

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE ULTRASONIDO PARA LA MEDICIÓN DE ESPESORES BAJO EL METODO DE PULSO-ECO

Resumen: *En esta guía de laboratorio se establece una metodología clara para realizar la calibración del equipo de ultrasonido USM 35X para la medición de espesores por medio de un ensayo no destructivo (END), teniendo en cuenta definiciones como frecuencia, longitud de onda y tiempo, conceptos que deben estar claros para entender y realizar la práctica. También se encuentra descrito los instrumentos que se utilizarán y el proceso de medición de espesores utilizando un patrón escalonado de acuerdo a la norma ASTM E797. Por otra parte, se va a tener en cuenta el proceso de medición Pulso-Eco y las implicaciones que trae, así como el tipo de palpador que se va a utilizar. Se recomienda verificar los elementos antes de utilizarlos, tener cuidado con el Ultrasonido y el palpador, y por último dejar los elementos limpios y en orden después de utilizarlos.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ACÚSTICA

1.1.1. ONDA ACÚSTICA

El ultrasonido es un instrumento que trabaja con ondas mecánicas y cuya frecuencia está por encima de la audición del oído humano, este instrumento como lo menciona (Vera, Dedios, & Morales, 2005) se basa en el principio del movimiento de una onda acústica que es afectada por el medio a través del cual viaja. Por otra parte, se distinguen tres diferentes tipos de ondas longitudinal, transversal y superficial (Rayleigh) según se como se muestra en la ilustración 1.

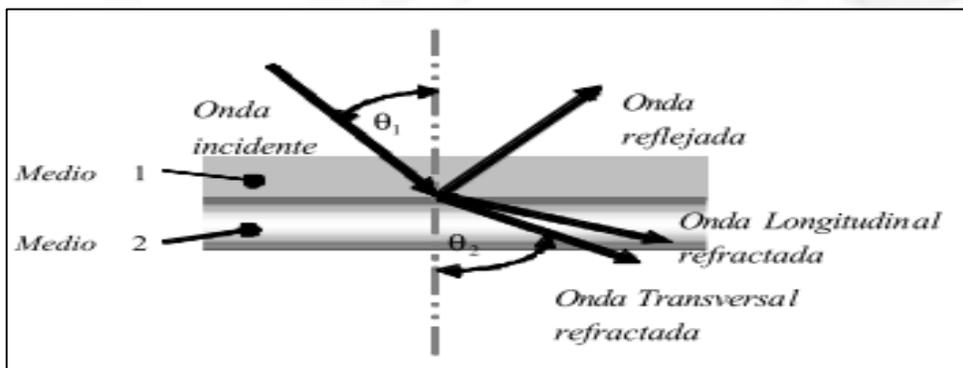


Ilustración 1. Transmisión de ondas en dos medios diferentes (Vera, Dedios, & Morales, 2005)

Este tipo de ondas ocurren debido a la variación de parámetros como paso, frecuencia, tiempo y reflexión que están relacionados con propiedades físicas y mecánicas del medio en las que se propagan, como es la dureza, módulo de elasticidad, densidad entre otros.

1.1.2. PRINCIPIO DE MEDICIÓN DEL ULTRASONIDO PARA ESPESORES

El principio del ensayo consiste en la medición de tiempos de envío y recepción de una señal sonora ultrasónica que viaja a través del medio que se va medir y que se refleja en la frontera de esta. Por lo cual, la ecuación que permite encontrar los espesores según (Alonso & Castellanos, 2010) está dada por:

$$e = \frac{c \times t}{2} \quad (1)$$

Donde

e= espesor a medir (medurado) en mm ó pulgadas

c=Velocidad de propagación del sonido del material a medir

t=tiempo de vuelo medido (tiempo de viaje de la onda)

Estos instrumentos vienen equipados con transductores que trabajan en intervalos de frecuencia de 0.25 a 25 MHz. Las ondas ultrasónicas son emitidas por un instrumento piezo eléctrico que va en la sonda del instrumento llamado palpador. A su vez, este elemento se fija contra la pared del medio para medir su espesor mediante un acoplador (gel o aceite) con el fin de garantizar un contacto regular con la superficie y lograr una transferencia limpia de la onda acústica. Posteriormente, la señal se propaga en el material a una velocidad de propagación del sonido en ese medio hasta llegar a la frontera o límite y se refleja, retornando hasta la sonda donde el transductor convierte esta información en señales eléctricas que son procesadas y mostradas de manera conveniente.

1.1.3. MÉTODO PULSO-ECO

Este procedimiento según (Rimoldi & Mundo) utiliza la porción reflejada del sonido para evaluar los defectos o conocer espesores. El cabezal piezoeléctrico funciona tanto como emisor como receptor. Debido a que la energía recibida es mucho más débil que la emitida, aquí no puede operarse sobre la base de sonido continuo y se emplean exclusivamente impulsos de sonido. Un impulso eléctrico de cortísima duración genera onda ultrasónica, inmediatamente después, mientras aún se está propagando la onda, el mismo oscilador está listo para la recepción. La

onda penetra el material hasta que, como resultado de una superficie limite, tiene lugar una reflexión total o parcial.

Puesto que se puede medir el tiempo de recorrido y se conoce la velocidad del sonido en el medio ensayado este método permite establecer la distancia que existe entre el cabezal y las superficies reflectantes, sean estas superficies de la pieza o discontinuidades internas. Por eso este método es muy utilizado, a la vez que solo existe una superficie de acoplamiento por lo que resulta mucho más sencillo mantener constante el acoplamiento

2. MATERIALES REQUERIDOS

2.1. Suministrados por el laboratorio:

2.1.1. Ultrasonido USM 35X



Ilustración 2. Equipo USM 35X

2.1.2. Cable BNC normal



Ilustración 3. Cable BNC normal



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

2.1.3. Plug Lemo Triack-BNC



Ilustración 4. Plug Lemo Triack

2.1.4. Bloque escalonado para calibración

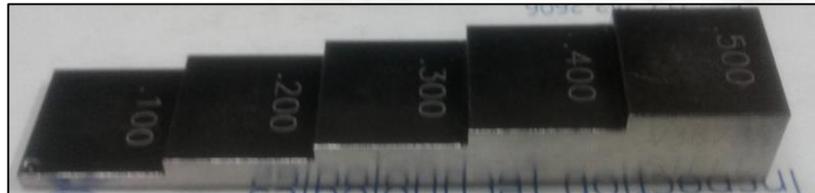


Ilustración 5. Bloque escalonado de calibración

2.1.5. Transductor Alpha-2 15MHz 0.25



Ilustración 6. Transductor Alpha-2 15MHz 0.25



2.1.6. Acoplador



Ilustración 7. Acoplante

3. OBJETIVO

Determinar los espesores del bloque de calibración en función de los datos encontrados por el palpador teniendo en cuenta la velocidad de propagación y el campo de trabajo (espesor máximo de la pieza a medir).

4. PROCEDIMIENTO

El equipo USM 35X cuenta con los siguientes elementos de manejo



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

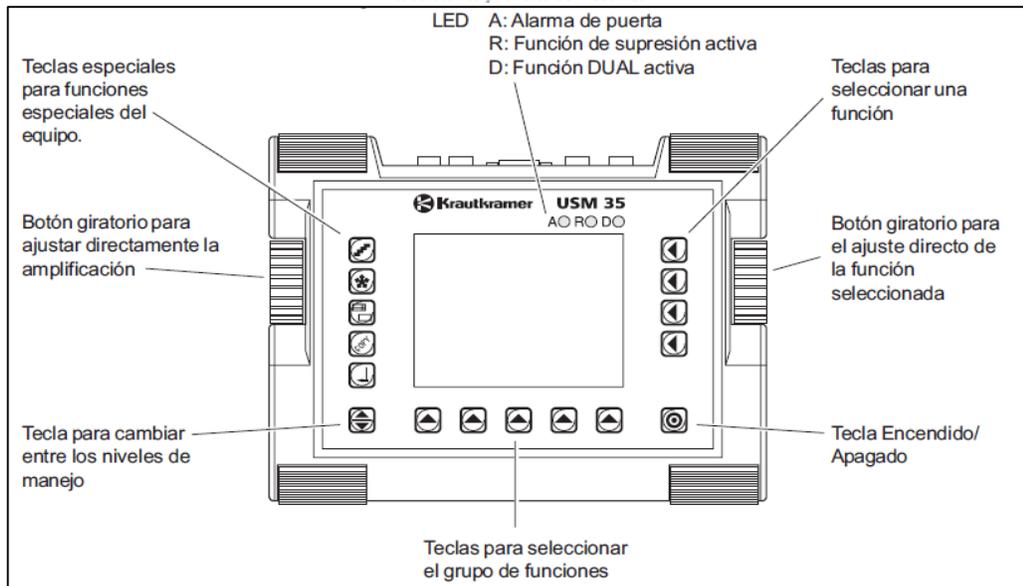


Ilustración 8. Elementos de manejo del instrumento

Funciones de la pantalla

En la parte inferior de la pantalla se muestran los nombres de los cinco grupos de funciones. El grupo de funciones seleccionado actualmente se muestra invertido.

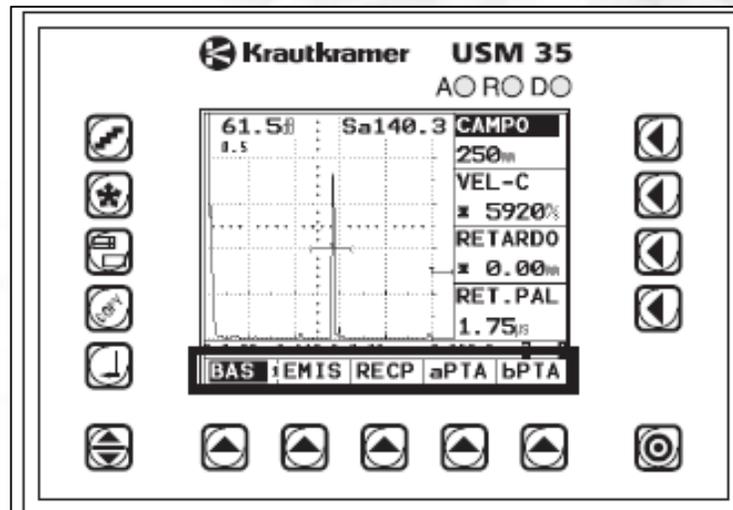


Ilustración 9. Grupo de funciones



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

En la parte derecha de la pantalla, al lado de la imagen A, se muestran las funciones del correspondiente grupo de funciones. Al trabajar en el modo ampliado desaparecen las funciones y el manejo no es posible.

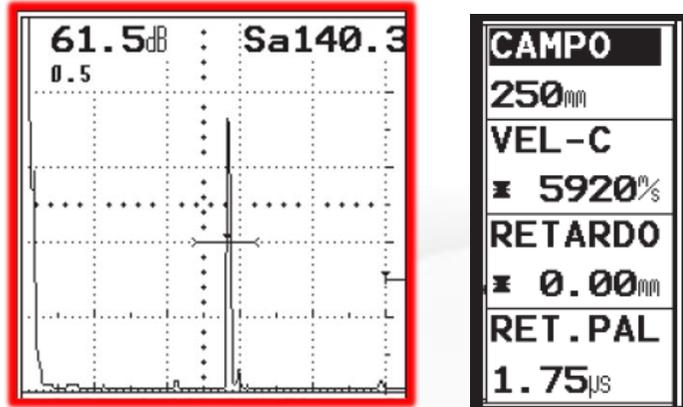


Ilustración 10. Imagen A enmarcado en rojo y Funciones del correspondiente grupo de funciones enmarcado negro

Teclas y botones giratorios

4.1. Teclas de función

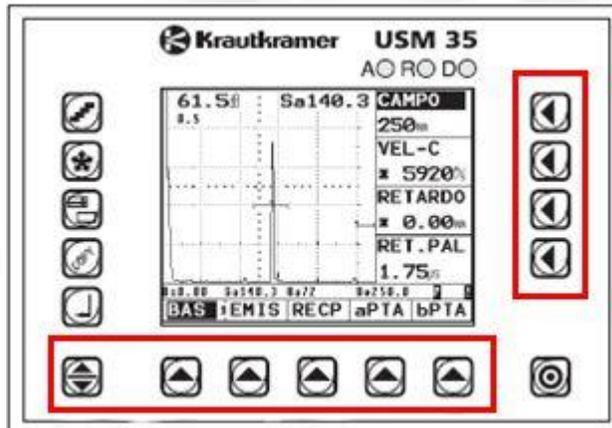


Ilustración 11. Teclas de función

	Para cambiar entre los niveles de manejo
--	--



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

	Para seleccionar grupo de funciones
	Para seleccionar y ajustar funciones, y para cambiar entre ajuste basto y fino

1.1. Tecla Encendido/Apagado

	Apagar y encender el equipo
---	-----------------------------

4.2. Teclas especiales

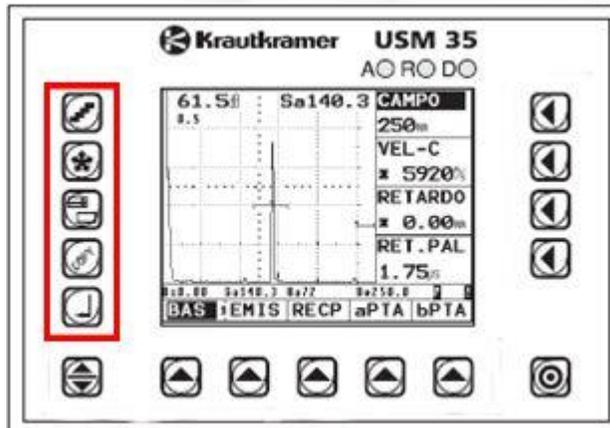
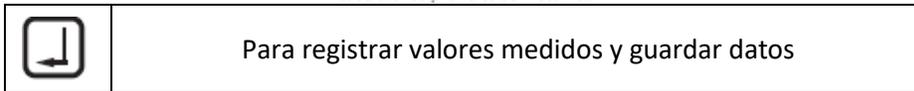


Ilustración 12. Teclas especiales

	Para seleccionar el ancho de paso del ajuste de la amplificación
	Para detener la Imagen A
	Para mostrar la Imagen A ampliada
	Para transmitir datos



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica



4.3. Botones giratorios

El USM 35X está provisto de dos botones giratorios de mando. Con el botón giratorio izquierdo se ajusta directamente la amplificación; el botón giratorio derecho sirve para ajustar la función seleccionada en cada caso. Con ambos botones puede efectuar ajuste paso por paso como también ajustes acelerados. El ajuste paso por paso se efectúa accionando ligeramente el botón giratorio, que se enclava en el paso siguiente. Para el ajuste acelerado, accione continuamente el botón giratorio, es decir con una velocidad constante. De esta manera puede pasar rápidamente entre ajustes muy diferentes.

4.4. Concepto operacional

El ultrasonido **USM 35X** es un equipo fácil de manejar. Dispone de tres niveles de manejo, entre los que se cambia con la tecla . El número sobre la línea de separación entre el primer y el segundo grupo de funciones le muestra el nivel de manejo en que actualmente se encuentra.

Cada nivel de manejo contiene cinco grupos de funciones.

Primer nivel de manejo



Ilustración 13. Primer nivel de manejo

Segundo nivel de manejo



Ilustración 14. Segundo nivel de manejo

Tercer nivel de manejo



Ilustración 15. Tercer nivel de manejo



4.5. Seleccionar y ajustar funciones

Debajo de la Imagen A encontrará los cinco grupos de funciones de un nivel de manejo, seleccionables directamente con la tecla  correspondiente. El grupo de funciones seleccionando se representa invertido, y las cuatro funciones del mismo se representan a la derecha de la Imagen A.

Las funciones individuales también se seleccionan directamente con las teclas  correspondientes.

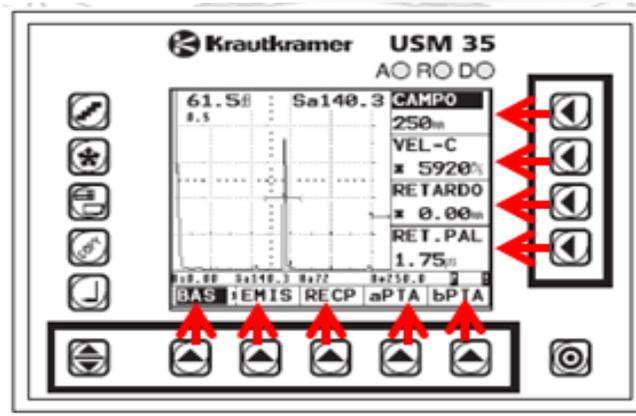


Ilustración 16. Teclas para funciones correspondientes

4.6. Conectar el cargador al equipo **USM35x** teniendo en cuenta que se debe retirar la tapa de conexiones y tener precaución al momento de conectar el plug del cargador de tal manera que el punto rojo del plug coincida con la línea roja del zócalo.



Ilustración 17. Zócalo del ultrasonido y plug del cargador



Ilustración 18. Conexión del cargador

4.7. Luego conectar el cargador a la red eléctrica.

4.8. Seleccionar el transductor **Alpha-2 15MHz 0.25**



Ilustración 19. Transductor

4.9. Seleccionar el cable **BNC** normal



Ilustración 20. Plug BNC normal



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

- 4.10. Seleccionar el plug Lemo Triack-BNC



Ilustración 21. Plug Lemo Triack-BNC

- 4.11. Conectar el cable BNC al transductor o palpador



Ilustración 22. Conexión cable BNC al transductor

- 4.12. Posteriormente conectar el cable **BNC** al plug **Lemo Triack-BNC**, teniendo en cuenta que es necesario girarlo una vez se encuentre la guía para asegurar una buena conexión.



Ilustración 23. Conexión Cable BNC con Plug Lemo-Triack



- 4.13. Insertar el plug en el zócalo Lemo Triack de anilla roja (receptor).



Ilustración 24. Conexión plug al zócalo Lemo Triack de anilla roja (receptor)

- 4.14. Encender el dispositivo



Ilustración 25. Encendido del dispositivo

- 4.15. Antes de efectuar cualquier tipo de medición, verifique las siguientes configuraciones:

4.15.1. Ajustes de idioma

- Vaya al tercer nivel de funciones pulsando dos veces el botón .
- Seleccione la función **DIALOG** pulsando el primer botón .
- Gire la perilla del lado derecho hasta que encuentre el idioma deseado.

4.15.2. Ajuste de unidades

En esta guía se utiliza como unidad de longitud las pulgadas, debido a que las medidas del bloque de calibración están en esta unidad.

- Diríjase al tercer nivel de funciones pulsando dos veces el botón 
- Pulse dos veces el botón que aparece como **DIALOG** con el botón correspondiente , allí se desplegará la función **UNIDAD**.
- Una vez allí se modifican con la perilla derecha a las unidades que se deseen manejar. El ultrasonido maneja dos opciones: trabajar en pulgadas (sistema ingles), o trabajar en milímetros (sistema internacional).

Si desea realizar un **ajuste fino** debe asegurarse de que aparece un símbolo al lado del valor, tal como se muestra en la ilustración 17. De no ser así proceda a pulsar de nuevo el botón  correspondiente al valor que desea variar.

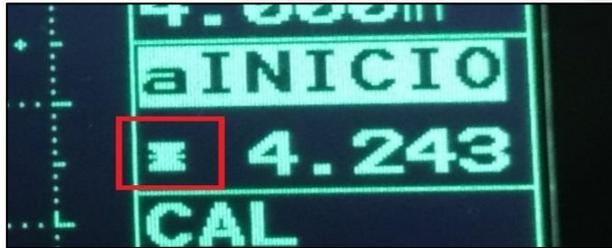


Ilustración 26. Símbolo de ajuste fino

Si por el contrario desea un **ajuste más rápido** proceda a pulsar el botón  hasta que desaparezca el símbolo de ajuste fino.

Una vez entendido los elementos de manejo del equipo se procede a realizar los siguientes pasos:

- 4.16. Elegir el bloque escalonado para calibración de espesores

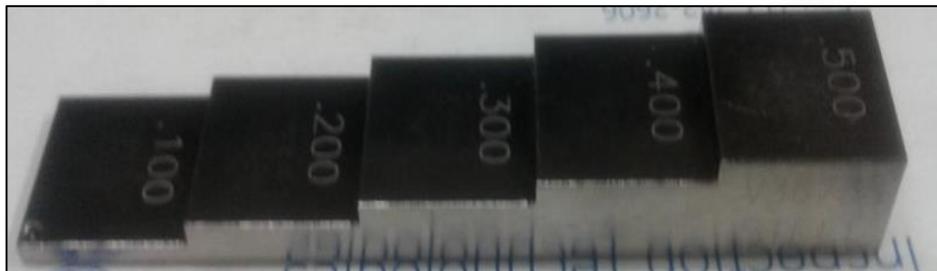


Ilustración 27. Bloque escalonado para calibración



- 4.17. Aplicar abundante gel sobre los escalones del bloque.



Ilustración 28. Bloque con acoplante (gel)

- 4.18. En el cuadro de dialogo que aparece en el display, se encuentra el grupo de manejo 1, seleccione la función **BAS** con la tecla  correspondiente, y a su vez la función **CAMPO** con su respectiva tecla . Esta deberá ser modificada de acuerdo al espesor máximo de la pieza (en este caso 0.5 pulg). Para realizar esto, se utilizará la perilla derecha hasta llegar al valor deseado. Si necesita hacer un ajuste más rápido, es decir, que el valor al girar la perilla aumente rápidamente, diríjase a “**Ajustes de unidades**” (punto 4.16.2).



Ilustración 29. Selección de la función BAS y modificación de la función campo

- 4.19. Es necesario modificar también la velocidad del sonido en el material, que en este caso será el del acero (233 in/ms). Para ello pulsaremos el botón  correspondiente a **VEL-C**, para luego, con la perilla derecha modificar el valor hasta el valor requerido.



Ilustración 30. Selección y cambio de la función VEL-C

- 4.20. Una vez realizado el cambio de la velocidad del sonido según el material, se procede a configurar el ajuste de la ganancia, para ello con la perilla izquierda cambie el valor hasta dejarlo en **50 dB**. Posteriormente se procede a ajustar el paso de la ganancia, para ello se pulsa el botón  que se encuentra en la parte superior izquierda hasta encontrar el valor deseado (en este caso 0.5) en la parte izquierda de la pantalla.



Ilustración 31. Cambio de la ganancia y el paso

- 4.21. Asegúrese que la función **RETARDO** y **RET. PAL** se encuentren en **0**. En el caso de que se encuentren en un valor diferente se procederá de la misma forma que en el paso anterior, sólo que esta vez se pulsarán sus respectivos botones  encontrados en la parte derecha de la pantalla y la modificación de los valores se realizará con la perilla derecha.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica



Ilustración 32. Modificación de la función RETARDO

- 4.22. Asegúrese de que la función **Sa** se encuentre activa, para verificar ello observe si en la parte superior de la pantalla aparecen las letras **Sa** tal como se muestra en la Ilustración 33. De no ser así, deberá pulsar el botón de niveles de manejo  que se encuentra en la parte inferior izquierda hasta llegar al nivel de manejo 3, donde se encuentra el grupo de funciones **MEDI**, **MSEL**, **LCD**, **CFG1**, **CFG2**. Una vez allí se seleccionará la función **MEDI** con el botón  correspondiente. A su vez se selecciona la función **S-DISP** con el botón  y se modifica con la perilla derecha hasta que aparezca **Sa**. Para terminar, es necesario volver a la función **BAS** presionando el botón de niveles de manejo .



Ilustración 33. Función Sa activa



Ilustración 34. Activación de la función Sa

- 4.23. En la pantalla encontrará el pulso inicial como se muestra en la ilustración 35. Este pulso corresponde al emitido por el palpador y no varía su señal. Es decir, si el palpador está ubicado o no en la pieza esta señal es la misma.

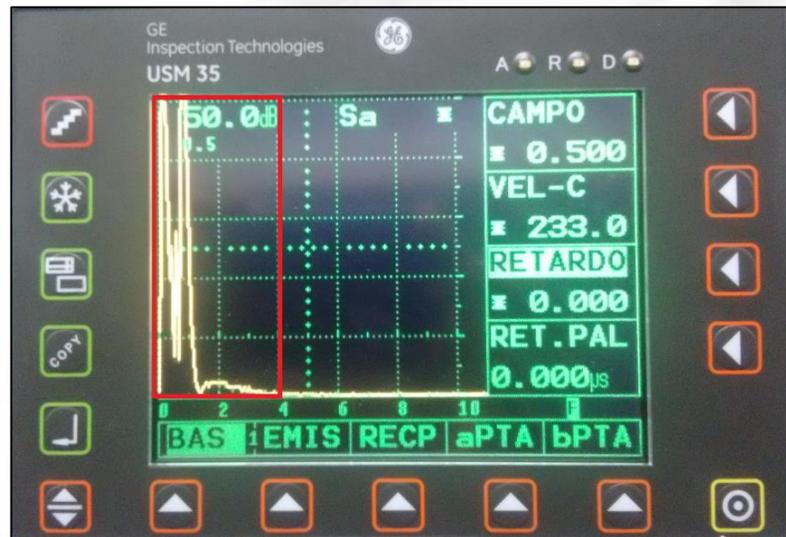


Ilustración 35. Pulso inicial

- 4.24. Posteriormente procedemos a buscar la línea de tramo inicial del palpador. Para ello se procede a ir a la función **RET- PAL** pulsando el botón  correspondiente y modificando



su valor con la perilla derecha hasta encontrar una nueva señal (señal de retardo) como se muestra en la figura 36.



Ilustración 36. Señal de retardo enmarcada en rojo

4.25. Para comprobar el correcto funcionamiento frotamos el palpador con la pieza, teniendo en cuenta que el material transparente sea el que quede haciendo contacto con el material, allí se puede observar una variación en la señal como se evidencia en figura 37. Esto significa que la señal sí está siendo enviada entre el palpador y el equipo.

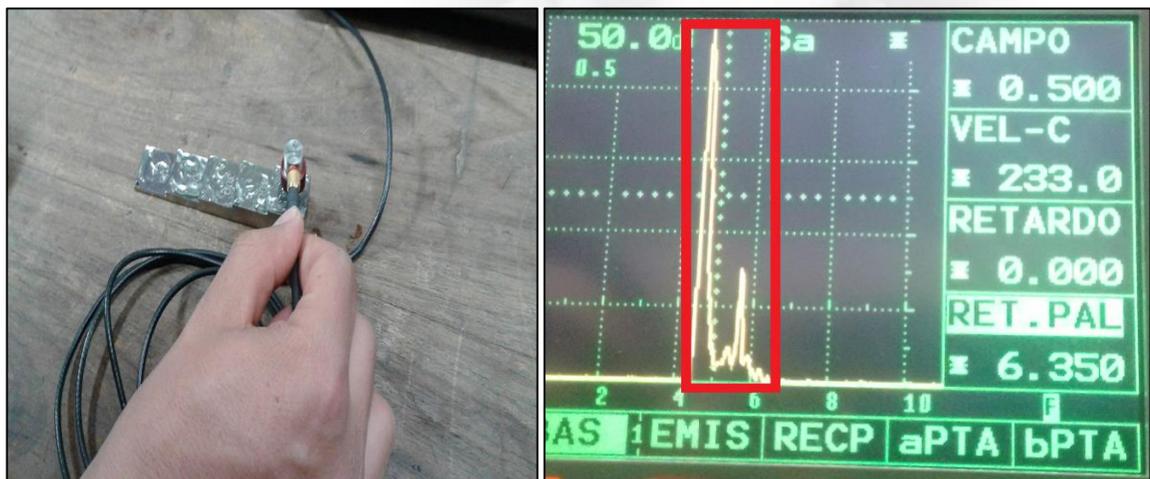


Ilustración 37. Variación de la señal de retardo enmarcado en rojo



- 4.26. Luego procedemos a modificar la función **RET-PAL** con la perilla derecha hasta dejar la señal de retardo coincidiendo con el valor **0** de la escala que se encuentra en la parte inferior izquierda. Esta escala representa el porcentaje de espesor de la pieza y tiene una equivalencia de tal manera que el 0 hace referencia al 0%, 2 equivalente a un 20%, 4 equivalente a un 40%, 6 equivalente a un 60%, 8 equivalente a un 80% y 10 equivalente a un 100%.



Ilustración 38. Señal de retardo y escala de porcentajes enmarcados en rojo

- 4.27. Teniendo el transductor en el escalón de mayor espesor (0.5 pulgadas) se procede a cambiar el ajuste de la puerta **A** en la función **aPTA** cuya labor es la supervisión de la zona de la pieza de verificación en la cual se encuentran los espesores (o defectos ya sea el caso). Para ello, primero se modifica la función **aLOGIC** (lógica de evaluación de las puertas) cuya ocupación es disparar la alarma de puerta. La alarma se emite en el LED **A** del frontal del **USM 35X**. Para ello se selecciona la función **aPTA** con su correspondiente botón , luego se selecciona la función **aLOGIC** con el botón  y se modifica con la perilla derecha hasta encontrar la opción **posit**. El ajuste **posit** (coincidencia) permite que, al sobrepasar el umbral de reacción predeterminado de la puerta en la pantalla, se emita la alarma. Si observa la pantalla usted encontrara que una **X** o en su defecto una línea de color rojo ha aparecido como se muestra en la ilustración 40.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica



Ilustración 39. Cambio del ajuste de la función aLOGIC.



Ilustración 40. Puerta A activa con ajuste posit

En caso de no observar alguno de los elementos (la X o la línea roja) se procede a ajustar el inicio de la puerta con la función **aINICIO** pulsando su correspondiente botón  hasta observar uno de los dos elementos antes mencionados

4.28. A continuación, se modifica nuevamente la función **aINICIO** que hace referencia a los puntos iniciales de la puerta y se determina dentro del campo de ajuste. Para ello se selecciona la función **aINICIO** con su correspondiente botón  y con la perilla derecha se selecciona el ajuste requerido que en este caso a un valor que se debe encontrar por delante de la línea de señal de retardo (remítase al paso 4.25). Para ello, con el palpador frotando la pieza en la parte con mayor espesor modifique la función **aINICIO** hasta que la X o la línea en la pantalla se encuentre cerca de la señal de retardo hasta no tocarla puesto que se activará la alarma, es decir el LED **A** como se muestra en la ilustración 42.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica



Ilustración 41. Puerta A en cercanías de la señal de retardo



Ilustración 42. Puerta A activando la señal de alarma LED A

4.29. Posteriormente se procede a cambiar la función **aANCHO** (ancho de puerta). Para ello, frotando el palpador con el espesor máximo de la pieza (en este caso 0.5 pulg) se pulsa el botón  correspondiente a la función **aANCHO** y girando la perilla derecha se observa que empieza a parecer una línea roja que hay que ajustar hasta dejarla sobre la señal del espesor máximo que en este caso se encuentra cerca de la escala de 10, para ello si observa la función **Sa** podrá comprobar que este valor será igual o similar al espesor máximo de la pieza, ajústelo hasta que coincida con el espesor máximo de la pieza. A su vez, se observa que la alarma se activa y el led A se enciende como se muestra en la ilustración 42.

El valor de **Sa** significa el recorrido del sonido para la puerta A y su valor se expresa en mm o pulgadas según sea el caso, esto quiere es decir que este valor representa el espesor medido por el ultrasonido. Por otra parte, la señal se encuentra en la escala de 10 puesto que esta representa el cien por ciento del espesor que ente caso equivale a 0.5 pulg.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica



Ilustración 43. Ajuste de ancho de puerta línea roja



Ilustración 44. Ancho de puerta ajustado a señal del espesor máximo y valor de Sa cercano al máximo

- 4.30. Una vez terminado el ajuste del ancho de puerta se regresa a la función **BAS** pulsando su botón correspondiente . Posteriormente se procede a realizar las mediciones de los espesores en los demás escalones, frotando el palpador en el escalón y tomando la medida del valor **Sa** y el valor de la escala de la señal más grande emitida en el punto de medición. Anexar estos valores en la tabla de resultados.
- 4.31. Por último, dejar las funciones **RET-PAL**, **aANCHO** en cero y dejar el ajuste de **aLOGIC** en **off**.



GL-SOL01

**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
Facultad Tecnológica
Laboratorios y Talleres de Mecánica

5. RESULTADOS

Espesor del escalón(Es) (pulg)	Valor de (Sa) (pulg)	Valor de la escala (%)	Porcentaje de error en el espesor $\frac{Es - Sa}{Es}$
0.5			
0.4			
0.3			
0.2			
0.1			

6. RECOMENDACIONES

Verificar el estado de los elementos antes de utilizarlos.

Dejar los elementos utilizados en la práctica limpios y en completo orden.

Proyectó	Cristian Castañeda Santiago Guzmán	Monitores académicos 2016-3
Revisó	Carlos Andrés Romero Edgar Roncancio	Auxiliares de laboratorio
Aprobó	Luini Hurtado	Coordinador Laboratorios y Talleres de Mecánica
Fecha	19/09/2017	Versión 02