

DOCter

Método Impact-Echo



- **Medición de Espesores**
- **Detección de Fallas**
- **Profundidad de Fallas**
- **Profundidad de Grietas Visibles**



DOCter

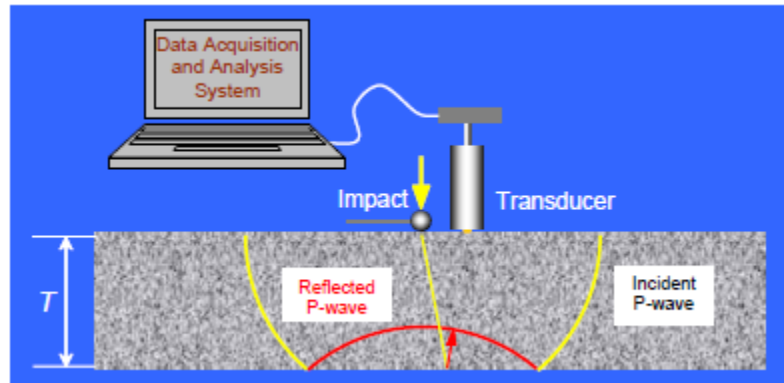
Propósito

El uso de las ondas tradicionales de esfuerzo, tales como el ultrasonido, requiere acceso a las dos caras del miembro para identificar la presencia de anomalías en estructuras. Estas desventajas son eliminadas al usar el método impact-echo, el cual requiere acceso solo de una superficie. El método impact-echo es basado en monitorear el retorno periódico de las reflexiones de las ondas de esfuerzo y es capaz de obtener información acerca la profundidad de la interfase de reflexión interna o el grosor de un miembro sólido.

Doctor es un sistema versátil y portátil basado en el método impact-echo, y puede se usado para las siguientes aplicaciones:

- Medir el grueso de pavimentos, cubiertas asfálticas, losas apoyadas en tierra y paredes.
- Detectar la presencia y profundidad de fallas y segregaciones.
- Detectar fallas debajo de losas apoyadas en tierra.
- Evaluar la calidad de la inyección de grout en ductos de postensado.
- Integridad de membranas debajo de una cubierta asfáltica para proteger concreto estructural.
- Inspección de delaminaciones en pisos de puentes, muelles, torres de enfriamiento y estructuras de chimeneas.
- Despegado en capas o parches.
- Detectar daños por reacciones alcali-silice y por ciclos de hielo-deshielo.
- Medición de profundidad en grietas visibles.
- Estimado de desarrollo de resistencia a edades tempranas (con adecuada correlación).
- Medición de velocidad de onda.

Un pulso de esfuerzo de corta duración es introducido en el miembro por impacto mecánico. Este impacto genera tres tipos de ondas de esfuerzo que se propagan a partir del punto de impacto. Una onda superficial (onda R) viaja a lo largo de la superficie y las ondas S y P viajan dentro del miembro. En la prueba Impact-echo se utiliza la onda P para obtener información acerca del miembro.



Cuando la onda P llega a la parte inferior de el miembro, esta es reflejada y viaja de nuevo a la parte superior donde el impacto fue generado. Un transductor sensible al desplazamiento que se coloca cerca de la zona de impacto recoge la vibración a causa de la llegada de la onda P. La onda P es reflejada hacia abajo y se empieza el ciclo de nuevo. Así la onda P es reflejada muchas veces entre las dos capas del miembro. La forma de onda grabada del desplazamiento superficial presenta un patrón periódico que es relacionado al grosor del miembro y la velocidad de onda.

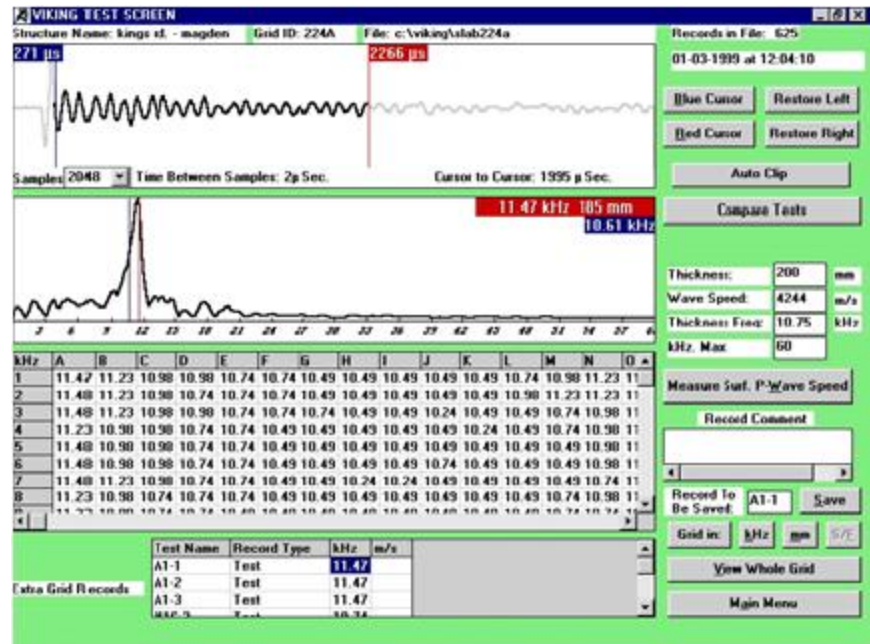
La forma de onda de desplazamiento se transforma en el dominio de la frecuencia para producir un **espectro de amplitud**, el cual muestra las frecuencias predominantes en la forma de onda. La frecuencia de llegada de la onda P es determinada como la frecuencia en la cual se presenta un pico alto en el espectro de amplitudes. El grosor (T) del miembro es relacionado a esta frecuencia de grosor (f) y velocidad de onda (C_p) por medio de esta simple ecuación aproximada:

$$T = \frac{C_p}{2f}$$

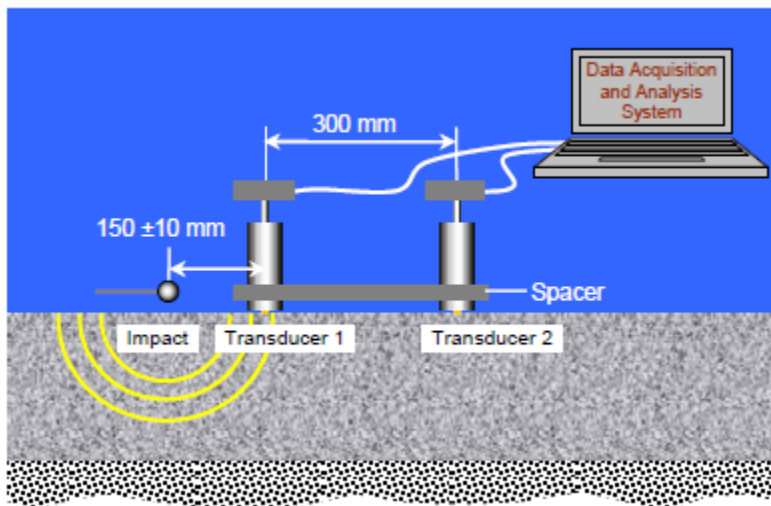
El mismo principio aplica en la reflexión de un defecto interno (delaminación o huecos). Por lo tanto el método **impact-echo** es capaz de determinar tanto la localización de defectos internos como medir el grosor de un miembro sólido.

Ejemplo

En la grafica de arriba se muestra el desplazamiento superficial obtenido al realizar una prueba en una losa de concreto sólida. La figura debajo de la forma de onda es el espectro de amplitud obtenido mediante la transformación de la forma de onda a dominio de frecuencias. El pico registrado en 11.47 kHz es la frecuencia de grosor. Para una velocidad de onda de 4240m/s, esta frecuencia corresponde a un grosor de $4240 / (2 \cdot 11,470) = 0.185$ m, o 185 mm.



Medición de espesor de acuerdo a la ASTM C 1383



Para una buena medición del grosor de un elemento se requiere conocer la velocidad de onda P en el lugar. La ASTM c 1383, “Método de Prueba para Medir la Velocidad de Onda P y el Grosor de Placas de Concreto usando el Método Impact-Echo”, permite dos métodos para medir la velocidad de la onda P. Uno método es determinando la frecuencia de grosor y después midiendo el grosor real de la placa en el punto el cuestión. La ecuación en la página anterior es usada para obtener la velocidad de la onda P como sigue: $C_p = 2 f T$

Alternativamente, C_p puede ser determinada al medir el tiempo que tarda la onda P en viajar entre dos transductores con una

separación conocida. Utilizando el aditamento para dos transductores, **LONGSHIP**, los transductores son posicionados a 300 mm de separación entre ellos y el impactor se localiza a 150 mm de un transductor en la línea que pasa a través de los transductores. La distancia (300 mm) entre los transductores es dividida entre la diferencia de tiempo Δt entre la llegada de la onda P al primer y segundo transductor. En la figura de la siguiente página el Δt medida fue de 67 μ s, y la velocidad de la onda P es $0.300 / 0.000067 = 4480$ m/s. Cuando la velocidad de onda es determinada por el método de medición superficial, el valor resultante es multiplicado por 0.96 cuando es usada para el cálculo de grosor. Por lo tanto la ecuación correcta para el cálculo de espesores es:

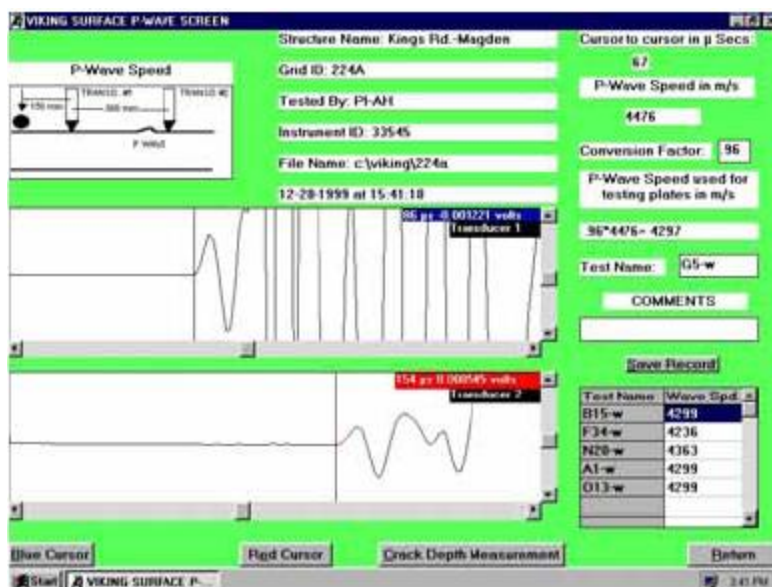
$$T = \frac{0.96 C_p}{2f}$$

La explicación para el factor 0.96 puede ser encontrada en la siguiente referencia:

Gibson, A. and Popovics, J.A., 2005, "Lamb Wave Basis for Impact-Echo Method Analysis," *J. of Engineering Mechanics* (ASCE), Vol. 131, No. 4, April, pp. 438-443.

Medición de la Velocidad de la Onda P

La figura de la derecha es un ejemplo de la medición de la velocidad de la onda P mediante el uso de dos transductores a una conocida distancia de separación. El tiempo de llegada de la onda P en cada transductor se determina como el punto para el cual en cada transductor la señal se eleva por encima del valor de fondo. El software **Viking** permite al usuario poner cursores en los puntos correspondientes a las llegadas de las ondas P, y calcular el valor de Cp. En este caso, la velocidad calculada es 4480 m/s, y el 96 % de este valor es 4300 m/s.

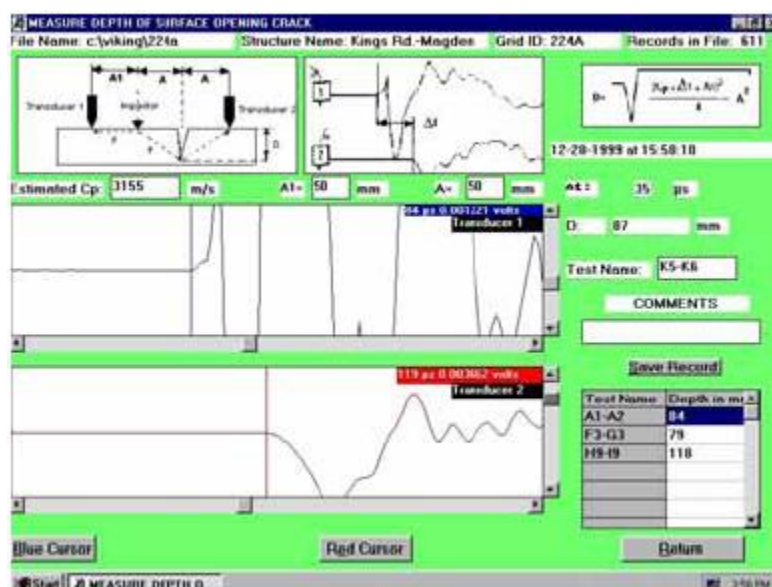


Detección de Defectos Internos

La onda P generada por el impacto se reflejará en las interfaces dentro del concreto en las que exista un cambio en la impedancia acústica, que se define por la densidad y la velocidad de onda de un material. En una interfase concreto-aire, la onda P se refleja completamente, lo que permite la detección de defectos internos, como delaminaciones, cavidades, y concreto segregado. Si el área plana de la interfaz que refleja es grande, el efecto será similar a la de una placa sólida, salvo que la frecuencia de espesor que se registrara será de un valor superior. Si el defecto es lo suficientemente grande como para ser detectado, el espectro de amplitud mostrara dos picos: uno corresponde a la reflexión de la interfaz y la otra corresponde a la porción de la onda P que viaja alrededor del defecto y se refleja en la superficie opuesta de la placa. Al colocar el cursor en la frecuencia asociada a la falla, la profundidad de falla es mostrada por el software **Viking**. La frecuencia asociada con la porción de la onda P que viaja alrededor del defecto se trasladará a un valor de frecuencia más bajo a comparación de la frecuencia de espesor de la placa sólida. Esto se debe a que la onda tiene que viajar una distancia más larga, ya que se refracta alrededor de la falla. El cambio de frecuencia es un buen indicador de la presencia de una falla, si se sabe que el espesor de la placa es constante.

Profundidad de Grietas Visibles

El **DOCter** también puede ser utilizado para medir la profundidad de las grietas visibles, mediante un análisis de dominio del tiempo. Los transductores LONGSHIP se colocan a los lados opuestos de la grieta (como se muestra en el dibujo en el a la derecha) y el impacto se genera en el línea que pasa por los transductores. Cuando la onda P llega a la punta de la de la grieta, la punta de la grieta difracta la onda P. La onda P difractada es detectada por el transductor en el lado opuesto de la grieta. Al medir el intervalo de tiempo entre la llegada de la onda P directa en el primer transductor y de la llegada de la onda difractada en el segundo transductor, la profundidad de la grieta puede ser calculada. El ejemplo que se muestra es de una prueba en una estructura dañada por fuego, y una profundidad de grieta de 87 milímetros fue estimada para una diferencia de tiempo de 35 µs y una velocidad de onda P de 3155 m / s.



Exactitud

Para la velocidad de la onda P determinada por medio de calibración con un grosor conocido, el error en la medición del grosor con el DOCTer es de $\pm 2\%$. Esto asume que la misma velocidad de onda P es aplicable para todos los puntos de prueba.

En el caso de que se obtenga el grosor mediante la medición de la velocidad de la onda P en la superficie, el error en el grosor debido a errores sistemáticos asociados a la naturaleza digital de la medición es de $\pm 3\%$. Con esto se asume que la velocidad de la onda P es uniforme a cualquier profundidad.

La profundidad de las grietas en la superficie pueden ser estimadas con una precisión de $\pm 4\%$.

Ejemplos de Pruebas



Detección de grietas en bloques de un puente



Medición de espesor en un túnel colado en el lugar



Medición de la profundidad en grietas de una losa dañada por fuego.



Detección de delaminaciones y segregaciones en tubería de drenaje



Medición de la velocidad de onda P por método superficial



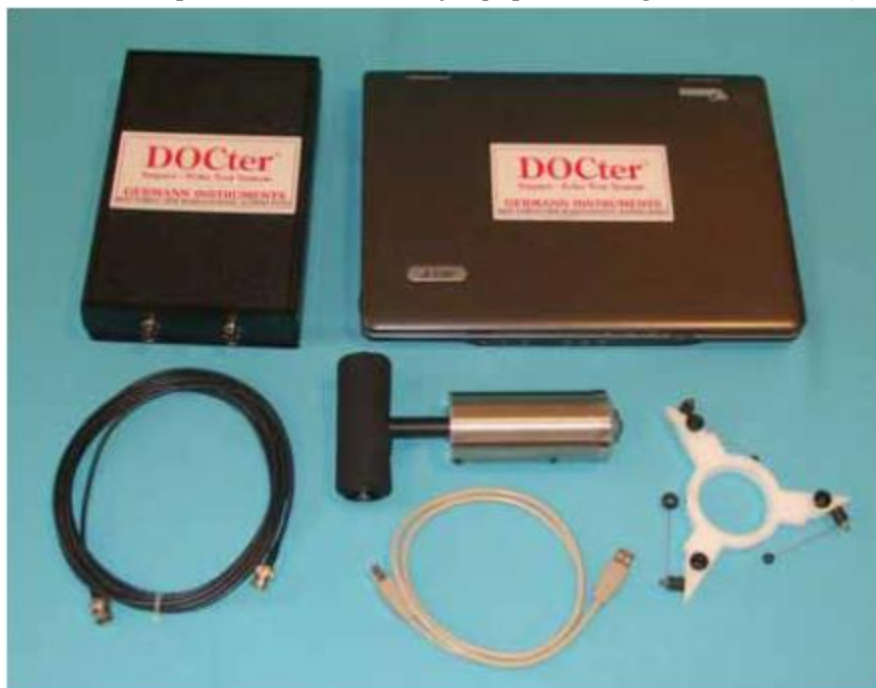
Prueba para conocer la calidad de la inyección de grout en ductos de postensado localizados por radar de penetración.

Números de orden

El **DOCter** viene en dos versiones: El **DOC-700** para la detección de fallas y la medición de espesores, y el **DOC-4000** para la detección de fallas, medición de espesores, medición de profundidad grieta, y la medición de velocidad de la onda P. La unidad **Spider** de múltiples impactores se puede adquirir como una opción para aumentar el rango de operación de los sistemas.

DOC-700

El sistema **DOC-700** es un sistema de un solo canal para la medición de espesores y detección de fallas. La velocidad de la onda P es determinada mediante la prueba sobre una placa sólida con espesor conocido. El sistema incluye un ordenador portátil, un módulo de adquisición de datos, un transductor Mark IV con impactores, y el software. Los componentes de hardware y equipo se entregan en maletines (no mostrado).



Objeto	No. de orden
Ordenador portátil	DOC-10
Modulo de adquisición de datos con USB	DOC-20
Software Viking , CD-ROM	DOC-30
Transductor Mark IV	DOC-40
Soporte estrella con impactores de 5, 8 y 12 mm	DOC-60
Tapas protectoras para la punta del transductor, 4 piezas	DOC-80
Cable	DOC-90
Estuche para transductor Mark IV	DOC-120
Estuche para ordenador portátil	DOC-140
Manual para el software Viking	DOC-120
Manual de operación del sistema DOC-700	DOC-160
Casos de estudios realizados	DOC-170

DOC-4000

El sistema **DOC-4000** es un sistema de dos canales que cumple con el método superficial para la medición de la velocidad de onda P especificado en la norma ASTM C1383. Además de la determinación del espesor y la detección de fallas, el DOC-4000 puede ser utilizado para estimar la profundidad de la de grietas visibles en la superficie.



Objeto	No. de orden
Ordenador portátil	DOC-10
Modulo de adquisición de datos con USB	DOC-20
Software Viking , CD-ROM	DOC-30
Viking LONGSHIP con agarradera larga y dos transductores Mark IV	DOC-50
Soporte estrella con impactores de 5, 8 y 12 mm	DOC-60
Agarradera pequeña para profundidad de grietas	DOC-70
Tapas protectoras para la punta del transductor, 8 piezas	DOC-80
Doble cable	DOC-100
Estuche para LONGSHIP	DOC-130
Estuche para ordenador portátil	DOC-140
Manual para el software Viking	DOC-120
Manual de operación del sistema DOC-700	DOC-160
Casos de estudios realizados	DOC-170

Spider, Numero de orden DOC-210

El **Spider** consta de 8 impactores esféricos, con diámetros que van desde 2 mm a 15 mm. Las frecuencias cubiertas por los impactadores **Spider** es aproximadamente de 1.2 kHz a 100 kHz en una superficie de concreto duro. La araña se coloca junto al transductor Mark IV, como se muestra a la derecha.



ANTARES