriente impresa. El proceso de protección catódica está influenciado por diversas variables y el registro de estas supone permitir una mejor comprensión del fenómeno de degradación del acero. En este trabajo se presenta la descripción y desarrollo de un Instrumento Virtual para el control y medición del proceso de protección catódica para acero API X52 mediante protección catódica por corriente Impresa. El instrumento virtual controla de manera eficiente el proceso de protección catódica por corriente impresa y permite tener un registro de las variables con influencia en este proceso, como son la el voltaje de protección, la resistividad del suelo, la humedad relativa y temperatura ambiental.

Palabras Clave: Protección catódica, Instrumento Virtual, Corrosión

ABSTRACT.

The control and protection of the buried steel in the soil of the corrosion process is done by the cathodic protection by sacrificial anodes or by cathodic protection by impressed current. The process of cathodic protection is influenced by several variables and the registration of these assumes a better understanding of the phenomenon of steel degradation. In this paper is presented the description and development of a Virtual Instrument for control and measurement of the process of cathodic protection by impressed current for steel API X52. The virtual instrument efficiently controls the cathodic protection process by impressed current and allows a register of the variables with influence in this process, such as protection voltage, soil resistivity, relative humidity and ambient temperature.

Keywords: Cathodic Protection, Virtual Instrument, Corrosion

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se tiene una buena compresión acerca del fenómeno de corrosión que presentan los aceros en diferentes medios, sin embargo, bajo condiciones de protección catódica sigue siendo un reto explicar la degradación del metal [1]. La protección catódica por corriente impresa consiste en aplicar un potencial catódico mediante una fuente de alimentación de voltaje directo a la estructura a proteger, hasta que en un electrodo de referencia de cobre/sulfato de Cobre ($Cu/CuSO_4$) se alcance una polarización de -850 mV, para considerar que la corrosión sobre la superficie metálica es despreciable [2,3].

La aplicación de un sobre voltaje a la estructura protegida es un problema tan serio como el propio proceso de corrosión, porque se favorece el daño al revestimiento del acero y puede producir daños por evolución de hidrógeno [2, 3]

Muchos sistemas implementados en campo son regulados de manera manual (lazo abierto), esto por la dificultad de medir el potencial de protección con el electrodo de Cu/CuSO4 en todo momento. La variación de la resistividad del medio circundante al metal protegido debido a cambios en las condiciones climática hace que sea difícil detener completamente la corrosión. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema automático de protección catódica es necesario para superar esta dificultad [4]. El diseño y desarrollo de un sistema de medición capaz de monitorear continuamente el estado de protección de la estructura manteniéndola en condiciones seguras es importante [5].

La medición de potencial de protección se ve influenciado directamente por la condición de la resistividad del suelo (inverso de la conductividad) y esta depende de su contenido de agua, la temperatura y humedad relativa, aunado de cualquier corriente parasita presente en la estructura protegida.

El concepto de la Instrumentación virtual nace a partir de utilizar a la computadora como un instrumento de medida y control, con la posibilidad de análisis, procesamiento, almacenamiento, distribución y despliegue de resultados. La instrumentación virtual requiere de tarjetas de adquisición de datos y software como Dasylab [6, 7]. La Instrumentación Virtual tiene la ventaja de ser una plataforma abierta para su programación gráfica, con muchos algoritmos disponibles en

sus módulos, y con la potencialidad de implementar de aquellos requeridos por el programador [8]. Por otra parte, el uso de la instrumentación virtual minimiza el uso de una gran cantidad de hardware involucrado en los controladores y paneles de instrumentación, simplificando el mantenimiento y la solución de problemas [9].

El instrumento virtual desarrollado permite la medición del potencial de corrosión, resistividad del suelo, temperatura ambiental y humedad relativa. Con estas 4 variables procesadas se determina el voltaje aplicado a la estructura y la señal de error para el controlador.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Probetas de acero API X52.

Las probetas de acero API X52 se embebieron en resina epóxica Kristalizer y posterior a su catalizado se pulieron hasta acabado espejo, como pueden verse en la Fig. 1.

Fig. 1.- Probetas de acero API X52 con acabado espejo.

2.2. Prototipo de pruebas experimentales

Las probetas se expusieron en tanque de suelo de cultivo y suelo calcáreo; una serie con protección con el sistema desarrollado y otra serie sin protección. La distribución experimental utilizada para el sistema desarrollado, se muestra en la Fig. 2.

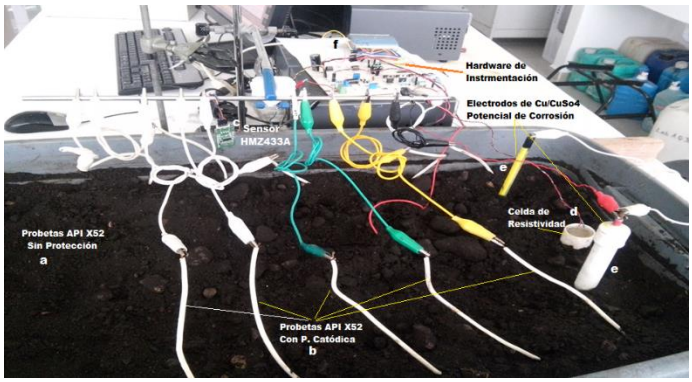

Fig. 2.- Componentes de Sistema ICCP desarrollado.

El sistema ICCP se integró de los siguientes materiales y especificaciones

a) Probetas de acero API X52 de 1 cm ancho x 2 cm largo, 0.5 de espesor
b) El ánodo de titanio de 3 x 4 cm con un espesor de 3 mmm
c) Un electrodo de referencia Cu/SO_4 para medir el potencial de corrosión y se localiza en una posición fija con respecto al acero a proteger.
d) Una tarjeta USB2108FS para la adquisición de parámetros y envió de señales a la interfaz de potencia del sistema ICCP.
e) Caja de plástico que con tiene una cantidad de suelo de 62 cm de longitud, 42 cm de ancho y 18 cm de profundidad
f) Sensor de HMZ433A de Humedad relativa y Temperatura
g) Celda de Resistividad para suelo.
h) Dos Fuentes de alimentación variables de 0 a 15 voltios para la polarización del sistema de medida y suministro de voltajes a la interfaz de potencia.
i) Cables de conexión

2.3. Medición de resistividad del suelo

Se desarrolló una celda de medida de resistividad con electrodos de grafito, como se muestra en la Fig. 3. Esta celda se calibro con muestras con porcentaje de humedad conocida.

Fig. 3.-Celda de Resistividad mediante electrodos de grafito.

Esta variable influye directamente como indicativo de buena conductividad del suelo y por tanto en la condición de medida del potencial de protección.

2.4. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa

La temperatura y humedad se utilizó el sensor HMZ433Ael cual fue calibrado para ambas variables. Este sensor se polariza en su terminal 1se aplica 5 volts y 3 se conecta a GND. La salida de humedad Relativa la entrega en su terminal 2 y requiere un capacitor conectado entre 2 y 3. La temperatura en la terminal 4, pero requiere un resistencia de 50 KΩ en la terminal 3 y 4. Estas señales se pueden conectar directamente a las entradas analógicas del ADC.

2.5. Potencial de Corrosión

Se mide mediante un electrodo de cobre/sulfato de cobre ($Cu/CuSO_4$) acoplado a un amplificador de instrumentación aAD620, como puede verse en la Fig. 4.

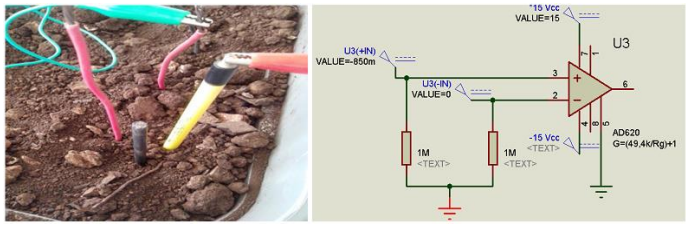

Fig. 4.- Electrodo de Cu/$CuSO_4$ y su circuito de medida.

El circuito de acondicionamiento se usa para la medición en modo diferencial y en configuración de ganancia unitaria. La salida del AD620 se conecta directamente al ADC para su medida.

2.6. Interfaz de potencia para el voltaje de control de protección catódica

El voltaje de control de protección catódica se implementó con el uso del regulador de voltaje LM317, como se muestra en la Fig. 5.

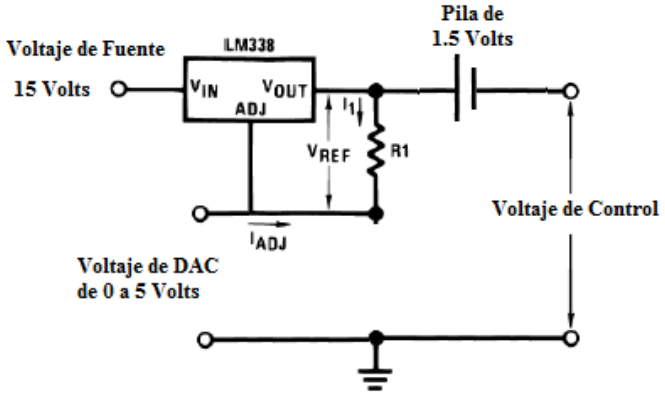

Fig. 5.- Interfaz de Potencia para el Voltaje de control.

La respuesta del regulador de LM317 es de 1.2 volts a 12 volts, por lo cual se adiciono un pila de 1.5 volts para lograr una salida de la interfaz de 0 a 11.2 volts, en el voltaje de control.

2.7. Tarjeta de USB1208FS de ADC y DAC

Las variables se digitalizaron mediante la tarjeta USB1208FS, usándose 5 canales de entrada y un canal 1 del DAC. Configurado de la siguiente manera:

Tabla 1.- Distribución de conexiones a la Tarjeta USB1208FS

Terminal	Canal	Señal medida
1	A1	Voltaje de Protección
2	A2	Resistividad del Suelo
4	A3	Voltaje de Control
5	A4	Humedad Relativa
7	A5	Temperatura
13	DAC0	Interfaz de Potencia
3,6, 9,15	GND	GND comunes

Se estableció una frecuencia de muestreo de 200 Hz para los canales de entrada analógicos y salida digital.

2.8. Sintonización del controlador

Para configurar el controlador del instrumento virtual se realizó una sintonización mediante el método de Ziegler-Nichols [10]. Se aplicó un voltaje de 6 voltios y se registro la respuesta del potencial de protección, como se muestra en la Fig.

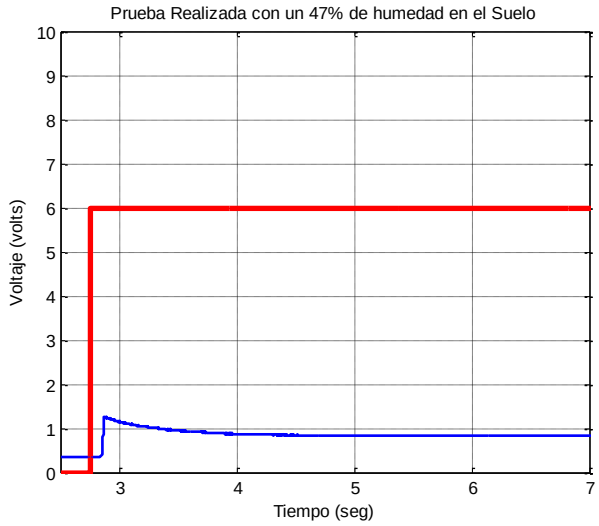

Fig. 6.- Respuesta del sistema a un escalón de 6 volts.

Acorde a la respuesta observado del sistema se decidió implementar un controlador PI y los parámetros de interés se obtuvieron de la Fig. 6, mediante Matlab, y son L=0.093 y T=0.665. Los coeficientes de los controladores se obtienen mediante las ecuaciones:

$$K_P = 0.9\frac{T}{L} = 0.9\frac{.665}{.093} = 6.435$$

$$T_i = \frac{L}{0.3} = \frac{0.093}{0.3} = 0.31$$

Estos valores se programan en el módulo de control de Dasylab, como se muestra en al Fig. 7.

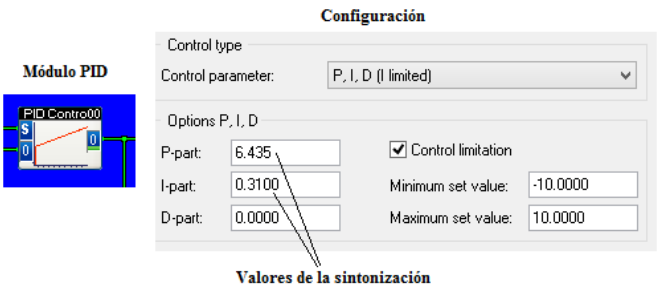

Fig. 7.- Configuración del módulo de PID para el sistema de protección catódica por corriente impresa.

Acorde a estos valores el sistema de control de protección catódica por corriente impresa se configura en lazo cerrado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Instrumento Virtual

El instrumento virtual desarrollado consta de una caratula del instrumento, como puede verse en la Fig. 8.

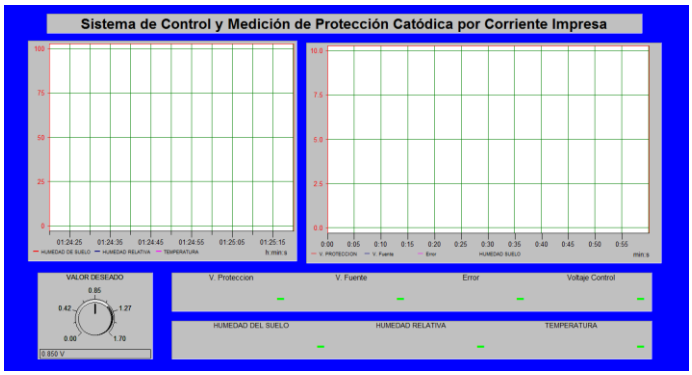

Fig. 8.- Caratula del instrumento virtual desarrollado.

En este caratula se establece el valor del voltaje de protección con el botón de Valor deseado, además que nos entrega graficas de variables que influye en la medición del voltaje de protección. Otra grafica importante es de los parámetros del sistema de control de protección catódica por corriente impresa. Y para facilitar el análisis cada variable se despliega de manera numérica para tener la información del estado instantáneo del proceso.

La programación grafica del instrumento virtual se muestra en la Fig. 9, la cual consta de tres bloques con funciones específicas.

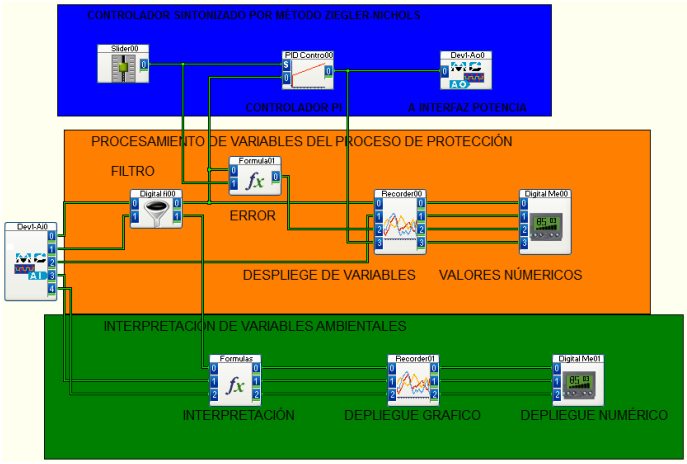

Fig. 9.- Programación grafica del instrumento virtual.

Bloque con fondo azul.- es el controlador del sistema de protección por corriente impresa, en el cual se con el Slider00 se establece el nivel de potencial de protección y recibe la información del canal 1 del voltaje protección medido. Con estos datos el controlador Módulo PID control00 calcula el voltaje de control a aplicar y lo envía a la salida del DAC0. La señal proveniente del DAC0 se transfiere a la interfaz de potencia para aplicar el potencial correspondiente.

Bloque con fondo naranja.- se encarga de desplegar los parámetros del sistema de control por corriente impresa. La señal de error es un parámetro que nos indica de manera visual si en controlador lo logra minimizar a cero. Este se determina con la resta del potencial de protección menos el valor deseado de protección. Se despliegan de manera gráfica y numérica, el voltaje de protección, Voltaje de control aplicado a la estructura, el error y la salida del módulo del controlador.

Bloque con fondo verde.- se encarga de interpretar las variables asociadas al proceso como la humedad del suelo (conductividad), Humedad Relativa y la Temperatura. Estas variables se despliegan de manera gráfica y numérica. Para observar las transiciones de la conductividad del suelo dadas las condiciones ambientales.

3.2. Respuesta del sistema de Instrumentación y control Virtual

Una de las primeras pruebas fue la operación del controlador con el sistema funcionando bajo diferentes condiciones, como se muestra en la Fig. 10.

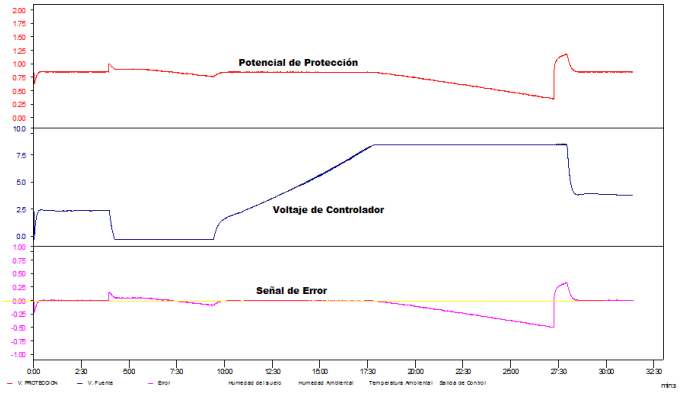

Fig. 10.- Respuesta del sistema con una salida de voltaje de controlador de 0 a 10 Volts.

En la Fig. 10, se ve la operación de compensación del sistema de control y la minimización del error y su restablecimiento a cero luego de la perturbación. Al tener ciertos valores el controlador llegaba a su límite de entrega de voltaje y no podía compensar y por tanto se cambió su intervalo de salida de – 10 a 10 volts para que esto no ocurriera.
Con la corrección anterior de intervalo de salida del controlador se obtuvo la siguiente operación de la Fig. 11.

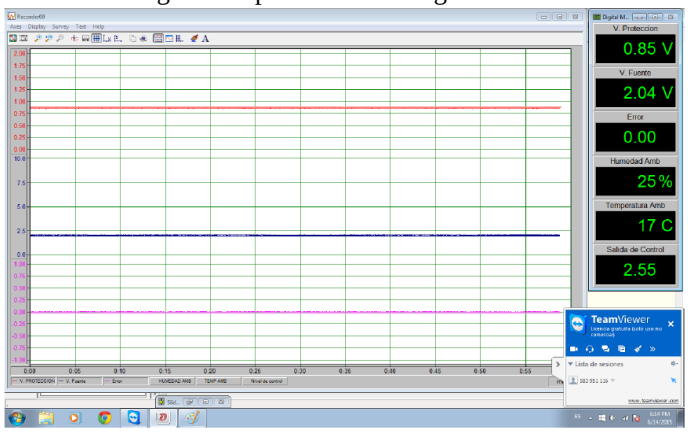

Fig. 11.- Operación del controlador con el error minimizado a cero.

El sistema permite establecer manera confiable el potencial de protección independientemente de las condiciones de temperatura y humedad mientras el potencial de protección sea medido.
Incluso cuando a las probetas bajo la protección del instrumento virtual se intentó realizar una prueba electroquímica de polarización electroquímica, el sistema compenso la perturbación inducida por el equipo de medida, como se muestra en la Fig. 12.

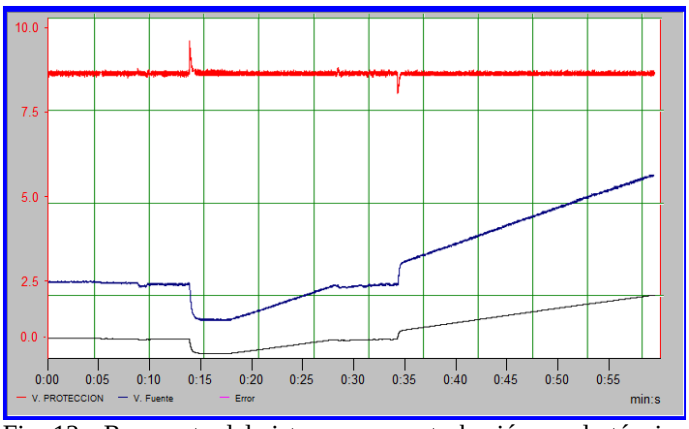

Fig. 12.- Respuesta del sistema con perturbación por la técnica de polarización.

El equipo de medida inyecta una perturbación en positiva en el voltaje de protección y el controlador compensa rápidamente enviando un voltaje contrario. Lo mismo ocurre con la perturbación negativa de la prueba del equipo de polarización el controlador lo compensa. Estas pruebas con el sistema de protección encendido no se pueden realizar porque el sistema compensa cualquier perturbación que se presente.

En la prueba de evaluación por Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) el sistema compenso la perturbación inducida por el equipo de medida, Fig. 13.

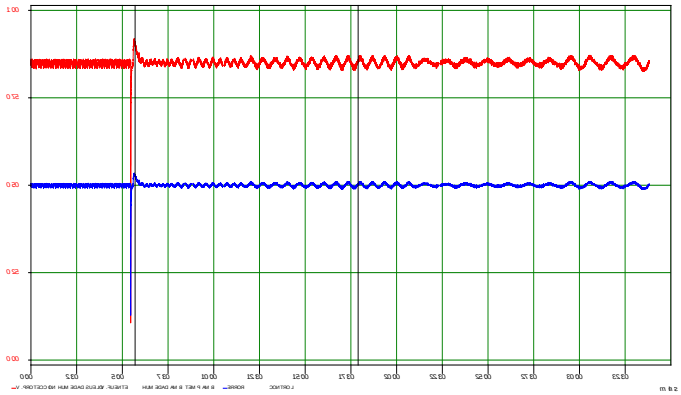

Fig.13.- Respuesta del Sistema a la Prueba de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.
La EIS induce una señal alterna variante en frecuencia y el sistema compensa esta perturbación con la finalidad de reducir el error a cero.

3.3. Corrosión en las probetas API X52 a 30 días exposición

Es sistema se mantuvo operando para una evaluación rápida por 30 días y los resultado se muestran la Fig. 14.

Fig. 14.- Probetas API X52 expuestas: a) en suelo de cultivo sin protección, b).- en suelo calcáreo sin protección, c) en suelo de cultivo con protección, d) en suelo calcáreo con protección catódica.

El sistema de control permite disminuir el proceso de degradación en las probetas con protección Catódica, independiente del medio al que estén expuestos.

4. CONCLUSIONES

El Sistema Virtual de Control y Medición desarrollado es capaz de mantener el potencial de las muestras de acero en valores de protección, aún con perturbaciones en el potencial de electrodo y un margen de las variaciones de parámetros del medio, como humedad del suelo, temperatura y humedad relativa.

En suelo de cultivo la velocidad de corrosión fue mayor y de igual forma se registró un incremento en los productos de corrosión formados, indicando de esta manera que el potencial de -0.850 V no fue suficiente para llevar a la zona de inmunidad completamente a la estructura.

La humedad de suelo tiene una mayor influencia ya que a menor condición de humedad abajo del 30 % no es posible medir el potencial de corrosión. Una ventaja del sistema es la reducción de importante en el hardware requerido en la implementación.

5. REFERENCIAS

[1] E. García Juárez, G. Galicia Aguilar, et al. “Uso de impedancia catódica para el estudio de un acero A36 en NaCl al 3% en condiciones de protección catódica. XXX Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica, Veracruz, México. 2015. 10 paginas.

[2] M. E. Parker and E. G. Peattie, Pipeline corrosion and cathodic protection. Houston, Texas. Gulf Publishing Company, 1993.

[3] A. W. Peabody. Peabody’s control of pipeline corrosión. Houston, USA. 2001.

[4] H. E. Ghitani & H. A. Shousha. Microprocessor-Based Cathodic Protection System Using Photovoltaic Energy. Applied Energy, Vol 52, 1995, paginas 299-305

[5] F. Ferraris, et al. Measuring system for enhanced cathodic corrosión protction. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology. Conference Proceedings, Graz, 2012, paginas 1583-1587.

[6] R. Chacón Rugeles. La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica. Acción Pedagógica Vol. 11. No. 1, 2002, paginas 74-84.

[7] P. Beirão, D. Valerio. Creation of a virtual grafic interface applied to a process control system. Procedia-Social Beavioral Sciences Vol. 46, 2012, paginas 565-569.

[8] H. Polat, and I. Güler. A Simple Computer-Based Measurement and Analysis System of Pulmonary Auscultation Sounds, Journal of Medical Systems, Vol. 28, No. 6, 2004, paginas 665-672.

[9] Anantha Subramanian V., Asokumar G., Jagadeesh Kumar V., Active fin control for yacht using virtual instrumentation, Ocean Engineering 34 (2007) 390–402

[10] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderno: Modelo Matemático de Sistemas de Control, Controladores Automáticos, p. 904, Ed., Pearson Educación, Madrid, 2010.