

## ANÁLISIS DINÁMICO DE JUNTAS TIPO ESPIGO-CAMPANA EN GASODUCTOS Y OLEODUCTOS

En 2016 se utilizó por primera vez en Colombia el método de Espigo-Campana para la unión de tubería en un gasoducto al norte del país. Desde entonces existe escepticismo en la implementación de este método, debido al riesgo de fugas por los frecuentes deslizamientos de tierra en terrenos con una geología difícil y por la falta de experiencia del personal técnico.

En la práctica, se presentan casos en los cuales la junta no es lo suficientemente hermética, en razón a diferentes causas, tales como: una fuerza axial insuficiente, un deslizamiento axial de la unión, un deslizamiento de tierras por temblores, la afectación por raíces de plantas en la unión, etc.

La Línea Tecnológica de Análisis Dinámico de la CIC (LT AD) desarrolló un método práctico, el cual permite verificar con facilidad la unión de cada junta de la tubería. La hipótesis empleada para la identificación de una "buena junta" entre espigo y campana es simple: *El traslape, es decir, la junta, debe comportarse como un cuerpo sólido, transmitiendo iguales o casi iguales frecuencias de resonancia entre los dos sólidos, el espigo y la campana, a la derecha e izquierda de la junta* (ver Figura 1).

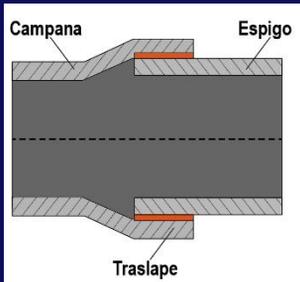


Figura 1

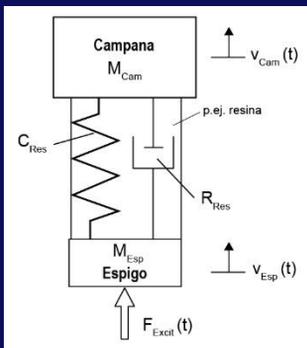


Figura 2

### Metodología

Cada análisis dinámico requiere un modelo mecánico (ver Figura 2). El modelo de la junta utilizado consta de dos masas desconocidas (de la campana,  $M_{Cam}$  y el espigo,  $M_{Esp}$ ) y el material entre los dos (p.ej. una resina) de una rigidez  $C_{Res}$  y una amortiguación  $R_{Res}$  desconocida y de una masa despreciable.

El desplazamiento relativo  $u(t)$  entre las dos masas se describe por la ecuación diferencial:

$$\ddot{u}(t) + 2D_0\omega_0 \cdot \dot{u}(t) + \omega_0^2 u(t) = -\frac{F_{Excit}(t)}{M_{Esp}}, \quad \text{con } 2D_0\omega_0 = \frac{M_{Esp} + M_{Cam}}{M_{Esp} \cdot M_{Cam}} \quad \text{y} \\ \omega_0^2 = C_{Res} \frac{M_{Esp} + M_{Cam}}{M_{Esp} \cdot M_{Cam}}.$$

Esta ecuación no puede resolverse analíticamente porque consta de las cuatro incógnitas mencionadas anteriormente. Una posible solución experimental requiere la aplicación de una técnica de medición en un ambiente de laboratorio.

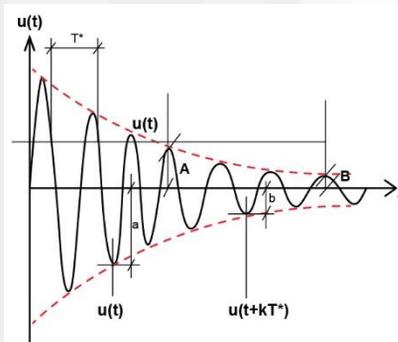


Figura 3

No obstante, la CIC desarrolló un método de medición que puede ser implementado bajo condiciones de campo, durante la instalación de la tubería, utilizando un método de excitación de sólidos.

La excitación de un sólido por un impulso de fuerza genera la superposición de una gran cantidad de vibraciones del tipo Figura 3. Cada una de estas vibraciones disminuye en el dominio de tiempo (t) con una frecuencia característica, parecida a una de las infinitas frecuencias naturales del sólido.

**Elaborado por:**

LT AD  
Dr.- Ing. Jens Jensen  
Ing. Gilberto Duarte  
cand. Ing. G. Olarte

**Fecha Publicación :**  
29/10/2019

## Experimentación

Se experimentó en el laboratorio de la CIC con dos secciones originales del gasoducto, que estaban unidas bajo las mismas condiciones del montaje real. Se instalaron las dos secciones de tubería en un banco de prueba (ver Fotografía 1) y se fijaron los acelerómetros en forma radial sobre el espigo y la campana. Las instalaciones, distancias y ángulos de los acelerómetros se determinaron experimentalmente, simulando las condiciones reales de medición en el campo. Las excitaciones se efectuaron, cerca de los acelerómetros, de forma alternante: se midieron las vibraciones excitadas en el espigo y la campana, en la misma dirección y distancia; esta medición se repitió posteriormente en la dirección contraria. Las mediciones de la excitación y de sus respuestas se hicieron sobre todas las direcciones radiales.

Cabe mencionar que la intensidad de las fuerzas de excitación es arbitraria, ya que la misma solamente tiene influencia sobre las amplitudes de las vibraciones y no sobre las frecuencias de las vibraciones excitadas.

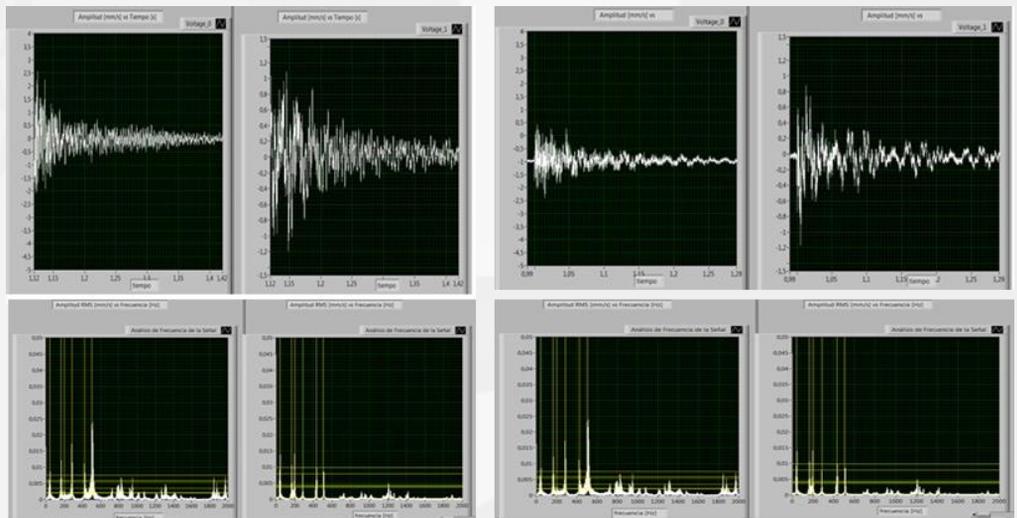
## Resultados

Los resultados reflejan correctamente la idea del método:

- El **tubo 1** presenta una **“junta buena”** con las mismas o parecidas frecuencias de las vibraciones en el espigo y la campana. A manera de control, se realizó un cálculo de la (auto)correlación de los dos espectros de las frecuencias medibles, en ambos lados de la junta y se obtuvo un factor promedio de correlación del 70%.
- El **tubo 2** fue tomado de una sección donde se presentó un deslizamiento de tierra que desplazó al tubo después de su instalación. El tubo presentó una **“junta deficiente”**, en el cual se identificaron frecuencias diferentes en el espigo y la campana y el factor promedio de correlación sólo alcanzó un valor del 20%.



Fotografía 1



### Tubo 1

izq. excit. espigo, med. campana  
der. excit. campana, med. espigo  
factor de correlación espectral  $\approx 70\%$

### Tubo 2

izq. excit. espigo, med. campana  
der. excit. campana, med. espigo  
factor de correlación espectral  $\approx 20\%$

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la necesidad latente para evaluar este tipo de uniones, la LT AD de la CIC está construyendo un sistema comercial económico de medición radial con 2 x 4 sensores y un sistema de medición y análisis espectral miniaturizado con un software de licencia libre.