

# MEDIDOR DE CORROSIÓN INTELIGENTE

*A. Trapanotto; S. Gwirc; D. Brengi*

INTI-CITEI

Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Centro de Investigación en Tecnología Electrónica e Informática

[andres\\_t@inti.gov.ar](mailto:andres_t@inti.gov.ar); [sng@inti.gov.ar](mailto:sng@inti.gov.ar); [brenge@inti.gov.ar](mailto:brenge@inti.gov.ar)

## SUMMARY

In many industrial areas it is very important to have an actual evaluation of the production system related to the corrosion of its components, specially in those activities in which corrosion could be responsible of an accident or a non programmed stop of a plant with important economic losses. There are several devices in the market for corrosion testing, but usually they are high cost, they use destructive techniques or perturb the system and many times they do not display a real time indication in situ about corrosion in pipings or tanks.

In this work we have developed a low cost and small size device to measure corrosion that could work connected with similar equipment. This give us the possibility to implement a measurement network, in big industrial plants, to monitor corrosion process in a continuous and non destructive way, for any process plant. Measurement method chosen for the developed device is based on an electrochemical noise technic. This technic is known and growing for about 20 years in control of corrosion process because is a non destructive method.

## RESUMEN

En muchas áreas de la industria es imprescindible contar con una evaluación del estado del sistema de producción en relación a la corrosión de sus componentes, especialmente en las actividades en que la corrosión puede ser la responsable de un accidente o la detención no programada de una planta con pérdidas económicas importantes. Existen en el mercado diversos equipos de medición de corrosión, pero generalmente son de alto costo, usan técnicas que perturban el sistema o son destructivas y muchas veces no proveen una indicación en tiempo real y en el lugar, del estado de una cañería o un tanque.

En este trabajo se desarrolla un dispositivo de medición de la corrosión de bajo costo, pequeñas dimensiones y que puede conectarse con otros equipos similares. Esto genera la posibilidad de implementar una red de medición, en plantas industriales de envergadura, para monitorear la corrosión en forma continua y no destructiva, en cualquier planta de procesos. El principio de medición elegido para el dispositivo a desarrollado se basa en la técnica de ruido electroquímico, que se utiliza en todo el mundo desde hace aproximadamente 20 años en forma creciente, en el seguimiento y control de procesos de corrosión cuya principal característica es ser no destructiva.

# MEDIDOR DE CORROSIÓN INTELIGENTE

*A. Trapanotto; S. Gwirc; D. Brengi*

INTI-CITEI

Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Centro de Investigación en Tecnología Electrónica e Informática

[andres\\_t@inti.gov.ar](mailto:andres_t@inti.gov.ar); [sng@inti.gov.ar](mailto:sng@inti.gov.ar); [brengi@inti.gov.ar](mailto:brengi@inti.gov.ar)

## RESUMEN

En muchas áreas de la industria es imprescindible contar con una evaluación del estado del sistema de producción en relación a la corrosión de sus componentes, especialmente en las actividades en que la corrosión puede ser la responsable de un accidente o la detención no programada de una planta con pérdidas económicas importantes. Existen en el mercado diversos equipos de medición de corrosión, pero generalmente son de alto costo, usan técnicas que perturban el sistema o son destructivas y muchas veces no proveen una indicación en tiempo real y en el lugar, del estado de una cañería o un tanque.

En este trabajo se desarrolla un dispositivo de medición de la corrosión de bajo costo, pequeñas dimensiones y que puede conectarse con otros equipos similares. Esto genera la posibilidad de implementar una red de medición, en plantas industriales de envergadura, para monitorear la corrosión en forma continua y no destructiva, en cualquier planta de procesos. El principio de medición elegido para el dispositivo a desarrollado se basa en la técnica de ruido electroquímico, que se utiliza en todo el mundo desde hace aproximadamente 20 años en forma creciente, en el seguimiento y control de procesos de corrosión cuya principal característica es ser no destructiva.

## 1. MÉTODO DE MEDICIÓN

La técnica de medición de corrosión usando el ruido electroquímico, se basa en la medición de las fluctuaciones aleatorias de tensión y corriente que ocurren en una celda electroquímica, en la que se ubican tres electrodos, uno de referencia y los otros dos para medir tensión y corriente. Las variaciones se interpretan como una dispersión de valores respecto al valor medio tanto de tensión como de corriente, y el cociente entre ambas

dispersiones es la impedancia de ruido electroquímico de la celda, cuyo valor actual y su variación da cuenta del estado de corrosión de los electrodos. Los electrodos en el caso industrial son dos secciones de caño, aisladas una respecto a la otra, más un electrodo de referencia. Las características del sistema planteado son las siguientes:

- Medición de corrientes muy bajas.
- Medición de tensión de muy alta impedancia.
- Compensación y/o corrección de tensiones y corrientes de offset
- Cálculo de promedios y dispersión de las mediciones con tiempos variables.
- Análisis estadístico y cálculo de la resistencia de ruido electroquímico.
- Cálculo de la deriva debida a los componentes del sistema.

Los cálculos necesarios para obtener el valor de la resistencia de ruido electroquímico está dada por las siguientes relaciones:

$$V_{RE} = \frac{\sqrt{\sum_1^N (\bar{V} - V_i)^2}}{N} ; I_{RE} = \frac{\sqrt{\sum_1^N (\bar{I} - I_i)^2}}{N}$$

$$Z_{RE} = \frac{\sqrt{\sum_1^N (\bar{V} - V_i)^2}}{\sqrt{\sum_1^N (\bar{I} - I_i)^2}}$$

Donde  $N$  es el número de mediciones que se toma en una serie para determinar el valor de  $Z_{RE}$

El dispositivo de medición se compone de dos electrodos del material de la cañería a monitorear, más un electrodo de referencia. Para realizar este trabajo se contruyó una celda con dos electrodos de dimensiones similares, del mismo material de la cañería, que quedan inmersos en una solución junto con el electrodo de referencia (que en este caso es de platino).

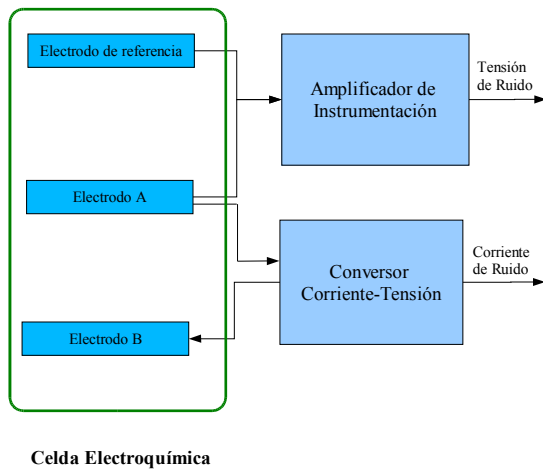


Fig. 1. Diagrama en bloques del sistema.

Las características de la celda hacen que las tensiones y corrientes a medir puedan ser de cualquier polaridad, incluso que esta se vea alterada con el tiempo y además puede ser afectada por un corrimiento de cero tanto en tensión como en corriente. El offset de tensión también se debe al potencial electroquímico de los materiales que intervienen en la reacción y al electrodo de referencia utilizado.

En este trabajo solo se toma en cuenta el ruido electroquímico y se trata de eliminar el offset de los componentes y de la celda en las primeras etapas del circuito, pero debe tenerse especial cuidado de no infiltrar ruidos a la medición que puedan sumarse y/o confundirse con el ruido electroquímico que se desea medir.

## 2. DESCRIPCION DEL CIRCUITO

Según los valores de ruido electroquímico presentados en las figuras 2 y 3 para las mediciones de tensión y corriente respectivamente, se plantea el desarrollo de un circuito electrónico prototipo.

Dado que el análisis se basa en la medición de ruido de tensión y corriente sin alteración de la reacción química, se utiliza como etapa de entrada del circuito de medición un amplificador de instrumentación de impedancia de

entrada mayor a  $10^{12}\Omega$  para la medición de tensión y un amplificador operacional de baja corriente de polarización para la medición de corriente. En esta etapa se limita el ancho de banda de ambos amplificadores para evitar que ruidos eléctricos que no intervienen en la medición afecten los resultados de la misma. Como amplificador de instrumentación se utiliza el INA141 y para como convertor corriente-tensión se utiliza un amplificador operacional LF351.

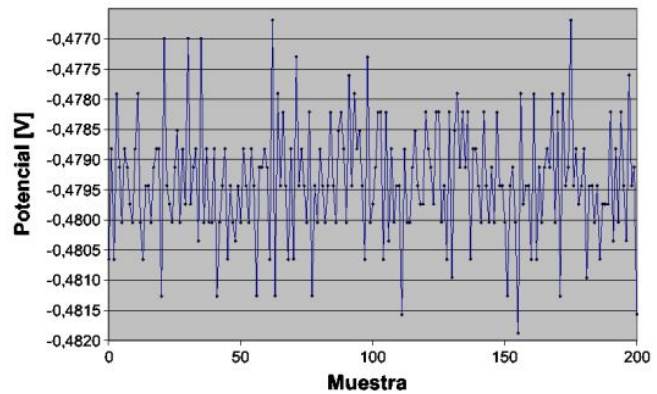


Fig. 2. Potencial de ruido electroquímico de una celda con referencia de platino.

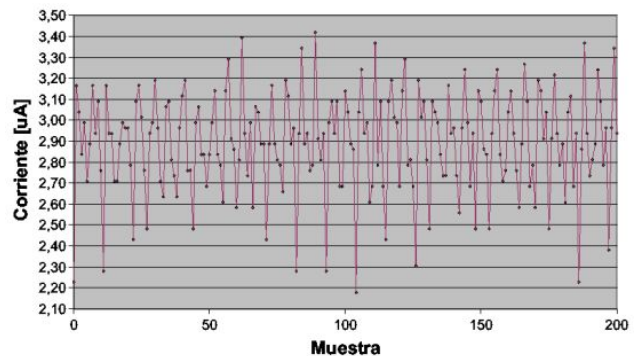
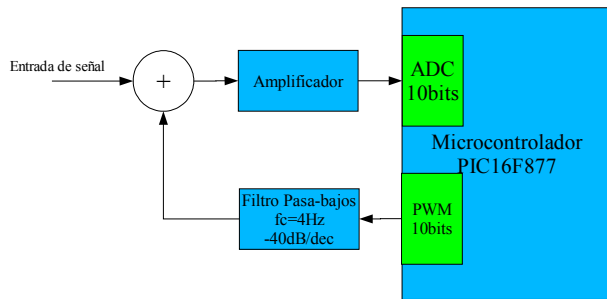


Fig. 3. Corriente de ruido electroquímico de una celda con referencia de platino.

Los niveles de tensión y corriente se digitalizan para un posterior proceso de cálculo. La digitalización y proceso de cálculo se realiza con un microcontrolador PIC16F877. La etapa de conversión analógico-digital tiene una resolución de 10 bits y un rango de tensión de entrada de 0V a 5V por lo que hay que adaptar los niveles que se desean medir a este rango. Se agrega una etapa amplificadora cuya principal función es sumar a la medición de ruido, un nivel de tensión continua para poder ubicarla dentro del rango de entrada del ADC. Para generar el nivel de tensión continua se utiliza una etapa de PWM incluida en el microcontrolador y se agrega un

filtro activo pasa-bajo de 2° orden en configuración Butterworth.

En la figura 4 se muestra el arreglo utilizado para ambas mediciones.



**Fig. 4 – Esquema del proceso de la señal para la digitalización**

El amplificador es un OP071 que se utiliza como sumador y permite amplificar la señal para maximizar la eficacia de la medición con el conversor analógico-digital.

#### 4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Al encenderse el equipo, debe analizar si las tensiones a medir se encuentran dentro del rango dinámico válido. A través de una búsqueda binaria, ajusta el generador de PWM para eliminar la tensión continua propia de la medición. Como esto es mayormente dependiente de la solución y el material de los electrodos, es una secuencia que sólo se realiza en el momento de la instalación y encendido.

La medición se realiza diariamente, pero no en forma continua. El equipo toma unas 7000 muestras de cada valor de tensión y corriente medidos a una frecuencia de muestreo de 4Hz. El equipo calcula de forma instantánea el promedio y las distintas instancias del cálculo. Una vez terminado este proceso realiza el cálculo de la impedancia de ruido, y muestra el resultado en un visor. Ya que el microcontrolador no posee suficiente memoria para guardar toda esta información, si se desean obtener todos los datos se puede agregar un módulo de memoria o bien conectar el equipo a una computadora que recolecte los datos.

#### 5. CONCLUSIONES

El método de medición usando la impedancia de ruido electroquímico es de gran utilidad en la determinación del estado de corrosión de un sistema y relativamente sencillo de implementar en una unidad de procesamiento de pequeñas dimensiones. El dispositivo implementado es versátil, adaptándose a variadas situaciones con distintos electrodos y medios corrosivos, realizando en forma automática el ajuste de los niveles de medición de un sistema particular.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Sensors, A Comprehensive Survey, Vol 2. Chemical and Biochemical Sensors Part I. Edited by W Gopel, J. Hess, J. N. Zemel, 1992.
- [2] Georges Asch et collaborateurs, “Les capteurs en instrumentation industrielle”, Boedas, Paris 1983.
- [3] Gordon R. Holcomb, Bernard S. Covino, David Eden. “State-of-the-Art Review of Electrochemical Noise Sensors”
- [4] Microchip microcontrollers. <http://www.microchip.com>
- [5] Texas Instruments. Analog & Mixed Signal. <http://analog.ti.com>