



# Errores típicos cuando empleamos técnicas ultrasónicas donde el criterio de aceptación es basado en mecánica de la fractura

**Por. Ing. Carlos Suárez**

**ASNT NDT Level III: UT, RT, VT, MT, PT**

**ISO 9712 Level 3: UT, PAUT, TOFD, VT, PT**

**CSWIP: AUT Data Interpreter**

**Piloto de drone**

**Errores típicos cuando  
empleamos técnicas  
ultrasónicas donde el criterio de  
aceptación es basado en  
mecánica de la fractura**

# Introducción

Hoy en día, existe la tendencia de utilizar técnicas ultrasónicas en lugar de radiografía donde el criterio de aceptación es basado en mecánica de la fractura, en estos casos la discontinuidad se clasifica por su ubicación (superficial vs sub-superficial) y por sus dimensiones (longitud y altura). Sin embargo, poco nos hemos detenido a cuestionarnos sobre la efectividad en la medición de la altura de las discontinuidades, sobre todo cuando están abiertas a la superficie. La exactitud en esta medición es muy importante, ya que de ésta depende la longitud máxima permitida en los criterios de aceptación.

¿En que consiste un estándar de aceptación basado en mecánica de fractura?

# ASME SEC V, ART.1:2023

MANDATORY APPENDIX I  
GLOSSARY OF TERMS FOR NONDESTRUCTIVE EXAMINATION

*fracture mechanics based*: a standard for acceptance of a weld based on the categorization of imperfections by type (i.e., surface or subsurface) and their size (i.e., length and through-wall height).

## Algunos códigos o normas que incluyen este criterio de aceptación:

- **API 650** Welded Tanks for Oil Storage. Annex U
- **API 1104**, Apéndice A. Welding of Pipelines and Related Facilities. Annex A
- **ASME SEC VIII**, Div. 2:2023 Rules for Construction of Pressure Vessels
- **ASME B31.3**. Process Piping. Annex R
- **ISO 19285:2017** Phased Array Ultrasonic Testing – Acceptance Levels

# API 650

Table U.1a—Flaw Acceptance Criteria for UT Indications May be Used for All Materials (SI)

All dimensions in mm

Thickness at Weld ( $t$ ) <sup>a</sup>	MAXIMUM ACCEPTABLE FLAW LENGTHS—( $l$ )							
	For Surface Flaw <sup>b</sup> With Height, ( $h$ ) No Greater Than			For SubSurface Flaw With Height, ( $h$ ) No Greater Than				
	2.0	2.5	3.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
6 to < 10	8	4	3	5	3	Not allowed	Not allowed	Not allowed
10 to < 13	8	8	4	14	5	4	Not allowed	Not allowed
13 to < 19	8	8	4	38	8	5	4	3
19 to < 25	8	8	4	75	13	8	6	5
25 to < 32	9	8	4	100	20	9	8	6
32 to < 40	9	8	4	125	30	10	8	8
40 to < 44	9	8	4	150	38	10	9	8

<sup>a</sup>  $t$  = thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining members having different thickness at the weld,  $t$  is the thinner of the two.

<sup>b</sup> Any surface flaw, to be deemed acceptable, must satisfy both the size limitations of this table and additionally satisfy the MT/PT characterization limitations of U.6.6.2

Tomado del API 650

# ASME SEC VIII DIV 2.

**Table 7.8**  
**Flaw Acceptance Criteria for Welds With Thicknesses Between 6 mm ( $\frac{1}{4}$  in.) and Less Than 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.)**

Thickness, $t$	$a$		$l$
	Surface Flaw	Subsurface Flaw	
6 mm ( $\frac{1}{4}$ in.)	0.95 mm (0.040 in.)	0.48 mm (0.020 in.)	$\leq 6.4$ mm ( $\frac{1}{4}$ in.)
10 mm ( $\frac{3}{8}$ in.)	1.04 mm (0.042 in.)	0.52 mm (0.021 in.)	$\leq 6.4$ mm ( $\frac{1}{4}$ in.)
< 13 mm ( $\frac{1}{2}$ in.)	1.13 mm (0.044 in.)	0.57 mm (0.022 in.)	$\leq 6.4$ mm ( $\frac{1}{4}$ in.)

**GENERAL NOTES:**

- (a) The parameter  $t$  is the thickness of the weld excluding any allowable reinforcement, and the parameter  $l$  is the length of the flaw. For a butt weld joining two members having different thicknesses at the weld,  $t$  is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, then the thickness of the throat of the fillet weld shall be included in  $t$ .
- (b) The acceptance limits specified here are based upon workmanship considerations and are not necessarily intended for use in evaluating flaws identified after the vessel has gone into service.
- (c)  $a$  and  $l$  are as defined in 7.5.5.2.
- (d) For intermediate thicknesses  $t$  [ $6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.}) < t < 13 \text{ mm } (\frac{1}{2} \text{ in.})$ ], linear interpolation is permissible.
- (e) The criteria for  $< 13 \text{ mm } (\frac{1}{2} \text{ in.})$  is for interpolation of intermediate thicknesses only. See Table 7.9 for  $13 \text{ mm } (\frac{1}{2} \text{ in.})$  thickness.
- (f) A subsurface indication shall be considered as a surface flaw if the separation ( $S$  in Figure 7.11) of the indication from the nearest surface of the component is equal to or less than half the through dimension [ $2d$  in Figure 7.11, sketch (b)] of the subsurface indication.

# ASME SEC VIII DIV 2 = ASME B31.3 ANEXO R

Flaw Aspect Ratio, $a/l$	25 mm (1 in.) $\leq t < 64$ mm (2½ in.)	
	Surface Flaw, $a/t$	Subsurface Flaw, $a/t$
0.00	0.031	0.034
0.05	0.033	0.038
0.10	0.036	0.043
0.15	0.041	0.054
0.20	0.047	0.066
0.25	0.055	0.078
0.30	0.064	0.090
0.35	0.074	0.103
0.40	0.083	0.116
0.45	0.085	0.129
0.50	0.087	0.143

Ejemplo para espesor de 25 mm

Allowed Length	Flaw height	
Longitud (L)	Altura (a)	
na	0.78	
16.5	0.83	0.83-0.78=0.05mm
9.0	0.90	0.9-0.83=0.07 mm
6.8	1.03	1.03-0.9=0.13 mm
5.9	1.18	
5.5	1.38	
5.3	1.60	
5.3	1.85	
5.2	2.08	
4.7	2.13	
4.4	2.18	

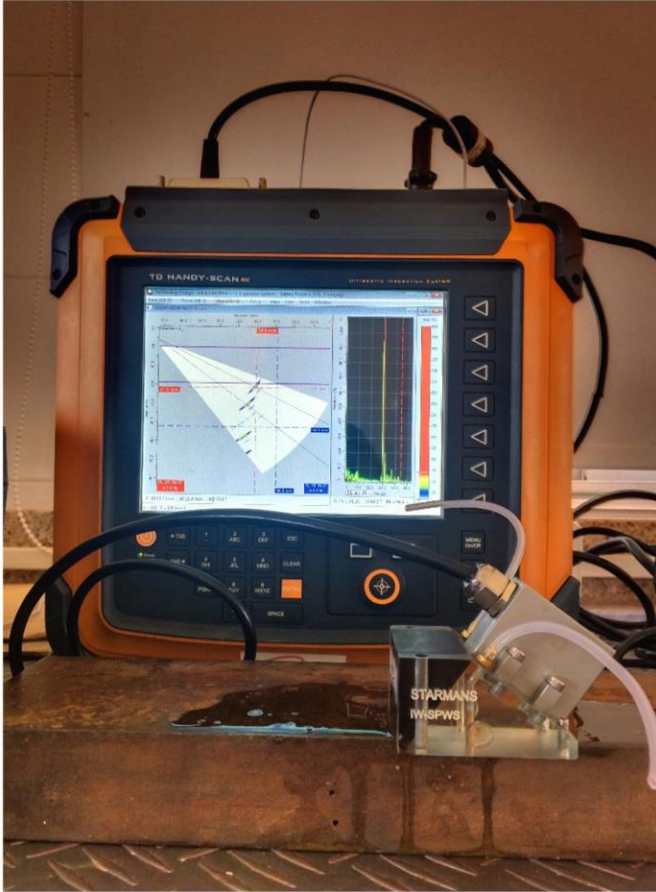


**Table 2 — Acceptance criteria for level 1**

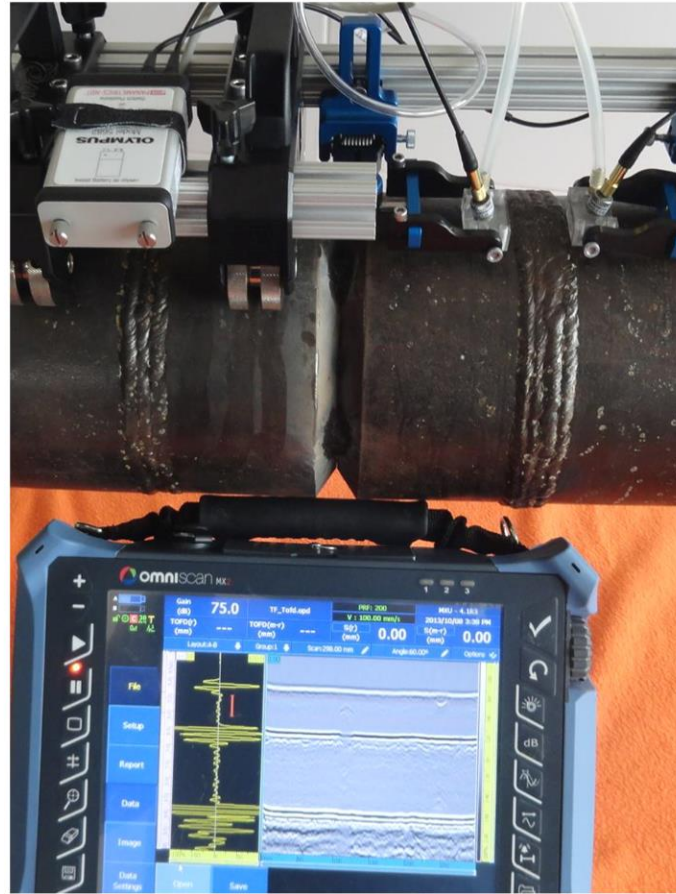
Thickness range	Maximum allowable length ( $l_{max}$ ) if $h < h2$ or $h3$		Embedded $h2$ mm	Maximum allowable height ( $h1$ ) when $l > l_{max}$ $h1$ mm
	$l_{max}$ mm	Surface breaking $h3$ mm		
$6 \text{ mm} < t \leq 15 \text{ mm}$	$0,75t$	1,5	2	1
$15 \text{ mm} < t \leq 50 \text{ mm}$	$0,75t$	2	3	1
$50 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	40	2,5	4	2
$t > 100 \text{ mm}$	50	3	5	2

Lo primero que debemos tener claro es que es mas importante medir correctame la altura de la discontinuidad que su longitud.

# TÉCNICAS ULTRASÓNICAS ESTUDIADAS



**PAUT**



**TOFD**



**FMC/TFM**

# ERRORES TIPICOS

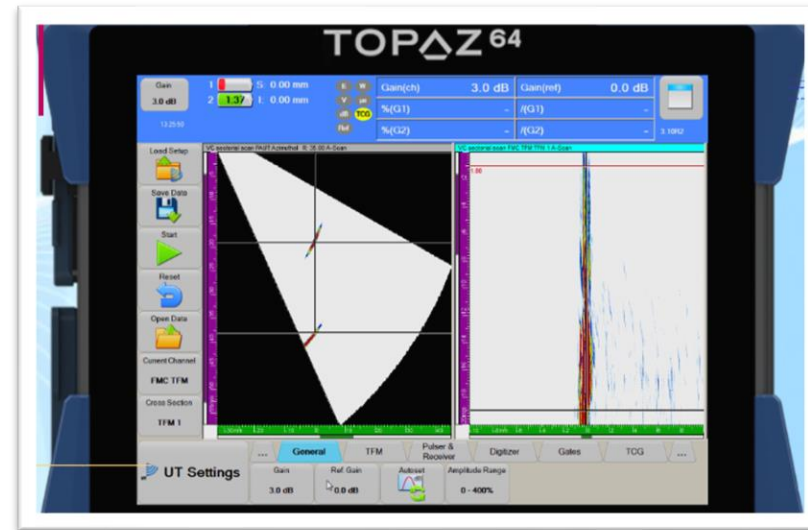
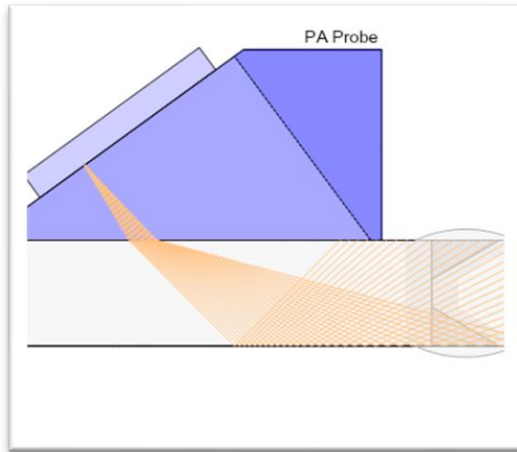
- 🧠 Selección inadecuada del equipo, transductor o tecnología a emplear
- 🧠 Estandarización/Calibración inadecuada: Retado de zapata, velocidad en el material o TCG
- 🧠 Competencia inadecuada del inspector
- 🧠 Mala calidad en la adquisición de datos
- 🧠 Técnica inadecuada de dimensionamiento
- 🧠 Anisotropía del material





Dependiendo del tipo de bisel, discontinuidad a detectar, tipo de material, etc., es necesario contar con la tecnología, equipo o transductor a emplear.

Un ejemplo claro es cuando requerimos detectar y medir la altura de discontinuidades con bisel en K



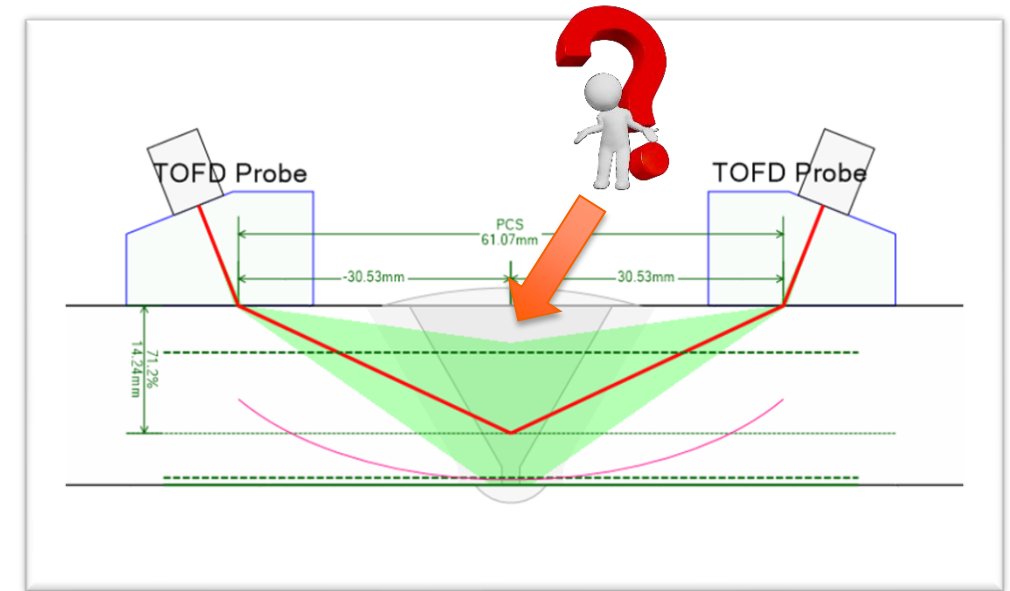
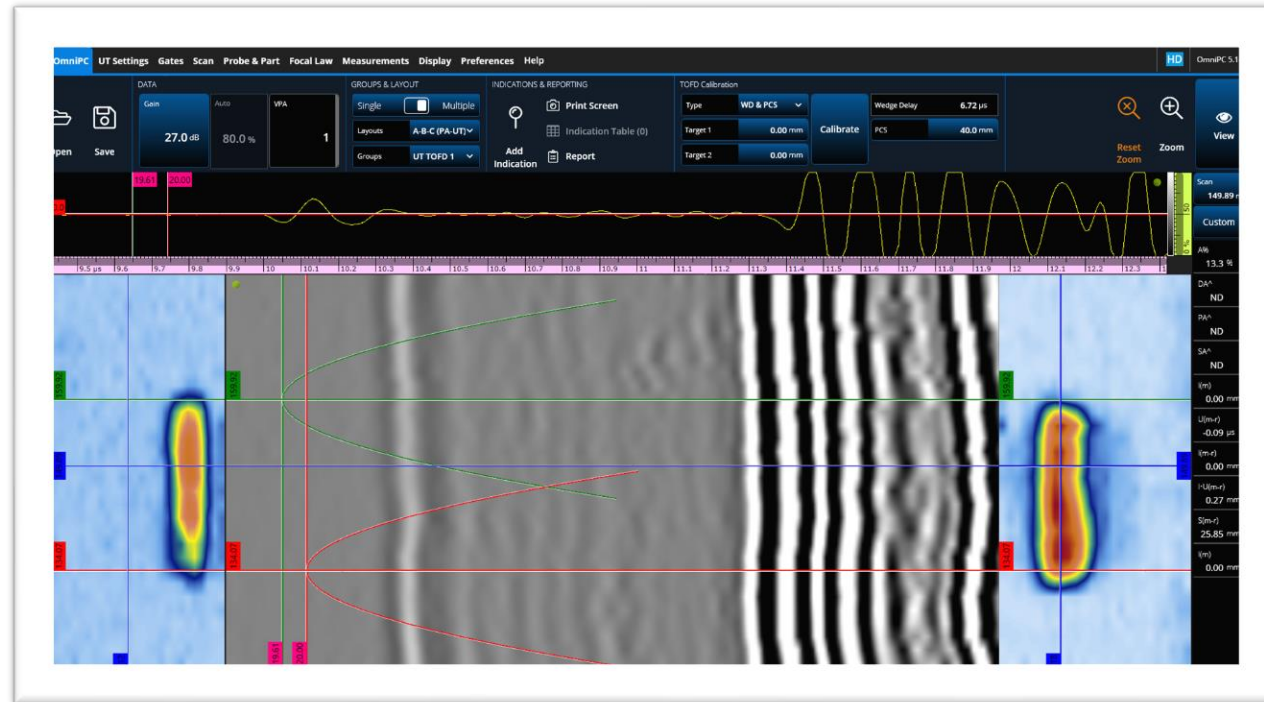
En este caso observamos que PAUT (izquierda) no detecta correctamente la discontinuidad vertical, como si lo hace TFM 3T (derecha)

No se puede medir si no se detecta

**Selección inadecuada del equipo, transductor o tecnología a emplear (ej. Necesidad de contar con Tándem)**

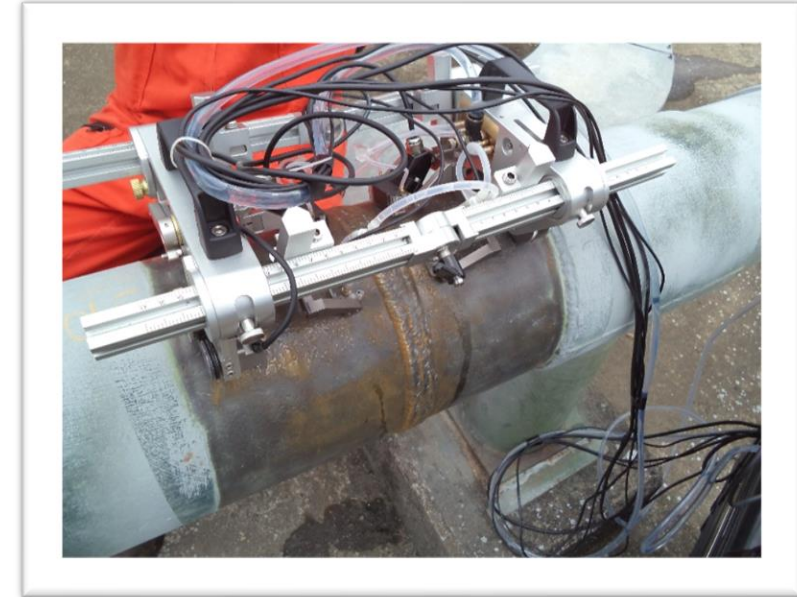
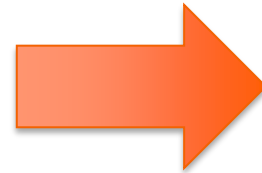
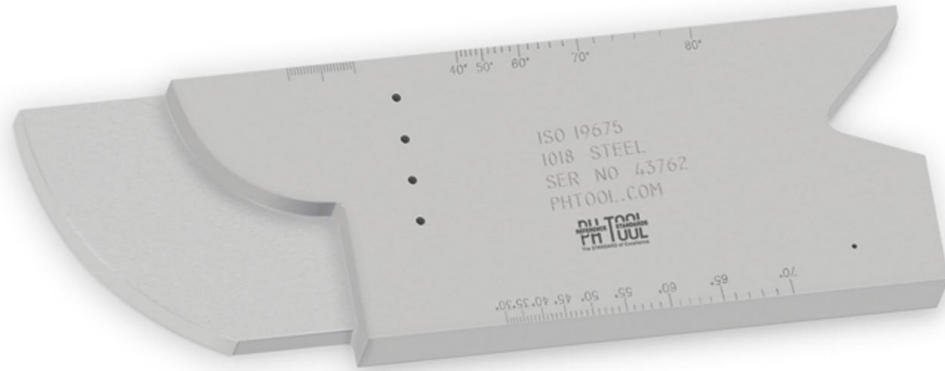


La técnica TOFD tiene la buena fama de medir la altura de las discontinuidades de forma muy exacta; sin embargo, cuando las discontinuidades están cerca de la superficie externa, la mayoría de las veces la técnica TOFD no las podrá detectar.



**Selección inadecuada del equipo, transductor o tecnología a emplear (ej. Empleo de TOFD en discontinuidades superficiales)**

Dependiendo del material de los bloques vs el material a inspeccionar o de las metodologías empleadas

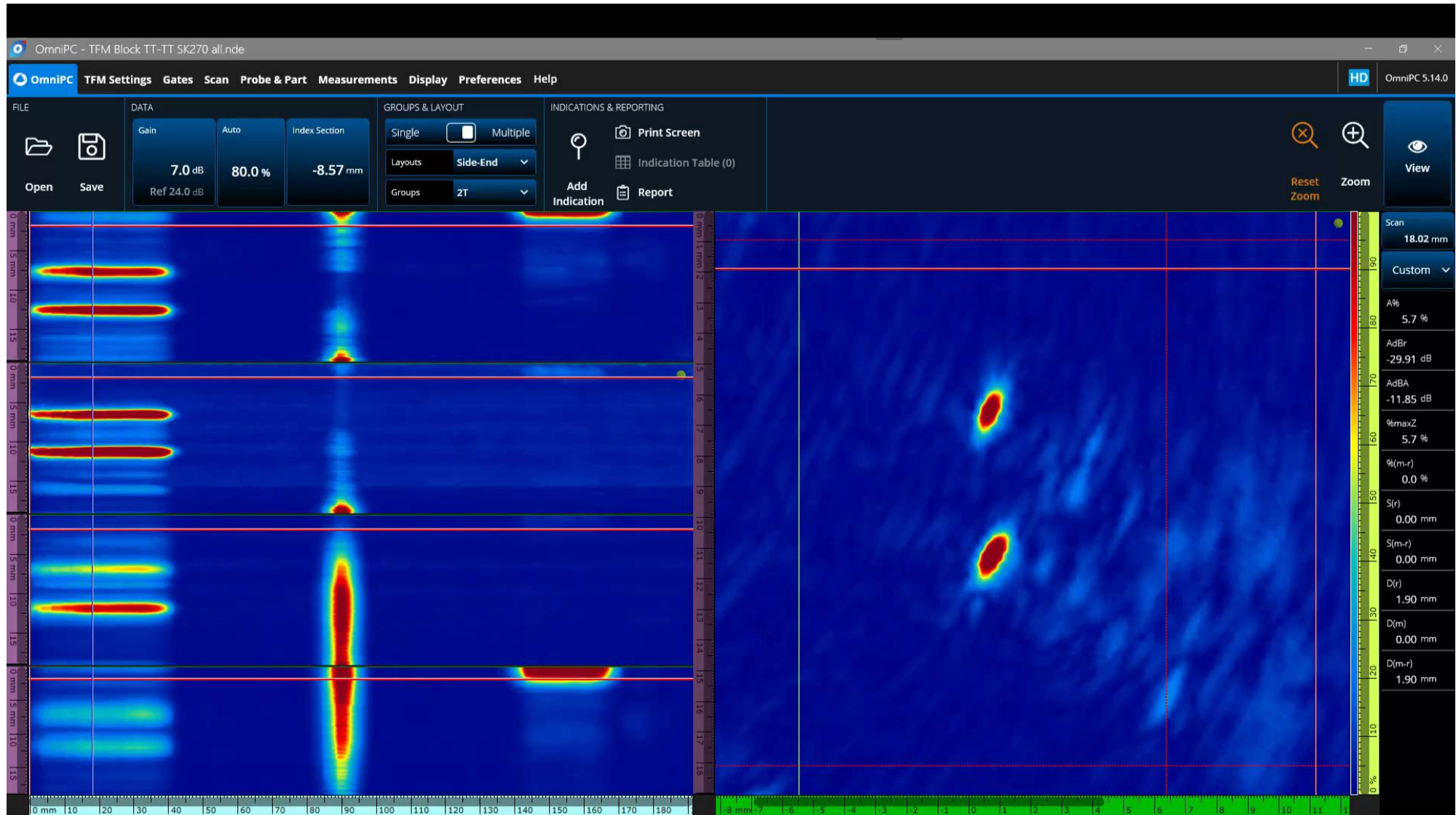


En este ejemplo determinamos la velocidad, retardo y TCG con el bloque ISO 19675 y pasamos a inspeccionar una tubería API 5LX70. Hay pequeños errores que normalmente no afectan, pero si el criterio de aceptación depende de la altura de la discontinuidad, entonces son críticos

**Estandarización/Calibración inadecuada: Retado de zapata, velocidad en el material o TCG**

# TFM 4T, señal difractada (errores por cambio de velocidad o desgaste de zapata)

$$\frac{D_d - D_m}{D_m} \times 100$$



Medición basado en imagen (señal difractada)  
Bloque TFM según ASMESEC V

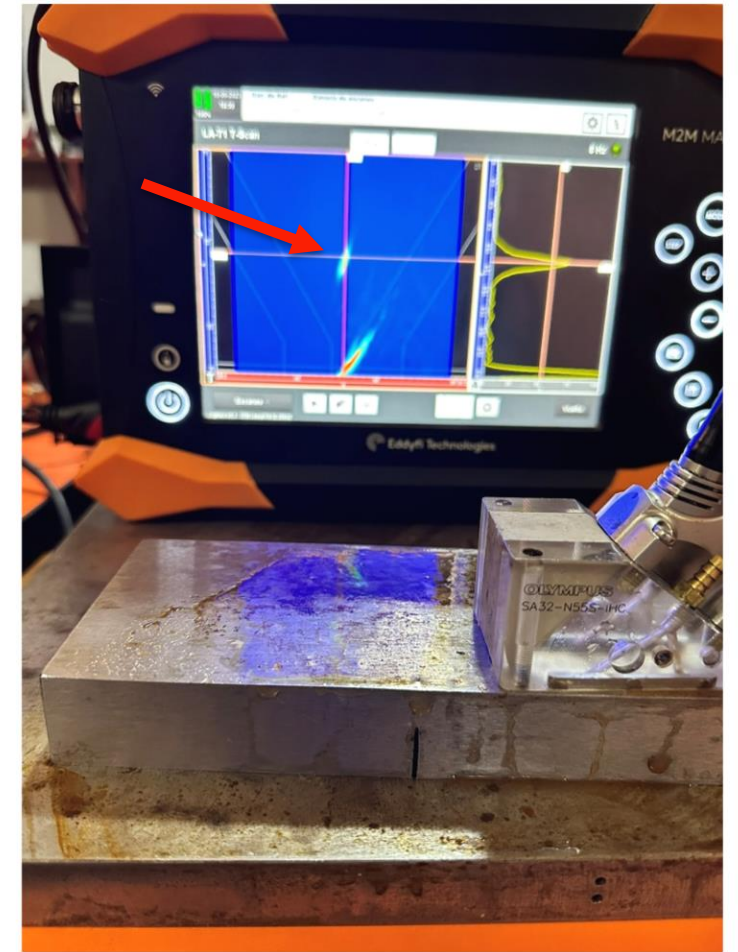
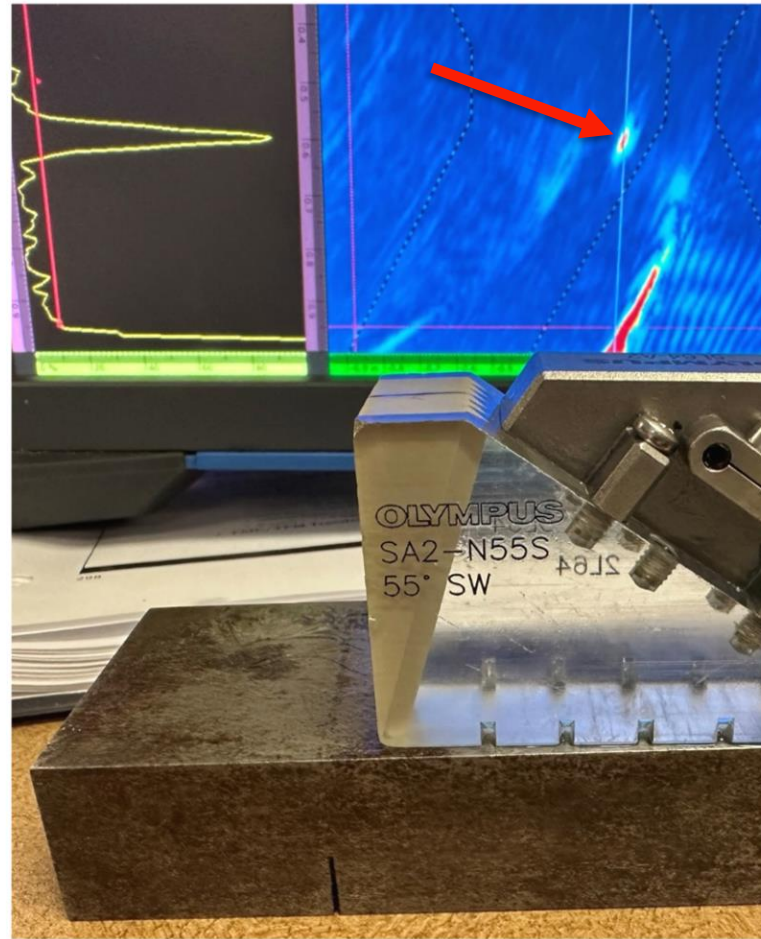
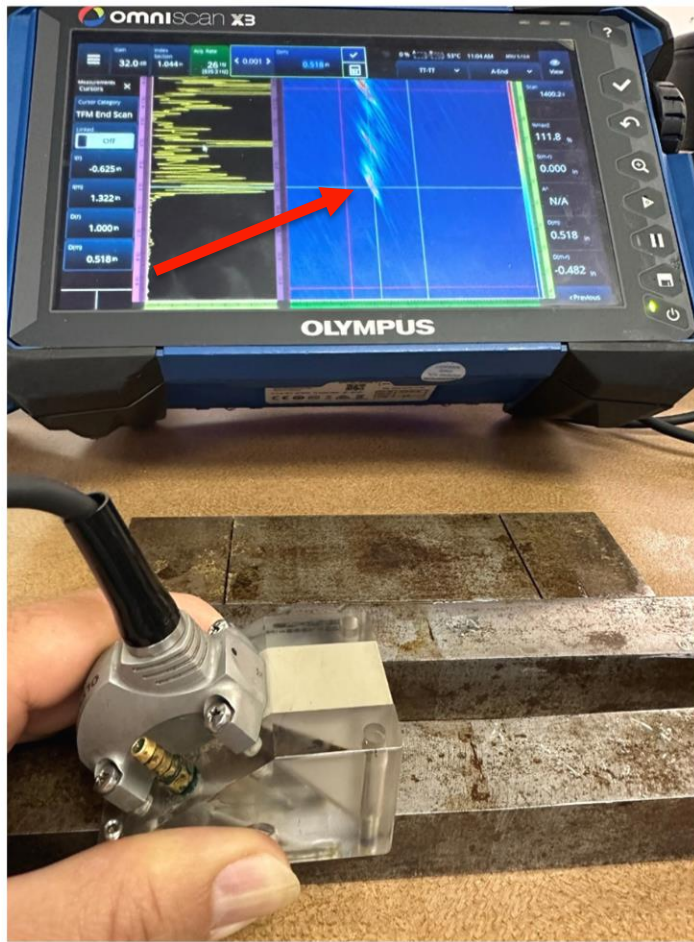
Integrity-NDT

Instructor: Ing. Carlos Suárez, Nivel 3





# TFM – Medición basada en la difracción ( la alternativa más exacta)



Cuando las discontinuidades tienen más de 2 mm de altura, la difracción se hace más evidente y es la mejor opción para medir la altura de las discontinuidades

Medición basado en imagen (señal difractada)  
Bloque TFM según ASMESEC V

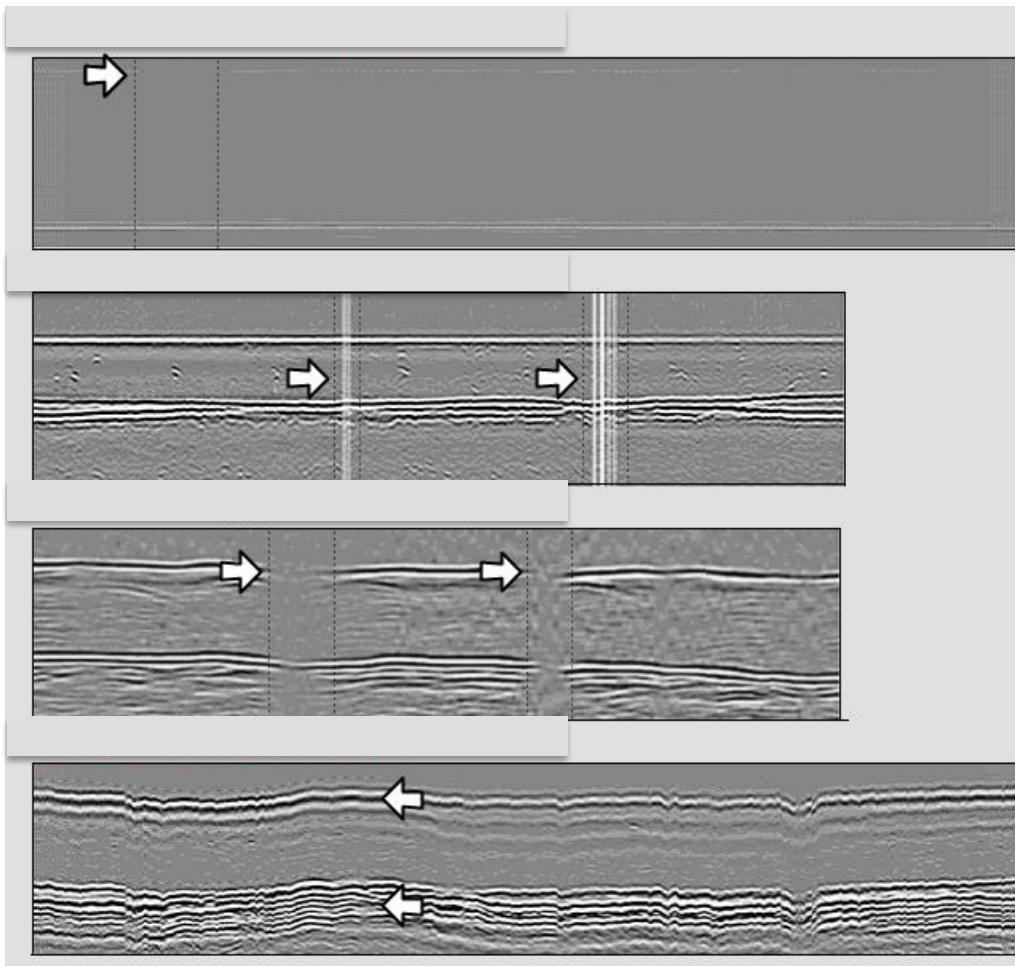




Para obtener resultados confiables, los inspectores deben contar con la competencia adecuada que le permita seguir procedimientos, cuestionar metodologías, validar resultados

**No es suficiente aprender a operar equipos**

## Competencia inadecuada del Inspector



Pérdida de dB por transferencia debido a acople superficial o manipulación de ganancia

Alta velocidad de adquisición de datos la cual produce líneas de pérdidas de datos

Saltos del palpador debido a imperfecciones superficiales como salpicadura

Desajuste en el escaner produce barridos con distorsiones y mala ubicación de las indicaciones.

Tomado de Software Simula

Mala calidad en la adquisición de datos produce señales difíciles de analizar (PA/TOFD/TFM)





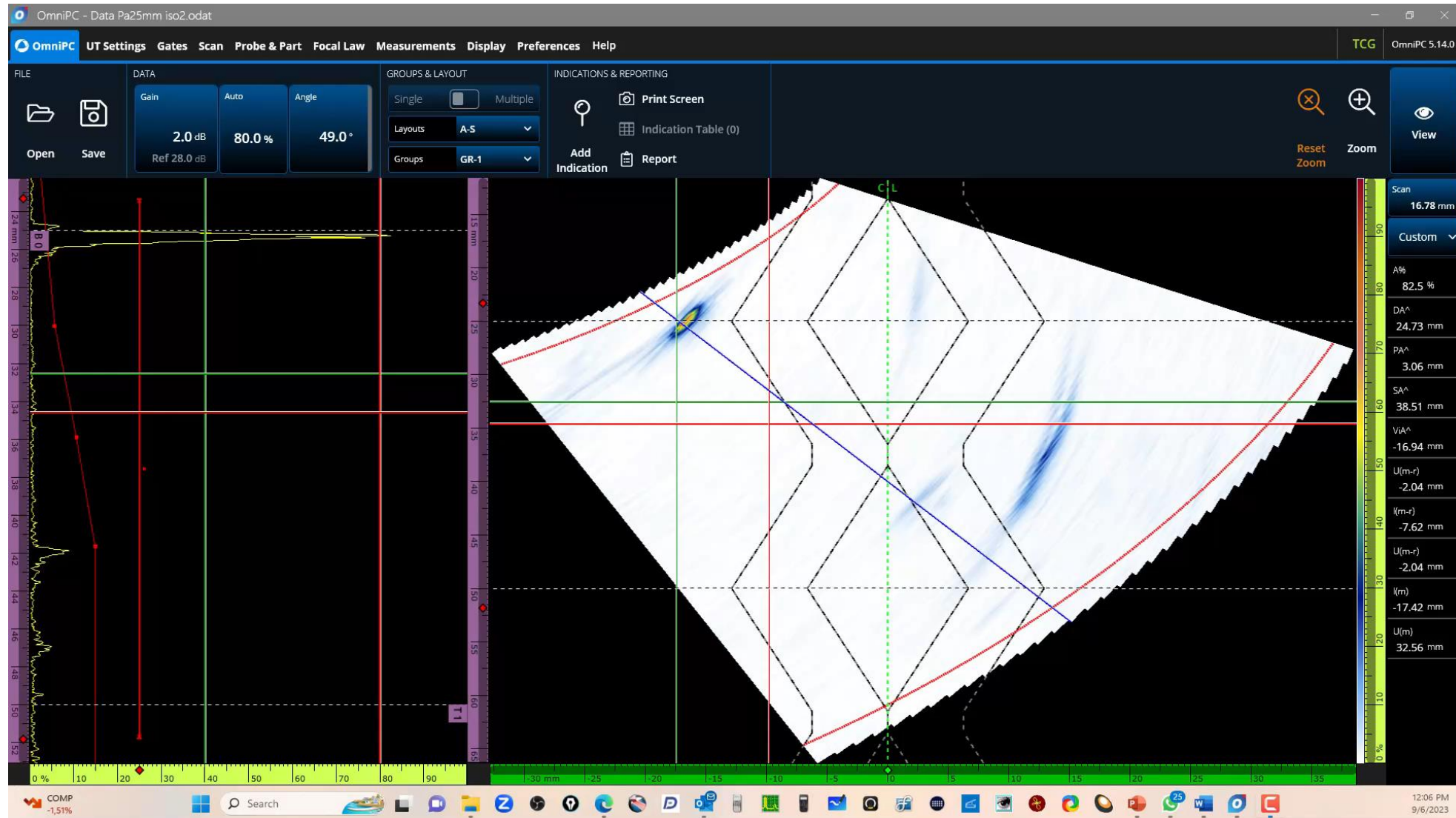
**El dimensionamiento de discontinuidades, tanto en longitud como en altura se puede realizar basado en amplitud (ej, regla de 6 dB), o basado en imagen (ej: técnica de tip diffraction, TOFD).**

**En cualquier caso, dependemos de la ubicación, tamaño y orientación de las discontinuidades vs el tipo de onda ultrasónica empleada, divergencia del haz, punto focal, entre otros. Cada caso es especial y es difícil generalizar un caso de éxito para aplicarlo a todo.**

**6 dB drop technique**



**Técnica Inadecuada de Dimensionamiento**

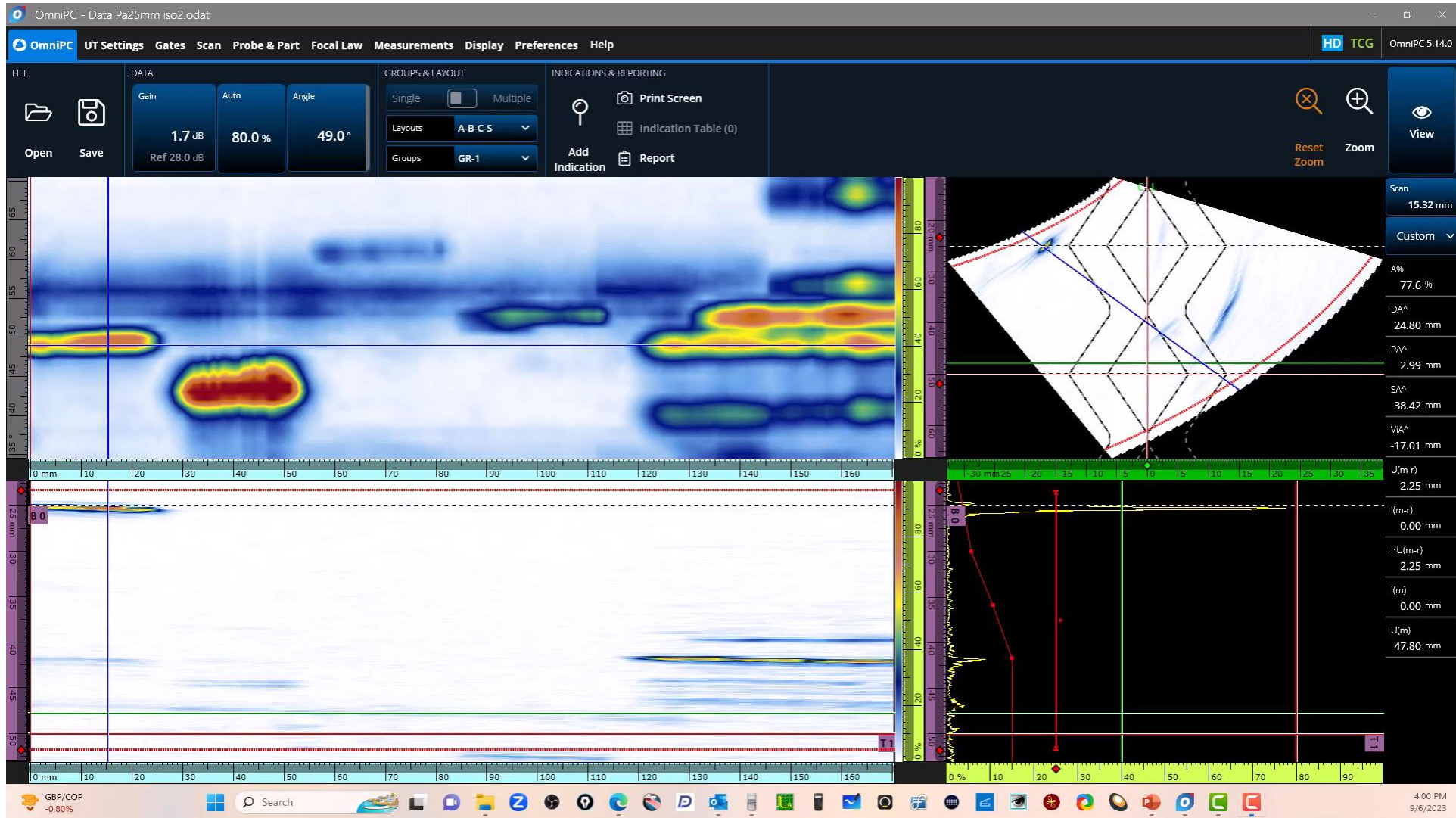


Video





$$\frac{D_d - D_m}{D_m} \times 100$$

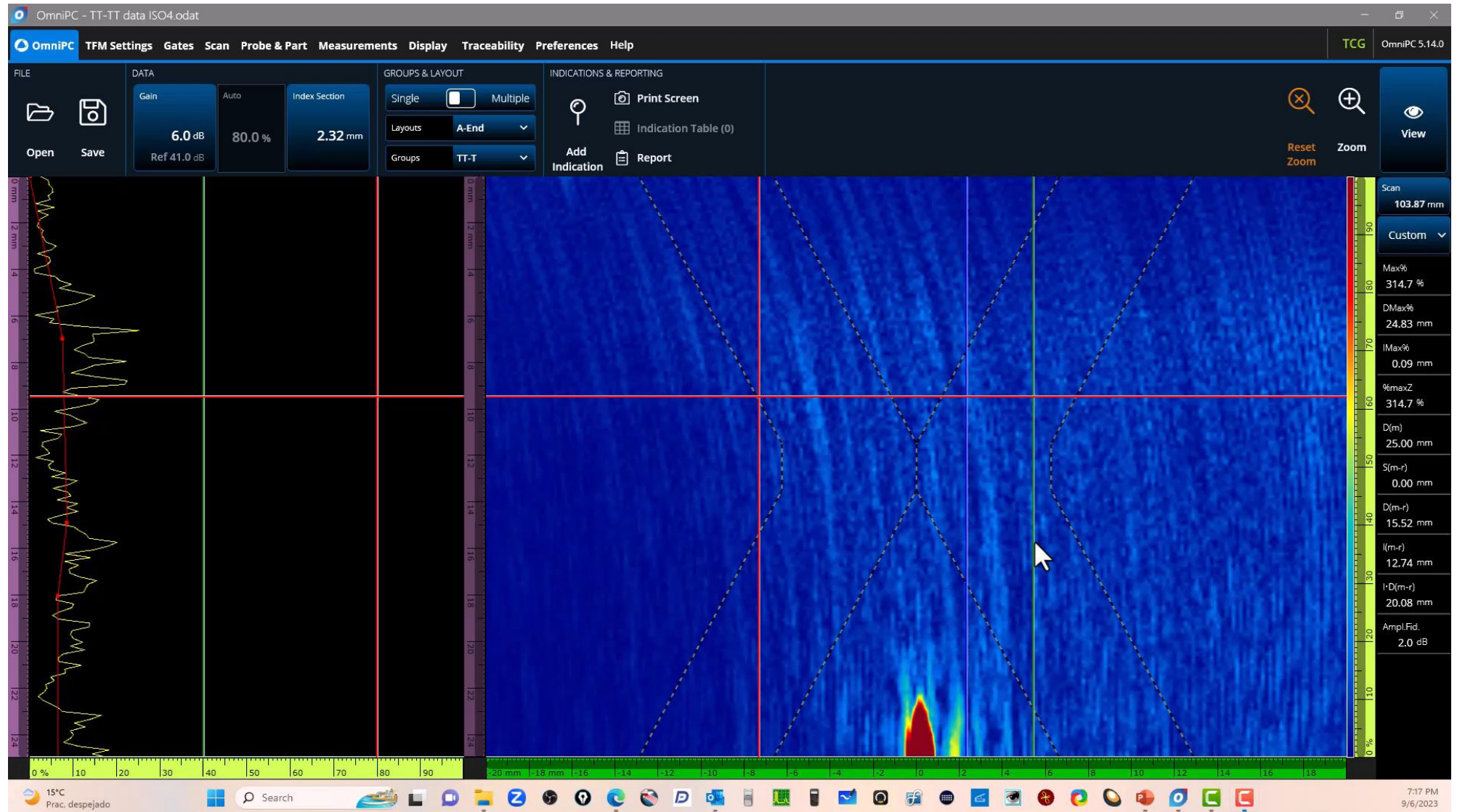


Video



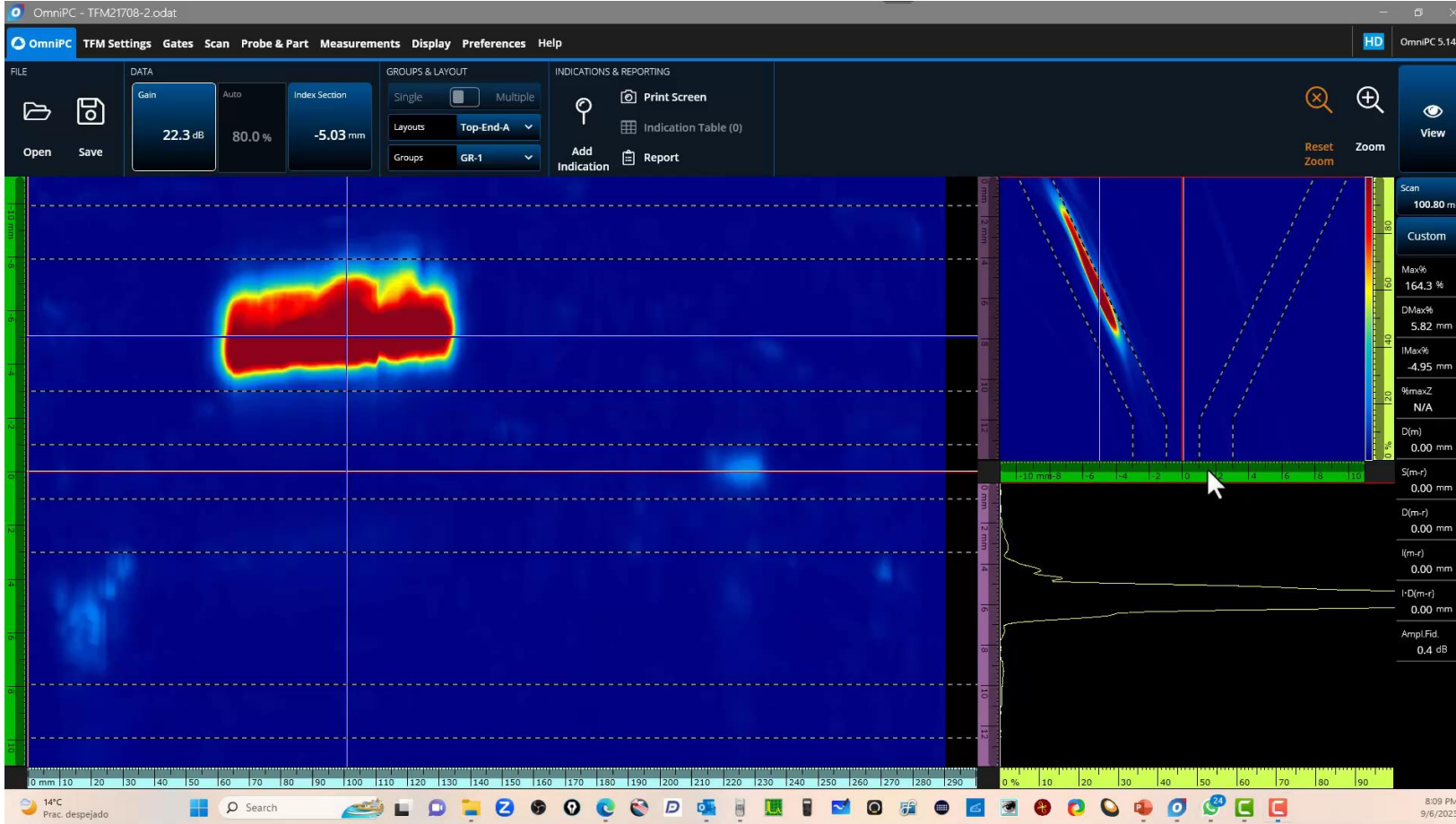


$$\frac{D_d - D_m}{D_m} \times 100$$



Video





**Si realizamos TCG con agujeros de lado y se toma esta ganancia para medir la altura de IF, hay sobredimensionamiento**

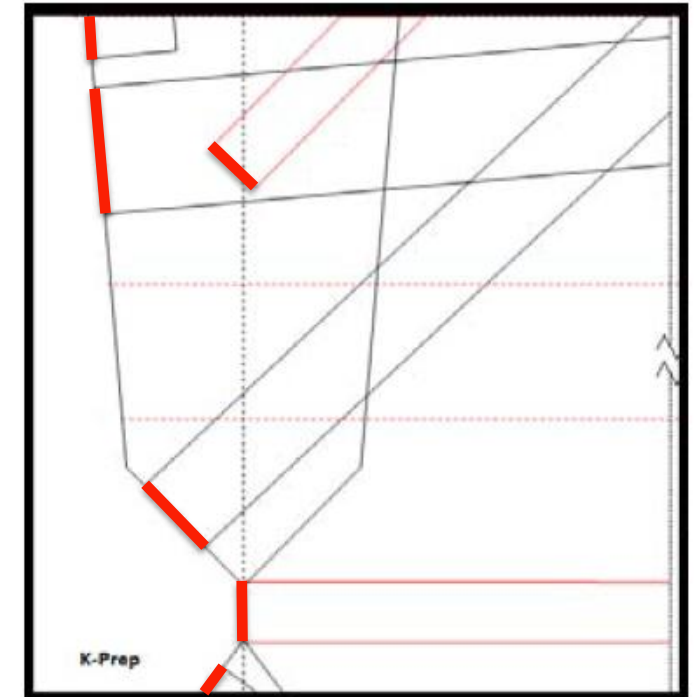
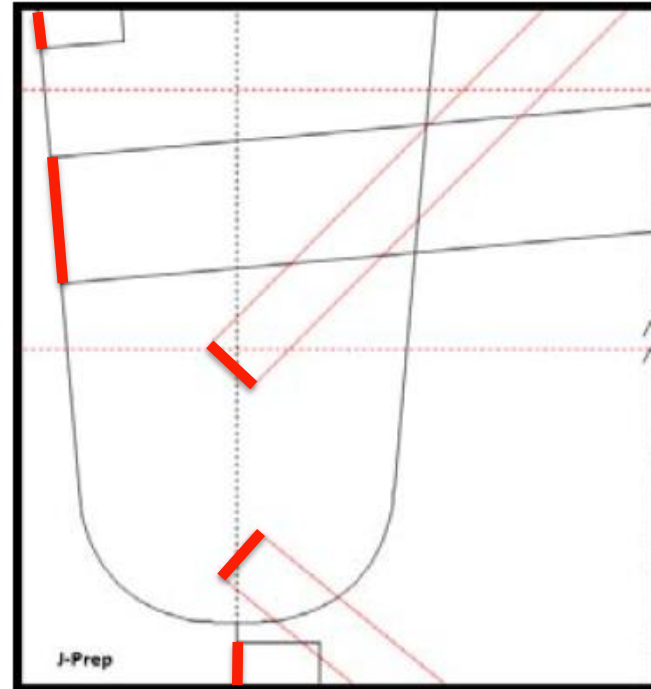
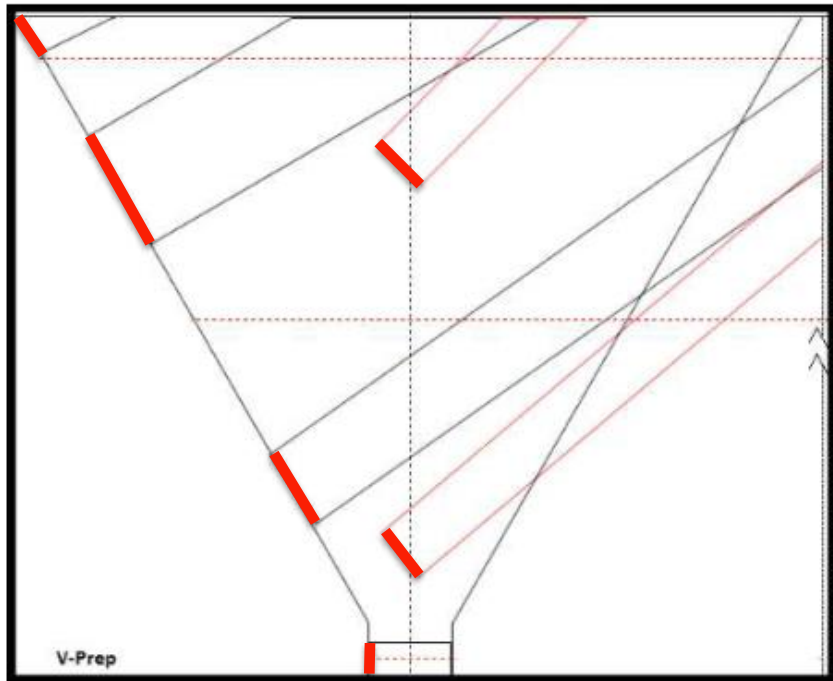
**una referencia sobre la cara del bisel sería necesaria**

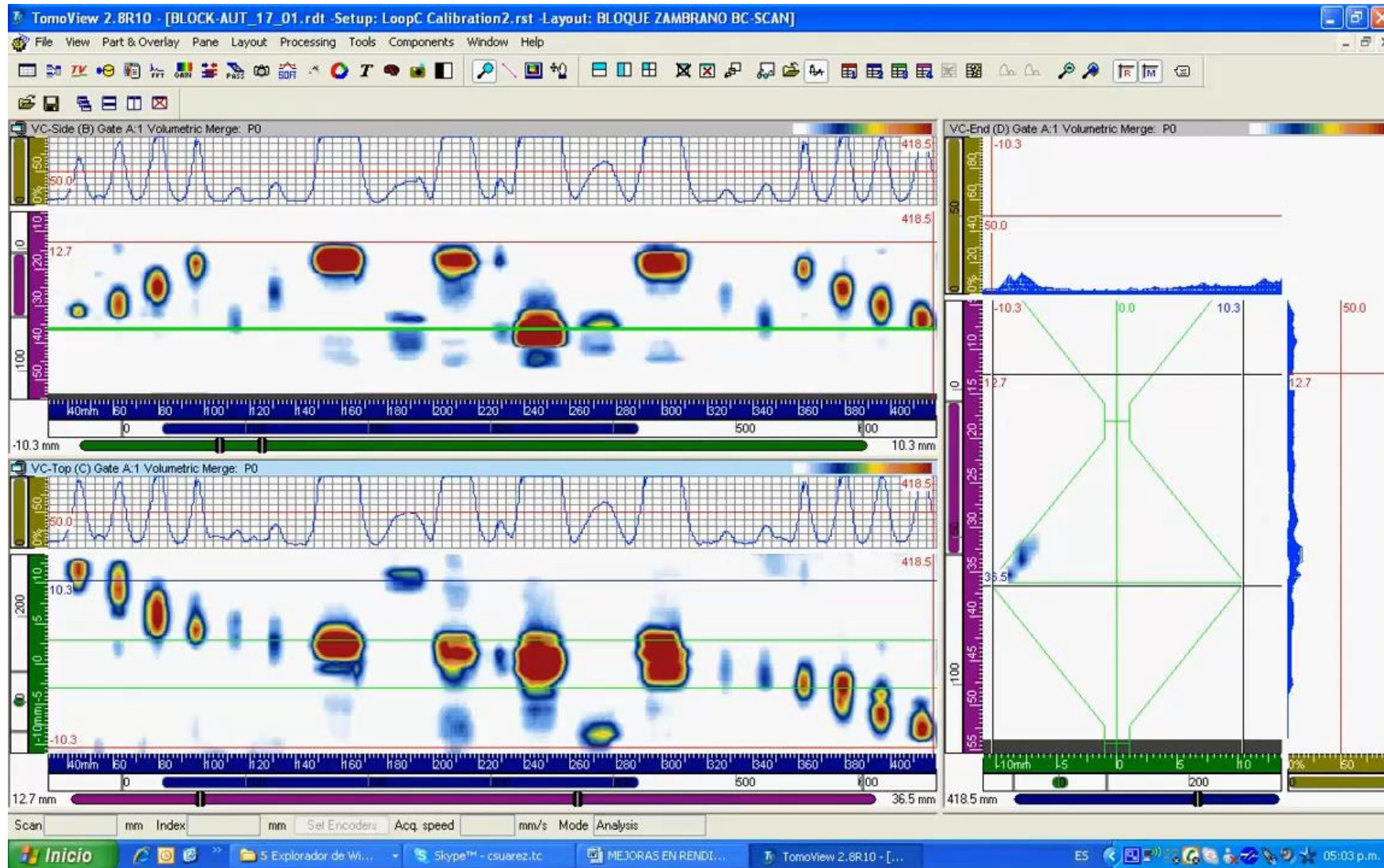
No es correcto pensar que como es tecnología avanzada, mide la altura de forma correcta sin realizar ningún ajuste de sensibilidad basado en un reflector de tamaño conocido.





Una posible referencia para determinar la ganancia adecuada para obtener la altura correcta de la discontinuidad son los agujeros de fondo plano (FBH)





**Gracias a los reflectores FBH se pudo identificar el sobredimensionamiento que se producía al calibrar con entallas y adicionar 6 dB.**

**La altura de los reflectores no corresponde debido a la alta divergencia del haz, se requiere un ajuste .**



:: TOFD (Difracción del Tiempo de Vuelo) :: Límites de la técnica y barridos adicionales B.66

**Límites de la técnica** 6/11

**Precisión de la localización** 5/7

- Error en la velocidad ultrasónica dentro del medio
- Error en la medición del tiempo de vuelo
- Error en la distancia entre palpadores.
- Error debido a la posición lateral

La técnica de TOFD determina la posición de inicio de la medición del tiempo de vuelo asumiendo que el defecto es central en relación a los palpadores.

Esto significa que el defecto está posicionado en un plano perpendicular a la línea que conecta al palpador y en una distancia central igual entre ellos.

Para defectos desalineados de la posición central, la técnica lleva a la conclusión que su profundidad (y altura) es mayor que la de los valores reales.

Por otra parte, el error se incrementa con la cantidad de defectos laterales desviados.

En otras palabras: el TOFD tiende a acentuar (aparentemente más profundo y mayor) los defectos fuera de la sección del punto medio.

► Error de localización total

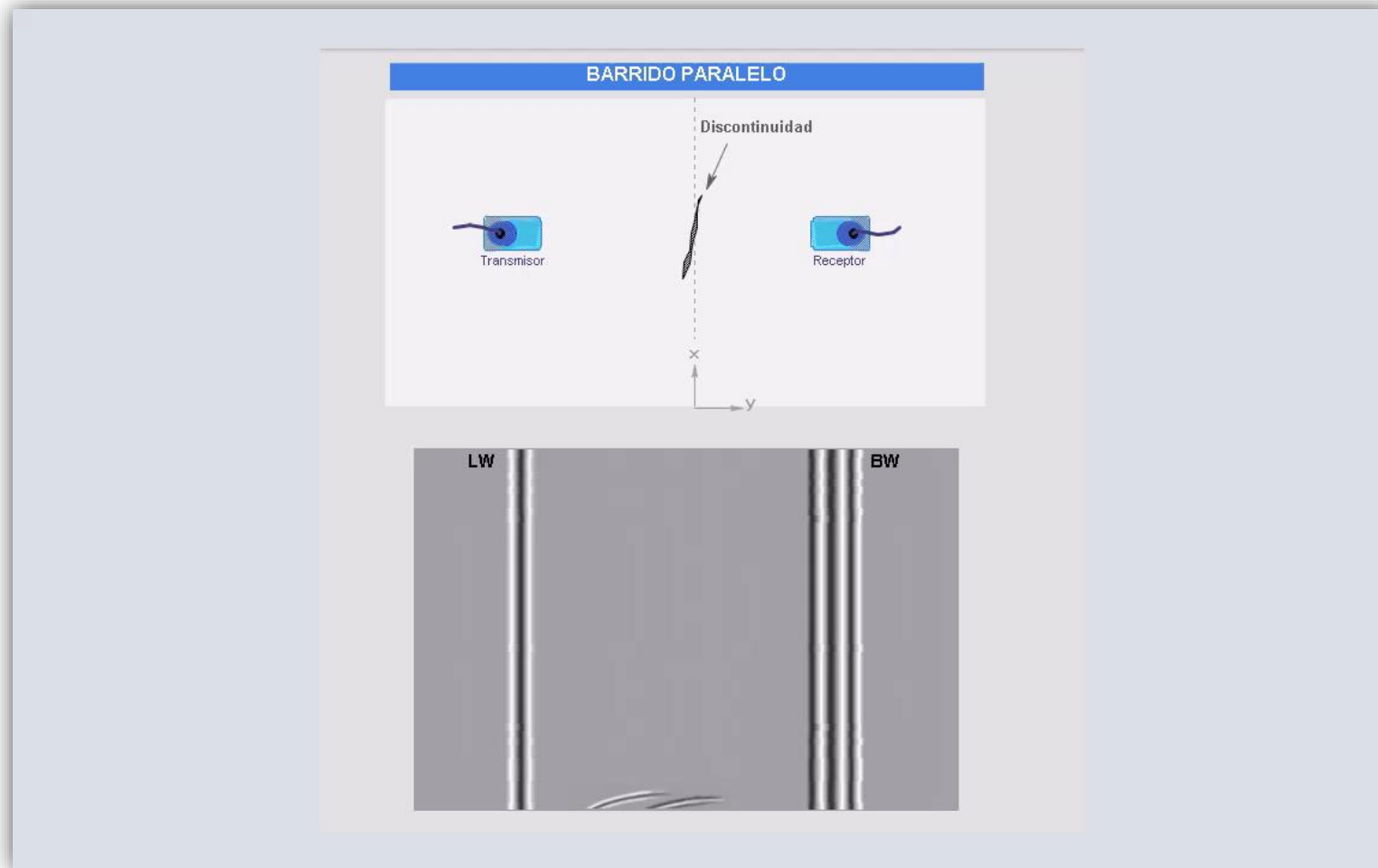
► Cálculo de error en la localización

La técnica de TOFD puede aumentar la profundidad y/o altura de las discontinuidades en la medida que se ubican lejos del centro de la soldadura.

Se requiere un barrido complementario para el dimensionamiento correcto.

Video





Mediante el barrido paralelo se puede dimensionar adecuadamente la altura de las discontinuidades.

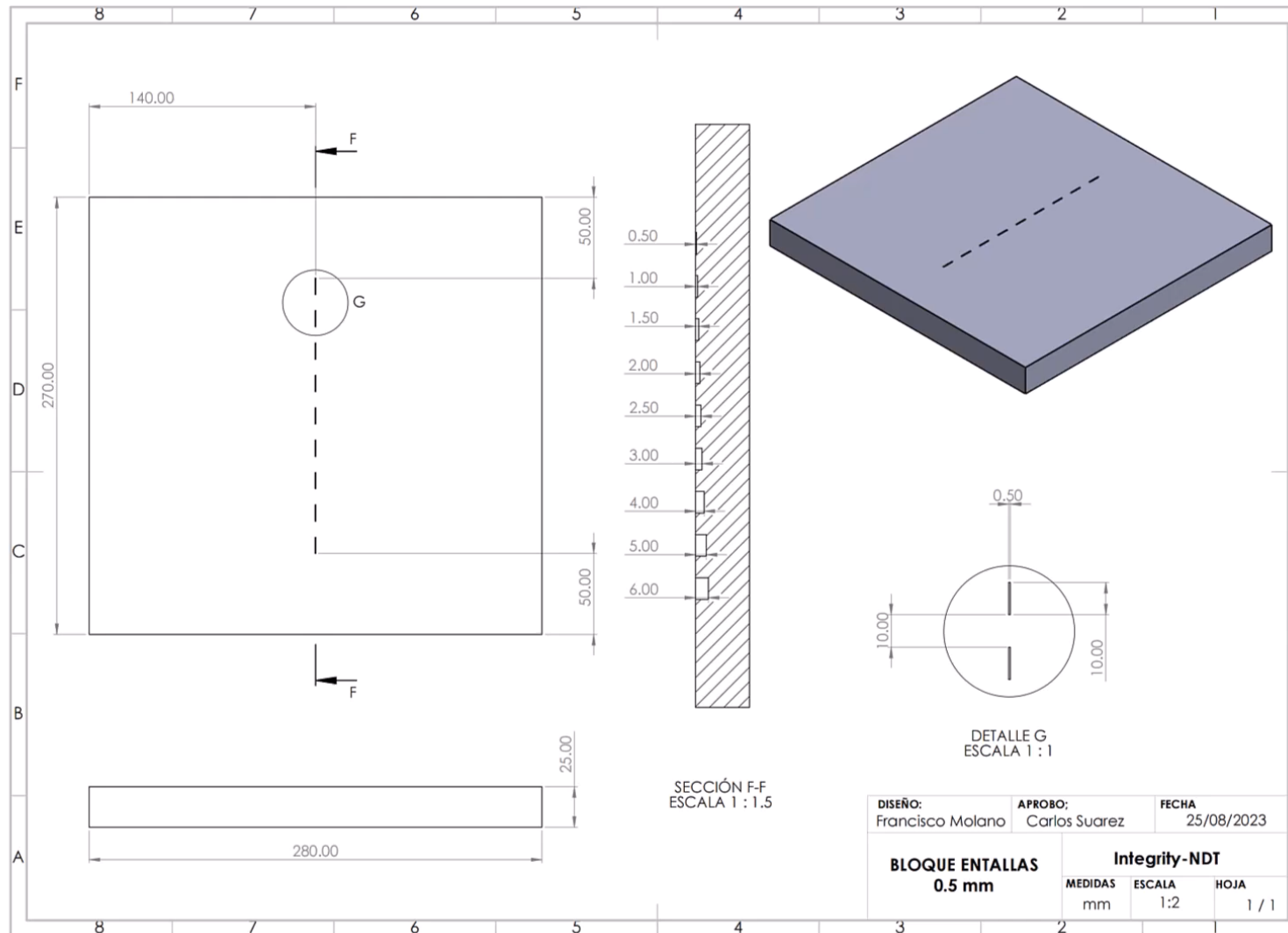
**El error se debe a que no realizamos este barrido complementario**

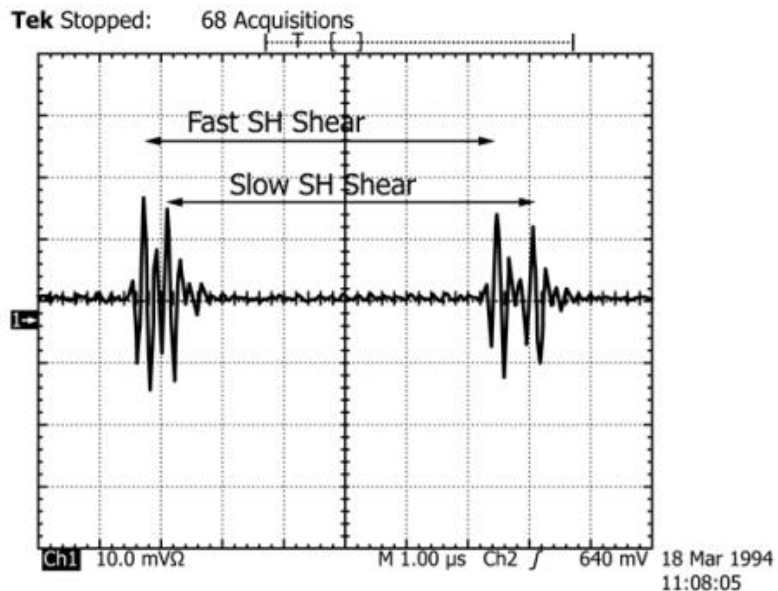
Video

De forma experimental, se determinó cuando es práctico medir la altura de la discontinuidad mediante la señal difractada

**Transductor: 10L16**  
**Zapata: SB56-N60S-IHC**

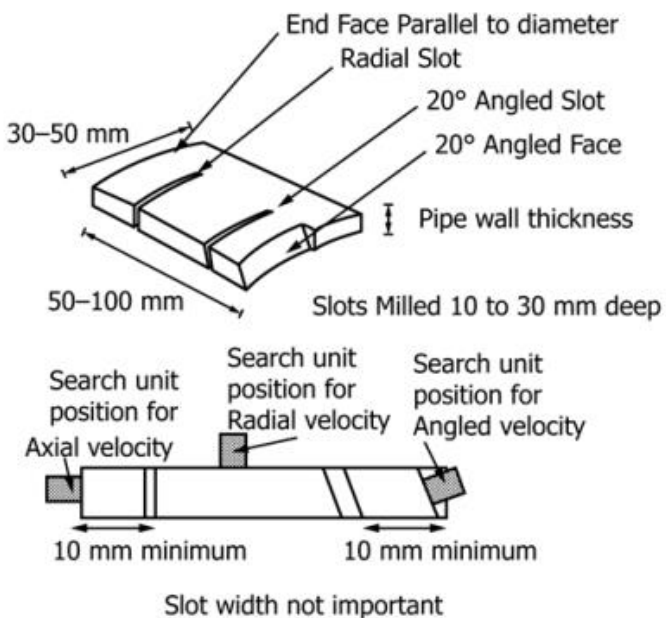
Video





Backwall and first multiple displayed (initial pulse delayed off screen)

FIG. A1.2 Example of Time Interval Measured in Birefringent Material



Los materiales anisotrópicos, también conocidos como materiales «triclínicos», son medios dependientes de la dirección, se componen de estructuras cristalinas asimétricas. **En otras palabras, las propiedades mecánicas de los materiales anisotrópicos dependen de la orientación del cuerpo del material.**

**Por esta razón puede variar la velocidad y por lo tanto, las mediciones de las discontinuidades se pueden ver afectadas.**

# Anisotropía del material

# CONCLUSIONES

- ✓ Para aumentar la confiabilidad en las mediciones es importante emplear personal competente, tecnología adecuada y procedimientos validados.
- Se recomienda emplear bloques de referencia adecuados, que permitan establecer un ajuste y mejora basados en datos experimentales, ya que depende en cada caso particular de la tecnología, arreglos y equipos empleados. Por ejemplo, la regla de 6 dB, algunas veces puede funcionar, pero normalmente no es la mejor.
- Al determinar la velocidad en un bloque (ej: IIW tipo 1) y pasar a inspeccionar una soldadura (ej: API 5L X65) puede inducir pequeños errores en las mediciones que normalmente son aceptables, pero cuando el criterio de aceptación es basado en mecánica de la fractura, pueden ser críticos.
- En la técnica Phased Array la divergencia del haz o la focalización afectan el tamaño de la indicación, alterando la medida de la altura de las discontinuidades, siempre hay que realizar los ajustes adecuados.



¿Preguntas?



## Contacto:

Ing. Carlos Suárez (Nivel 3 ISO/ASNT)

[csuarez@integrity-ndt.com](mailto:csuarez@integrity-ndt.com)

Cel/Whatsapp: +57-3142985211

[www.integrity-ndt.com](http://www.integrity-ndt.com)