

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica



Titulación Profesional Extraordinaria

TRABAJO PROFESIONAL

Para Optar el Título de:

INGENIERO ELECTRONICO

Carlos Alejandro Verano Manrique

Lima - Perú

1983

"CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA POR ULTRASONIDO"

INDICE

Introducción	1
Fundamentos de la prueba Ultrasónica	8
Naturaleza de las ondas	8
Onda Longitudinal o de compresión	9
Onda Transversal o de corte	11
Ondas Superficiales o de Rayleigh	13
Ondas de Placa o de Lamb	13
Generación de Ondas Ultrasónicas	15
Acooplamiento	16
Procedimiento de Transmisión	17
Factor de Reflexión y Transmisión	18
El procedimiento de Impulsos y sus Ecos	20
El Aparato Ultrasónico	24
Equipo de pulso-Tiempo con Barrido-A	26
Diseño de Cabezales	33
Algunas condiciones para el diseño de cabezales	33
Q. Mecánico	34
Q. Eléctrico	35
Ancho de Banda	35
Construcción del Palpador normal	36
Abreviaturas de los Palpadores normales	41
Determinación del Tamaño de Falla	43
Geometría del Campo Sónico	43
Determinación del tamaño de un reflector	
En el campo F. Blancos Grandes y Pequeños	45
Determinación del Tamaño de un Reflector Grande	46

Determinación del Tamaño de un Reflector Pequeño	48
Método D.G.S.	49
Aplicación del Diagrama D.G.S.	51
Posibilidad de Detección de los Defectos	54
Medición de Espesores	56
Límites de la Medición	57
Estudio de una Chapa	59
Selección de Palpadores	60
Método S.E.	60
Haces sonoros del Palpador S.E.	63
Ajustes del Palpador S.E.	64
Medición de Espesores con S.E.	66
Exactitud de la Medición	66
Abreviaturas de los Palpadores S.E.	66
Teoría Del Destello Angular	68
Diseño de Palpadores con Destello Angular	73
Calibración con Palpadores Angulares	75
Determinación de la situación de los defectos	81
Comprobación de Cordones de Soldadura	88
Calibración del Equipo Ultrasónico	90
Defectos Típicos que se Producen en Soldadura	91
Posibilidad de Detección de Defectos	
Internos en Soldadura mediante Ultrasonidos	92
Comportamientos de los Defectos Típicos en soldadura al ser tocados por un haz de ultrasonidos.	

Determinación de la Extensión de los Defectos	
Grandes	102
Examen de uniones	105
Uniones de Tope Planas	105
Uniones a Tope en Superficies Cilindricas	105
Conclusiones	112

INTRODUCCION

Hay varios métodos para hacer pruebas no destructivas estos métodos dan pautas sobre prácticas seguras de trabajo y consisten en técnicas que se pueden usar para evitar accidentes y lesiones, reclamaciones por responsabilidad del producto, para de emergencia de los equipos, pérdidas de producción y para el mejoramiento y mantenimiento de la calidad del producto.

Además, al ayudar a determinar la causa del fallo de los equipos y de los productos.

Estos métodos pueden contribuir al mejoramiento del diseño de los equipos, de los productos o del sistema del proceso. Como podemos ver compleja y responsable es sin duda la misión de quienes esten a cargo de la supervisión de empresas u obras donde tienen que garantizar el producto y que las construcciones se encuentren dentro de los límites cualitativos exigibles en función a las características de la obra, detectando los defectos que invaliden o disminuyan las propiedades que han de reunir las construcciones y productos.

Los métodos de pruebas no destructivas, tienen ciertas ventajas y algunas limitaciones en cuanto a su alcance y sensibilidad. Uno se puede suponer a otro en cuanto al alcance de su aplicación.

Se deben entender estas ventajas y limitaciones antes de que se pueda especificar la clase más efectiva de prueba para hacer una aplicación en particular.

Entre los métodos más usados de prueba no destructiva tenemos:

RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

La Radiografía Industrial consiste en obtener una imagen de un objeto por la acción de rayos x ó gamma.

Estos rayos utilizados en radiografía industrial son ondas electromagnéticas de la misma naturaleza que las ondas de radio o de televisión y que la radiación luminosa, pero de frecuencia y por lo tanto de energía mucho más alta.

Los rayos x y gamma, siendo de igual naturaleza se diferencian por su origen.

Los rayos x se originan por excitación de la envoltura electrónica del átomo mediante bombardeo con electrones acelerados, o por desaceleración de dichos electrones en el campo de atracción nuclear.

Los rayos gamma tienen su origen en el seno del núcleo atómico de los radioisótopos produciéndose en forma espontánea según las leyes del decaimiento radiactivo. Generalmente los rayos gamma cubren rangos de energía más estrechos.

Entre las propiedades de interés debemos recordar que las radiaciones x o gamma.

Se propagan en línea recta no siendo desviadas por campos eléctricos ni por campos magnéticos.

- Ionizan los gases.
- Excitan radiación fluorescente en ciertos compuestos químicos.
- Sensibilizan las emulsiones fotográficas.
- Dañan los tejidos vivos y no son detectadas por nuestros sentidos.

- Atraviesan todos los materiales incluso los opacos a la radiación luminosa, sufriendo una absorción o pérdida de energía en relación con los espesores o densidad de material atravesado.

Entre sus ventajas tenemos:

- Procedimiento muy sensitivo.
- Localiza discontinuidades interiores.
- Deja un record permanente.

Entre sus limitaciones tenemos:

- No detecta discontinuidades, laminaciones perpendiculares al haz.
- Equipo costoso, pesado y peligroso.
- Toma demasiado tiempo.

TINTAS PENETRANTES

Este método se utiliza para detectar defectos abiertos a la superficie en cualquier tipo de material, siempre que este no sea muy poroso.

Basicamente, el fundamento físico-químico de operación del sistema de inspección por líquidos penetrantes es el siguiente:

Un líquido coloreado, que desde ahora denominaremos "El Penetrante", se aplica sobre la superficie de la pieza a inspeccionar; con tiempo suficiente el líquido tiene la propiedad de introducirse y penetrar en el defecto o grieta; a continuación se limpia la superficie para eliminar el sobrante de penetrante. Al limpiador lo llamaremos "El Eliminador". Por último, sobre la misma superficie se aplica un polvo que llamaremos "El Revelador".

El polvo tira (absorbe) del líquido coloreado que se

introdujo en el defecto, extrayéndolo hasta la superficie y reproduciendo una indicación y marca visual del defecto o grieta.

Quedando entonces perfectamente visible o identificable al ojo humano.

La ventaja de este método es que es fácil, rápido, confiable y portátil.

Entre sus desventajas tenemos que:

- Por este método sólo se detectaran defectos que estan abiertos o tengan apertura a la superficie del material
- No deja record permanente.

PARTICULAS MAGNETICAS

Este método se utiliza para detectar discontinuidades en la superficie o sub-superficie hasta una profundidad de 1/4" en materiales ferrosos.

La operación depende de que el material este magnetizado y que las discontinuidades esten en una dirección generalmente a través de la dirección del campo magnético para que en la superficie se forme un campo cortado o interrumpido. Ante la presencia de este campo la discontinuidad es detectada por el uso de finas partículas ferrosas que son aplicadas sobre la superficie del objeto.

Algunas de estas partículas son alineadas, amontonadas y retenidas por este campo de tal manera que muestran la discontinuidad, indicando su localización, tamaño, forma y extensión.

La ventaja de este método es que es fácil, simple, rápido y portátil.

Entre sus desventajas tenemos:

- La geometría del material puede dificultar su aplicación.
- Solo se aplica a material ferromagnético.

ULTRASONIDO

La inspección ultrasónica es un método rápido y confiable de prueba no destructiva que emplea ondas sonoras de alta frecuencia producidas electrónicamente que pueden penetrar metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios cientos de metros por segundo.

Los métodos ultrasónicos de inspección se adaptan particularmente a las pruebas para determinar la integridad estructural de materiales de ingeniería, sus principales aplicaciones consisten en:

- a) Detección de fallos
- b) Medición de espesores
- c) Determinación de módulos de elasticidad
- d) Estudio de estructuras metalúrgicas
- e) Evaluación de la influencia que tienen las variables del proceso sobre el espécimen.

Las tres últimas aplicaciones no son aplicables a la integridad del material.

APLICACIONES

Actualmente las pruebas técnicas ultrasónicas se usan para:

- Detectar costuras solapadas, hendeduras, laminaciones, inclusiones, grietas y otros defectos en láminas de acero.

- Localizar porosidades, acoplamientos, roturas internas e inclusiones no metálicas en barras de acero y lingotes de distintos tamaños.
- Localizar rajaduras, ampollas, penetraciones insuficientes, falta de fusión y otras discontinuidades de las soldaduras.
Inspeccionar piezas forjadas, tales como ejes y rotores de turbina.
Inspeccionar espigas de las roldanas de las gruas, crucetas, ejes, engranajes, ganchos muñones de cucharones, cubos de los talones de las plumas, abrazaderas y piezas estructurales de la pluma.
- Inspeccionar torres, plataformas de perforación montacargas y equipos especiales para plataformas de lanzamientos espaciales.
- Inspeccionar líneas de lechada de altos hornos, campanas; recipientes de zinc.
Inspeccionar ejes de ruedas y rieles de ferrocarril y piezas de acero en la armazón de edificios.
- Detectar si hay corrosión en los tanques de combustible de los aviones de reacción.
Inspeccionar trenes de aterrizajes primarios y secundarios, ruedas eslabones de torsión, cilindros externos de lubricación etc.
Probar líneas de cañerías cargadas en refinerías y plantas químicas así como recipientes de presión.
- Inspeccionar reactores nucleares.

VENTAJAS

Entre sus ventajas tenemos:

- Versatibilidad.- Los aparatos de control son fácilmente transportables.

- Respuesta rápida.- Se tiene inmediatamente el resultado de control.

Exactitud.- La situación de los defectos puede ser determinada con bastante exactitud así como también puede estimarse su tamaño.

Poder de penetración.- Se puede controlar piezas con un espesor de pared prácticamente ilimitado.

El campo de exámen abarca la gama comprendida entre aproximadamente: 1mm - 10m.

- Alta sensibilidad.- El procedimiento de control es muy sensible por lo que se puede determinar los defectos muy pequeños.

Bajo costo.- Los gastos son relativamente pequeños.

DESVENTAJAS

- El resultado del control no puede ser documentado suficientemente.

Geometría y condición de prueba del material incluyendo tamaño, complejidad de contornos.

Defectos de orientación, estructura interna, tamaño del grano, etc.

- La determinación de la clase de defecto ofrece de vez en cuando cierta dificultad.

Las exigencias en cuanto a la experiencia.

La responsabilidad y la eficacia de los encargados del control, son relativamente elevadas.

FUNDAMENTOS DE LA PRUEBA ULTRASONICA

NATURALEZA DE LAS ONDAS

El ultrasonido no se diferencia en cuanto a sus características fundamentales, del sonido perceptible a través del oído. En otras palabras representa un movimiento de la materia.

Y que es lo que se mueve en esta materia?

Supongamos que esta materia se compone de pequeñas partículas unidas entre sí por medio de una fuerza elástica. Partiendo de su posición fija (fig.1) si se empuja una partícula, esta empieza a oscilar y comunica su energía a las partículas vecinas, la energía se propaga, por tanto a través de las partículas individuales por la materia. El número de oscilaciones o vibraciones de las partículas nos informa si se trata de sonido perceptible por el oído humano o de ultrasonido.

En el sonido perceptible por el oído, el número de oscilaciones es inferior a 20,000 c/seg. mientras que el ultrasonido es superior a 20,000 c/seg.

Estos 20,000 hz. como límite entre el ultrasonido y el sonido perceptible ha sido fijado arbitrariamente.

En la prueba de materiales por ultrasonido, las frecuencias usadas están en el rango de .25 y 25 MHz.

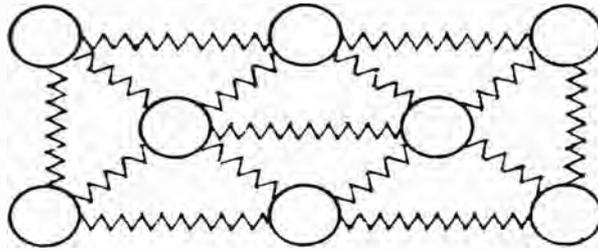


Fig. 1

ONDA LONGITUDINAL O DE COMPRESION

El movimiento de las partículas se propaga en la materia de una determinada forma y dirección se origina una serie mecánica de ondas, bien en forma de onda longitudinal o transversal.

En una pieza a verificar, la onda longitudinal se consigue al empujar en sentido vertical a la superficie, las partículas allí presentes.

El primer plano de partículas es puesto en movimiento y trasmite la energía de movimiento a los planos siguientes de partículas. Si todas las partículas estuviesen unidas firmemente entre sí, se pondrían todos los planos de partículas simultáneamente en movimiento, es decir, sus movimientos serían de una misma fase.

Como las partículas, en realidad, están unidas elásticamente entre sí, los planos siguientes de partículas se retrasan en su movimiento y se produce una imagen que se asemeja a la fig. 2.

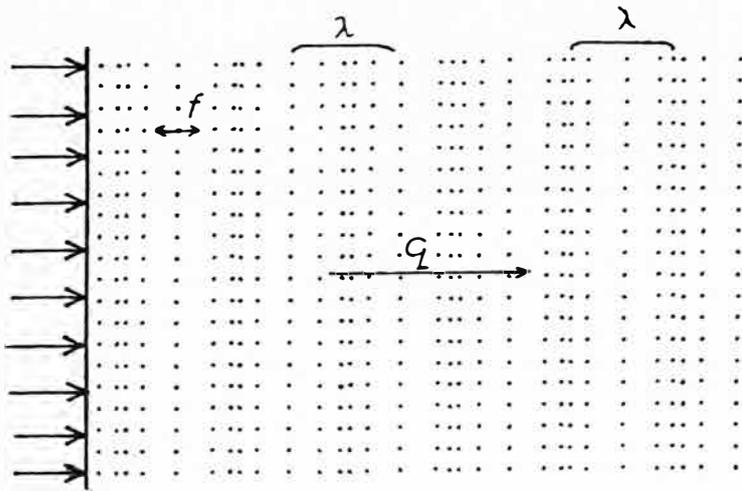


Fig. 2

En distancias uniformes se originan unas compresiones donde los planos de las partículas están extremadamente juntos. Entre las compresiones se producen zonas atenuadas donde los planos de las partículas están muy separados. Las distancias entre cada dos compresiones o cada dos zonas atenuadas son iguales y se denominan como longitud de onda λ de la onda longitudinal.

Ahora si nos imaginamos el proceso dinámico de la onda longitudinal en propagación, entonces veremos que las compresiones y zonas atenuadas pasan por el objeto a verificar a base de una distancia constante.

La velocidad con que se verifica este proceso es la velocidad de propagación C_L de la onda longitudinal.

Esta velocidad de propagación representa una constante de cada material.

Aparte de la longitud de onda y la velocidad de propaga-

ción del sonido, existe en los movimientos de las ondas, todavía, una tercera magnitud de interés, que es la frecuencia F .

La frecuencia indica el número de oscilaciones que realiza cada partícula por segundo. La elección de la frecuencia correcta es de mucha importancia para el control de materiales por ultrasonidos.

Las tres magnitudes definidas están relacionadas entre sí a través de la siguiente fórmula matemática:

$$C_l = \lambda \cdot F$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación del sonido es una constante del material, se comprende fácilmente que al elegir una determinada frecuencia, se fija también automáticamente la longitud de onda.

ONDA TRANSVERSAL O DE CORTE

En un objeto a verificar, la onda transversal se origina al empujarse en dirección paralela a la superficie las partículas allí presentes.

En este caso las partículas guardan la misma distancia entre sí y los planos de partículas se desplazan lateralmente entre sí fig. 3

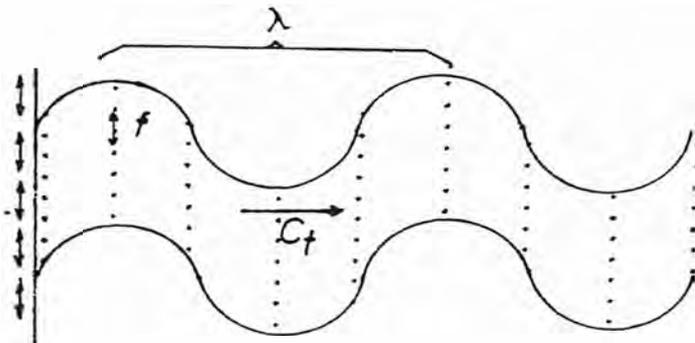


Fig. 3

Entre los planos de partículas accionan unas fuerzas netamente de empuje. Si se unen los puntos finales de los planos, se consiguen unos máximos y mínimos de ondas. Al observar el movimiento dinámico de la serie de ondas, se verá que tanto los máximos como los mínimos de ondas se desplazan por el objeto a verificar a base de una distancia constante.

La distancia entre dos mínimos sucesivos de ondas ó dos máximos sucesivos de ondas es la longitud de onda λ de la onda transversal.

La velocidad con que se desplazan los máximos y mínimos por el material, equivale a la velocidad de propagación del sonido C_t de la onda transversal.

Esta velocidad del sonido es una constante y difiere considerablemente de la onda longitudinal.

La frecuencia F indica también el número de oscilaciones por segundo de las partículas de la materia. Las tres magnitudes están relacionadas por la misma ecuación anterior. Otra diferencia entre ambas clases de ondas es que en la onda longitudinal las partículas de la materia oscilan en dirección a la propagación de las series de ondas, mientras que en la onda transversal las partículas de la materia oscilan en sentido vertical a la dirección de propagación. Como para conseguir la propagación de las ondas transversales es imprescindible transmitir fuerzas de empuje, lo cual no es factible en líquidos y gases, por lo tanto la velocidad de propagación de las ondas transversales en agua y aire es equivalente a 0.

ONDAS SUPERFICIALES O DE RAYLEIGH

Cuando las ondas transversales están confinadas a una capa de una profundidad de una longitud de onda o menos desde la superficie libre del sólido, se tiene el caso de las ondas superficiales que se propagan con una velocidad de 90% de la velocidad de la onda de corte. El movimiento de la partícula tiene un vector desplazamiento en dirección normal a la superficie y un vector desplazamiento de amplitud más pequeña paralelo a la dirección de propagación, esto da como resultado un movimiento elíptico de la partícula.

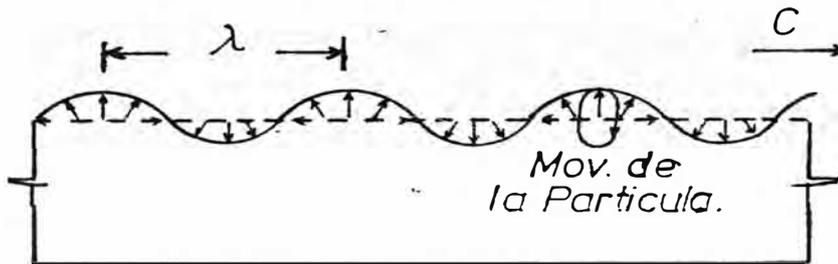


Fig. 4

ONDAS DE PLACA O LAMB

En base a trabajos de Rayleigh sobre ondas superficiales, Lamb descubrió un tipo particular de onda superficial que ocurre cuando delgadas capas de un material están sobre la superficie de otro.

En placas, cuyo espesor es aproximadamente igual a una longitud de onda existen ondas distintas a las superficiales.

Lamb investigó estas ondas de placa descubrió dos tipos

principales:

- La primera es similar a una onda de compresión y es simétrica.

La onda sobre el eje neutro de la placa es una onda con movimientos longitudinales de la partícula. El movimiento de las partículas en la superficie es elíptico. fig.5

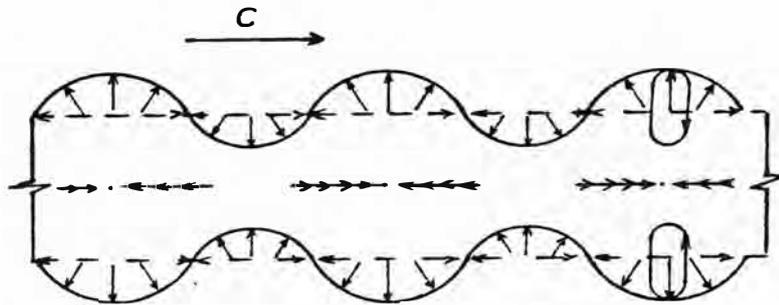


Fig. 5

La segunda es una onda del tipo de corte y es asimétrica.

La onda sobre el eje neutro de la placa es una onda con movimientos transversales de la partícula fig. 6

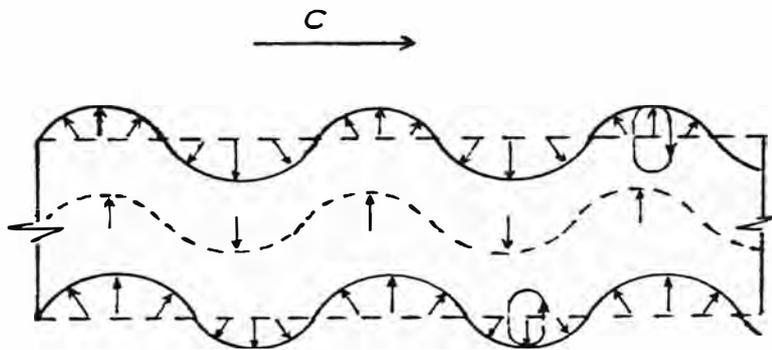


Fig. 6

GENERACION DE ONDAS ULTRASONICAS

Después de haber conocido las dos principales clases de ondas, nos preguntamos como se generán las ondas ultrasónicas.

En primer lugar hace falta un emisor que trasmita las ondas ultrasónicas de alta frecuencia necesarias para la comprobación de materiales y luego, hay que procurar que estas ondas ultrasónicas entren realmente en el objeto a verificar.

Como emisores para el control ultrasónico se utilizan materias piezo-eléctricas. Como materiales piezo-eléctricos se consideran todos aquellos que cambian su forma en el momento de surgir en sus superficies límites, potenciales eléctricos.

Hay cristales naturales y artificiales desarrollados en laboratorio que poseen un marcado efecto piezo-eléctrico. Entre los cristales de uso mas frecuente tenemos los de: cuarzo, titanato de bario, sulfato de litio, zirconato de plomo, metaniobiato de plomo, etc.

Los cristales de cuarzo se emplean en gran cantidad para la generación de ondas ultrasónicas. Del cristal de cuarzo se corta una plaquita en sentido paralelo a un determinado plano cristalográfico, se provee de dos electrodos según fig. 7.

Si se conecta una tensión continua a estos electrodos. Entonces la plaquita se hace, mas fina o mas gruesa.

Si en lugar de la tensión continua se aplica una tensión alterna, entonces la plaquita realiza oscilaciones con la

frecuencia de la tensión alterna.

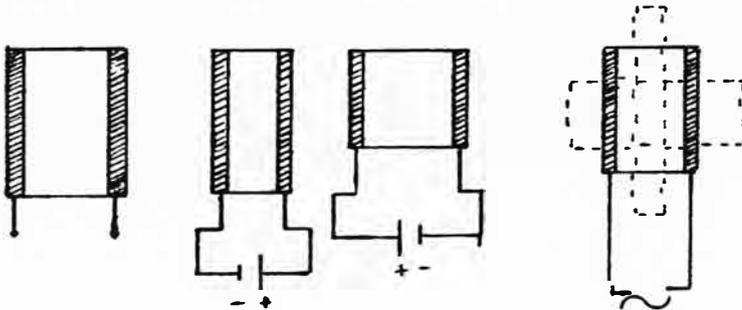


Fig. 7

Si se procura que estas oscilaciones se transmitan al objeto a controlar, se obtiene en este último una onda longitudinal continua.

- ACOPLAMIENTO

La transmisión de las oscilaciones al objeto a verificar, es decir, el acoplamiento correcto de la plaquita de cuarzo, unicamente es factible si no existe aire entre la plaquita de cuarzo y la superficie de la pieza a controlar. Este aire se elimina, interponiendo entre la plaquita y la superficie del objeto un líquido que en la mayoría de los casos es agua ó aceite fig. 8

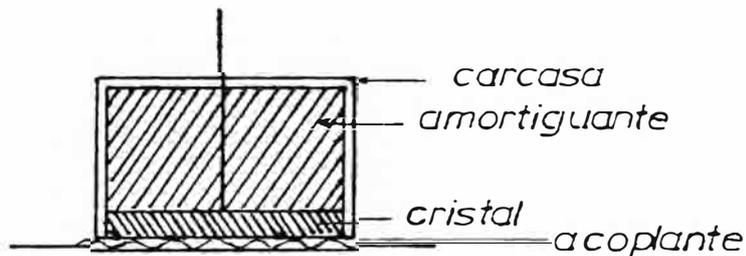


Fig. 8

La plaquita piezo-eléctrica va alojada, juntamente con el material amortiguante y las conexiones necesarias en una pequeña carcasa metálica. Este emisor ultrasónico se denomina corrientemente palpador.

PROCEDIMIENTO DE TRANSMISION

Después de haber introducido una onda longitudinal en un objeto a verificar, por medio de una tensión alterna del palpador y através del medio necesario de acoplamiento, es imprescindible medir la presión sonora en cualquier punto para poder sacar nuestras conclusiones en cuanto al estado de la pieza.

La medición de la presión del sonido puede efectuarse en el lado posterior de la pieza a verificar fig. 9 .

Como receptor de la presión del sonido sirve un palpador de idéntica construcción que el cabezal emisor.

Si se acopla el palpador emisor con un poco de aceite a la pared posterior del objeto a verificar, la plaquita piezo-eléctrica recibe las variaciones de la presión sonora y se genera en sus electrodos la correspondiente tensión eléctrica alterna; esta tensión alterna proporcional a la presión del sonido se mide en un instrumento eléctrico. En el palpador receptor se produce el así llamado piezo-efecto, mientras que los procesos producidos en el palpador emisor se consideran como piezo-efectos a la inversa.

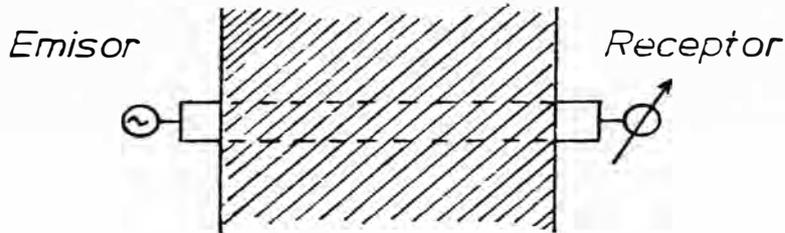


Fig. 9

FACTOR DE REFLEXION Y DE TRANSMISION

La disposición anteriormente descrita representa una sencilla instalación de control por medio de la cuál puede controlarse el material situado entre el palpador emisor y el palpador receptor para detectar deficiencias.

Si el campo situada entre los dos palpadores fuese de material homogéneo fig. 10.

En este caso el instrumento de medición de la recepción señalaría una transmisión del 100%, es decir, que no existen deficiencias en el material.

Si suponemos una superficie límite entre los dos palpadores, encontrándose a la izquierda de la superficie límite el material 1 y a la derecha de la misma el material 2, entonces es fácil imaginarse que sólo una parte de la presión del sonido llega al palpador receptor, mientras que el resto es reflejado en la superficie límite fig. 11. En este caso, el instrumento de medición de la recepción señala una transmisión inferior al 100%, es decir que debe haber deficiencias.

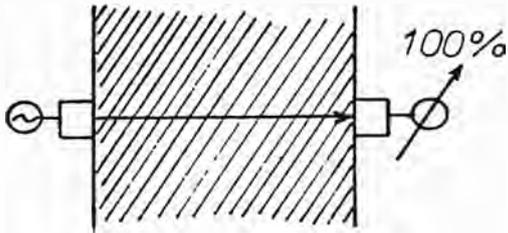


Fig. 10

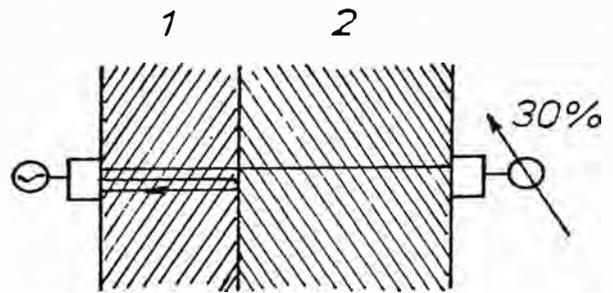


Fig. 11

La cuestión de qué cantidad del sonido pasa y qué cantidad es reflejada, depende de las dos materias 1 y 2 y precisamente de sus impedancias acústicas.

La impedancia acústica de los materiales queda definida como producto de la velocidad de propagación del sonido y la densidad de la correspondiente materia.

$$Z = P \cdot C$$

P = Densidad
C = Velocidad de Propagación del sonido.

Si la materia 1 tiene una impedancia acústica Z_1 y la materia 2 una de Z_2 , entonces resulta un factor de reflexión R y un factor de transmisión D, en consonancia con las siguientes expresiones:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad D = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

El procedimiento de control descrito anteriormente, se suele llamar sistema de intensidad o de transmisión, es utilizado para la verificación automática de objetos idénticos que surgen en grandes series.

En cambio, casi siempre, es inapropiado para las comprobaciones manuales, lo que tiene varias causas.

Por una parte, muchas veces no es accesible la parte posterior de la pieza a verificar, y además, hay que procurar que el acoplamiento sea bueno en dos sitios distintos.

Por otra parte, no se obtiene ninguna respuesta en cuanto a la profundidad de una deficiencia en un determinado objeto.

EL PROCEDIMIENTO DE IMPULSOS Y SUS ECOS

Las desventajas mencionadas anteriormente no existen en el procedimiento de impulsos y sus ecos, por lo que todos los aparatos a manejar manualmente trabajan por este sistema.

Las razones para su adaptación han sido las siguientes:

Como los palpadores emisores no se distinguen en nada de los receptores, empleamos un sólo cabezal para emitir y recibir. Por este motivo se desiste del segundo palpador receptor en el lado posterior de la pieza sometida a verificación.

Por lo tanto nos vemos obligados a medir aquella parte de la presión ultrasónica que ha sido reflejada, en lugar de hacerlo con la parte que ha pasado. fig. 12.

Para conseguir una medición correcta es imprescindible que el palpador no emita durante la misma.

Por esto se ha desistido de emplear la emisión de un haz continuo, en su lugar se emplea impulsos ultrasónicos.

Por lo tanto, el palpador trabaja primeramente como emisor, transmitiendo un impulso sonoro, al regresar aquella parte

del impulso reflejada en una superficie límite, el palpador trabaja como receptor que hace seguir al instrumento de medición la tensión de impulso recibido y reflejada. A continuación, el palpador emite el próximo impulso ultrasónico.

Otra ventaja es que se puede medir el tiempo de recorrido t de los impulsos hasta un reflector y su vuelta desde allí, y determinar, a raíz de este tiempo de recorrido, la distancia del reflector. Fig. 13.

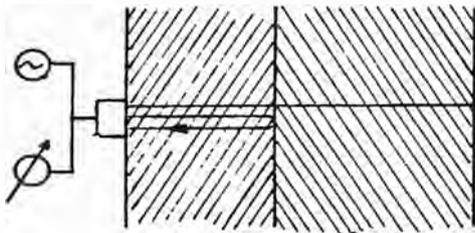


Fig. 12

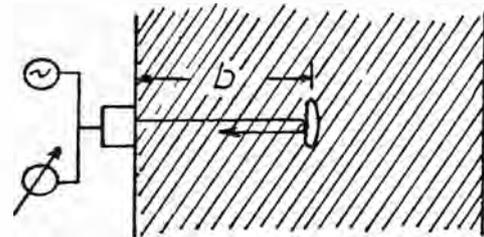


Fig. 13

Normalmente existe solamente una clase de material entre el palpador y el reflector, y los impulsos recorren dicho material a base de una velocidad constante, la distancia b que se encuentra el reflector del palpador puede calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

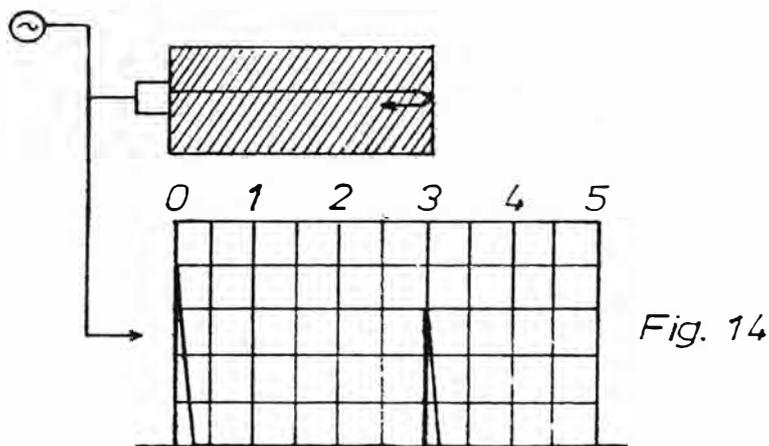
$$b = \frac{1}{2} C.t$$

Para poder aplicar este método nos hace falta un aparato de medición que haga las veces de voltímetro y cronómetro. El oscilógrafo es tal instrumento de medición. Si hacemos que el punto luminoso se desplace con velocidad constante

por la pantalla, desde el lado izquierdo hasta el derecho, deflexionándolo con el impulso de emisión y con el impulso de reflexión en sentido vertical, entonces, y al haber elegido correctamente la velocidad de desplazamiento del punto luminoso, obtenemos en la pantalla una línea, base de tiempo y dos picos. Fig. 14.

El primer pico corresponde al impulso de emisión y el segundo al primer impulso que ha quedado reflejado.

En los impulsos reflejados se habla generalmente de ecos. Si el eco procede de la pared posterior del objeto sometido a verificación, se habla del eco de fondo. Si el eco procede de cualquier punto situado entre la superficie y la pared posterior de la pieza, se habla del eco intermedio.



La distancia entre el impulso de emisión y el eco de fondo corresponde al espesor de la pieza verificada.

Por lo tanto podemos dividir la escala de la pantalla en sentido longitudinal para efectuar la lectura del grosor de objetos cuyo espesor desconocemos y para determinar la

profundidad de los puntos de reflexión.

En todas estas consideraciones no hemos tenido en cuenta el hecho de que la situación del impulso de emisión no ha de coincidir forzosamente con la superficie de nuestra pieza, ya que el mismo, queda reproducido en la pantalla en el momento de salir del palpador, o en el momento de ser emitido por la plaquita piezo-eléctrico.

Entre el cristal del palpador y la superficie de la pieza a verificar, se encuentra un trayecto previo formada por el agente de acoplamiento y la placa protectora del cabezal fig. 15.

El impulso ultrasónico ha de recorrer previamente este trayecto hasta llegar a la superficie del objeto a controlar.

Para un ajuste exacto de la escala es imprescindible considerar esta trayectoria previa. Como en la mayoría de los casos este trayecto es una magnitud desconocida, el ajuste ha de llevarse a cabo de una forma indirecta. Para este fin se elige una velocidad de desplazamiento más lenta del punto luminoso para obtener por lo menos dos ecos de fondo en la pantalla.

Es fácil de comprender que de una sola pared posterior puede recibirse varios ecos de fondo, si se tiene en cuenta que no toda la presión de sonido reflejada por primera vez es absorbida totalmente por el palpador. La mayor parte de la presión del sonido es reflejada varias veces entre la superficie y la pared posterior del objeto sometido a verificación, y cada vez, al alcanzar el sonido restante

la superficie de la pieza, el palpador absorbe una pequeña parte de su presión.

Si se gradua la distancia entre el primer y segundo ecos de fondo en consonancia con el grosor de la pieza y se procura además, que el segundo eco de fondo esté situado a una distancia del punto cero de la escala equivalente al doble de la distancia del punto cero al punto donde se produce el primer eco de fondo, entonces el punto cero corresponde a la superficie de la pieza sometida a verificación y el trayecto previo se forma automáticamente entre el impulso de emisión y el punto cero de la escala.

Fig. 16

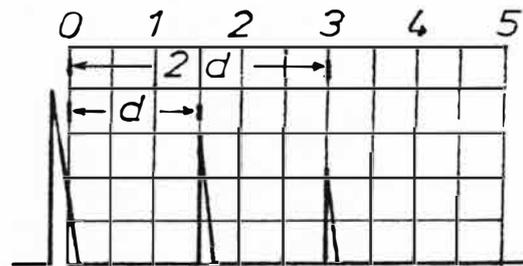
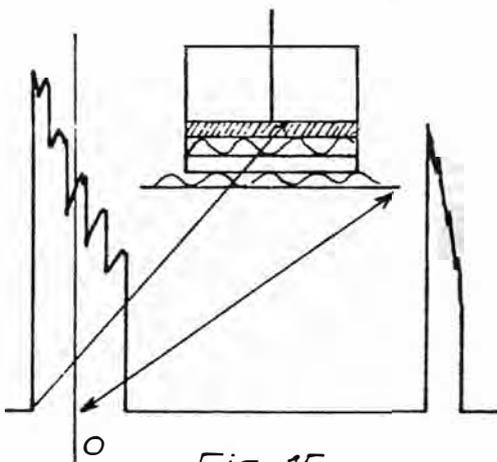


Fig. 16

EL APARATO ULTRASONICO

Teniendo en cuenta los parámetros que indican, los equipos de ultrasonido usados en la inspección de materiales pueden ser agrupados en tres categorías:

- 1) Con indicación de energía transmitida únicamente.
- 2) Con indicación de la carga producida por la pieza sobre el transductor.
- 3) Con indicación de la amplitud y tiempo de tránsito de la energía transmitida o reflejada.

Los equipos del tipo 1 son simples y de uso restringido.

Los equipos del tipo 2 son usados generalmente para medición de espesores por la técnica de resonancia.

De uso más generalizado, principalmente para la detección de defectos, son los equipos que corresponden al tipo 3. Estos equipos son utilizados para aplicar las técnicas de ensayo que usan indicación de amplitud y tiempo de tránsito,

Estas técnicas involucran la medición simultánea de dos parámetros:

- 1) La amplitud de señal obtenida de cualquier discontinuidad interna.
- 2) El tiempo empleado por el haz ultrasónico para recorrer la distancia entre la superficie de entrada del mismo y la superficie de la discontinuidad que lo refleja.

Dentro de este tipo general existen variantes, principalmente, en lo referido a la forma o formas de presentar las indicaciones.

De acuerdo a esto tenemos:

- Equipos con presentación en tubos de rayos catódicos con indicación de posición del defecto y amplitud de la señal de defecto. Se les llama de barrido A

(A-Scanning)

Equipos con presentación en tubos de rayos catódicos con indicación de profundidad del defecto y distribución de los defectos en el plano transversal de la pieza. Barrido B (B-scanning).

Equipos con presentación en tubo de rayos catódicos con indicación de forma y distribución de los defectos en el plano de la inspección. Barrido C (C-scanning).

Equipos con sistemas de compuertas. Dan señal eléctrica, alarma audible, accionan marcadores, producen fascimiles o registros según el requerimiento fijado por la especificación de la inspección.

En el ensayo volumétrico de materiales para la detección de defectos, ya sea en control de calidad o en inspecciones de mantenimiento el tipo de equipo que se utiliza es casi universalmente el de pulso-tiempo con presentación de la indicación en barrido A..

EQUIPO DE PULSO - TIEMPO CON BARRIDO A

El circuito esquemático de este tipo de equipo se puede observar en la fig. 17.

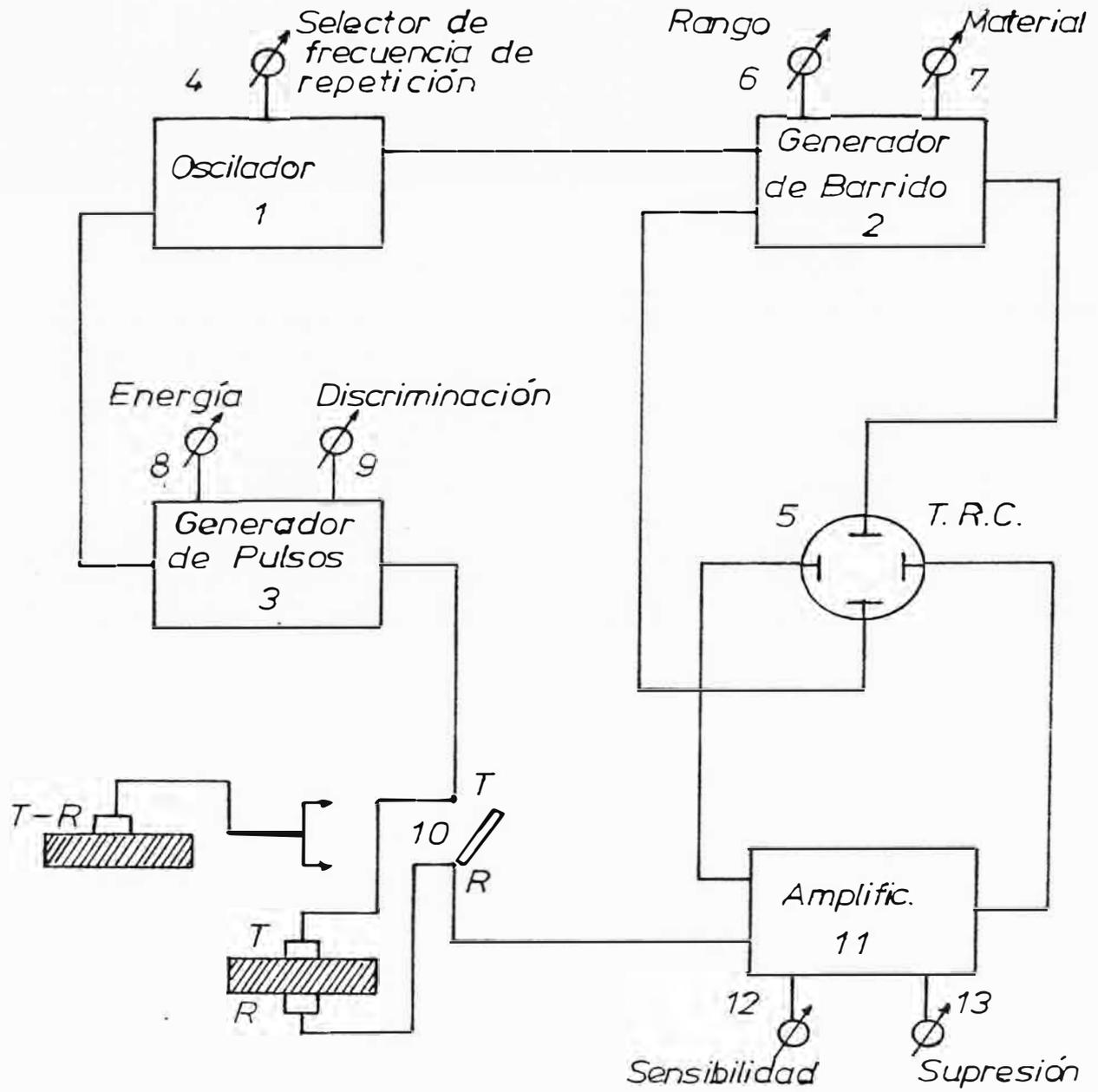


Fig. 17

El principio de funcionamiento es el siguiente:

Un oscilador (1) es el encargado de activar al generador de barrido (2) y al generador de pulsos (3). El oscilador es el que genera la frecuencia de repeticiones de los pulsos, la que puede ser variada por medio de una llave selectora de frecuencias (4)

El generador de barrido, mediante señal diente de sierra produce la tensión que se aplica a las placas de deflexión horizontal del tubo de rayos catódicos (5). De esta forma el haz de electrones barre la pantalla a velocidad constante que depende de la inclinación del diente de sierra. Cuanto más suave es la pendiente de la rampa del diente de sierra más lento es el desplazamiento del haz sobre la pantalla. Modificando la pendiente se puede entonces seleccionar la velocidad de barrido.

Este control en la mayoría de los equipos se efectúa mediante una llave de puntos indicada con "Rango" (6) que efectúa la regulación gruesa. Por ejemplo: una posición equivale al tiempo en que el ultrasonido recorre 100mm. en el material y otra posición el tiempo necesario para recorrer 250 mm.

En el primer caso el ancho de la escala corresponde a 100 mm. y en el segundo a 250 mm. Pero además de este control, que podemos llamar grueso, existe el control fino para modificar la velocidad de barrido de acuerdo con las variaciones de la velocidad del ultrasonido en distintos materiales, por esta razón a este control, que es continuo, se le llama "Materiales" (7).

El generador de pulsos produce los pulsos electrónicos de muy corta duración y de una tensión de pico de algunos kilovoltios que se aplican al cristal piezo-eléctrico, en el momento en que el cristal recibe el pulso la señal también es transmitida a las placas de deflexión vertical del T.R.C. Produciéndose en la pantalla un impulso vertical que se llama "Eco de Emisión" y que se toma como origen para interpretar el ensayo.

Al ser excitado el cristal vibra mecánicamente con su propia frecuencia originando el haz de ondas ultrasónicas (también en forma de pulso de corta duración) que se transmite a través del material que se ensaya, a velocidad constante.

Al llegar a una superficie límite puede ser recibido por otro cristal que actúa como "Detector" o bien reflejarse y volver al mismo cristal que lo originó y ahora lo detecta actuando en forma pasiva. En ambos casos al recibir el cristal, que actúa como detector, el pulso ultrasónico se produce el fenómeno inverso y la energía mecánica es transformada en pulso eléctrico.

En el generador de pulsos existen dos controles:

Uno de energía (8) y otro discriminador (9)

La función de ambos es variar la envolvente del pulso fig. 17 a.

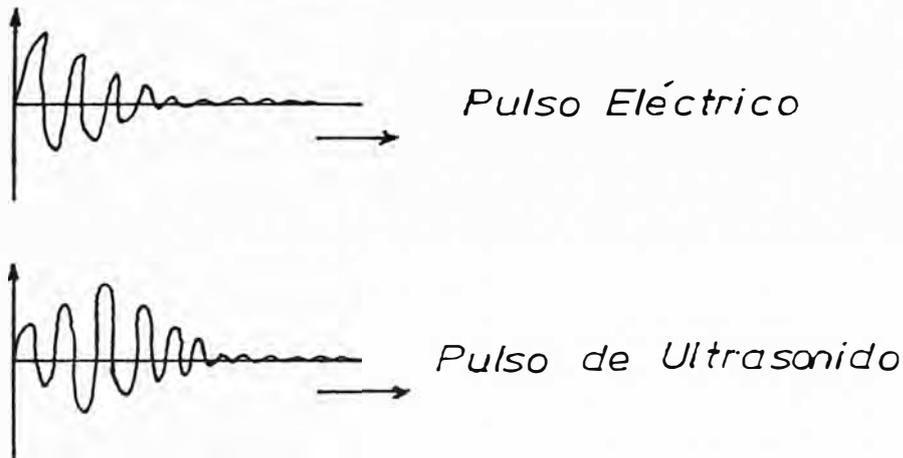


Fig. 17a. Tensión eléctrica y presión sónica en función del tiempo durante la generación de un pulso de ultrasonido en un cristal de cuarzo.

El control de energía actúa variando la tensión del pulso eléctrico que se aplica al cristal, mientras que el control discriminador varía la duración del pulso, es decir el número de ciclos a la frecuencia seleccionada. En el circuito de la fig. 17 se indica una llave (10) cuya función es separar eléctricamente la entrada del cristal, de la salida del emisor, cuando el equipo funciona con la técnica de transmisión - recepción con dos cristales.

El amplificador (11) tiene por función regular amplitud de la señal recibida desde el cristal receptor antes de aplicarla a las placas de deflexión vertical en el T.R.C.

En esta etapa generalmente existen dos controles:

El de sensibilidad (12) y el de supresión (13). El primero permite variar la altura de los ecos en la pantalla, es decir variar la sensibilidad de detección de señales. Este control tiene un ajuste grueso, por etapas, y otro fino continuo.

El control de supresión tiene por función eliminar ecos pequeños, carentes de significación que constituyen una suerte de ruido de fondo y dificultan la interpretación del oscilograma sobre todo en ensayos manuales.

El control de sensibilidad no modifica la relación de alturas entre los ecos sucesivos que se obtienen por múltiple reflexión mientras que el supresor si lo hace por cuanto está diseñado para evitar el paso de las señales más debiles. En este caso al aplicar el supresor la diferencia de altura entre ecos sucesivos, se mantiene pero no la relación entre los mismos.

Las variaciones de amplificación son medidas en decibels (dB), unidad que se expresa por la relación.

$$dB = 20 \log.$$

Donde I_0 e I_1 , representan la amplitud de señal antes y después de la amplificación.

Cuando la variación de amplificación es en mas se usa el término "Ganancia" expresado en dB. Si las variaciones son en menos se aplica el término "Atenuación" que se expresa también en dB.

El control de sensibilidad suele ser designado en algunos equipos como ganancia. En todos los casos el control de sensibilidad tienen indicada la ganancia o amplificación en dB.

DISEÑO DE CABEZALES

ALGUNAS CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE CABEZALES

Cada pulso de energía mecánica generada en el cristal está formada por un tren de ondas amortiguado de la frecuencia del cristal (frecuencia natural de vibración del cristal). Su aspecto es según fig. 18.



Fig. 18

Es de importancia la duración de este impulso cuando se opera con la técnica de reflexión, pues mientras no desaparezca, el cabezal no recibirá ninguna señal que sea útil. La información recibida por el cabezal se distinguirá claramente en la pantalla del equipo, una vez que se ha amortiguado totalmente los efectos del tren de ondas. Así operando por reflexión, existe una zona directamente debajo del cabezal que no puede ser examinada, y que se la conoce como zona de no detección.

Ejemplo:

Operando con ondas longitudinales en acero ($V_l=5,800\text{m/seg.}$)

y considerando, que un impulso está formado por una os cilación completa se tendrá para una $f=0.5$ MHz que la zona de no detección es de aproximadamente 6 mm.

$$\text{Zona de no detección} = \frac{5.8 \text{ mm} / \mu \text{ seg.} \times 2 \mu \text{ seg.}}{2} = 5.8 \text{ mm}$$

donde $2 \mu \text{ seg.}$ es el periodo para $f=0.5$ MHz.

Para 5MHz. el periodo es de $0.2 \mu \text{ seg.}$ y la zona de no detección es de aproximadamente 0.6 mm.

Se puede establecer mediante estos ejemplos muy simplificados, que se necesitan impulsos breves para disminuir la zona de no detección.

Esta zona de no detección tiene importancia para fallas pequeñas; comparadas con la sección del haz.

Una falla grande ubicada en la zona de no detección se pondrá en evidencia por la disminución o desaparición del eco fondo.

Los principales factores que deben ser considerados en el diseño del cabezal son:

Q mecánico, ancho de banda, impedancia acústica, sensibilidad, poder de resolución y longitud del pulso.

Q MECANICO

La frecuencia característica de la potencia acústica radiada, esta determinada por el Q mecánico del cabezal que esta dado aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$Q \text{ MEC.} = \frac{\pi}{2} \times \frac{Z_c}{Z_1 + Z_B}$$

Donde:

Z_c = Impedancia Acústica del cristal

Z_l = Impedancia Acústica de carga

Z_B = Impedancia Acústica del respaldo.

El Q mecánico es directamente proporcional al espesor del cristal.

Un cristal de cuarzo desmontado y radiando en el aire tiene un Q mec. de aproximadamente 50,000, pero montado y radiando en agua tiene un Q mec. menor de 10.

Un cristal de titanato de bario desmontado y, radiando en aire tiene un Q mec. de solamente 200 debido a las pérdidas más elevadas de los materiales cerámicos.

En la práctica las pérdidas debidas al montaje el Q mec. aún mas. Este amortiguamiento adicional reduce los efectos de la zona de no detección y mejora la resolución.

Q ELECTRICO

Esta dado por:
$$Q_e = \frac{\pi}{4 K^2} \cdot \frac{Z_l}{Z_c}$$

Donde:

K = Factor de acoplamiento electro mecánico

Z_c = Impedancia acústica del cristal

Z_l = Impedancia acústica de la carga.

La reducción del Q mecánico por amortiguamiento incrementa el Q eléctrico.

ANCHO DE BANDA

El ancho de banda de un sistema está definido por

$f_2 - f_1$ donde:

f_2 es la frecuencia por encima de la frecuencia central en la cual la amplitud es el 70% de la amplitud en f_0 , y f_1 la frecuencia por debajo de f_0 , con las mismas consideraciones en amplitud que para f_2 .

El ancho de banda esta relacionado con el Q mec. por la relación:

$$Q \text{ mec.} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

Para una buena resolución, los pulsos transmitidos dentro de la muestra deben ser cortos, de modo que frente a dos pequeños defectos el eco del segundo no perturbe la recepción de las vibraciones del primero. Un Q mec. bajo, para una frecuencia central dada, hace mas amplio el ancho de banda.

CONSTRUCCION DEL PALPADOR NORMAL

Un palpador con cristal de cuarzo, emite ondas longitudinales que entran en sentido vertical desde la superficie, en la pieza sometida a control.

Dicho cristal emite y recibe los impulsos ultrasónicos. Todos los palpadores con estas propiedades, se llaman palpadores normales.

Los elementos que componen el cabezal normal son:

- El cristal (Plaquita Piezo-Eléctrica)
- Carcasa metálica o plástica.
- Block amortiguador
- Cables.

Ver fig.19.

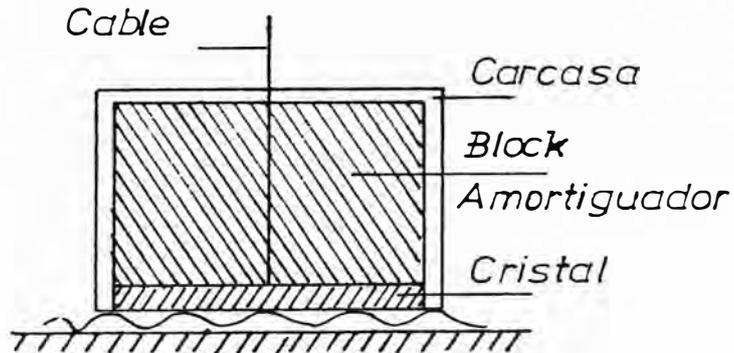


Fig. 19

Como cristal no solamente se usan plaquitas de cuarzo y titanio de bario, sino también plaquitas de sulfato de litio o metaniobiato de plomo, aunque se emplean solamente en casos especiales. La cuestión de elegir una clase de cristal u otra, depende de lo que se exija de la sensibilidad, poder resolutivo y resistencia al desgaste del palpador.

La Sensibilidad de un palpador es mas grande cuanto más energía eléctrica convierta en energía ultrasónica, es decir, cuanto más elevado sea su grado de eficacia.

La Resistencia al desgaste depende en primer lugar del factor si el cristal esta directamente en contacto con la superficie del objeto a verificación o de si entre el cristal y la pieza se coloca una placa protectora.

En el primer caso se habla de un palpador sin proteger

y en el segundo, de un palpador con placa protectora solamente los palpadores de cristal de cuarzo pueden utilizarse sin proteger, ya que es el único material lo suficientemente resistente, los otros han suminis|trarse con placa protectora.
| |

El Poder Resolutivo de un palpador puede explicarse fácilmente empleando una pieza patrón cuya pared pos|terior tenga forma de escalón, de acuerdo con la fig. 20.

Si se dirige el haz de impulsos al sitio escalonado se produce una reflexión parcial en la pared más cercana, así como otra reflexión parcial en la pared posterior que se halla más lejos. Ambas distancias se producen simultáneamente en la pantalla y los ecos de fondo se hallan el uno al lado de otro, con una distancia equivalente a la magnitud del escalón.

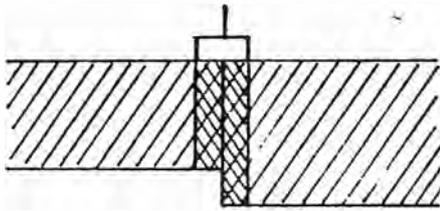


Fig.20

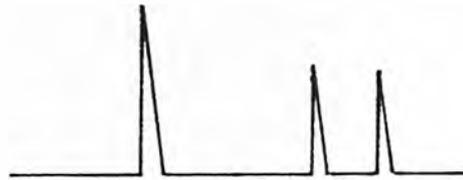


Fig.21

Si se utiliza un palpador con un elevado poder resolutivo, los ecos de fondo aparecen perfectamente separados

dos entre si en la pantalla a pesar de tener el escalón una anchura relativamente pequeña. fig.21.

Cuanto más pequeño es el poder resolutivo del palpador utilizado, más se juntan los ecos de fondo a base de una determinada magnitud del escalón, lo que se debe a que los ecos individuales tienen cada vez más anchura, según fig. 22.

En caso de un poder resolutivo muy reducido, muchas veces no se puede apreciar en la pantalla si se trata de dos ecos de fondo, es decir, la distancia de la pared posterior más lejana no puede ser determinada mediante lectura en la pantalla fig.23.

Los ecos de fondo más anchos requieren, además, más sitio en la pantalla y los espacios intermedios entre los ecos individuales se hacen más pequeños, lo que reduce la posibilidad de reproducir más ecos intermedios pequeños.

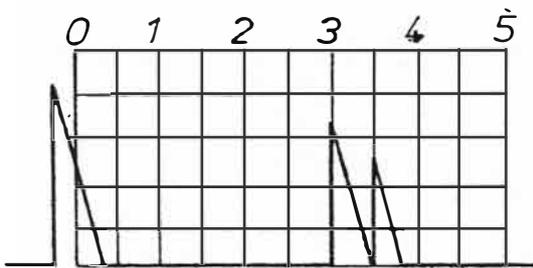


Fig. 22

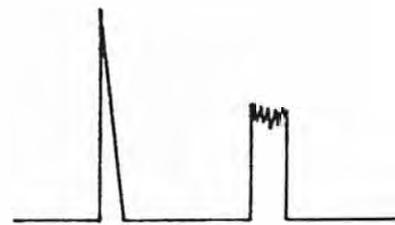


Fig. 23

La diferencia cualitativa de los palpadores con los citados cristales aparece en la siguiente tabla que especifica su sensibilidad y poder resolutivo.

<u>Cristal</u>	<u>Sensibilidad</u>	<u>Poder Resolutivo</u>
Titanio de bario	1	2-3
Cristal especial	2	1
Cuarzo	4	1

(la mejor nota es el 1 y la peor el 4)

Esta valorización únicamente tiene validéz al tratarse de palpadores standard, pues tanto la sensibilidad como el poder resolutivo de un palpador depende notablemente de la amortiguación del cristal.

Cuanto más elevada es la amortiguación mas pequeña se hace la sensibilidad pero más grande es también el poder resolutivo de un palpador.

Para La Amortiguación del cristal de un palpador, se usa una pieza especial debidamente colocada.

Este elemento de amortiguación tiene dos tareas:

En primer lugar debe amortiguar de tal modo las oscilaciones de inercia del cristal piezo-eléctrico para que la sensibilidad y el poder resolutivo cumplan las exigencias deseadas.

Además debe atenuar de tal forma los impulsos que entran del cristal en el mismo palpador, que la carcasa no refleje ningún impulso molesto que pueda volver al cristal.

Para poder cumplir los dos objetivos, el elemento de amortiguación ha de poner una gran resistencia al sonido y a la vez debe ejercer una fuerte atenuación sobre el sonido.

El cristal y el elemento amortiguador van alojados casi siempre en una carcasa metálica que sirve para el blindaje del cristal y que simultáneamente da al cabezal la necesaria resistencia mecánica.

ABREVIATURAS DE LOS PALPADORES NORMALES

Los palpadores se distinguen fácilmente por medio de un sistema de abreviaturas.

En los palpadores normales krautkramer, la clase de cristal queda señalada a través de las siguientes letras:

Q = Cristal de cuarzo

B = Cristal de titanato de bario

K = Cristal especial (de sulfato de litio ó metaniobia to de plomo).

Detrás de estas letras se halla un número que indica la frecuencia. Estos números empiezan con 0.25 y terminan con 12, en consonancia con la gama de frecuencias de 0.25 a 12 MHz.

Si el palpador posee una placa protectora aparecera de trás del numero de la frecuencia una S mayúscula si de trás del número de la frecuencia aparece una T mayúscu cula, se trata de un palpador para la técnica de inmersion, es decir de un cabezal estanco al agua. Aparte de los palpadores grandes, con cristales de un diámetro de 24 y 34cm.; existen también palpadores mas pequeños con cristales de 10 o 5 mm. de diámetro.

Los palpadores de 10mm. se llaman palpadores miniatura y se distinguen a través de una M mayúscula colocada delante de la letra que indica la clase de cristal.

Los palpadores con un cristal de 5 mm. de diámetro se denominan subminiatura y delante de la M se coloca adicionalmente una S.

Los palpadores más corrientes aparecen en la siguiente lista:

Ø mm.	Ejecucion	Cristal	Frecuencia MHz.				
			2	2.25	4	5	6
24	placa protectora	B	B2S	B225S	B4S	B5S	-
		Q	Q2S	Q225S	Q4S	Q5S	Q6S
10	intercam- biable.	B	MB2S	MB225S	MB4S	MB5S	-
		Q	MQ2S	MQ225S	MQ4S	MQ5S	MQ6S
5		K	SMK2	-	SMK4	-	SMK6
24	placa prot. fijade zafiro	B	B2S	B225S	B4S	B5S	-
24	muelle a tie- rra sin pla- ca protect.	Q	Q2	Q2.25	Q4	Q5	Q6
		Q	MQ2	MQ225	MQ4	-	MQ6
10		Q	MQ2	MQ225	MQ4	-	MQ6
20	para téc- nica de inmersión con cable doblemente blindado.	B	B2T	B225T	B4T	B5T	-
		Q	Q2T	Q225T	Q4T	B5T	B6T
		K	K2T	K225T	K4T	K5T	K6T

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE FALLA

GEOMETRIA DEL CAMPO SONICO

Si conectamos un palpador normal correctamente a un aparato de ultrasonidos y lo acoplamos, con un poco de aceite, a un objeto a verificar, se puede afirmar sin duda, que el cabezal emite ondas longitudinales a la pieza. Ahora bien, no tenemos ninguna idea acerca de la forma de este haz de impulsos. En muchos casos, sin embargo, puede ser muy importante saber si el haz que entra en la pieza tiene una forma estrecha y concentrada o si es muy divergente.

En el primero de los dos casos, y al no moverse el palpador, se comprueba solamente una pequeña sección del objeto, pero por otra parte es factible detectar todavía a mucha profundidad los defectos relativamente pequeños por existir allí aún una presión sonora lo suficientemente grande. Si el haz de impulsos, en cambio es muy divergente, la presión del sonido disminuye rápidamente en consonancia con el aumento de la profundidad, lo que hace que la sensibilidad queda reducida correspondientemente. Ahora bien, en este último caso y al no mover el palpador, se abarca una sección notablemente más grande del objeto sometido a control, cada palpador tiene más o menos las características de la fig. 24, en cuanto a su haz de impulsos.

En el campo cercano N, el haz de impulsos tiene una forma aproximadamente cilíndrica y un diámetro que co

responde prácticamente al del cristal.

A continuación del campo cercano se produce el campo lejano F, donde el haz diverge a base de un determinado ángulo. La apertura del haz se llama divergencia y su ángulo, el ángulo de divergencia γ . Cuanto más largo es el campo cercano y más pequeña la divergencia, más concentración tiene el haz de impulsos.

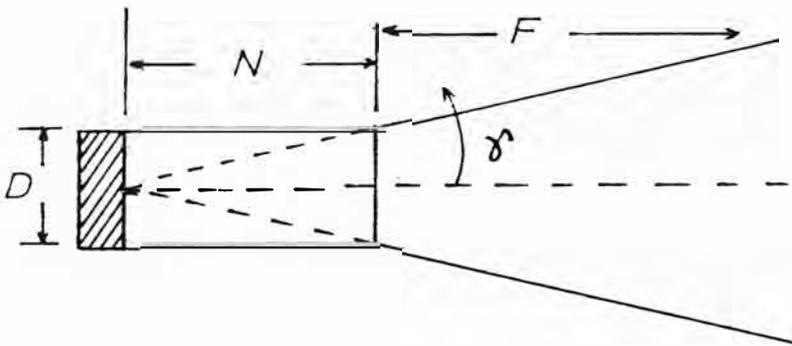


Fig. 24

La relación de ambas magnitudes con el diámetro del cristal y la frecuencia aparece en la siguiente fórmula:

$$N = \frac{D^2}{4} = \frac{D^2 \cdot f}{4 \times C} \quad \text{Sen } \gamma = \frac{\lambda}{D} = \frac{C}{D \cdot f}$$

Donde:

D = Diámetro del palpador

f = Frecuencia del palpador

C = Velocidad del sonido en el medio que se trabaja.

Los grandes diámetros de cristal y las elevadas frecuencias dan por resultado un campo cercano largo y una pe-

queña divergencia, es decir un haz compacto. Al disminuir el diámetro del cristal y al reducirse la frecuencia, el campo cercano se hace más pequeño y la divergencia se incrementa.

Tenemos, en tal caso, un haz de impulsos fuertemente divergente. La presión del sonido en los límites del haz no queda reducida a cero, como fácilmente se comprendera.

Aún fuera de este límite podrá medirse una presión sonora. Se ha acordado situar el límite en aquel punto donde la presión del haz alcance un 10% de la magnitud del haz central medida a una distancia equivalente.

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE UN REFLECTOR EN EL CAMPO F BLANCOS GRANDES Y PEQUEÑOS

Cuando estamos buscando fallas usando un palpador normal, esto es, usando un campo sónico de forma definida, podemos fácilmente distinguir dos clases de reflectores. Aquellos que son pequeños comparados con el diámetro del campo sónico y por lo tanto, son enteramente envueltos por el haz sónico. fig. 25.

Hay otros reflectores que son mas grandes que el diámetro del haz sónico, de manera que solamente pueden ser irradiados moviendo el palpador. fig. 26

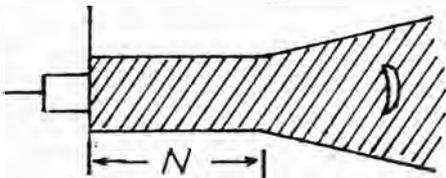


Fig. 25

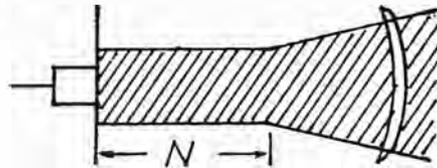


Fig. 26

En el primer caso, hablamos de un reflector pequeño referido al haz sónico y en el segundo caso de un reflector grande con referencia al haz sónico.

Esta definición se usa siempre sin tener en cuenta la distancia a la cual toca el haz dicho reflector.

Esta definición nos permite decidir, que técnica de control emplearemos en cada caso individual para determinar el tamaño de un reflector.

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE UN REFLECTOR GRANDE

Consideremos una chapa que contiene un defecto de laminación cuyo tamaño queremos determinar.

Primeramente colocamos el palpador en una parte de la chapa, obteniendo varios ecos en la pantalla, esto es, obtenemos la secuencia de ecos múltiples con distancias entre ecos que corresponden al espesor de la chapa que se esta examinando. fig. 27.

Ahora ponemos el palpador en un lugar donde el área laminada obteniendo como resultado, que toda la presión sónica se refleja en la laminación.

Si la laminación es como usualmente se presenta en el centro de la chapa resultan ecos de la onda ultrasónica con una distancia igual a la mitad de los anteriores. Con el mismo rango aparecerán doble número de ecos con mitad de distancias en la pantalla. fig.28.

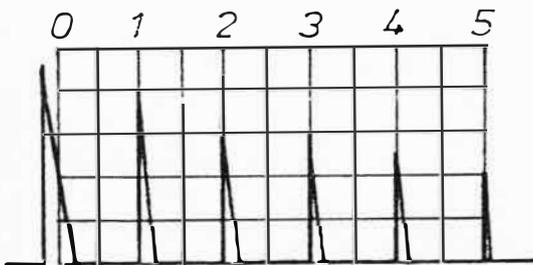
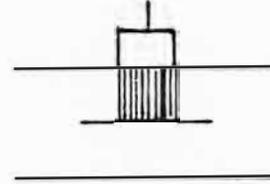
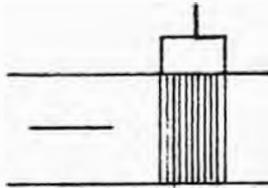


Fig.27

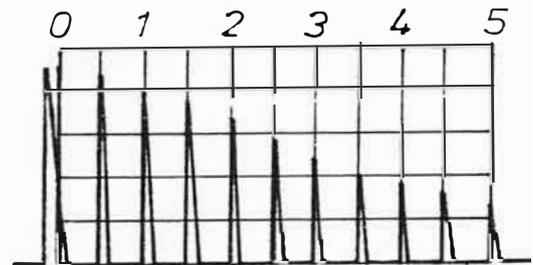


Fig. 28

Cuando colocamos el palpador exactamente en los extremos entre la parte sana y la parte laminada, parte del haz sónico será reflejado por la pared posterior y la otra parte por la laminación.

Luego las dos secuencias de ecos aparecen en la pantalla al mismo tiempo, ésto es eco de la pared posterior y de laminación.

Dado que cada segundo eco de laminación aumentan los ecos de la pared posterior, el límite estara exactamente debajo del probador cuando los ecos de la pared posterior tengan el doble de altura que de los de laminación. Fig. 29

Cuando este límite es señalado desde todos los lados, esto puede ser designado como el método del rodeo.

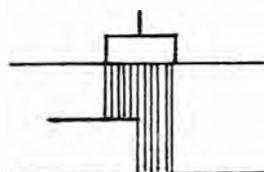
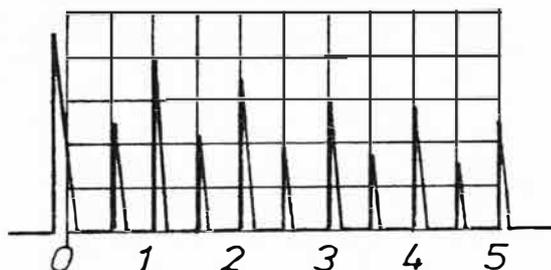


Fig. 29



DETERMINACION DEL TAMAÑO DE REFLECTORES PEQUEÑOS

Una porción del haz sónico pasa por el reflector pequeño, de manera que en la pantalla aparecen los ecos producidos por el reflector y por la pared posterior; la distancia de los ecos dan información sobre la distancia entre el defecto y la pared del objeto.

La profundidad del reflector puede ser encontrada sin dificultad usando la parte inferior e izquierda del eco intermedio de la pantalla.

El tamaño del defecto puede ser determinado usando la al

tura de los ecos intermedios al comprarlos con los ecos de la pared posterior y tomando en cuenta el cambio de las alturas de los ecos con el aumento de la distancia.

METODO D.G.S.

El método D.G.S. (Distancia, Ganancia, Tamaño) para la evaluación de fallas pequeñas en el campo lejano, hace uso de un sistema de curvas logarítmicas, las cuales representan respuestas de amplitud para todos los reflectores pequeños a toda distancia.

Estas inclinaciones están afirmadas en el hecho que, salvo atenuación y otras variables, los ecos de la pared posterior decrecen directamente con la distancia mientras que los ecos de las fallas pequeñas decrecen con el cuadrado de la distancia.

En términos de relación de ecos, doblando la distancia a un eco de la pared posterior nos da un eco en la relación de 2: 1 ó 6dB.

Doblando la distancia a un reflector pequeño de diámetro específico, nos da un eco en la relación de 4: 1 ó 12 dB.

El diagrama universal D.G.S. esta ploteado en términos de distancia (D) la cual es la línea base horizontal, ganancia (G) la cual es la sensibilidad ploteada verticalmente, desde arriba hacia abajo en términos de dB, y tamaño (S) las cuales son líneas inclinadas que representan los tamaños de las fallas.

También es ploteada una línea recta inclinada, la cual

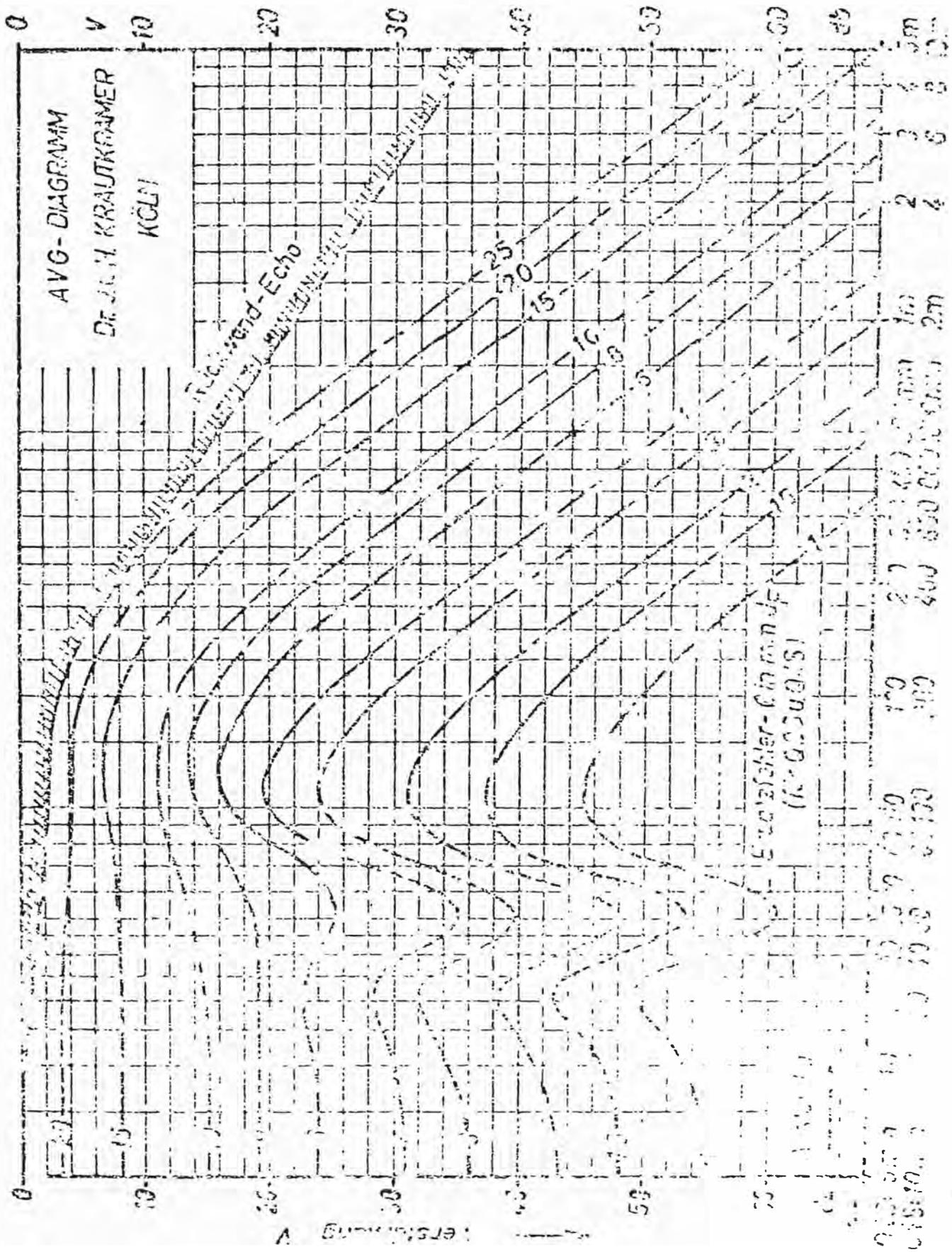


Fig. 30

representa la distancia de la amplitud respuesta, de un reflector grande (eco de la pared posterior).fig.30.

APLICACION DEL DIAGRAMA D.G.S.

El uso del diagrama D.G.S. es relativamente sencillo. A continuación se proporciona un ejemplo para mostrar el procedimiento:

Ejemplo:

Determinar el tamaño de un reflector pequeño en una pieza de 500mm. de espesor utilizando un palpador normal del tipo Q25 un diagrama D.G.S. especial para este palpador es disponible, de manera que podemos leer directamente la distancia y el tamaño del defecto en mm.

Habiendo ajustado el detector de fallas para el palpador antes mencionado, chequeamos un sitio libre de falla y llevamos mediante el control de ganancia que el primer eco de fondo alcance una determinada altura, por ejemplo 3/5 partes de la escala. Fig.31

En el comienzo de la subida del eco de fondo observamos el espesor de la pieza en este punto, a saber 500 mm. y en el diagrama D.G.S. subimos verticalmente desde el punto de 500mm. de la absisa hasta llegar a la recta rayada denominada con las palabras eco de fondo. Luego buscamos con el palpador el reflector, desplazando el cabezal hasta que dicho reflector nos de el eco de la máxima altura, por ejemplo en 200 mm.

A continuación hacemos uso del control de ganancia ca

librado, pero previamente anotamos el valor que indica el botón, luego comenzamos a incrementar la ganancia hasta que el eco del defecto tenga la misma altura que previamente tenía el eco de la pared posterior (3/5 de la altura de la pantalla) Fig.32.

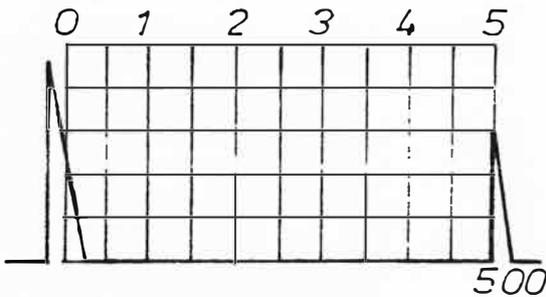
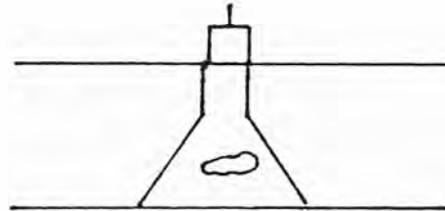
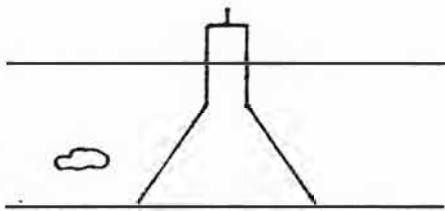


Fig. 31

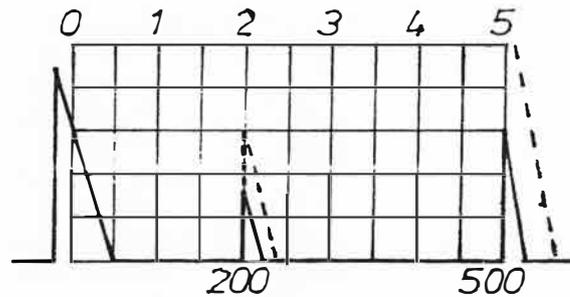


Fig. 32

Luego leemos el nuevo valor del control de ganancia calibrado, luego deducimos de este el primer valor que anotamos anteriormente, esta diferencia en este caso es 14 el cuál significa que la diferencia de alturas de los ecos de la pared posterior y del defecto es 14 dB.

En el diagrama D.G.S. en la altura de 500mm. bajamos 14 dB. encontrando el número 30, de allí una horizontal hasta encontrar la vertical a 200mm., la línea

POSIBILIDAD DE DETECCION DE LOS DEFECTOS

Para poder buscar unos defectos es imprescindible saber, en primer lugar, que es una deficiencia. Si se ha acordado considerar como defecto aquellos reflectores que almacenan un determinado tamaño, lógicamente no interesa reproducir en la pantalla las indicaciones de reflectores todavía mucho más pequeños. La posibilidad de detección de una instalación de control debe diseñarse de tal manera que se localicen con seguridad todos los reflectores a partir del tamaño mínimo no admisible.

La posibilidad de detección de los defectos depende de la longitud de onda del haz ultrasónico. Se aplica en este caso la siguiente fórmula:

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

Lo que quiere decir que se podrá apreciar todavía aquel defecto mínimo cuyo diámetro "d" corresponda aproximadamente a la mitad de la longitud de onda λ del ultrasonido empleado. Si se verifica un determinado material, es decir, si la velocidad de propagación esta dada, se puede elegir de tal forma la frecuencia f por medio de la ecuación : $\lambda \cdot f = C$, que la longitud de onda nos permita alcanzar el límite deseado de detección de los defectos. En la siguiente tabla se muestra los defectos que se pueden detectar en acero así como las frecuencias elegidas (velocidad de propagación del sonido en acero aprox. 6,000 m/seg.).

d	0.5	1.5	3	6	mm.
	1	3	6	12	mm.
f	6	2	1	0.5	MHz.

Para que tenga validéz lo antedicho, hace falta que el reflector mínimo que se desee localizar aún, sea redondo y que su superficie sea tocada por el haz en sentido completamente vertical. Los defectos naturales no tocados verticalmente por el haz, a pesar de tener una superficie relativamente grande, no suministran en ocasiones, un eco que no deje lugar a dudas.

MEDICION DE ESPESORES

Habiendo ajustado el equipo ultrasónico con un determinado palpador normal, varios ecos de un determinado espesor conocido deberán aparecer en determinados lugares de la pantalla de acuerdo a la calibración efectuada.

Si ahora se coloca el palpador en un objeto cuyo espesor no conocemos y que deseamos determinar, obtenemos una secuencia de ecos en los cuales aplicando el procedimiento reverso de la calibración podemos determinar el espesor de la chapa.

Ejemplo # 1

Cuando recibimos tres ecos en el rango de 100mm. y el tercer eco esta en la división correspondiente a 22mm. obtenemos el espesor de la chapa dividiendo $22/3 = 7.33\text{mm}$.

Fig. 34.

Ejemplo # 2

Si colocamos el palpador en otro objeto y medimos un quinto eco en el punto 85, el espesor será $85/5 = 17\text{mm}$. fig.35

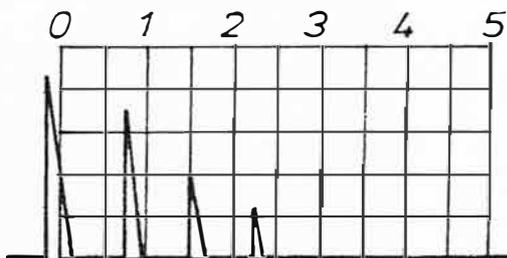


Fig. 34

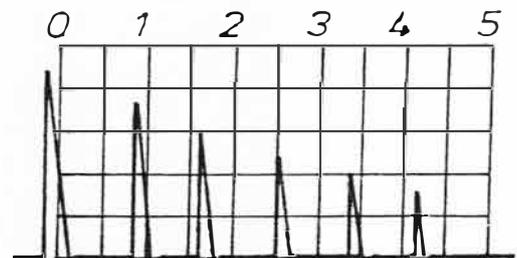


Fig. 35

Cuanto más grande es el número de los ecos sucesivos obtenidos en la medición de espesores de pared y cuanto mayor es el número que se divide, más exacto es el resultado de la medición.

LIMITES DE LA MEDICION

La medición de espesores por el método de ecos múltiples se hace más difícil cuando más delgado es el espesor; el primer eco de fondo se acerca cada vez más y más al eco de emisión y finalmente no se puede distinguirse claramente el mismo. Fig.36.

A pesar que tenemos una gran sucesión de ecos en estas condiciones, no sabriamos por donde empezar a contar.

En este caso uno se ve obligado a crearse un nuevo punto cero. Esto se hace por medio del regulador del punto cero, colocando en el punto cero de la escala el primer eco múltiple claramente reconocible y empezando a contar a partir del eco siguiente. Fig.37.

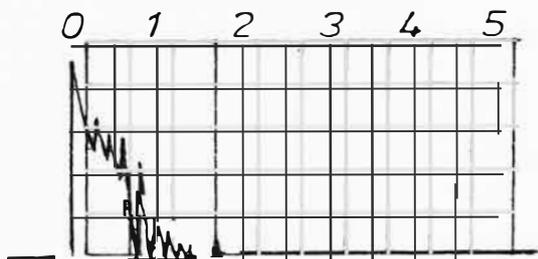


Fig. 36

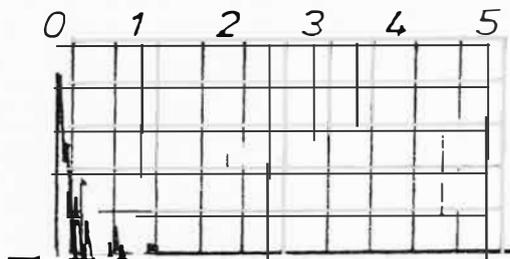


Fig. 37

Si el espesor es aun menor, los ecos múltiples estarán mas juntos y formarán un sola figura y ya no es factible reconocer una clara sucesión de ecos y por lo tanto será imposible medir por este método. Fig.38

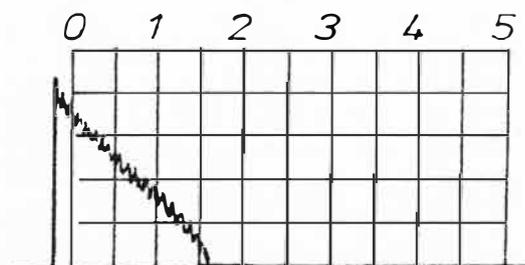


Fig. 38

El espesor pequeño que se puede medir por el método de ecos múltiples es de 3 mm. Asumiendo palpadores de buena resolución.

Cuando se usa palpadores protegidos el límite es 5,10 ó 15 mm. Estos límites son válidos solamente si distintos ecos múltiples son mostrados en la pantalla. Cuando medimos el espesor de un objeto cuya pared posterior es un poco rugosa, a menudo sólo obtenemos un eco, que puede ser usado para medir el espesor, en estos casos el límite de medición puede ser de 20 y 30 ó 40 mm. De acuerdo con el ancho del impulso de emisión.

Para resolver este problema se usa el método S.E.

ESTUDIO DE UNA CHAPA

Ya hemos visto como una secuencia de ecos cambia cuando existe en la chapa un defecto de laminación.

Esencialmente laminación es un defecto muy homogéneo, pá-rejo y liso, que refleja el haz sónico como una pared li-sa. Ahora queremos ver como la secuencia de ecos reaccio-na con una falla rugosa. Fig.39

Primeramente el haz sónico es dispersado tanto que las alturas de los ecos disminuyen tremendamente, de manera que de seis ecos previo solo aparecen dos; cuando mas ecos desaparecen mas rugoso es el defecto. Fig.40.

Cuando tenemos incrustaciones, la secuencia de ecos reaccio-na igual; aunque en este caso el haz sónico no solo es dis-persado si no que también es absorbido.

Una incrustación muy cerca de la superficie es muy difícil de detectar, debido a que el único pulso esperado puede estar dentro del impulso de emisión.

Esto es, esto nos da un límite en la medición, que puede resolverse en parte, usando palpadores de mejor resolución.

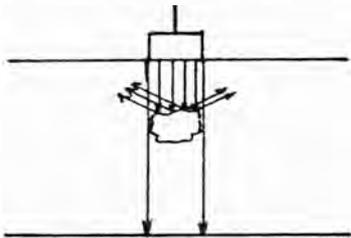


Fig. 39

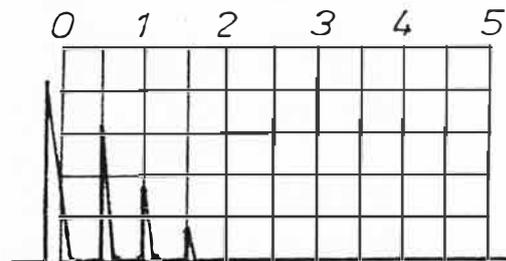


Fig. 40

SELECCION DE PALPADORES

Los diferentes palpadores normales difieren en el cristal, el diámetro del cristal y la frecuencia. La selección por lo tanto debe tener en cuenta estas tres cantidades.

Para poder seleccionar que combinación tomar debemos conocer la influencia de cada uno.

Si escogemos un palpador de alta frecuencia obtenemos:

Mayor posibilidad de reconocer los defectos de pequeño tamaño.

- Menor profundidad de penetración (sensibilidad)

- Mayor longitud del campo cercano.

Pequeña divergencia.

- Mayor poder resolutivo.

Si escogemos un palpador con mayor diámetro de cristal, se obtiene:

Mayor profundidad de penetración y sensibilidad

Mayor longitud del campo cercano.

- Menor divergencia.

Al elegir otra clase de cristal, se puede variar el poder resolutivo y la sensibilidad de un palpador normal.

Si tenemos presentes estas relaciones antes de proceder a la verificación de un determinado objeto, se podrá elegir ya de antemano el palpador que promete resolver el problema.

METODO S.E.

Como anteriormente mencionamos hay ciertos límites para el probador normal y el método del eco múltiple cuando

medimos espesores de pared delgada o cuando determinamos fallas cerca de la superficie. Esto es naturalmente debido a la anchura del pulso inicial o de emisión que cubre una parte considerable de la pantalla, dificultando por lo tanto la detección de fallas que aparecen muy cerca de la superficie; la zona muerta causada por el impulso de emisión no es la única dificultad cuando se usa palpadores normales, hay otro efecto el cual puede inclusive aumentar el ancho del impulso de emisión.

Tal efecto es:

Como el palpador normalmente tiene un sólo cristal que sirve de emisor y receptor al mismo tiempo, luego una conexión galvánica debe existir entre el instrumento transmisor y el palpador así como, entre el amplificador y el palpador. Fig.41

Ahora bien en el momento de la transmisión se emite un pulso cuyo voltaje es aproximadamente 2,000 voltios este pulso llega al amplificador, el cual está construido para tensiones del orden de milivoltios, entonces este alto voltaje sobrecarga al amplificador produciendo un tiempo muerto por lo tanto durante este tiempo las pequeñas tensiones originadas por los ecos no pueden amplificarse, es decir no aparecen en absoluto en la pantalla.

Para vencer estos efectos se usa el probador S.E.

En este caso un cristal sirve como emisor y el segundo cristal como receptor, es decir uno para cada función, ahora solo necesitamos conectar galvánicamente el emisor

con el palpador emisor y el amplificador con el palpador receptor. Fig. 42

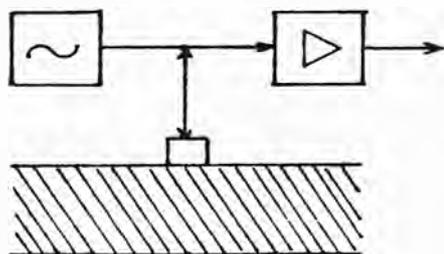


Fig. 41

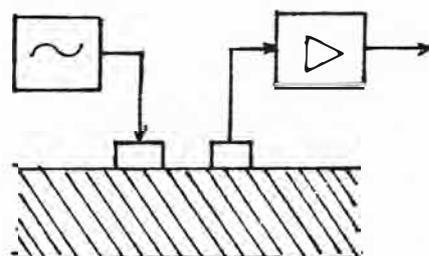


Fig. 42

La verificación con dos palpadores distintos es como fácilmente se comprende, poco cómoda. Por este motivo se reúnen ambos cristales en un solo palpador, lo que es perfectamente factible si se procura una impecable separación acústica de ambos sistemas.

La construcción del así llamado palpador S.E. aparece en la Fig. 43.

Se observará que los dos cristales están inclinados y que el palpador, en ambos lados de la pared de separación acústica, tiene unos trayectos previos relativamente largos. Esto se debe a las siguientes causas:

A raíz de la inclinación de los cristales se consigue un enfoque gracias al cual es posible obtener la máxima sensibilidad del palpador inmediatamente debajo de la super

fície del objeto a controlar. Fig.44

El trayecto previo hará que el haz penetre con su parte divergente en la pieza incrementándose así al máximo el poder resolutivo en el campo cercano.

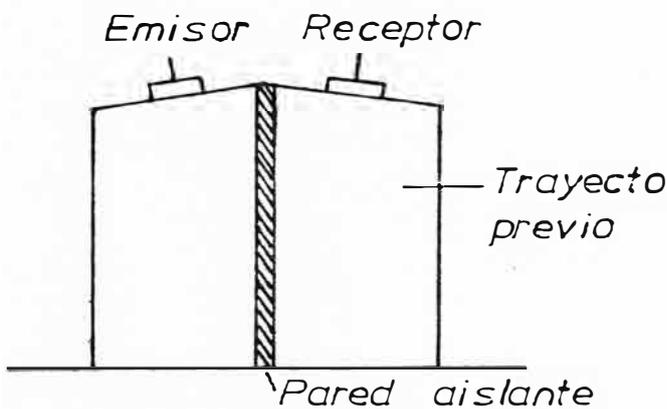


Fig. 43

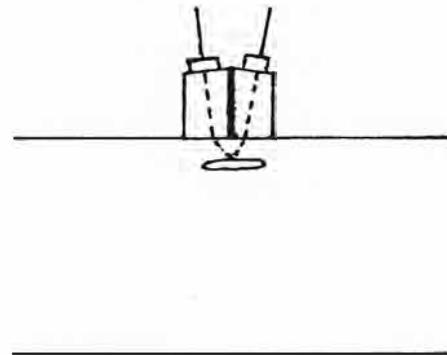


Fig. 44

Otra ventaja del trayecto previo es que se puede reproducir, a través de un acoplamiento capacitivo o inductivo, el impulso de emisión en la pantalla, sin que nos moleste. Si dicho trayecto es lo suficientemente grande, entonces aquella parte de la escala correspondiente al campo situado inmediatamente debajo de la pieza sometida a verificación, queda completamente libre y todos los ecos procedentes de dicho campo son perfectamente visibles.

HACES SONOROS DEL PALPADOR S.E.

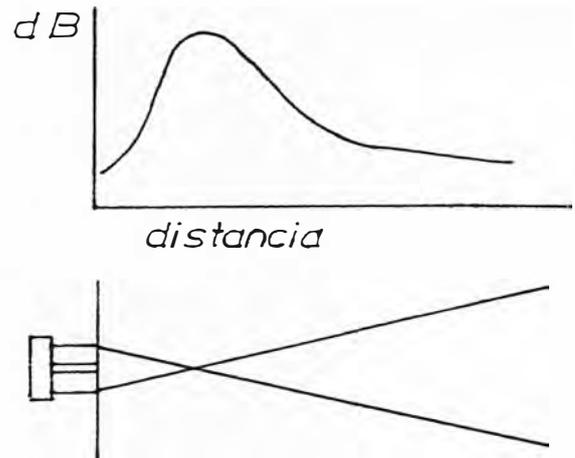
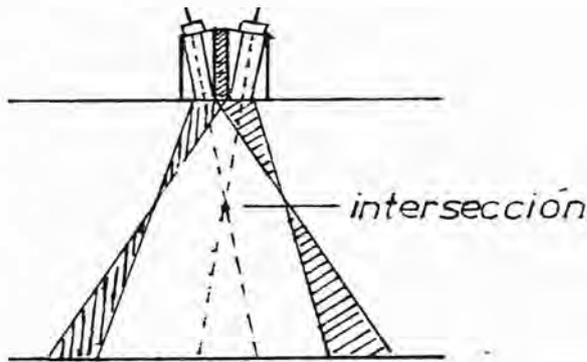
Los dos haces sonoros (emisor y receptor) se cruzan en

parte próxima a la superficie de la pieza a inspeccionar.

nar y luego divergen, como indica Fig.45.

Si el defecto se encuentra muy próximo al punto de cruce de los dos haces la presión del sonido es lo suficientemente alta para ser reflejada por el defecto y regresar al cristal receptor.

La sensibilidad de un palpador S.E. está en consonancia con la profundidad del defecto, siendo mínima en la superficie de la pieza, alcanzando el valor máximo en las inmediaciones del punto donde se cruzan los haces, disminuyendo a continuación más o menos rápidamente según la inclinación de los cristales, como indica la fig.46.

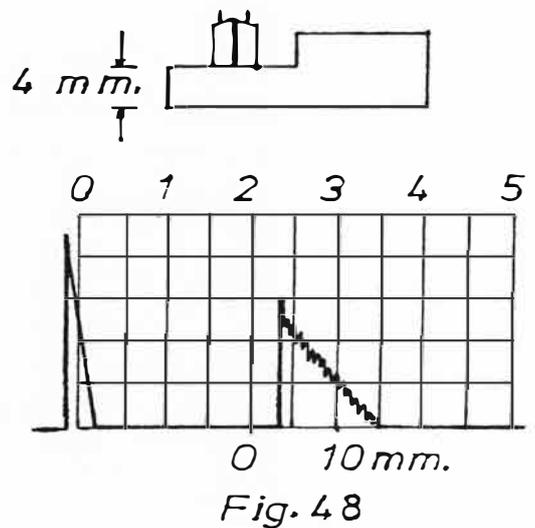
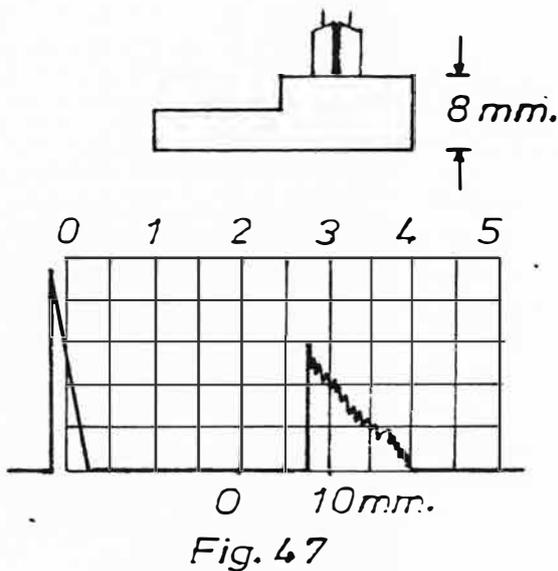


AJUSTES DEL PALPADOR S.E.

Usualmente no se usa secuencia de ecos, luego necesitamos varios ecos de diferentes espesores para calibrar el equipo, necesitamos por lo menos dos ecos.

Si el número de divisiones es 50, en el rango de 50 mm. cada división es 1 mm. en el campo de 10 mm. si usamos un bloque de 4 y 8 mm. podemos localizar y colocar el punto

cero en cualquier valor dentro del campo de 50 mm. Luego colocamos el palpador S.E. en el escalón de 8 mm. y se regula el correspondiente eco con el mando del punto cero en aquella raya divisora fijada previamente. fig.47 A continuación se coloca el palpador S.E. en el escalón de 4 mm. y se pone el correspondiente eco en la raya divisora previamente fijada para 4 mm. fig.48. Mediante una colocación alternada del palpador en los escalones de 8 y 4 mm. y manejando los mandos del punto ceco y material se consigue que el eco de 8 mm. se halle en la raya de la escala fijada para 8 mm. y el de 4 mm. en la de 4 mm. De esta forma, ha quedado ajustado el equipo ultrasónico de unión del palpador S.E.



MEDICION DE ESPESORES CON S.E.

Ahora estamos en posición de medir espesores hasta 1mm. de espesor; por lo tanto podemos detectar fallas que están 1 mm. por debajo de la superficie.

Para la medición de espesores y detección de fallas no es de importancia si la falla es lisa o rugosa.

EXACTITUD DE LA MEDICION

Cuando escogemos el menor rango posible, este es de 50 mm. como tiene 50 partes y podemos leer hasta la mitad de la parte, y usamos el primer eco la exactitud es de 0.5 mm. Otros equipos tienen el rango de 25 mm. y la exactitud es de 0.25 mm.

ABREVIATURAS DE LOS PALPADORES S.E.

Las dos letras S y E que han de considerarse como grupo, señalan que se trata de un palpador emisor receptor detras de este grupo se halla una letra que informa sobre la cla se de cristal. En todos los palpadores S.E. de la serie standard, se utiliza para los cristales, titanato de bario es decir detras del grupo S.E. se pone la letra B. A conti nuación se especifica un número correspondiente a la fre- cuencia, del palpador. Una T colocada detrás de este nume ro indica que se trata de un palpador para la técnica de inmersión.

Los palpadores S.E. de esta nomenclatura poseen sendos cris tales en forma de semicírculo, con diámetro de 20 mm.

Si delante del grupo S.E. se habla una M mayúscula, se tra ta de cabezales miniatura de un diámetro de 10 mm.

Si delante de la M se encuentra una S, entonces se habla de palpadores subminiatura.

TEORIA DEL DESTELLO ANGULAR

Hasta ahora hemos hablado exclusivamente de las ondas longitudinales que penetran verticalmente desde la superficie en la pieza sometida a verificación. La posibilidad de localizar un defecto unicamente es factible con gran seguridad si la superficie de la deficiencia tiene una orientación casi paralela a la superficie de la pieza. Los defectos, sin embargo tienen muchas veces otra orientación y sus superficies solo pueden tocarse perpendicularmente con el haz, si este entra inclinadamente en la pieza en cuestión. Si los defectos, por ejemplo parten de la superficie como puede ocurrir en el caso de grietas se obtienen las mejores condiciones de reflexión si se dirige el haz al ángulo formado por la superficie y la fisura. Para ello se necesita en la mayoría de los casos, una emisión de los impulsos bajo un determinado ángulo. Cuando una onda ultrasónica choca en la interfase de dos materiales diferentes en un determinado ángulo, existen tres efectos que se suceden:

Reflexión

- Refracción
- Conversión de modo

En primer lugar un palpador con destello angular consiste de un palpador normal (destello recto) acoplado a una cuña de luxita, la cual durante el acoplamiento con el material de prueba, hace variar el pulso directo a un determinado ángulo.

Por lo tanto, los dos materiales diferentes son la luxita y la pieza de prueba.

Cuando el pulso abandona el elemento probador a un determinado ángulo, por decir 20° , parte de el pulso es reflejado en la interfase a 20° longitudinalmente, y parte es reflejado transversalmente en 10° aproximadamente.

El pulso quedado entra en la pieza de prueba y cambia de dirección (refracta) en el modo longitudinal a 48° y refracta en el modo transversal en 24° aproximadamente. Fig 49.

Este fenómeno es explicado por la ley de Snell la cual expresa:

$$\frac{\text{Sen}\alpha}{\text{Sen}\beta} = \frac{C_1}{C_2}$$

donde : α = Angulo de incidencia

β = Angulo refractado

C_1 = Velocidad longitudinal del sonido en el material 1

C_2 = Velocidad longitudinal o transversal del sonido en el material 2.

$$C_L = 2.73 \text{ km/s.}$$
$$C_T = 1.43 \text{ km/s.}$$

$$\alpha_L = 20^\circ$$
$$\alpha_{T_r} = 10.3^\circ$$
$$\alpha_{L_r} = 20^\circ$$

$$C_L = 5.9 \text{ km/s.}$$
$$C_T = 3.24 \text{ km/s.}$$

$$\beta_T = 24^\circ$$
$$\beta_L = 48^\circ$$

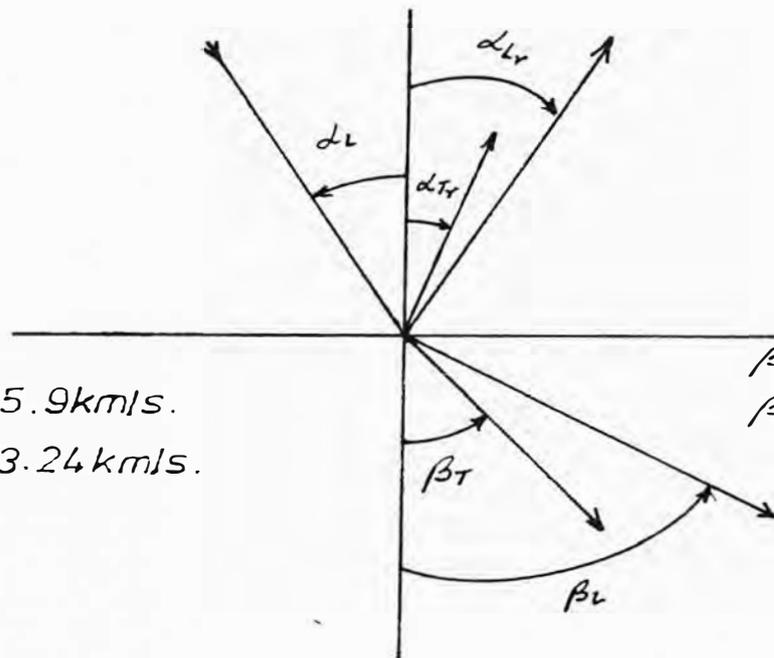


Fig. 49

Si nosotros podemos expandir todas las posibilidades de generación de ángulos refractados en acero. En un continuo uso de la ley de Snell, descubriríamos que esta definido por un rango de ángulos incidentes en la luxita dentro de los cuales nosotros podemos generar ondas transversales puras en el acero.

Así tenemos que por debajo de 27° de incidencia en luxita nosotros podemos generar las dos ondas longitudinal y transversal en el acero.

En la fig. 50 se muestra que el primer ángulo crítico es 27.6° y que a dicho ángulo la onda longitudinal sale al ras.

Ahora en lo alto de 57° de incidencia en luxita, nosotros podemos eliminar la onda transversal y podemos comenzar a generar ondas superficiales.

En la Fig. 51 se muestra que el segundo ángulo crítico es 57.6° y que a dicho ángulo la onda transversal sale en la superficie.

La onda activa de superficie es obtenida a un ángulo incidente ligeramente mayor que el ángulo crítico, donde de acuerdo a la teoría elemental la onda incidente puede ser totalmente reflejada.

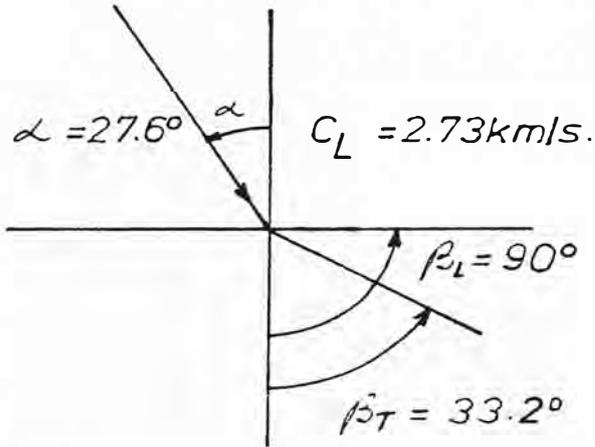


Fig. 50

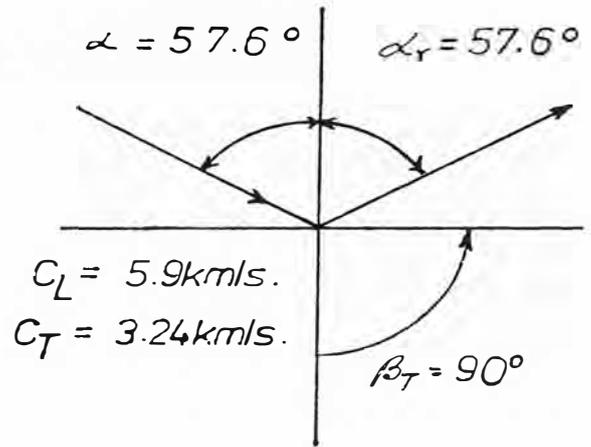


Fig. 51

En medio de los ángulos incidentes de 27° y 57° en luxita nosotros podemos obtener solamente ondas transversales. En la fig. 52 se muestra el rango con los que se hacen los palpadores. Los standar son de 45° , 60° , 70° y se usan de acuerdo a los espesores de las planchas.

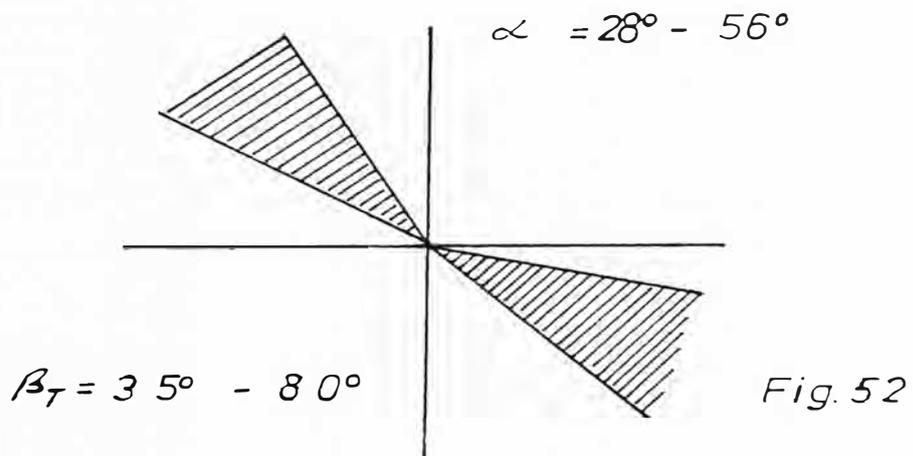


Fig. 52

En el ensayo con destello angular trabajamos con ondas transversales por ser opuestas a las longitudinales y porque la falla detectada es aproximadamente dos veces sensible y dada por

$$\lambda \cdot f = C.$$

No se puede trabajar en un área donde ambas ondas longitudinal y transversal ocurren simultáneamente, por que estas dos ondas pueden registrar la presencia de discontinuidades simultáneamente sobre la pantalla T.R.C. a diferentes tiempos o distancias, haciendo la evaluación de la falla dificultosa o imposible.

Hasta aquí se ha discutido el enlace angular en términos de prueba de contacto, donde el material usado como cuña es la luxita y el material de prueba es acero.

Debe ser recordado que:

El material de la cuña de acoplamiento no necesariamente siempre debe ser luxita.

- El material de prueba no necesariamente debe ser acero. Por esta razón si nosotros cambiamos uno o el otro existen diferentes condiciones para poder colocarlos.

DISEÑO DE PALPADORES CON DESTELLO ANGULAR

Un probador angular consiste de un probador recto acoplado a una cuña de luxita. Fig. 53

Teniendo en cuenta los ángulos críticos inferior y superior las cuñas son diseñadas para generar ondas transversales en acero a ángulos de 35°, 45°, 60°, 70°, 80° ondas

superficiales. Otros ángulos son utilizables, sin embargo estos son diseñados para aplicaciones específicas.

Hay muchos conceptos para el diseño de probadores angulares, pero generalmente hablando se puede citar dos tipos básicos:

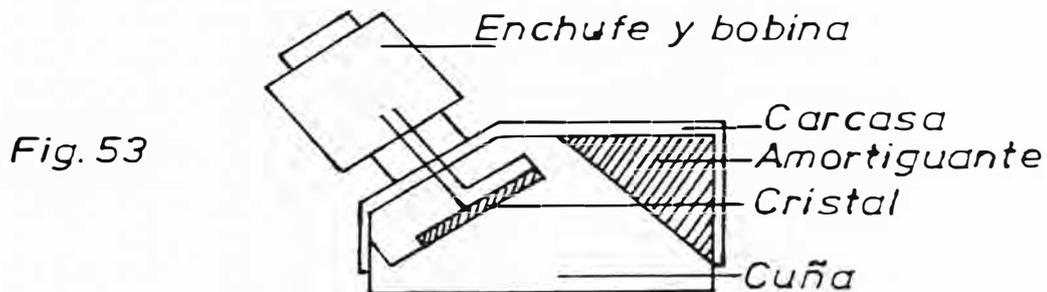
Cuña integral y removible.

En el diseño de la cuña integral el elemento probador es permanentemente fijo a la cuña de luxita y está encapsulado en un alojamiento que contiene un bloque de amortiguamiento.

Usualmente en un diseño se toman las medidas necesarias para reemplazar la base gastada del probador cuando esta bien usada.

El diseño de la cuña removible consiste de un probador recto que puede ser entornillado a una cuña de luxita pre fabricada.

Teniendo en cuenta el tipo de prueba a efectuarse, la cuña puede ser removida, descartada o reemplazada si es necesario.



El diseño de la cuña removible es o puede ser muy compli-
cado, ya que como amortiguador de señales externas debe
ser hecho dentro de las dimensiones de la luxita.

Y cual es el significado de señales externas?

Hemos aprendido que cuando un pulso de onda encuentra la
interfase de materiales diferentes, ocurre reflexión.

Muchos de estos pulsos reflejados van de regreso dentro
del probador y a menos que estén hechas las prevenciones
para amortiguar estas salidas de pulsos, estos pueden ser
recogidos por el elemento transductor y pueden ser mostra-
dos sobre la pantalla T.R.C. como una serie de ecos no re-
queridos, los cuales interfieren en la localización y/o
evaluación de la falla.

Los transductores angulares standars son utilizables en
rangos de frecuencias de 1, 2.25, 4, 5 y 10 MHz.

CALIBRACION CON PALPADORES ANGULARES

Como en el uso de palpadores rectos, el instrumento puede
ser calibrado para palpadores angulares.

Será necesario que distingamos, al menos dos paredes de
ecos de una muestra de un espesor conocido para determi-
nar el tiempo de retardo del palpador. El tiempo de retar-
do de un palpador angular es particularmente lento y en
suma difiere en todo palpador por causas de tolerancias
de producción.

Ahora bien como las paredes de ecos de un palpador angu-
lar no pueden ser generados en la misma manera que con un
palpador recto, se usan blocks especialmente diseñados pa

ra la calibración.

Un tipo de block consiste en una plancha semicircular de acero, lo suficientemente gruesa para acomodar un palpador angular.

El palpador es movido hacia atrás y hacia adelante sobre la superficie llana de la cubierta del arco, hasta que un eco máximo sea obtenido.

Cuando esto ocurre, el eco representa la distancia radial del arco (4"). Este eco es colocado a 4" sobre la escala T.R.C.

En el procedimiento de generación de esta señal parte del pulso es reflejado en dirección opuesta cerca de la interfase palpador-muestra y esta a su vez es reflejada por el arco opuesto atrás del palpador. Tal como se muestra fig. 54. aunque el pulso tiene un viaje adicional de 4" el palpador no nota esta reflexión ya que es absorbida por el block amortiguador, conforme se muestra en la fig. 55.

Por esta razón la próxima señal ocurre cuando una porción de esta energía es nuevamente reflejada en la interfase del palpador-muestra, en la misma dirección que la señal original. Esta señal debe caer en 12" sobre la escala T.R.C.

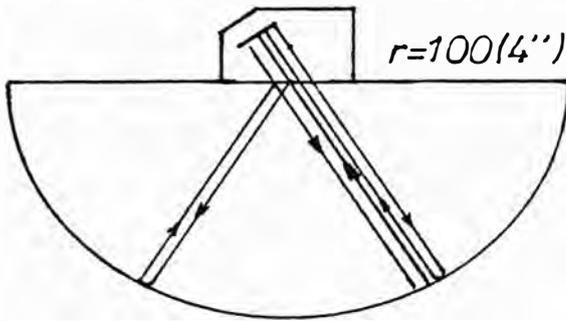


Fig. 54

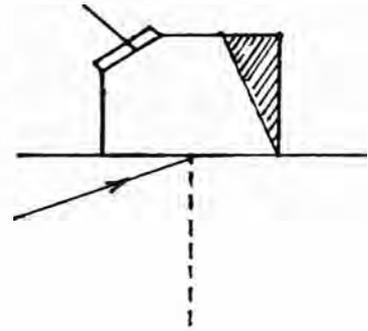


Fig. 55

La serie de eventos se muestra en la fig. 56 y es como sigue:

Nosotros vemos la primera reflexión a 4", no vemos la segunda reflexión a 8", vemos la tercera señal a 12". Para esta razón nuestros puntos de calibración son 4" y 12". En el proceso realizado se puede también marcar el punto real de salida del probador.

El punto en el cual se obtiene un eco máximo desde el arco descrito y el punto en el cual el pulso deja el palpador están exactamente sobre el centro mecánico del block, el cual se puede ajustar e indicar.

Rango: 500 mm. - 20"

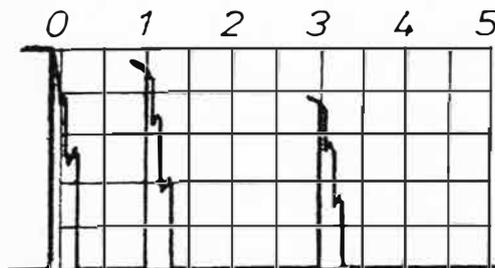


Fig. 56

Cerca de estos puntos se puede colocar un pedazo de cinta plástica sobre la orilla del palpador y fijar una marca en esta cinta que coincida con el centro mecánico de la pieza de prueba.

Estos puntos deben ser verificados de cuando en cuando, debido al gasto de la superficie del palpador, ya que el real punto de salida puede variar.

Un segundo tipo de block, es uno que contiene dos secciones circulares que tienen un centro común el radio grande es de 2" y el radio pequeño es de 1" ver fig.57.

El procedimiento de calibración es el mismo que para con el block semicircular.

Sin embargo en este caso, cuando el palpador es apuntado al radio de 2" da ecos mostrados a 2", 5", 8", etc. en el T.R.C. fig. 58.

Si el palpador es apuntado al radio de 1" da ecos a 1", 4", 7", etc.

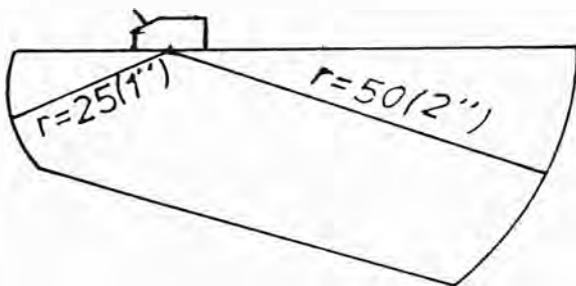


Fig. 57

Rango: 200mm. - 8"

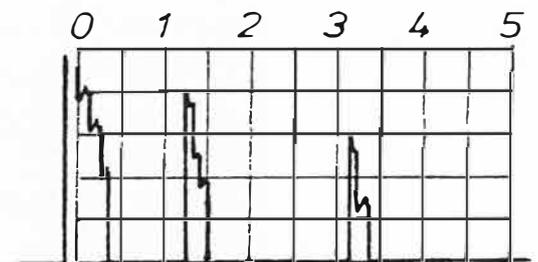


Fig 58

La localización del real punto de salida es nuevamente determinado por marcación en el palpador en un punto directamente encima del punto indicador de los radios del block en el preciso momento que el máximo eco es recibido.

Otro block de prueba y el más común es el prescrito por el Instituto Internacional de Soldadura conocido como el block IIW.

Aparte de que este block sirve para muchas otras funciones, es básicamente una calibración standar.

El radio de este block es de 4" (100mm.) y sobre el radio del círculo vertical esta hecho un corte en ambos lados del block, el cuál sirve como trampa del pulso. fig.59

Cuando el palpador es dirigido al arco de 4" de radio, el pulso es reflejado en sentido contrario y el eco resultante es colocado a 4" sobre la pantalla del T.R.C.

El pulso que normalmente es reflejado en la interfase palpador-block de prueba es parcialmente reflejado hacia el radio de 4" y retornar al palpador a una distancia de 8". fig. 60.

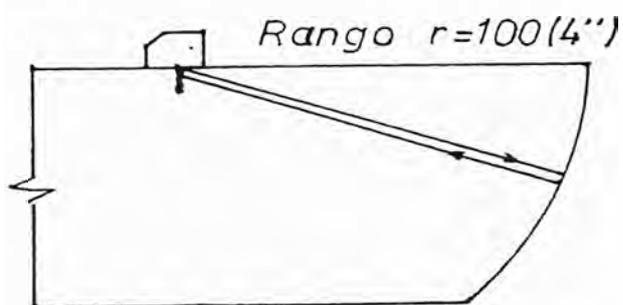


Fig. 59

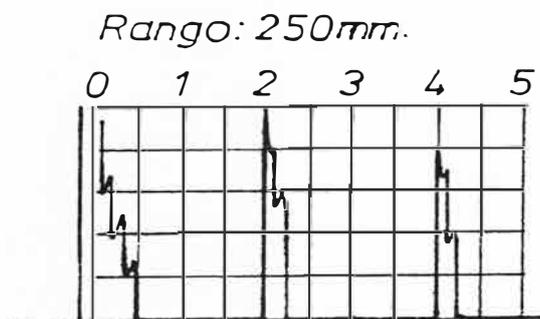


Fig. 60

Otro tipo de block IIW utiliza una ranura semicircular en vez del corte vertical como trampa del pulso.

Cuando calibramos con este block, el radio grande es de 4" y el chico de 1"; por esta razón los puntos de calibración sobre el T.R.C. están a 4" y 9". El procedimiento de calibración es el mismo que en los casos anteriores.

Otra función del block IIW, después de determinar la calibración y el real punto de salida del palpador, es la determinación del actual ángulo refractado del palpador. Aunque estos ángulos son conocidos cuando el palpador es nuevo, pero ocurre que con el continuo uso en la plancha, este se gasta y esto puede alterar considerablemente el ángulo.

En orden de verificar pues el actual ángulo del palpador, este es dirigido sobre la superficie del block de prueba hacia el taco de luxita el cual esta alojado en un hueco, al costado del block . fig.61

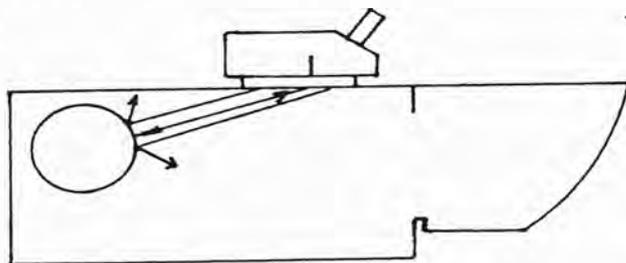


Fig. 61

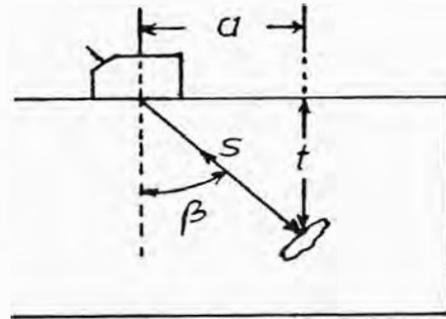
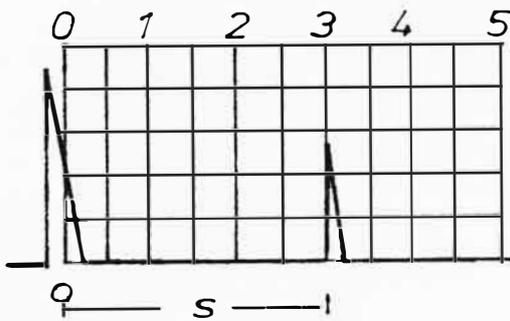
El real punto de salida puede ser alineado con la marca angular escrita sobre un costado y el eco máximo puede ser obtenido moviendo el palpador hacia atrás y hacia adelante.

Cuando la señal máxima es conseguida, el real punto de salida del palpador corresponde al actual ángulo refractado.

DETERMINACION DE LA SITUACION DE LOS DEFECTOS

Una vez ajustado el equipo ultrasónico, dentro de un determinado campo, en unión de un determinado palpador angular, se puede observar directamente en la escala de la pantalla el camino recorrido por los impulsos ultrasónicos del rayo central desde el palpador a un determinado reflector. Si se procura tocar el reflector con el rayo central, lo que se consigue al buscar la altura máxima del eco, el valor observado en la escala corresponde directamente a la distancia entre el reflector y el verdadero punto de salida del haz del palpador angular.

Esta distancia normalmente no interesa mucho y en su lugar se prefiere saber la distancia que hay en la superficie entre el defecto y el punto de salida del haz en el palpador. Así mismo interesa la profundidad a que se encuentra el defecto por debajo de la superficie. fig. 62.



$$a = S \cdot \text{Sen } \beta$$
$$t = S \cdot \text{Cos } \beta$$

Fig. 62

La distancia "a" y la profundidad "t" del defecto son el resultado de simples ecuaciones efectuadas a raíz del recorrido del sonido S y del ángulo de entrada β .

Consideremos ahora que el defecto se localiza después de una reflexión del haz en la superficie inferior de la chapa. fig. 63

Observando en la pantalla del equipo veremos que ahora la distancia a la que aparece el defecto es lógicamente mayor. fig. 64.

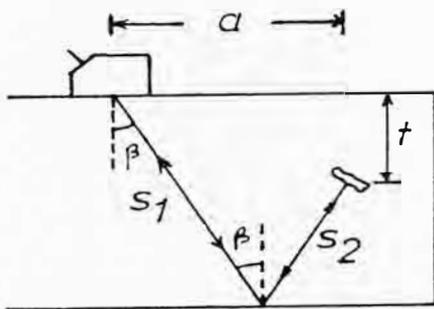


Fig. 63

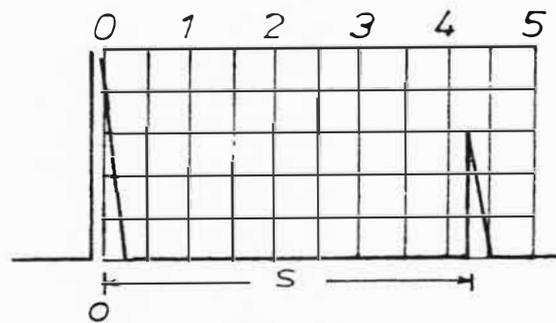


Fig. 64

Teniendo en cuenta las expresiones anteriores tendremos ahora que:

$$a = (S_1 + S_2) \text{ Sen } \beta ; \text{ ahora bien } S_1 + S_2 = S$$

Que podemos leer directamente en la pantalla por lo tanto

$$a = S \times \text{Sen } \beta$$

La fórmula para la profundidad t no es tan sencilla. Para ello, nos fijamos en la fig. 65.

En la cual se ha desplazado S_2 a la parte inferior de la chapa. Entonces obviamente para t se puede decir:

$$t = d - b \quad (1)$$

Como b es un factor des conocido que puede substituirse por:

$$b = t' - d \quad (2)$$

$$t' = (S_1 + S_2) \times \text{Cos } \beta \quad (3) \quad \text{Fig. 65}$$

Reemplazando (3) en (2) y (2) en (1) se tiene:

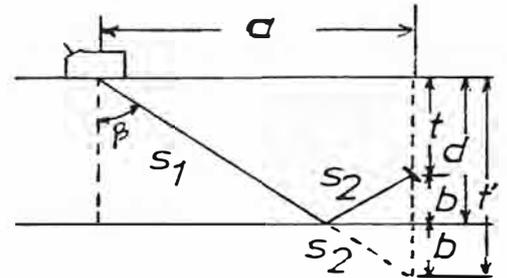
$$t = d - [(S_1 + S_2) \text{ Cos } \beta - d] = 2d - S \text{ Cos } \beta$$

Donde d y S son conocidos y el factor $\text{Cos } \beta$ se puede sacar de una tabla.

Para no realizar cálculos matemáticos y además sabiendo que la localización de una falla especial, no es fácilmente determinada; entonces debemos recurrir a otro método.

Este es conocido como calibración en distancia proyectada.

Hay diferentes métodos de hacer esto:



I) USANDO EL BORDE DE UNA PLANCHA MAQUINADA

Producir la señal de la esquina inferior de la plancha y medir con una regla la distancia superficial desde el punto de salida del palpador al filo de la plancha. Anotar esta medición.

Repitiendo esta operación producir la señal del borde superior de la plancha y medir con una regla la distancia superficial desde el punto de salida del palpador al filo de la plancha.

Anotar esta medición. Fig. 66 (a, b, c.)

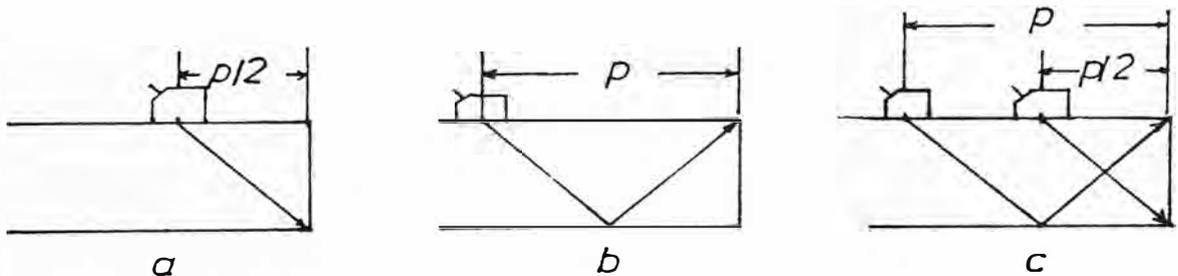


Fig. 66

Usando estos valores colocar los ecos superior e inferior de la plancha en los puntos calculados sobre el T.R.C.

El instrumento esta entonces calibrado en términos de distancia proyectada.

Esto ahora significa que cualquier eco recibido de falla localizada en la pieza de prueba puede ser registrada sobre el T.R.C. En términos de pulgadas (o mm.) delante del probador sobre la superficie de la pieza de prueba, dando la verdadera localización superficial de la falla.

Tenemos ahora solo una medición para la indicación de la profundidad. Esta es echa perfecta y fácilmente si el camino en la plancha de prueba es ajustado.

Si nosotros al producir el eco de la esquina inferior de la plancha marcamos sobre el T.R.C. donde este eco cae; este eco representa la parte inferior de la plancha; repitiendo el proceso para el eco de la parte superior de la plancha tenemos que la distancia entre este dos ecos en la pantalla T.R.C. representa el espesor de la plancha.

Por esta razón, donde quiera que caiga el eco de la falla, con respectos a los ecos superior e inferior indican su posición dentro de la sección atravezada.

Para llevarlo adelante, la distancia entre el eco superior e inferior, que representa el espesor de la plancha, puede ser graduado en pulgadas (o mm.) y la posición de la falla puede ser entonces exactamente medida con respecto a la parte superior e inferior.

Si el borde de una plancha no es utilizable (es cilíndrica o cilindro cerrado en ambos cantos) se puede acudir a una fórmula simple para determinar la parte superior e inferior de la plancha.

$$P = 2 \times \text{Tang. } B_t \times t$$

Donde :

B_t = Angulo refractado del palpador

P = Distancia superficial para la parte superior de la plancha.

t = Espesor de la placha.

$P/2$ = Distancia superficial para la parte inferior de la plancha.

II) USANDO EL BLOCK DE PRUEBA IIW

Si el borde de la plancha maquinada no es utilizable para la calibración, el block de prueba IIW puede ser utilizado como sigue.

Dependiendo del tipo de block a usar, los puntos de calibración en camino del pulso caen en 4" y 8" ó 4" y 9".

De esta información los relativos puntos de calibración en distancia proyectada pueden ser calculados usando la siguiente fórmula: fig. 67.

$$a = S \times \text{Sen } B_t$$

Donde:

a = Distancia superficial delante del palpador.

S = Longitud del camino del pulso.

B_t = Angulo refractado del palpador.

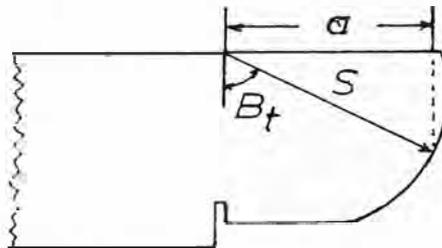


Fig. 67

Ejemplo:

$$S = 4" \quad B_t = 70^\circ$$

$$a = 4 \times \text{Sen } 70^\circ$$

$$a = 4 \times 0.939$$

$$a = 3.756" \quad 2a = 7.512"$$

Por esta razón los dos puntos de calibración en la pantalla para distancia proyectada son 3.75" y 7.51".

Si los puntos de calibración en camino del pulso están en 4" y 9", entonces los respectivos puntos de calibración para distancia proyectada son:

$$0.939 \times 4 = 3.756" \quad \text{y}$$

$$0.939 \times 9 = 8.45"$$

Si un operador no esta ligado a una especificación, donde el necesite emplear, calibración, en camino del pulso. El puede averiguar que en la mayor parte de los casos la técnica de distancia proyectada tiene muchas ventajas.

Primeramente el no necesita recurrir a cálculos matemáticos o reglas de localización de fallas.

Desde la presentación del video, el operador puede determinar la posición de una falla con relación a la línea central de la soldadura y su profundidad debajo de la superficie.

COMPROBACION DE CORDONES DE SOLDADURA

Antes de abordar el examen en sí, de un determinado cordón de soldadura, todo operario de ultrasonidos debe informarse sobre los siguientes puntos:

1.- Clase de material a examinarse.

Conocer el tipo de material (acero dulce, aleado, inoxidable, etc.) puede ayudar a saber si, en las zonas adyacentes al cordón, va a encontrar estructura de grano grueso o fino, lo que determinara la frecuencia a emplear.

2.- Espesor de chapa.

Saber el espesor de la chapa, es siempre muy importante, pues aparte de ayudar en la elección del ángulo a emplear, le va a servir para conocer las distancias P y $P/2$ entre las cuales ha de desplazar el palpador durante la ejecución del control.

3.- Preparación de bordes del cordón.

Conocer la preparación de bordes, ayuda de forma muy considerable, a la hora de interpretar los defectos. Así, por ejemplo, si el cordón lleva preparación en X la posible falta de penetración que pudiera tener este cordón, se encontrara en el centro del mismo, es decir, entre las pasadas de raíz de uno y otro lado.

4.- Procedimiento de soldadura utilizado.

El conocimiento de que procedimiento de soldadura se empleado es de gran importancia para determinar

cuales son los defectos que con mayor seguridad puede encontrar. Así el cordón se ha soldado con el procedimiento CO_2 sabe de antemano de que no va a encontrar inclusiones de escoria, pues el electrodo va protegido con gas y debe en cambio tener en cuenta que en este tipo de soldadura los defectos más frecuentes son inclusiones gaseosas y faltas de fusión entre otros defectos.

- 5.- Si la soldadura ha sufrido algún tratamiento térmico o no.

A veces, en ciertos tipos de cordones, es necesario realizar tratamientos térmicos posteriores a la soldadura. Estos tratamientos pueden originar cambios en la estructura de grano del cordón lo cual puede influir sobre la elección de la frecuencia del palpador.

- 6.- Existencia de plato o anillo soporte en la raíz del cordón.

En algunos cordones el baño, en la raíz se sujeta con platos o anillos soportes (en ciertas uniones de tubos).

El operario debe esperar, casi con seguridad, ecos debido a reflexiones en los mencionados platos o anillos, lo que ha de tener en cuenta a la hora de dilucidar si un eco procedente de la raíz se debe, a un defecto real, o bien a la presencia de los mencionados soportes.

CALIBRACION DEL EQUIPO ULTRASONICO

El equipo ultrasónico es calibrado en términos de distancia proyectada utilizando los métodos antes mencionados ahora sabemos además de que para detectar todos los posibles defectos en la soldadura el palpador deber ser movivo acercandose a la soldadura así como alejandose de esta para que el rayo central toque cualquier punto de esta sección. fir. 68

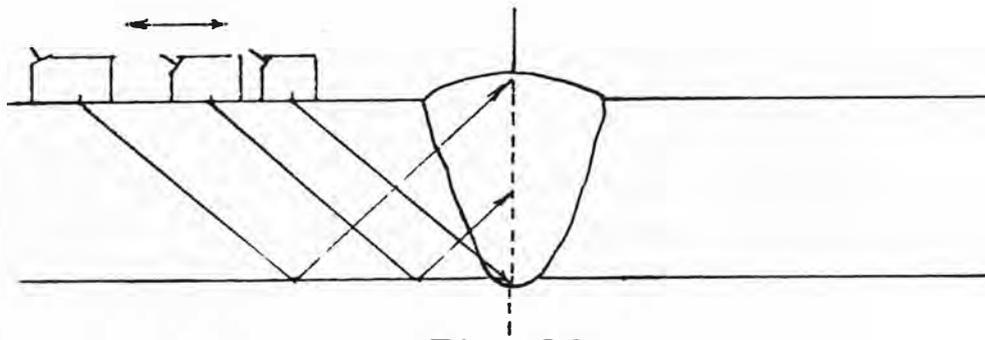


Fig. 68

Además sabemos que la distancia entre el punto de salida del palpador hasta el punto a donde llega el rayo central después de una reflexión es P y la distancia entre el punto de salida del palpador hasta el punto de la primera reflexión en el fondo de la soldadura es $P/2$.fig.69.

Por lo tanto si se mueve el palpador en el campo entre $P/2$ y P , se puede decir con seguridad que se ha detectado toda la sección de la soldadura.

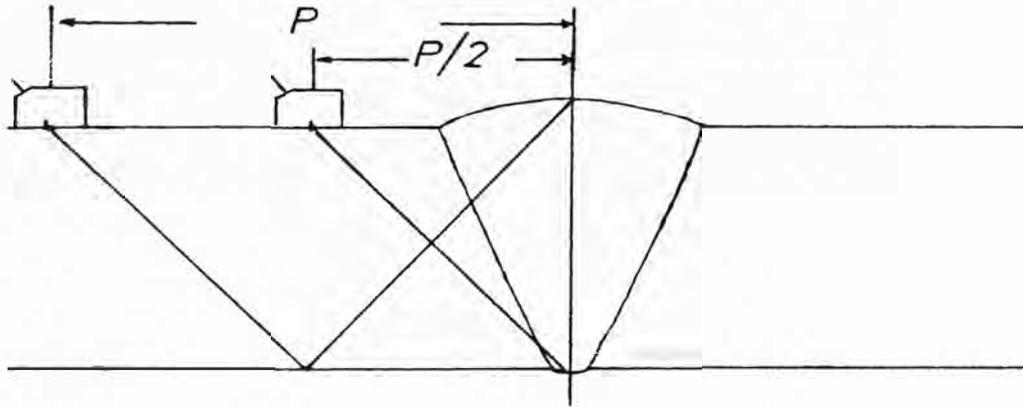


Fig. 69

DEFECTOS TIPICOS QUE SE PRODUCEN EN SOLDADURA

Desde el punto de vista del operario de ultrasonidos, los defectos en soldadura pueden agruparse como sigue:

- | | | |
|----------|---|------------------------|
| Externos | { | sobre espesor excesivo |
| | | mordeduras de bordes |
| | | descolgamiento de baño |
| Internos | { | grietas |
| | | falta de penetración |
| | | falta de fusión |
| | | inclusiones de escoria |
| | | inclusiones gaseosas |

POSIBILIDAD DE DETECCION DE DEFECTOS INTERNOS
EN SOLDADURA MEDIANTE ULTRASONIDOS

Veamos ahora el grado de dificultad que entraña la detección de cada uno de los defectos citados durante el examen de soldaduras por ultrasonidos.

a) GRIETAS

Las grietas longitudinales, que suelen darse en las uniones soldadas, son relativamente fáciles de detectar mediante ultrasonidos.

Las grietas transversales requieren un mayor cuidado para su detección siendo necesario buscarlas con el palpador situado casi paralelo al cordón. fig.70 Sin embargo, a veces, no es posible detectarlas de esta forma y entonces se recurre al control mediante dos palpadores conectados en paralelo. fig.71 funcionando ambos como emisores y receptores.

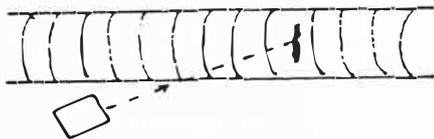


Fig. 70

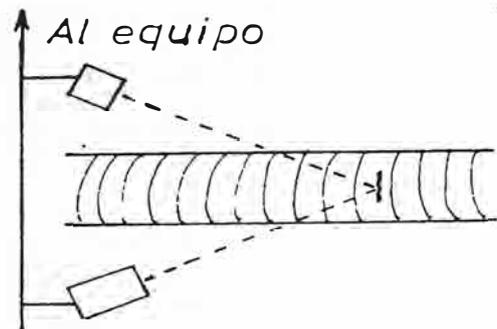


Fig. 71

b) FALTAS DE PENETRACION

Cuando la preparación de bordes de las chapas a soldar es en V (caso muy frecuente) la falta de penetración de existir, se presenta en la raíz. Si el cordón lleva preparación en X o doble U la falta de penetración suele producirse en el centro del mismo y si el ángulo de entrada del palpador es más bien bajo (60° o 45°), debido a que las chapas son gruesas, puede ocurrir, que al ser el defecto vertical y muy plano, no pueda ser detectado con un solo palpador. Fig.72

Se ocurre entonces, al empleo de dos palpadores conectados en serie, el primero de los cuales emite y el segundo recibe. Fig.73

Pudiéndose entonces detectar el defecto.

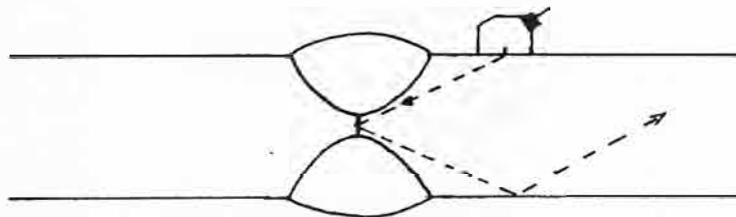


Fig. 72

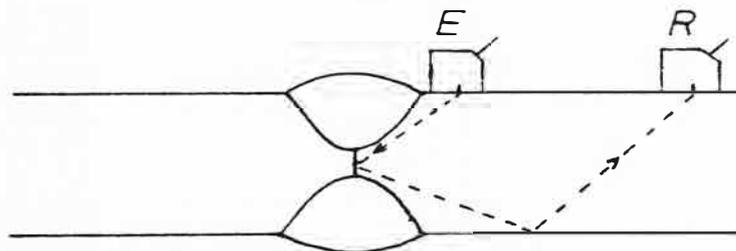


Fig. 73

c) FALTA DE FUSION.-

Suelen aparecer frecuentemente en los flancos de los chaflanes de las chapas. En ocasiones, se producen entre pasadas, por ejemplo.

En la unión de tubos realizados por el procedimiento CO_2 y su forma de orientación hacen que sea necesario un mayor cuidado en su localización mediante ultrasonidos.

d) INCLUSIONES DE ESCORIA

Defecto muy corriente en la soldadura eléctrica por arco manual, aunque puede darse en otros casos. Se pueden presentar en cualquier parte del cordón. En ocasiones se encuentran en la raíz y pueden ir asociadas con falta de penetración.

Su detección normalmente no presenta problemas.

e) INCLUSIONES GASEOSAS

Las más frecuentes de estas inclusiones son los denominados poros que, debido a que son reflectores esféricos muy pequeños, requieren un cuidadoso control. Cuando están agrupados la detección es más sencilla así como cuando son vermiculares o bien son cavidades gaseosas grandes (que producen en soldadura bajo CO_2).

COMPORTAMIENTO DE LOS DEFECTOS TIPICOS EN SOLDADURA
AL SER TOCADOS POR UN HAZ DE ULTRASONIDOS

Teniendo en cuenta la distinta forma, orientación y posición de los defectos que se pueden encontrar en soldadura su comportamiento al ser tocados por un haz de ultrasonidos, es muy distinto.

Veamos en líneas generales como es este comportamiento para cada tipo de defecto.

GRIETAS

a) Defectos de pared rugosa y siempre buenos reflectores.



Fig. a

b) El eco del defecto es de gran altura y estrecho.

Si la grieta es inclinada puede dar eco sólo desde un lado del cordón.

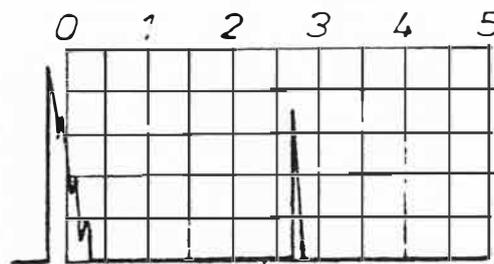


Fig. b

- c) Al girar el palpador al rededor del defecto tomando a este como centro, el eco desaparece rápidamente.

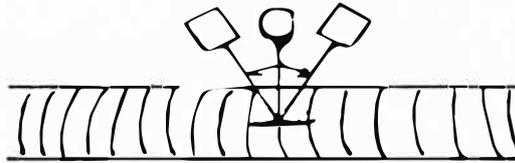


Fig. c

- d) Si la grieta está en la raíz y el longitudinal puede confundirse con eco de falta de penetración o bien con un eco procedente de descolgamiento de baño, pero normalmente el eco de la grieta suele ser casi siempre más estrecho en la pantalla.

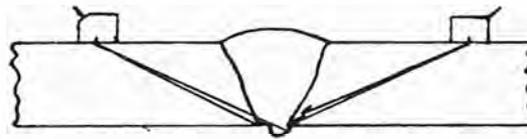
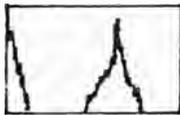


Fig. d

FALTA DE PENETRACION

- a) Defectos de pared lisa asociados en ocasiones con escorias. Suelen ser buenos reflectores. Su orientación es casi siempre paralela al cordón y están situados en el centro del cordón aproximadamente.

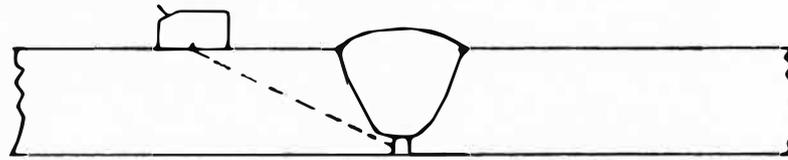


Fig. a

- b) El eco del defecto es siempre importante. Se localiza desde ambos lados del cordón.

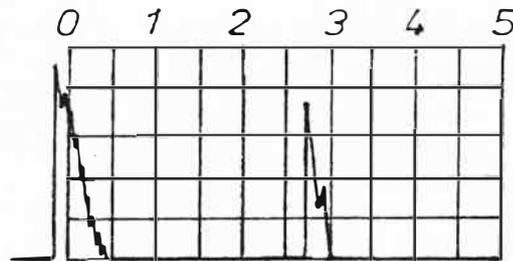


Fig. b

- c) Al girar el palpador alrededor del defecto tomado como centro el eco desaparece rápidamente.

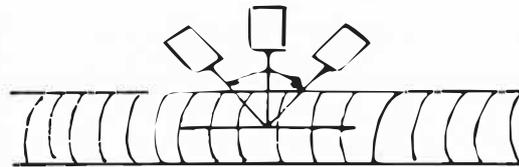


Fig. c

- d) Cuando la falta de penetración esta en la raíz del cordón, puede ser confundida con descolgamiento de baño.

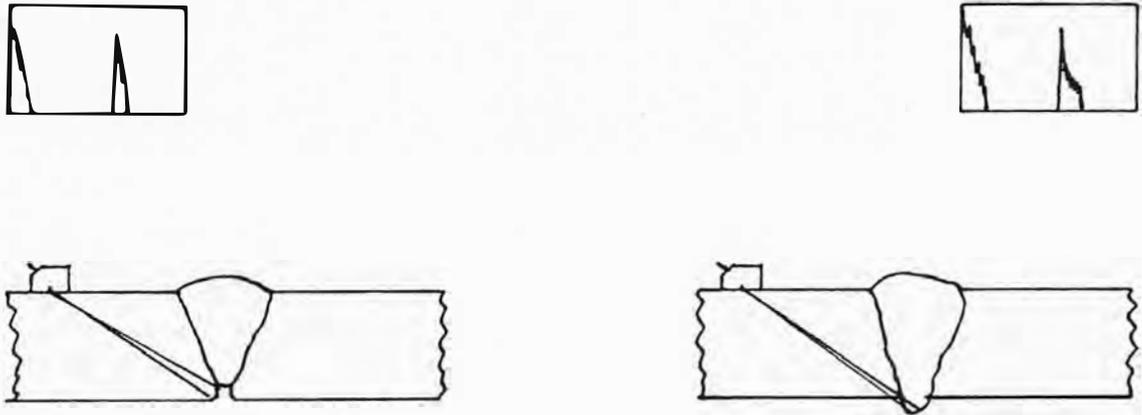
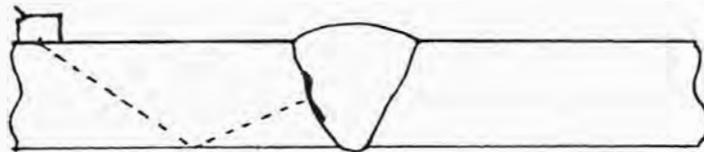


Fig. d

FALTA DE FUSION

- a) Suele localizarse en los bordes del chaflán o cerca de ellos. Son reflectores buenos y de paredes lisas en la mayoría de los casos.

Fig. a



- b) El eco es importante pero casi siempre se detecta bien solo desde un lado.

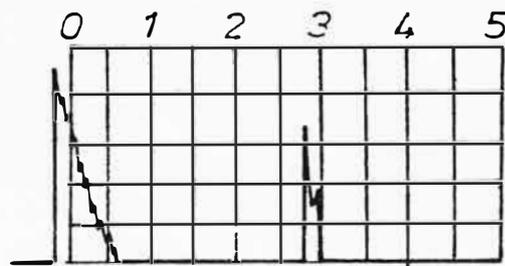


Fig. b

- c) Al girar el palpador alrededor del defecto tomado este como centro el eco desaparece rápidamente.

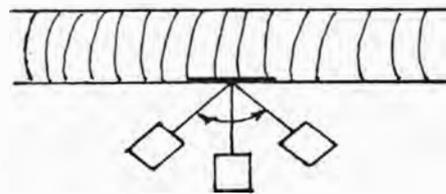


Fig. c

- d) Si el defecto se encuentra entre pasadas su localización puede no ser tan sencilla

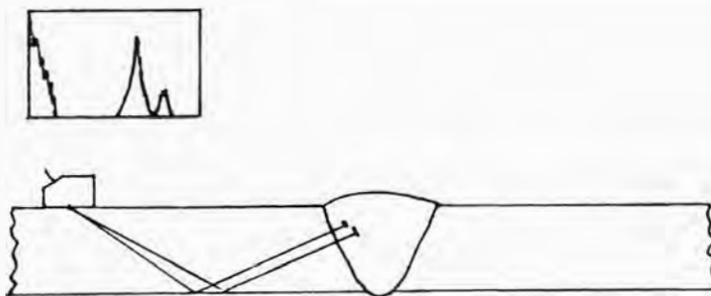


Fig. d

INCLUSIONES DE ESCORIA

- a) Son reflectores muy escabrosos. Pueden estar situados en cualquier parte del cordón.

Fig. a



- b) El eco de este defecto es muy característico y en muchas ocasiones tiene forma de abeto, aunque a veces pueden aparecer si las escorias son finas y alineadas ecos similares a los de falta de penetración. su localización desde ambos lados del cordón es posible en la mayoría de los casos.

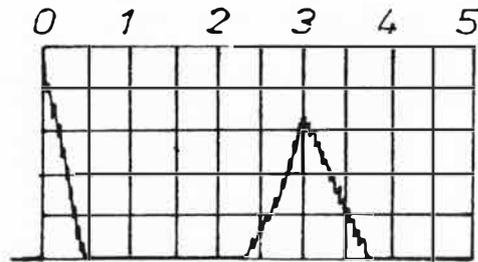


Fig. b

- c) Al girar el palpador alrededor del defecto, tomado este como centro, el eco cambia de forma, presentando muchos máximos y mínimos antes de llegar a desaparecer.

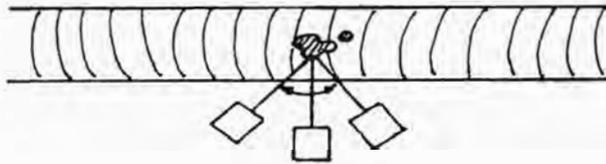


Fig. c

INCLUSIONES GASEOSAS

- a) Son reflectores esféricos o cilíndricos (poros vermiculares).

Aislados son malos reflectores.

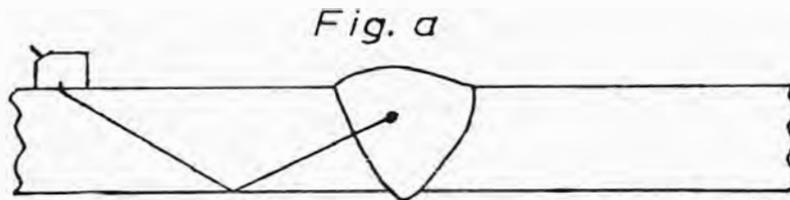


Fig. a

- b) Los ecos de estos defectos suelen ser pequeños. Pueden localizarse desde ambos lados del cordón.

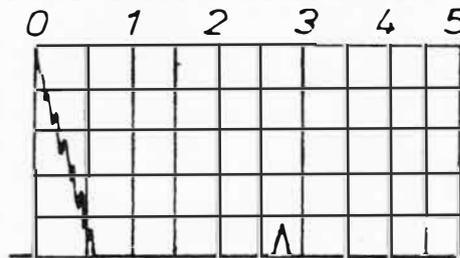


Fig. b

- c) Tomando como centro el defecto y girando el palpador a su alrededor, el eco persiste en la pantalla.

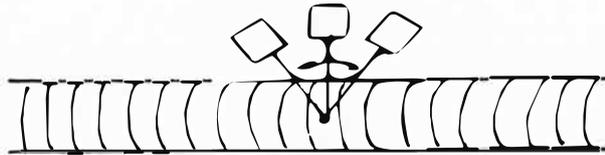


Fig. c .

- d) Los poros agrupados, a veces, dan ecos similares a los de las escorias pero de menor amplitud.

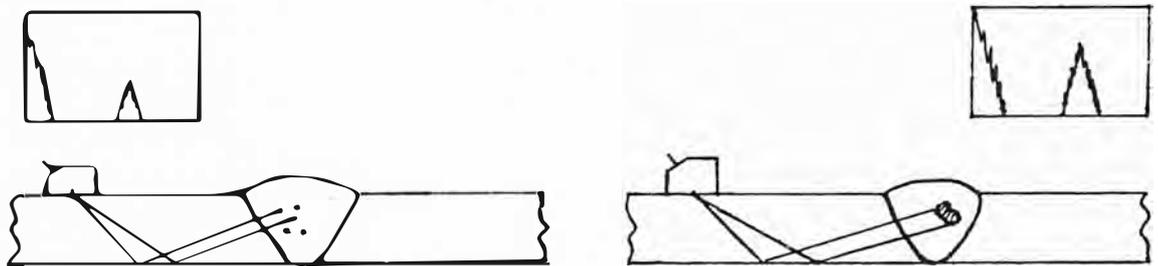


Fig. d

DETERMINACION DE LA EXTENSION DE LOS DEFECTOS GRANDES

a) EXTENSION LONGITUDINAL

El procedimiento es como sigue:

Una vez encontrado el eco del defecto de mayor altura desplazamos el palpador, paralelamente a si mismo, hacia la izquierda hasta que el eco alcance una altura correspondiente a la mitad del eco máximo. En ese punto se encuentra el extremo izquierdo del defecto. A continuación desplazamos el palpador hacia la derecha pasamos nuevamente por el máximo y continuamos desplazándolo hasta que el eco alcance, de nuevo la mitad de la altura del eco máximo.

En este otro punto habremos alcanzado el borde derecho del defecto. Fig. 74.

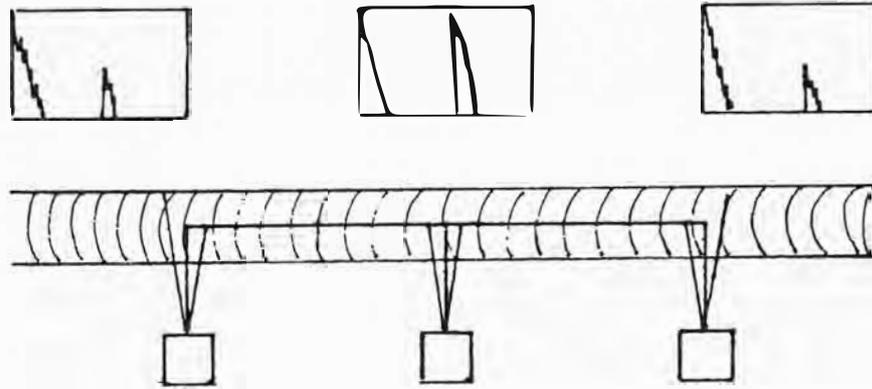


Fig. 74

b) EXTENSION EN PROFUNDIDAD

En primer lugar se busca la altura máxima del eco del defecto. A continuación desplazamos el palpador sin moverlo a la izquierda o derecha, en dirección al cordón hasta que el eco alcance la mitad de altura correspondiente al eco máximo. Movemos después el palpador hacia atrás, pasando de nuevo por el eco de altura máxima y continuamos a un el desplazamiento hasta que de nuevo el eco sea la mitad. Los ecos intermedios con la mitad de la altura máxima limitan, en la pantalla del equipo, la profundidad del defecto. Fig. 75.

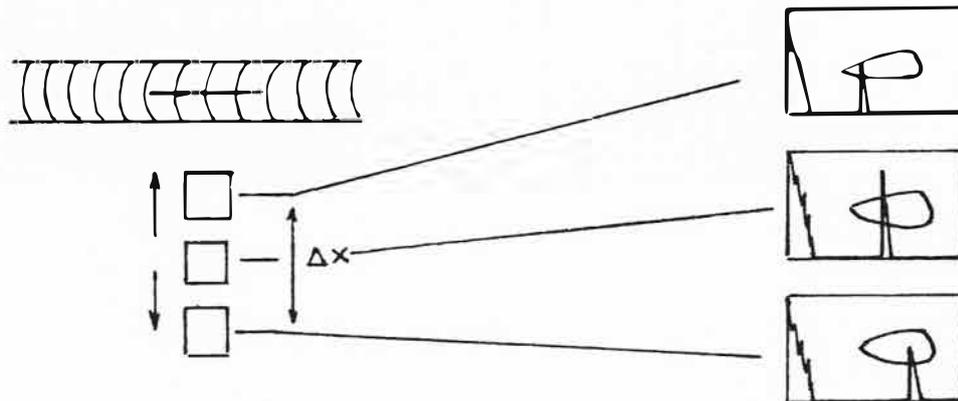


Fig. 75

La extensión en profundidad de un defecto puede calcularse también teóricamente con la expresión:

$$t = \frac{\Delta x}{T_g \alpha}$$

Siendo: Δx = Desplazamiento del palpador
 α = Angulo de entrada del palpador.

c) EXTENSION TRANSVERSAL

La extensión transversal de un defecto se determina mediante la detección desde ambos lados del cordón. Se busca la altura máxima del eco intermedio y obtenemos directamente la extensión transversal del defecto a través de la distancia de los puntos localizados. Fig. 76.

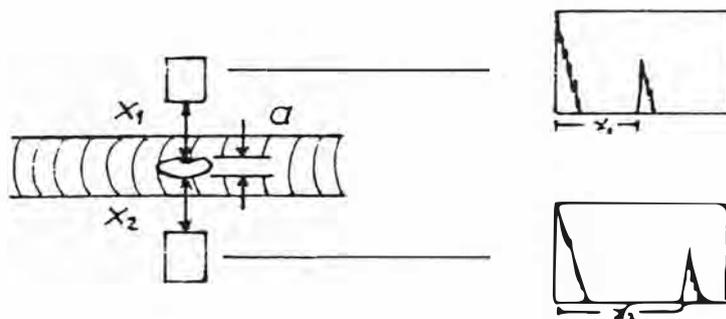


Fig. 76

EXAMEN DE UNIONES

1) UNIONES A TOPE PLANAS.

Estas uniones son muy frecuentes y en realidad todo lo dicho hasta ahora, sobre ensayo de soldaduras, puede aplicarse enteramente a ellas. Para realizar su examen es conveniente como para todas las soldaduras, proveer se del mayor número de datos posibles, tales como tipo de material, procedimiento de soldadura empleado, etc. El ajuste del equipo se realizará, siempre que sea posible y no especifique lo contrario, en el borde de la chapa pues es el elemento más cómodo para el operario. En cuanto al ajuste de la ganancia o amplificación, necesaria para realizar el examen, puede realizarse sobre piezas patrón que presentan taladros simulando defectos artificiales, o utilizando las escalas AVG.

En la práctica, muchas veces, se emplea el ajuste de amplificación en el borde de la chapa, amplificando el eco procedente del borde inferior de la misma hasta la altura de la pantalla. A veces es necesario utilizar amplificaciones mayores o menores según que los defectos que se quieren encontrar sean de pequeña o gran magnitud.

2) UNIONES A TOPE SUPERFICIES CILINDRICAS

Este tipo de uniones es muy frecuente encontrarlas en la práctica. Pueden ser de dos clases: longitudinales fig. 77 y circunferenciales fig. 78.

Para la realización del examen de este tipo de uniones hay que tener en cuenta la curvatura de la superficie so

bre la que apoya el palpador. Cuando no se logre un buen acoplamiento sobre la superficie, debe adaptarse a la suela del palpador a la curvatura de la superficie para lograr de esta forma sensibilidad en el examen.

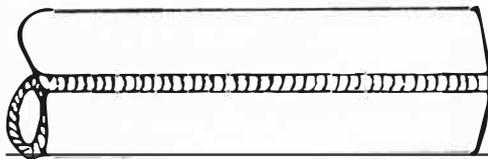


Fig. 77

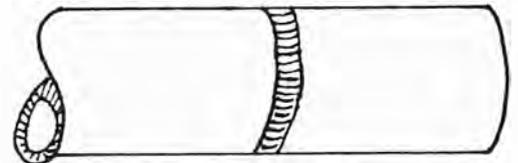


Fig. 78

El ajuste del equipo mediante un palpador angular para el examen de estas uniones debe realizarse, siempre que pueda, en un borde libre procediendo de forma análoga a la empleada para chapas planas. Fig. 79 y Fig. 80.

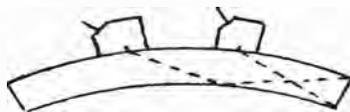


Fig. 79

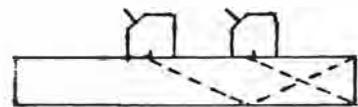


Fig. 80

El cálculo teórico del recorrido del haz y del salto y medio salto en el caso de soldadura longitudinal, sobre superficie cilíndrica, es necesaria efectuarlo teniendo en cuenta unos factores de corrección con respecto a las distancias del recorrido del haz y del salto para una

chapa plana del mismo espesor. En efecto, para calcular P_r y S_r es necesario, una vez conocidos P_1 y S_1 multiplicarlos respectivamente por los factores f_1 y f_s que dependen del ángulo de entrada y de la relación d/D siendo d el espesor de la pared y D el diámetro exterior de la superficie cilíndrica y que están relacionados mediante los diagramas de la fig. 82 ver fig.81.

Para evitar estos cálculos es por lo que, se debe emplear el ajuste en el borde de la chapa siempre que se pueda lo cual casi siempre es factible de realizar en uniones, en tuberías y depósitos cilíndricos.

Salvo lo que se acaba de decir, todo lo mencionado anteriormente para el ensayo de soldaduras, es enteramente aplicable en la inspección de este tipo de uniones.

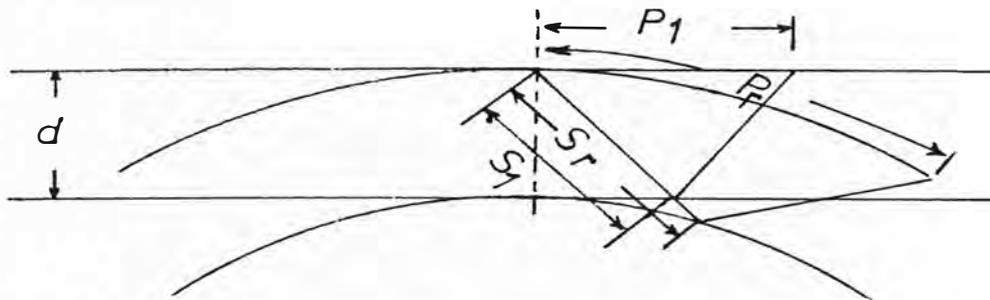


Fig. 81

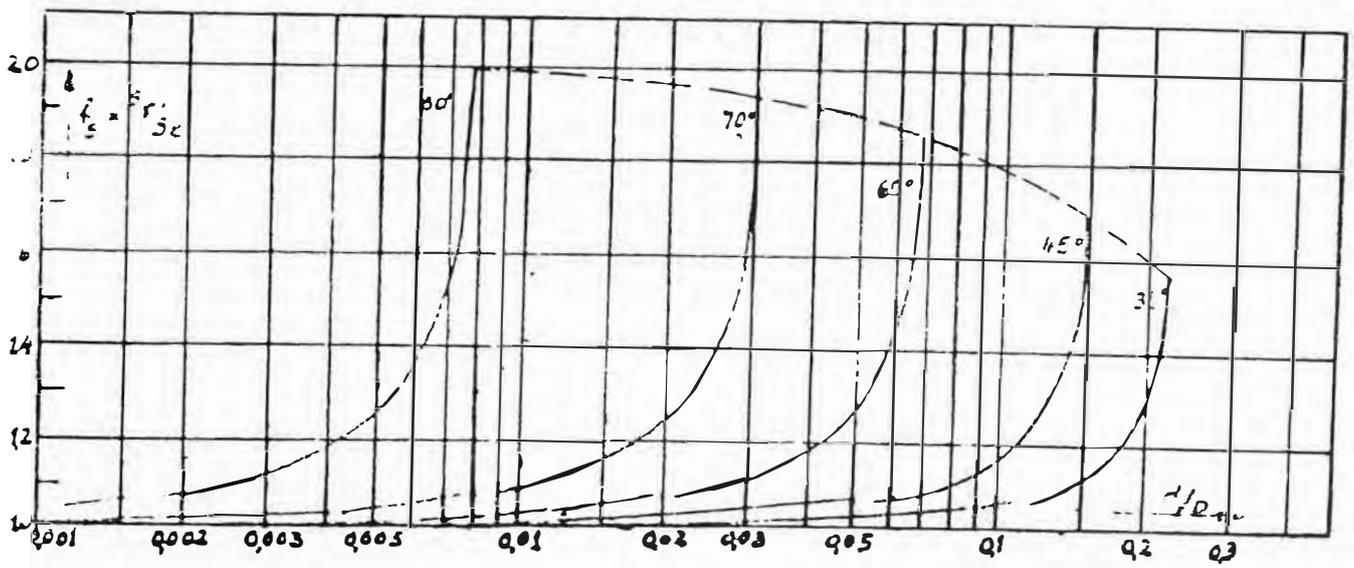
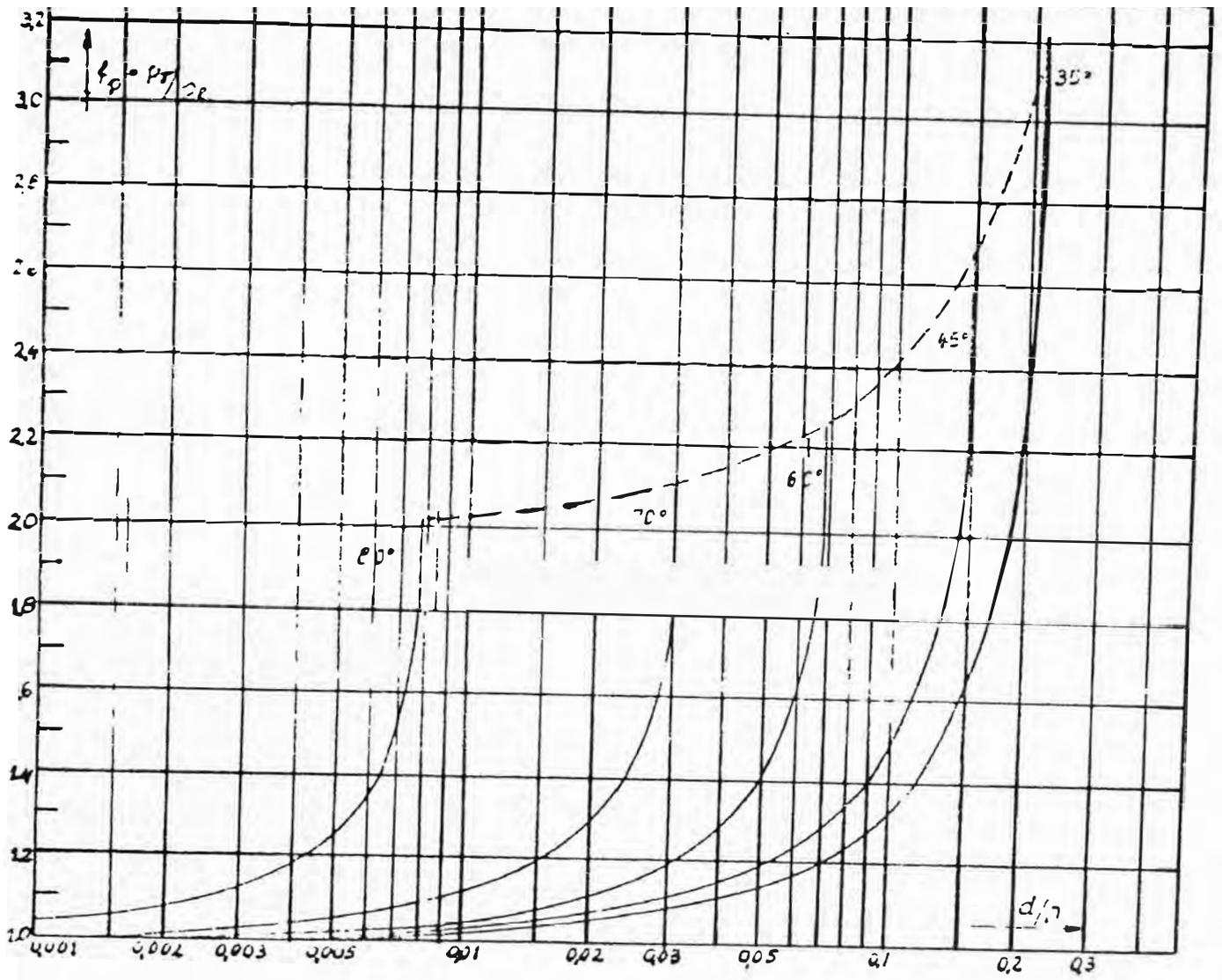


Fig. 82

Aparte de los defectos señalados anteriormente, hay de defectos que, si bien pueden aparecer en cualquier tipo de unión, son típicos de las soldaduras en tubos. Estos defectos son:

1.- Desnivelación de bordes.

La reflexión se produce en la base del chaflán fig. 83. El eco que aparece en la pantalla no suele ser de gran amplitud y es visible desde un solo lado del cordón. fig. 84.



Fig. 83

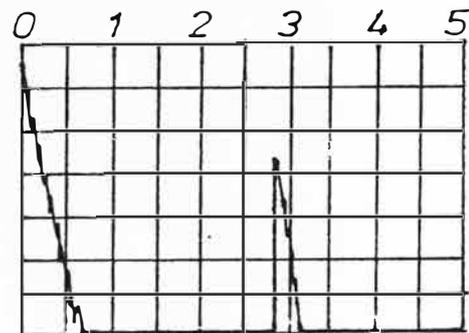


Fig. 84

A veces, ocurre que, si los bordes inferiores están bien fundidos, aún estando desnivelados, el eco puede ser muy pequeño. Al girar el palpador tomando el defecto como centro el eco desaparece rápidamente de la pantalla.

Descolgamiento de Baño

La reflexión se produce en el borde inferior del chaflán fig. 85. El eco suele ser ancho y no siempre puede ser visible desde ambos lados del cordón. fig.

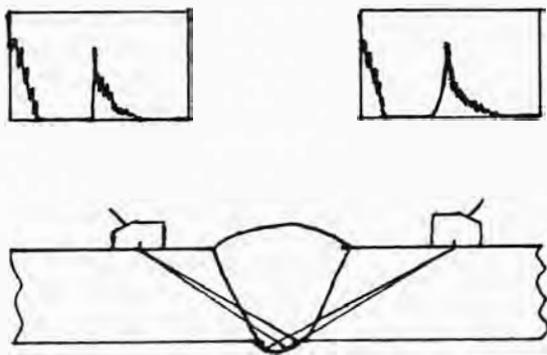


Fig. 85

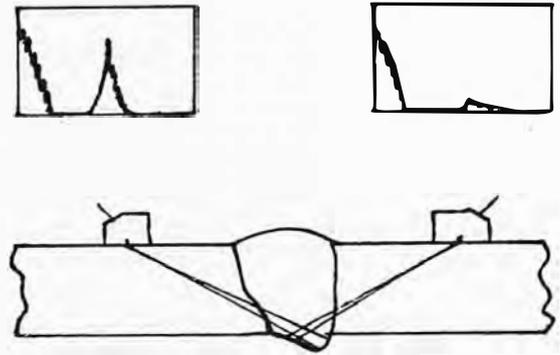


Fig. 86

3.- Sobreespesor Excesivo.

Debido a que para soldar tuberías, tubo, etc. muchas veces hay que emplear lo que se denomina soldeo en posición (soldadura en techo, vertical ascendente o descendente, etc.) suele ocurrir que el cordón presenta o bien sobreespesor excesivo o bien una superficie muy irregular que podría en algunos casos, dar origen a ecos que podrían enmascarar posibles defectos próximos a la superficie del cordón.

En las figuras 87, 88 y 89 pueden apreciarse algunos de estos defectos y el comportamiento del haz al incidir sobre ellos representado por la imagen en la pantalla.

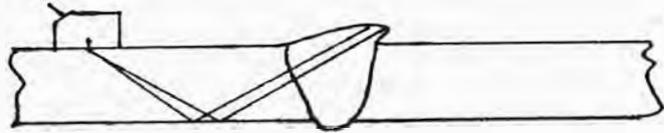
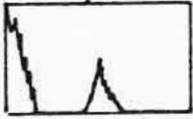


Fig. 87

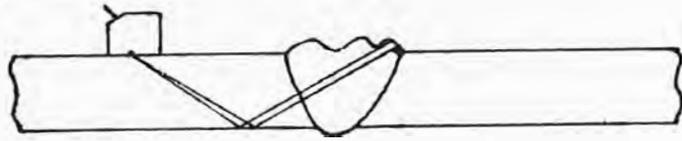


Fig. 88

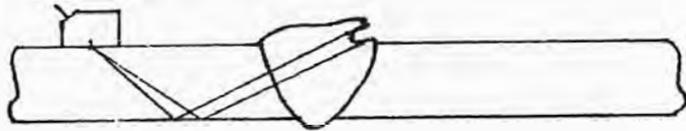


Fig. 89

CONCLUSIONES

Primeramente quiero poner en conocimiento de que este programa de estudio para capacitación de personal en ensayos no destructivos por ultrasonido se ha elaborado teniendo en cuenta los principios fundamentales que rigen su aplicación y de manera de que sea fácilmente entendible.

Ahora bien en base a la experiencia adquirida en la aplicación de este tipo de ensayo puedo decir:

- De que se trata de un método muy sensitivo ya que no demos detectar defectos muy pequeños. Además se puede determinar la posición que tienen dichos defectos dentro de la pieza que esta sometida a inspección. Hay que tener seguridad en si mismo de lo que se esta haciendo ya que las ondas solamente llevan a realizar una falsa interpretación de la pantalla del T.R.C. Hay que imaginarse de que uno viaja juntamente con la onda ultrasónica dentro del material para que de esta manera se tenga una idea de lo que pasa con el haz, asi como para poder identificar en la pantalla la señal que corresponde al defecto y no confundirla con señales que provienen de los contornos por las diferentes formas que tiene la pieza sometida a inspección.

Una manera fácil de comprobar de que dichas señales no provienen de defectos si no de contornos, es frotar el dedo índice en aceite o en otro tipo de

acoplante y luego frotar la zona donde aparentemente existe un defecto, en la pantalla se notara de que la amplitud del eco varia de acuerdo al frotamiento del dedo.

Se recomienda hacer patrones de diferentes tipos, formas y con distintos tipos de fallas hechas a proposito para que el personal observe y aprenda a identificar las diferentes señales que se obtienen en la pantalla del T.R.C. debido a estos factores.

Presentado un determinado problema en el cual se tienen muchos inconvenientes para poder determinar algún defecto uno debe ser capaz de idear otra manera de detectar el defecto, ya sea utilizando una combinación de palpadores de tal manera de que se elimine los inconvenientes anteriores.

Es conveniente en ciertos tipos de uniones, antes de realizar el control, proveerse de un croquis lo más exacto posible y realizado a escala de los elementos soldados para que de esta manera una vez estudiada la geometría de la pieza soldada se pueda elegir el palpador adecuado y de acuerdo con los defectos que creemos poder encontrar, se elijira el ajuste más conveniente.

BIBLIOGRAFIA

- Juan N. Baez. Radiografía Industrial
Comisión Nacional Argentina de Energía Atómica. CNEA-
AC 47/75 Proyecto ARG/71/537.
- Noticias de Seguridad. Tomo XL-Nº 3- Marzo 1978.
Consejo Interamericano de Seguridad.
- Ardrox . Líquidos Penetrantes. Brent Iberica S.A.
Group Brent Chemicals International LTD.
- Mainieri y Gonzales. Ensayos de Materiales por Ultra-
sonido Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Rosario. Dpto. Mecánica. 1975.
- Magnaflux Corporation. Quality services.
MQS _ MT _ 2.5M - 1081
- ASTM STANDARD E52-49 T Industrial Radiographic
Terminology For Use In Radiographic Inspection of Cas-
ting and Weldments. American Society of Metals.
Philadelphia 1949.
- Dr. Ing. E. Mundry, Richtlinie ober schwissnahtprufun-
gen Mit Ultraschall. Mai 1974.
Deustaschegesellschaft fur zerstörungsfreie prufverfa-
hren. e.v.
Forli O., Hansen L., Sandberg S., And Astror T., 1978
Comparison of Radiographic and Ultrasonic nde. Pilot
Study of a statistical model for evaluacón of examina-
ción Performance. Noritest, Project 72-76, 49P.
- Standard Method of test for fiber content of fiber
reinforced resin composites ASTM part 36, D3171-73,
American Society For Testing Materials, Philadelphia,

PA,1976.

Piezo electricity and ferroelectricity in polyvinylidene fluoride. E. Fukada-T Furukawa. 31-39

Calculations of the reflectron and transmission of ultrasound by cracks in steel. J Temple 165-169.

Ultrasonic flaw detector. Manual Krautkramer, Issue 6
23904 - 2.930.