

¿CÓMO ASEGURAR EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE SU DETECTOR ULTRASÓNICO DE FALLAS?

Rogelio Amezola Luna & Alfredo Elías Juárez

Centro Nacional de Metrología/División de Vibraciones y Acústica

km 4,5 Carretera a los Cués, El Marqués, Qro.

(442) 2110500 ext. 3592 correo-e: ramezola@cenam.mx & aelias@cenam.mx

Resumen: Los detectores ultrasónicos de fallas son instrumentos utilizados en la industria en determinación de espesores y fallas internas de piezas metálicas y no metálicas. Este trabajo describe prácticas recomendadas de verificación y/o calibración de estos instrumentos, que aseguran en gran medida su adecuado funcionamiento para los fines para los cuales son utilizados. Se presentan dos prácticas basadas en recomendaciones de la ASTM. La primera consiste en realizar mediciones del detector en conjunto con su unidad rastreadora (transductor), usando bloques de referencia. La segunda, involucra mediciones eléctricas del detector. Se resalta la importancia de la calibración y la trazabilidad de las mediciones.

1. INTRODUCCIÓN

Los detectores ultrasónicos de fallas son instrumentos de examinación volumétrica, utilizados en la medición de espesores y detección de fallas en el interior y algunas veces en el exterior de piezas metálicas y no metálicas; así como en la evaluación y caracterización de materiales. Su principal aplicación es en lugares donde no es posible tener acceso por ambos lados de la pieza o no sea posible utilizar otro instrumento de medición dimensional directa (e.g., calibrador, micrómetro u otro). Utilizan una técnica de visualización de los resultados, conocida como escáner tipo A, que permite observar separadamente varias indicaciones a la vez (i.e., fallas), además permiten utilizar una variedad de unidades rastreadoras en diferentes arreglos de medición (e.g., pulso-eco, y transmisión directa). Si bien es cierto que es imposible afirmar con una certeza del 100 % que un instrumento de medición está funcionando adecuadamente, varias organizaciones como la American Society for Testing and Materials (ASTM), entre otros; se han esmerado en recomendar varias prácticas de verificación o calibración de los detectores a realizarse en campo y/o laboratorio, que aseguran en gran medida su adecuado funcionamiento para los fines para los cuales son o serán usados en la industria.

Estas prácticas, sugieren realizar la medición en dos partes, la primera enfocada a una calibración del detector en conjunto con su unidad rastreadora (transductor), donde se utilizan bloques de referencia de caras planas paralelas y con reflectores internos de referencia (ASTM E317) [1] (el término reflector se refiere a una muesca interna que refleja la onda de ultrasonido). La segunda,

consiste en una calibración detallada que involucra mediciones eléctricas del detector y es realizada en laboratorio (ASTM E1324) [2], bajo condiciones controladas. Para ésta se utilizan instrumentos electrónicos como osciloscopio, analizador de señales, atenuador y sintetizador de ondas.

2. MEDICIÓN CONFORME ASTM E 317

Se enfoca a la evaluación del detector en conjunto con su unidad rastreadora, es decir; se evalúa el comportamiento de la cadena de medición y debe realizarse para cada arreglo detector+cable+unidad rastreadora+acoplante. Para ello se utilizan bloques de referencia de caras planas paralelas así como bloques con reflectores internos. El arreglo de medición es el mostrado (ver Figura 1), donde se acopla la unidad rastreadora al bloque de referencia usando el acoplante a utilizar en la aplicación. ASTM E317, recomienda realizar cinco mediciones.

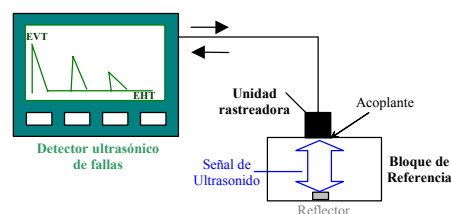


Figura 1 Arreglo de medición ASTM E317

2.1 Límite y Linealidad Horizontal

Estas características son importantes cuando se determina la profundidad de una falla o el espesor de un elemento de prueba. Se requiere un bloque de referencia que logre presentar un gran número de ecos reflejados ininterrumpidos, buena transmisibilidad ultrasónica y caras planas paralelas.

La *linealidad horizontal* determina el comportamiento lineal del eje horizontal del detector (eje del tiempo) y se obtiene acoplado la unidad rastreadora a un bloque de referencia de caras planas paralelas (ej. bloque de pasos), obteniendo varios ecos de reflexión de la pared posterior del bloque (ej. 10 ecos). El detector se ajusta en 2 puntos o ecos (ej. ecos 2 y 8), que corresponden a 2 y 8 veces el espesor del bloque, respectivamente. Se registra el valor de cada eco o reflexión en mm o %EHT (Escala Horizontal Total) y se grafican versus el número de reflexión (ver Figura 2).

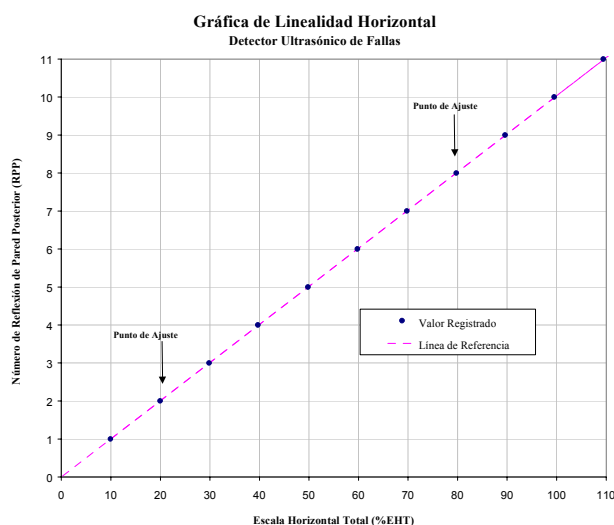


Figura 2 Gráfica de límite y linealidad horizontal

ASTM E317, no hace referencia a la trazabilidad de la medición o a la calibración del bloque utilizado. Sin embargo, es oportuno resaltar la utilización de un bloque de referencia calibrado con trazabilidad al patrón nacional de longitud, con el afán de lograr conformidad metrológica a unidades del sistema internacional. Cada punto graficado, corresponde a un valor de espesor medido (por el ajuste) que es comparado con el espesor del bloque de referencia (certificado de calibración). Debido al ajuste, los puntos 2 y 8 deben conservar su desviación cero, e idealmente el resto de los puntos también, como lo indica la línea de referencia. Entre más alejados estén los valores, de la línea de referencia; mayor será la tendencia del detector a la no linealidad, es decir; existirá menor confiabilidad en la operación del detector en ese intervalo. En linealidad horizontal ASTM E317 no describe límites permisibles de operación del detector, sin embargo; se sugieren que éstos sean establecidos por el usuario del equipo de acuerdo a sus tolerancias de medición permisibles en su proceso (ya que dependerán de éste). Es decir, si su proceso no

permite errores o desviaciones de medición de espesor o falla, mayores a cierto valor de tolerancia; entonces los límites permisibles de calibración del detector en linealidad horizontal deben ser una fracción de ese valor de tolerancia (ej. 1/10 ó 1/5). Entre más alta exactitud se requiera, menor será el límite permisible de desviación de calibración del detector. Generalmente las desviaciones mayores en linealidad horizontal se presentan en los extremos de la pantalla del detector. Cuando uno o varios valores se salen de los límites de calibración permisibles en linealidad horizontal, se dice que el instrumento no es lineal en ese intervalo y no debe ser utilizado en ese alcance. Esta limitación no lineal determina el *límite horizontal* del detector (superior e inferior) y está dado por el máximo valor de la longitud que es capaz de registrar el detector, generalmente se refiere al 100 %EHT.

Una de las principales variables de influencia que afectan la medición de linealidad horizontal, es la temperatura, ya que cambios bruscos pueden generar expansiones - contracciones del bloque de referencia y, en casos extremos, alteran las propiedades del material acoplante o sobrepasan los límites de operación del detector o la unidad rastreadora. La linealidad horizontal también puede ser representada en forma tabular, determinando la desviación entre el valor obtenido en el detector y el del certificado de calibración del bloque de referencia (ver Tabla 1). Puede representarse en unidades absolutas (mm) o relativas (%EHT).

Eco No.	Valor Referencia Mm	Valor Referencia % EHT	Valor Registrado mm	Valor Registrado % EHT	Valor Desviación mm	Valor Desviación % EHT
1	25.40	10.00	23.7	9.33	-1.70	-0.67
2	50.80	20.00	50.8	20.00	0.00	0.00
3	76.20	30.00	76.2	30.00	0.00	0.00
4	101.60	40.00	101.6	40.00	0.00	0.00
5	127.00	50.00	127.6	50.22	0.56	0.22
6	152.40	60.00	153.5	60.44	1.12	0.44
7	177.80	70.00	178.9	70.44	1.12	0.44
8	203.20	80.00	203.2	80.00	0.00	0.00
9	228.60	90.00	227.5	89.55	-1.13	-0.45
10	254.00	100.00	251.7	99.11	-2.27	-0.89

Tabla 1 Linealidad horizontal en 10 ecos

2.2 Límite y Linealidad Vertical

Es importante cuando se determina la amplitud de las señales de reflexión, como en el caso de evaluación de discontinuidades o criterios de aceptación. Se requiere un bloque de referencia que presente dos señales no interrumpidas que tengan una relación en amplitud 2:1, las cuales son comparadas en amplitud conforme se varía la ganancia del instrumento. En esta práctica, la medición es relativa entre las 2 señales mencionadas y no se utilizan patrones de medición.

Sin embargo, su realización permite detectar una adecuada o inadecuada operación del detector en la escala vertical. La *linealidad vertical* determina el comportamiento lineal del eje vertical del detector y se determina acoplando la unidad rastreadora al bloque de referencia, ajustando y manteniendo 2 señales de reflexión con relación de amplitud 60/30 %EVT (Escala Vertical Total). Posteriormente se realiza un barrido con el control de ganancia del detector del 10 %EVT al 100 %EVT, registrando los valores de ambas amplitudes. Se grafica cada valor de la señal mayor (HA), versus su correspondiente amplitud de la señal menor (HB). Cuando el detector se encuentra en adecuada operación mantiene la relación 2:1 de ambas señales en todo el barrido (ver Figura 3). Los valores también pueden ser representados en forma tabular (ver Tabla 2).

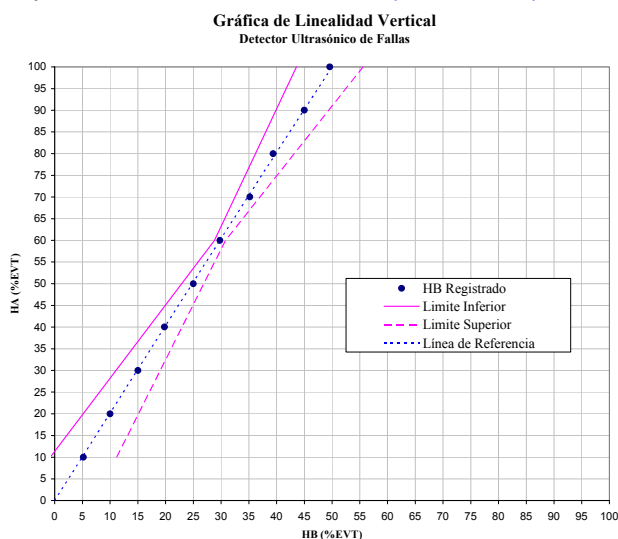


Figura 3 Gráfica de límite y linealidad vertical

No	HA Referencia % EVT	HB Referencia % EVT	HB Registrado % EVT	HB Desviación % EVT
1	10,0	5,0	5,0	0,0
2	20,0	10,0	10,3	0,3
3	30,3	15,2	15,3	0,2
4	39,7	19,8	20,0	0,2
5	49,7	24,8	25,3	0,5
6	60,0	30,0	30,0	0,0
7	69,7	34,8	35,0	0,2
8	79,0	39,5	39,7	0,2
9	89,7	44,8	45,3	0,5
10	99,7	49,8	50,0	0,2

Tabla 2 Límite y linealidad vertical

ASTM E 317 especifica tolerancias límite para esta medición, a fin de asegurar la adecuada operación del detector. El límite permisible en el punto de ajuste (60/30 %EVT) es de ± 1 división y en los puntos extremos de ± 6 divisiones. Cuando los valores registrados de HB se salen de estos límites, se dice que el detector presenta una inadecuada operación en ese intervalo, por lo que define el límite vertical en el eje vertical del detector, que está

dado por la máxima deflexión vertical que es capaz de registrar y generalmente se refiere al 100% EVT. La línea ideal de referencia que une los puntos de origen al punto de ajuste y a la escala completa debería ser seguida por los valores registrados de HB en una situación ideal de adecuada operación.

2.3 Resolución

Esta propiedad es importante cuando se examinan discontinuidades del material muy próximas entre sí, sobre el eje de profundidad, y se desean identificar y cuantificar. Esta medición incluye los efectos combinados del detector ultrasónico, conexiones y la unidad rastreadora. El objetivo de esta medición es el comprobar o evaluar que la cadena de medición acoplante+unidad rastreadora+cable+detector, es capaz de distinguir entre dos fallas próximas entre sí y que se tratan de encontrar mediante un análisis por ultrasonido. La resolución del detector es determinada como: resolución de pared posterior, si se analiza la interfase entre el reflector y la pared posterior, y resolución de superficie de entrada, si se analiza la interfase entre el reflector y la superficie de entrada (ver Figura 4).

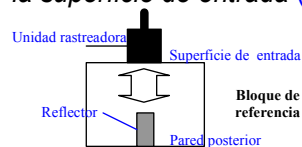


Figura 4 Superficies de evaluación

Esta medición se realiza acoplando la unidad rastreadora a un bloque de resolución calibrado (ej. 30 FBH) sobre un reflector interno de interés, la xcal del bloque permite asegurarse de sus propiedades dimensionales. Los reflectores de interés son aquellos cuya dimensión y orientación se aproximan o son equiparables a las buscadas en la examinación (aplicación del detector). La señal de reflexión del reflector de interés debe alcanzar el 80 %EVT en el detector. Un reflector es considerado con resolución suficiente si su indicación está claramente separada de la interfase adyacente (ej. superficie de entrada o de pared posterior) en al menos 20 %EVT y no hay indicaciones mayores a ese valor en la región de la muesca. Con esta medición es posible definir qué tamaños y orientaciones de discontinuidades es capaz de visualizar la cadena de medición y si es acorde al uso pretendido del detector o si opera adecuadamente en su aplicación. Los límites permisibles son definidos por el usuario, ya que será establecido en función del tamaño y cercanía de las discontinuidades a las interfases adyacentes

examinadas. Como límite, se sugiere establecer el menor tamaño de discontinuidad a examinar y con la menor distancia a la interfase más próxima.

2.4 Sensibilidad

La sensibilidad es una medida de la habilidad de la cadena de medición (incluyendo el detector) para detectar discontinuidades produciendo señales de relativamente baja amplitud debido al tamaño, geometría o distancia de la discontinuidad. Es decir, con esta medición es posible definir el mínimo tamaño de una discontinuidad que la cadena de medición es capaz de visualizar en el material o definir la adecuada operación del detector para la aplicación intencionada. Comúnmente se presenta el problema de que se examinan materiales donde no se detectan discontinuidades, sin embargo; muchas veces lo que ocurre es que la cadena de medición utilizada no es apropiada para detectarlas.

Para esta medición se utiliza un juego de bloques área/amplitud calibrado (contienen reflectores o muescas internas). Con la sensibilidad del detector ultrasónico de fallas al máximo, se acopla la unidad rastreadora a cada bloque área amplitud y se determina el tamaño del reflector más pequeño que muestre una indicación con una amplitud de al menos 60 %EVT y el ruido en la línea base en la región de medición menor de 20 % EVT. El cumplir con esta regla permite asegurar la adecuada operación del detector (con su unidad rastreadora) para la detección de discontinuidades mayores a la del bloque área/amplitud. Al igual que en la medición de resolución, los límites de operación adecuada del detector son definidos por el usuario. El límite sugerido es el reflector más pequeño buscado en el material a examinar a la mayor profundidad de examinación.

2.5 Ruido

El ruido puede limitar la detectabilidad de discontinuidades por enmascaramiento de las indicaciones. Su fuente puede ser eléctrica o acústica, debido a indicaciones de la estructura del material. El ruido eléctrico generalmente proviene de fuentes eléctricas o electrónicas como del mismo detector, cables, unidad rastreadora, línea de alimentación del detector, etc. El ruido acústico es aquel producido por la misma estructura granular del material (ej. porosidades), por reflexiones de la señal en la cavidad de la unidad rastreadora o por cambios de impedancia acústica en el material. El ruido (acústico y eléctrico) representa una posible

limitación del método de medición más que la propia instrumentación. Generalmente, la sensibilidad, resolución y razón señal-ruido son dependientes y deben ser evaluadas en condiciones similares. El ruido del sistema (eléctrico + acústico) es determinado por la amplitud del nivel de ruido pico en la máxima sensibilidad del detector (2.4), si es menor que 20 %EVT, o por la reducción de ganancia en dB de ruido en el reflector más pequeño disponible que genera una indicación de 60 %EVT o mayor. El ruido eléctrico está dado por el ruido a la izquierda del pulso inicial en el detector. El usuario debe definir los límites de éste, dependiendo de la amplitud de la señal que esté midiendo y la relación señal/ruido que desee obtener en su medición. Generalmente, un ruido aceptable del detector es aquél menor a 20 %EVT.

3. MEDICIÓN CONFORME ASTM E 1324

Esta medición aplica a sistemas de inspección ultrasónica pulso-eco, que constan de fuente de alimentación, pulsador, reloj y receptor, que operan en el intervalo de frecuencias de 100 kHz a 25 MHz. Se enfoca a la medición electrónica de las principales características de algunas secciones del detector. Esta práctica debe ser realizada por personal calificado en la rama eléctrica o electrónica, ya que errores de conexión pueden dañar al detector o instrumentos de calibración. ASTM E1324, recomienda las siguientes mediciones, entre otras. Los instrumentos patrón utilizados (osciloscopio, analizador, generador y atenuador) deben ser calibrados con trazabilidad a patrones nacionales.

3.1 Sección Pulsador

Sección del circuito total del instrumento que genera el pulso eléctrico usado para alimentar a la unidad rastreadora. Puede incluir controles de modificación del pulso como longitud, amortiguamiento y sintonización. Para realizar esta medición se realiza el arreglo mostrado ([ver Figura 5](#)). Se conecta la sección del pulsador al osciloscopio usando una punta atenuadora 50X o 100X, así como al analizador de espectros. Son determinadas las características del pulso eléctrico que alimenta la unidad rastreadora (transductor), como forma, duración, tiempo de elevación, amplitud y espectro en frecuencia. Esta medición permite monitorear la alimentación eléctrica aplicada a la unidad rastreadora. Un cambio en el pulso con respecto al indicado por el fabricante o en la calibración anterior

puede ser indicativo de una inadecuada operación del pulsador del detector ultrasónico de fallas.

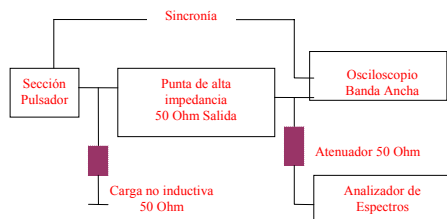


Figura 5 Arreglo para mediciones de pulsador

3.2 Sección Receptor

Sección del circuito total del instrumento que amplifica o modifica, o ambos, los pulsos de radio frecuencia (RF) recibidos de la unidad rastreadora. Incluye: amplificadores RF, detectores, amplificadores, supresión, filtros, etc. Se determina:

Linealidad Vertical

Se realiza con la conexión mostrada (ver Figura 6), luego con el generador se produce un tono de envolvente rectangular, con la frecuencia correspondiente al intervalo del instrumento. La amplitud de la señal no debe exceder la máxima recomendada del fabricante del instrumento. Se debe asegurar que el receptor no se encuentre enviando señales que puedan dañar al generador. Variar la salida del generador o el atenuador para producir una deflexión del instrumento de 5 %EVT a 100 % EVT en incrementos de 5 %EVT. Registrar y graficar la *amplitud de la deflexión vs la amplitud de entrada* (ver Figura 7). Si el detector presenta una no linealidad pronunciada, podría ser un indicativo de mal funcionamiento; y tendría que evitarse operarlo en ese intervalo.

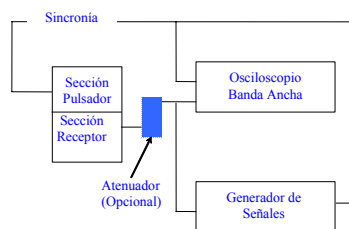


Figura 6 Arreglo para mediciones de receptor

Respuesta en Frecuencia

Mantener el arreglo de instrumentos anterior. Utilizar el control de retraso para colocar la señal en el centro de la pantalla. Utilizando los controles de ganancia del instrumento y el generador, ajustar la amplitud de la señal a 80 %EVT. Variar la frecuencia en el generador en pasos de 0,5 MHz, hasta que la indicación decrezca 10 % de su valor máximo en ambos extremos. En cada incremento

de frecuencia, el generador debe ser ajustado para mantener la amplitud de entrada al receptor constante. Registrar la amplitud de la señal y frecuencia, y graficar (ver Figura 8).

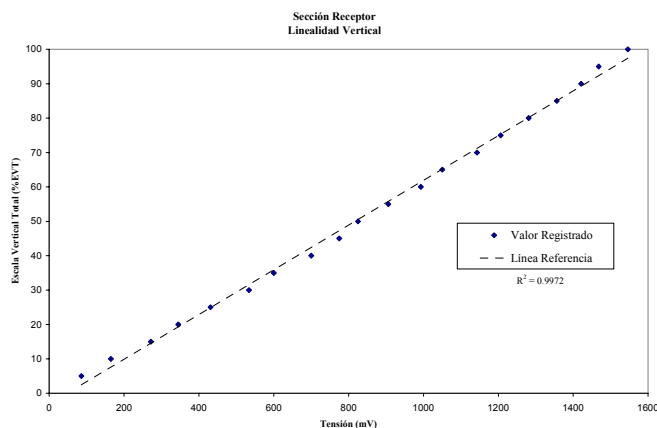


Figura 7 Linealidad vertical en el receptor

La frecuencia pico es la frecuencia en la que la indicación es máxima, y es determinada, decreciendo e incrementando la frecuencia. El ancho de banda es el intervalo en frecuencia en el cual la señal decrece 3 dB del pico. Registrar los límites superior e inferior de este intervalo. Esta curva permite comprobar que el detector es adecuado para utilizar una unidad rastreadora de cierta frecuencia de operación (su frecuencia debe estar contenida bajo la curva de respuesta).

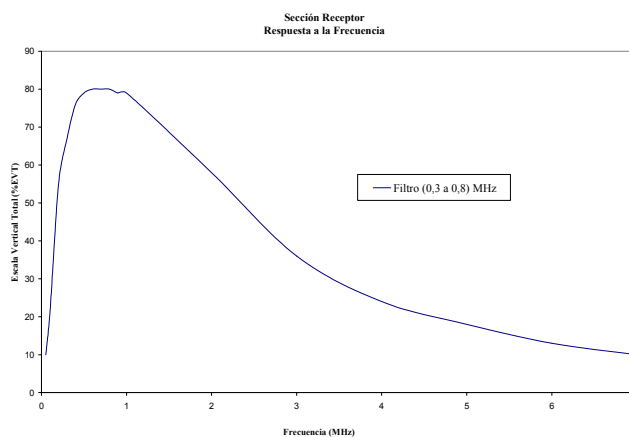


Figura 8 Respuesta en frecuencia en receptor

Controles dB

Manteniendo el arreglo de instrumentos anterior, ajustar la indicación en la mitad de la pantalla del detector, con amplitud de 50 %EVT. Incrementar la atenuación del receptor por 6 dB y reducir la atenuación externa regresando la señal a su amplitud de inicio. Realizar este paso sobre el

intervalo completo del atenuador del receptor, usando la salida del generador para regresar a la señal 50 %EVT en cada paso. Realizar una tabla o gráfica del atenuador del receptor versus el externo. Esta medición verifica que los controles de ganancia y atenuación del detector operen adecuadamente.

3.3 Sección Base de Tiempo

Esta sección provee el barrido horizontal lineal o línea base. Ésta incluye los circuitos de deflexión horizontal, reloj y retraso; que controlan la razón de repetición y posición de señales sobre la línea base. Ajustar el generador para producir un tono burst de un ciclo, con la frecuencia correspondiente al intervalo del instrumento. Ajuste el control de barrido burdo al mínimo y el fino a su posición media. Ajuste el instrumento y el atenuador para una indicación de al menos 50 %EVT al centro de la pantalla. Variar con el control de retraso en incrementos que muevan la indicación $\leq 5\%$ del ancho de barrido en cada paso. Registrar el valor de retraso en el detector, así como el del osciloscopio y graficar (ver Figura 9). Esta medición puede sustituirse por la de linealidad horizontal realizada conforme ASTM E317 y aplican los mismos criterios de la sección 2.1.

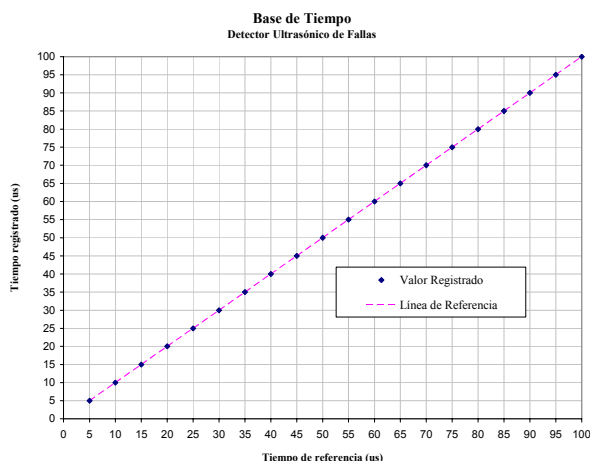


Figura 9 Linealidad horizontal en línea base

4. TRAZABILIDAD

La trazabilidad en los detectores ultrasónicos de fallas permite tener una mayor confiabilidad de las mediciones realizadas, ya que es posible conocer las desviaciones que tiene el instrumento con respecto a un valor convencionalmente verdadero, así como incrementa la certeza de que el instrumento está operando adecuadamente. Cuando existe un valor de desviación en la calibración, este valor es utilizado como factor de

corrección cuando se realizan las mediciones. De esta forma es posible disminuir el riesgo por sub-estimar o sobre-estimar la medición (e.g. la dimensión de una falla o espesor). En ocasiones, esto causa pérdidas económicas por aceptar un producto rechazado o viceversa, ya que no se tiene una medición confiable. Esto da lugar a situaciones relativamente comunes con opiniones encontradas cliente-proveedor, respecto a las características de un producto. Así mismo, es importante recalcar que el medir con un instrumento calibrado (detector) “que tiene trazabilidad o es trazable” no necesariamente significa que las mediciones realizadas con él tengan trazabilidad. La trazabilidad en la medición se presenta en el momento en que se corrigen las desviaciones estimadas del instrumento con respecto al patrón o son consideradas en la estimación de incertidumbres de la medición. A fin de tener una mayor confiabilidad en las mediciones realizadas con el detector, se deben utilizar en su calibración, patrones con trazabilidad a patrones nacionales. Existen prácticas recomendadas que son solo auto-verificaciones de los detectores. Siendo recomendable incorporar el uso de patrones calibrados, a fin de garantizar la trazabilidad de las mediciones descritas en las secciones anteriores.

CONCLUSIONES

Se describieron procedimientos de calibración de detectores ultrasónicos de fallas, basados en las prácticas recomendadas ASTM E317 y E1324, usando bloques de referencia e instrumentos electrónicos. Se resaltan algunas recomendaciones para dar trazabilidad a las mediciones realizadas con detectores ultrasónicos de fallas. Se describe la importancia de la trazabilidad y el riesgo de sub-estimar o sobre-estimar la medición de una magnitud. Se recomienda la calibración periódica de los detectores, a fin de incrementar la confiabilidad de medición.

REFERENCIAS

- [1] ASTM E317 “Standard practice for evaluating performance characteristics of ultrasonic pulse-echo systems without the use of electronic measurement instruments”
- [2] ASTM E1324 “Standard guide for measuring some electronic characteristics of ultrasonic examination instruments”
- [3] ASTM E1316 “Standard Terminology for Non-destructive Examinations”