

Un acuerdo sobre los derechos del autor ampara a este artículo del cual es propietario la American Society for Non Destructive Testing. El documento sobre el cual se basa este artículo fue presentado en el congreso de ICPIIT llevado a cabo en Houston, Texas en junio de 1995 y se lo publicó en la edición de enero de Materials Evaluation 1996.

**PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (NDT) DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO**  
**"LA VERDAD SOBRE LAS FUGAS DE FLUJO MAGNÉTICO APLICADA A LAS INSPECCIONES DE**  
**LOS FONDOS DE LOS TANQUES"**

**Introducción**

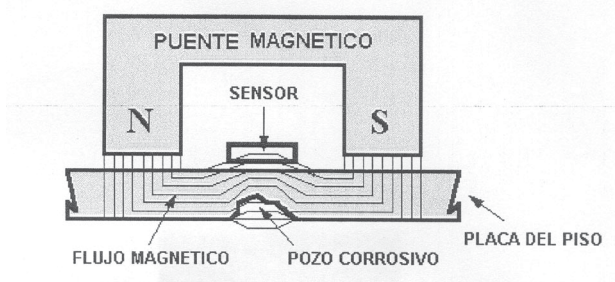
Las técnicas de inspección de fuga de flujo magnético se han utilizado ampliamente en la industria de la inspección de los campos petroleros por más de un cuarto de siglo para examinar cañerías, tuberías y revestimientos, nuevos y usados. Pero sólo en los últimos diez años esta técnica de inspección se ha comenzado a utilizar en los pisos de los tanques de almacenamiento en superficie, en un esfuerzo para proporcionar una indicación confiable de las condiciones generales del piso dentro de un período de tiempo económico. En la mayoría de los casos, estas inspecciones son llevadas a cabo por compañías de inspecciones industriales NDT que no tienen la suficiente experiencia sobre esta técnica. Las compañías de inspección tubular de campos petroleros sí cuentan con dicha experiencia.

Al mismo tiempo, esta aplicación relativamente nueva de Fuga de flujo magnético trae consigo algunos problemas adicionales que no son evidentes en la inspección de los tubulares, donde ciertos parámetros pueden ser controlados muy estrechamente. Probablemente, lo más notorio de esto es que los pisos del fondo de los tanques nunca son planos, donde los tubulares son por lo general siempre redondos. La capacidad de obtener una información cuantitativa razonablemente consistente se ve seriamente afectada por estos desniveles generales de la mayoría de los fondos de los tanques. La aplicación de criterios rígidos de aceptación y rechazo basados en los umbrales de la amplitud de señal ha probado ser muy poco confiable como información verdaderamente cuantitativa. Se necesita una práctica un poco más realista en la aplicación de esta técnica de inspección y en el diseño del equipo de inspección para garantizar que existan menos incidentes de defectos significativos que no se detectan.

El siguiente documento resume algunas de las consideraciones principales que necesitan tratarse para hacer inspecciones de los pisos del fondo de los tanques de almacenamiento de superficie que sean confiables, rápidas y económicas.

**Fuga de flujo magnético**

Para poder comprender algunos de los problemas relacionados con esta aplicación particular de Fuga de flujo magnético, es necesario entender algunos principios básicos de la técnica. Todo el mundo conoce la habilidad de un imán para "pegarse" a una placa de acero al carbono. Esto sucede debido a que las líneas magnéticas de fuerza (flujo) prefieren viajar a través de la placa de acero al carbono que por el aire circundante. Por cierto, este flujo se resiste a viajar por el aire a menos que se lo fuerce al no tener otro medio de preferencia. A efectos de esta aplicación en particular, se usará un puente magnético para introducir una la máxima saturación de flujo como sea posible en el material de inspección entre los polos del puente. Cualquier reducción significativa en el espesor de la placa dará como resultado que una porción del flujo magnético se fuerce al aire en las cercanías del área de la reducción. Se colocarán sensores que pueden detectar estos campos de fuga de flujo entre los polos del puente. La figura 1 ilustra gráficamente este fenómeno.



**La figura 1**

## **El ambiente de la inspección**

Para optimizar la efectividad de la inspección es necesario considerar el medio ambiente, y tratar las restricciones físicas impuestas por las condiciones actuales halladas cuando se examinan la mayoría de los pisos de los tanques.

### **Condiciones meteorológicas**

Sin lugar a dudas las condiciones de temperatura y humedad variarán enormemente en los diferentes lugares del mundo. Debe tomarse en consideración el efecto sobre ambos, los operadores y el equipo. Los seres humanos no funcionan bien en condiciones extremas de temperaturas. El uso del equipo no debe esforzarlos demasiado desde el punto de vista físico y mental. En otras palabras, cuanto más simple, confiable y fácil de usar sea el equipo, más confiables serán los resultados de la inspección.

### **Limpieza**

Por su propia naturaleza, la mayoría de los tanques de almacenamiento de superficie son un lugar sucio y a veces polvoriento. Estas condiciones varían ampliamente y dependen de que tanto esfuerzo esté dispuesto a realizar el propietario/operador del tanque para gastar en la preparación de limpieza para el barrido de inspección de la fuga de flujo magnético. Como mínimo indispensable se requiere de un buen lavado con agua para aflojar los residuos y para eliminar la costra de la superficie de inspección. La superficie no necesita estar necesariamente seca, pero los charcos de agua estancada deben eliminarse. Cuanto más limpio este el piso, mejor será la inspección obtenida.

### **Condición de la superficie**

La corrosión importante de la superficie superior y/o los esfuerzos de pandeo de las placas del piso representan una limitación seria para ambos, la cobertura de las áreas en cuestión y la sensibilidad a conseguirse. Claro que es difícil mejorar esta situación antes de la inspección, y por lo tanto, estas limitaciones deben considerarse cuando se diseña el equipo. La sensibilidad limitada resultante debe ser apreciada por los propietarios u operadores del tanque de los técnicos que realizan la inspección. Cualquier disturbio físico al sistema de barrido a medida que atraviesa la superficie del tanque resultará en una generación de ruido. Cuanto más áspera sea la superficie, mayor será el ruido y la reducción en sensibilidad capaz de conseguirse.

## **Consideraciones de diseño de equipo**

Es vital que el equipo de fuga de flujo magnético fabricado para esta aplicación en particular esté diseñado para manejar los problemas ambientales y prácticos que están siempre presentes. Un equipo diseñado en un laboratorio y probado en condiciones ideales, sin lugar a dudas tendrá deficiencias cuando se lo trate de implementar en la práctica. Se tratarán algunas de las consideraciones principales en los siguientes párrafos.

## **Electroimanes/Imanes permanentes**

Los imanes potentes de tierras raras están ahora disponibles y son perfectamente adecuados para esta aplicación. Son los más indicados para introducir los niveles necesarios de flujo al material que se está probando. En comparación, los electroimanes son extremadamente voluminosos y pesados. Pero tienen una ventaja en cuanto que su nivel de flujo magnético puede ajustarse fácilmente y hasta "apagarse" si fuera necesario limpiarlos. La altura de los imanes permanentes puede ajustarse para alterar los niveles de flujo pero el puente necesita limpiezas regulares para eliminar los residuos ferrosos. La acumulación de residuos puede tener un impacto importante en la sensibilidad del sistema.

## **Tipos de sensores**

Hay básicamente dos tipos de sensores siendo utilizados en la actualidad. Sensores de bobina y sensores de efecto Hall. Ambos son capaces de detectar los campos de fuga de flujo ocasionados por la corrosión de los pisos de los tanques. Sin embargo, existe una diferencia fundamental en la manera en que responden a los campos de fuga y en la manera en que generan la respuesta.

### **Bobinas**

Las bobinas son dispositivos pasivos que siguen la ley de Faraday en la presencia de un campo magnético. A medida que la bobina pasa a través de un campo magnético, se genera un voltaje en la misma y el nivel de este voltaje depende de la cantidad de vueltas del alambre de la bobina y la velocidad del cambio de la fuga de flujo. De esta manera se puede observar que la velocidad tendrá cierta influencia sobre las señales obtenidas con este tipo de sensor.

### **Sensores de efecto Hall**

Los sensores de efecto Hall son dispositivos de estado sólido los cuales forman un circuito eléctrico y, que cuando pasan a través de un campo magnético, el valor del voltaje del circuito varía dependiendo de un valor absoluto de la densidad del flujo. Es necesario llevar a cabo una referencia cruzada y ciertas cancelaciones cuando se utiliza este tipo de sensor, para que las señales verdaderas puedan separarse de otras causas de grandes variaciones de los niveles de voltaje generados por el proceso de inspección.

Existe mucho desacuerdo dentro de la industria en cuanto a cuál es el mejor tipo de sensor para utilizarse en esta aplicación. Los sensores de efecto Hall son indudablemente más sensibles que las bobinas. Sin embargo, en esta aplicación las bobinas son más que adecuadas, más estables y confiables. Si uno se basa en la experiencia de la industria de inspección de tubulares, se observará que, para las inspecciones de tubos usados, el sensor preferido es aún la humilde bobina. Los sensores de efecto Hall confirmaron ser demasiado sensibles cuando las condiciones de la superficie no son perfectas, lo cual resulta en una inspección poco confiable y la generación de muchas falsas alarmas.

## **Consideraciones de aplicación de técnicas**

### **Limitaciones de cobertura**

Es virtualmente imposible cubrir el 100% por medio de esta técnica debido a las limitaciones de acceso físico. El equipo debe diseñarse de manera que se pueda hacer un barrido de inspección lo más cerca posible a las juntas solapadas y al casco. Obviamente existen compromisos que hacer debido a que la base de las ruedas del escáner es una consideración importante para los pisos que no son perfectamente planos. Se pueden utilizar cabezales de barrido más pequeños en las áreas estrechas para aumentar el área de barrido.

## **Diferenciación de los lados de arriba y abajo**

La fuga de flujo magnético no puede diferenciar entre la respuesta de una indicación proveniente del lado de arriba o del lado de abajo. Se han realizado algunos intentos para utilizar las señales de corrientes parásitas para los defectos provenientes del lado de arriba a efecto de diferenciar en base a la discriminación de frecuencias, pero en realidad, esto no es confiable en los pisos de los tanques debido a la naturaleza rugosa de los mismos, y por la falta de limpieza de la superficie de inspección. En la mayoría de los casos, la técnica visual es perfectamente adecuada para estos efectos. Al contrario de lo que se espera, la respuesta de la fuga de flujo de una indicación del lado de arriba es mucho más baja en amplitud que la equivalente desde el lado de abajo. Esto significa que hasta cierto grado, la influencia de las indicaciones del lado de arriba pueden "eliminarse" para permitir una evaluación confiable de la condición del lado de abajo del piso.

## **Evaluación cuantitativa de las indicaciones**

La fuga de flujo magnético es una herramienta indicativa cualitativa y no cuantitativa, y por lo tanto es un detector confiable de la corrosión en los pisos de los tanques. Debido a las restricciones ambientales y físicas que se encuentran cuando se realizan las inspecciones reales, no es posible obtener una cuantificación confiable. La amplitud por si sola no es una indicación confiable del espesor restante de la pared debido a que depende más de la pérdida del volumen actual. Los defectos que exhiben varias combinaciones de pérdida de volumen y la verdadera dimensión del espesor de la pared pueden resultar en la misma amplitud de señal. Y en conjunto con esta relación espacial continuamente cambiante entre los imanes, sensores y superficie de inspección, es absolutamente claro que será virtualmente imposible hacer una evaluación precisa del espesor restante de la pared. Para obtener resultados verdaderamente cuantitativos deberá utilizarse una combinación de ultrasónicos y fuga de flujo.

## **El umbral de un solo nivel**

La conveniencia comercial ha traído la implementación de los criterios de aceptación y rechazo que utilizan el método del umbral de un solo nivel. MFE Enterprises, como fabricante de equipo de fuga de flujo magnético, no apoya este método. Como se dijo previamente, la amplitud de las señales por si sola no es una indicación confiable del espesor que aún queda en la pared. Algunas indicaciones importantes pueden pasarse por alto completamente, especialmente en los casos donde el equipo no incorpora algún tipo de pantalla o tablero en tiempo real. Para poder llevar a cabo una inspección confiable, el operador debe tener la mayor cantidad posible de información en forma de una pantalla en tiempo real que sea fácil de usar e interpretar. La utilización de un umbral ciego simple es absolutamente inapropiada para esta aplicación.

## **Cartografía computarizada de las señales de fuga de flujo**

Es obvio, por los comentarios previos, que la cartografía de las señales de fuga de flujo tiene un valor limitado en esta aplicación debido a que sólo puede usarse confiablemente para brindar información cualitativa y no cuantitativa. Tiene algo de valor un sistema que permita la cartografía selectiva de las áreas con la habilidad de maniobrar los datos para poder correlacionar los resultados con la información precisa obtenida de los ultrasónicos. Esto permitirá la generación de información gráfica selectiva para efectos de presentación, si se requiere presentar un informe escrito. La ventaja limitada de este tipo de equipo debe compararse con el riesgo asociado con el uso de un equipo computarizado en este tipo de ambientes.