

PFG

Caracterización de la anisotropía de la madera de mobila por medios de las técnicas no destructivas del resistógrafo y del georradar.

AUTORES: Elena Abellán Forte/Óscar Escudero Serrano

DIRECTORAS: Rosa M^a Martínez Sala/ Isabel Rodríguez Abad

JULIO 2011



Partes del proyecto:

- OBJETIVOS DEL PROYECTO.
- INTRODUCCIÓN.
- TÉCNICAS DE ENSAYO E INSPECCIÓN DE LA MADERA NO DESTRUCTIVAS.
- MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS.
- EL ESTUDIO CIENTÍFICO.
- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
- CONCLUSIONES.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

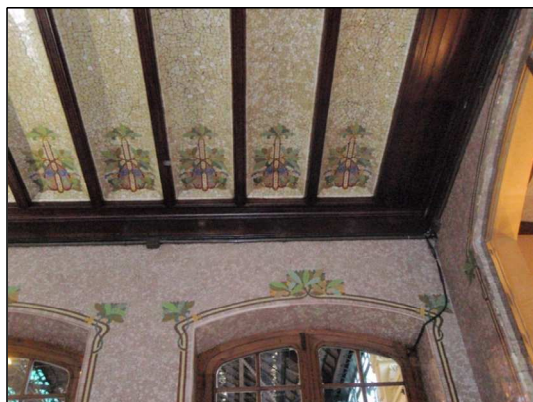
- El análisis de la **anisotropía** que presenta la madera de mobila.
- El estudio de las técnicas de **ensayo no destructivas** que se pueden aplicar a la madera, de una forma general.
- Conocer las **propiedades de la madera** en general, así como las de la madera **de mobila**.
- Aprender a emplear la técnicas del **georradar y resistógrafo**, así como en qué se **basan** y como se **interpretan los resultados**.

INTRODUCCIÓN

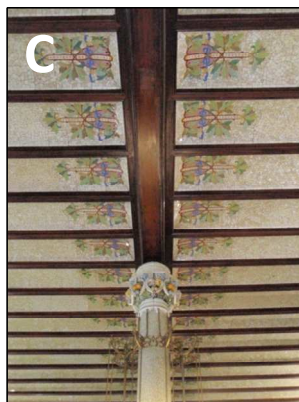
EDIFICIOS CON ESTRUCTURAS O ELEMENTOS DE MADERA.

EDIFICIO ESTACIÓN DEL NORTE.

Tipología:	Edificio público.
Siglo:	XIX
Arquitecto:	Demetrio Ribes.
Ciudad:	Valencia.
Uso:	Estación del tren.
Madera:	Presente en cubierta del hall principal.



Madera presente en la cubierta del hall del edificio Estación del Norte.



C

EDIFICIOS CON ESTRUCTURAS O ELEMENTOS DE MADERA.

EDIFICIO "LA LONJA".

Tipología:	Patrimonio de la humanidad.
Siglo:	XV
Arquitecto:	Anónimo. Construida por varios maestros constructores.
Ciudad:	Valencia.
Uso originario:	Mercantil.
Madera:	Presente en cubiertas de los salones principales.



Salón de planta baja del edificio.

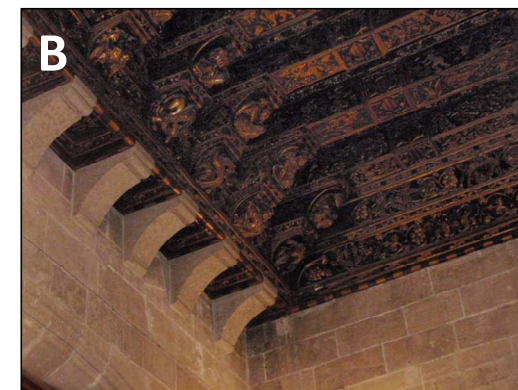


A

Cubierta de madera de salón planta baja.



Cámara dorada del Consulado del Mar.



B

Cubierta de madera de la Cámara Dorada del Consulado del Mar.

Figura 1.1. Edificios con estructuras y elementos de madera.

Figura 1.1. Edificios con estructuras o elementos de madera.

TÉCNICAS DE ENSAYO E INSPECCIÓN DE LA MADERA NO DESTRUCTIVAS

- Un **ensayo no destructivo** se define como aquella técnica realizada en un material, de manera que no altere sus propiedades físicas o mecánicas.
- Podemos encontrar las siguientes técnicas:
 - Ultrasonidos
 - Análisis de vibraciones
 - Termografía
 - Georradar
 - Penetrómetro
 - Extractor de tornillos
 - Resistógrafo

```
graph LR; A[Ultrasonidos] --- B[ ]; B --- C[Métodos acústicos]; D[Análisis de vibraciones] --- B; E[Termografía] --- F[ ]; F --- G[Métodos electromagnéticos]; H[Georradar] --- F; I[Penetrómetro] --- J[ ]; J --- K[Métodos mecánicos]; L[Extractor de tornillos] --- J; M[Resistógrafo] --- J;
```

ULTRASONIDOS

Esta técnica de ensayo comenzó a emplearse en la madera en los años 1950, pero fue durante los años 70 cuando empezó a emplearse en estructuras existentes.

Tipo de ensayo:

No destructivo.

Objetivos del ensayo:

Obtener a partir de la velocidad de propagación de las ondas mecánicas y de la densidad de la madera, el Módulo de Elasticidad dinámico.

Fundamento del equipo:

Consiste en determinar la velocidad de propagación de una onda ultrasónica, ya que al colocar el emisor y el receptor enfrentados, la propagación de la onda tenderá a ir por el camino más corto, de manera que la velocidad depende de las características del medio. La velocidad de propagación será mayor cuanto menor sea la presencia de defectos en la madera.

Para esta técnica existen tres configuraciones posibles de ensayo dependiendo de la ubicación de los palpadores, y por tanto, diferentes valores de velocidad que corresponderán a cada lectura realizada: lectura de transmisión directa (figura 2.7.a), indirecta (figura 2.7.b), y semidirecta (figura 2.7.c).

Formato de la información dada por el equipo:

El equipo lleva un software que procesa los datos obtenidos en la lectura. (Casa comercial Daga, modelo Sylvatest)

Elementos que componen el equipo:

1. Palpadores.
2. Unidad de control.
3. Sistema de almacenamiento de registros.
4. En algunos casos estos dos últimos van en una pieza (figura 2.8).

Campo de aplicación:

Se orientan a la evaluación de las características mecánicas, clasificación, control de calidad de productos derivados de la madera y detección de la degradación en estructuras de madera. (Rodríguez Abad 2010)

Se emplea en el ensayo de otros materiales tipo Hormigón y Acero.

Precisión:

Alta (Casa comercial Daga, modelo Sylvatest).

Manejabilidad del equipo:

Equipo portátil.

Utilizable en estructuras en servicio:

Si.

Ventajas e inconvenientes del equipo:

Ventajas:

- Facilidad en la toma de datos.
- Técnica muy empleada, existen muchas bases de datos.
- Poco peso del equipo.
- Precio asequible, siempre en función del fabricante.

Inconvenientes:

- Dificultad de lectura en piezas no exentas.
- No se detectan singularidades próximas a la zona de lectura.
- Generan resultados aunque las piezas estén rotas.

Empresa que lo comercializa:

Daga S.L. (modelo Sylvatest).
Fakopp.
James instruments.

Tipo de software empleado por el equipo:

Este aparato lleva un software específico proporcionado con la empresa que lo comercializa, el modelo Sylvatest tiene un software llamado Sylvius.

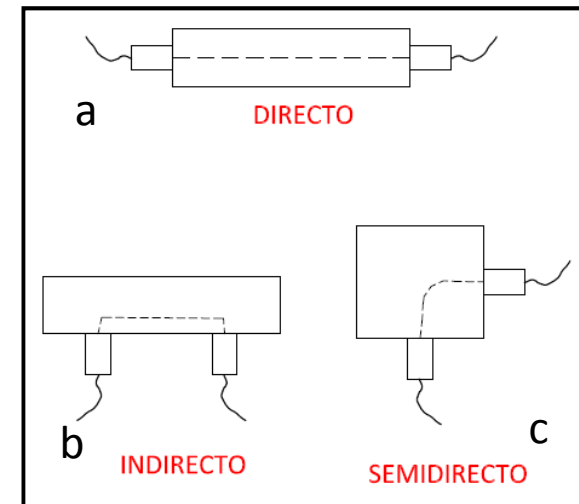


Figura 2.7. Métodos de lectura de ultrasonidos.

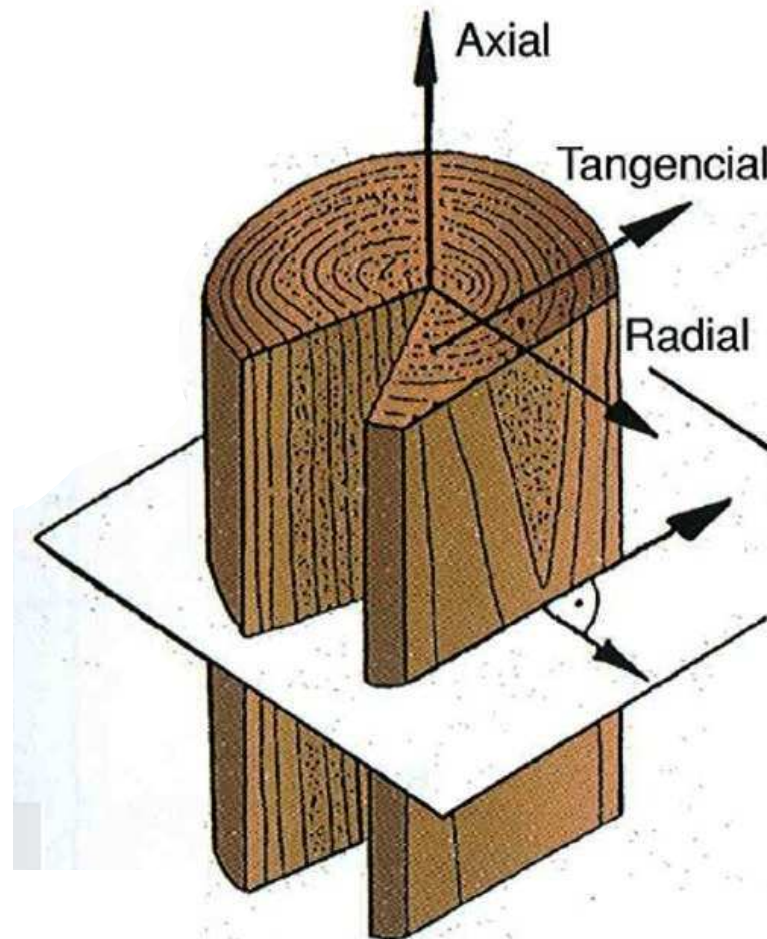


Figura 2.8: Equipo de ultrasonidos modelo Sylvatest.

MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS

- Principales características de la madera estructural.

ANISOTROPIA.



MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS

- **La madera de mobila.**



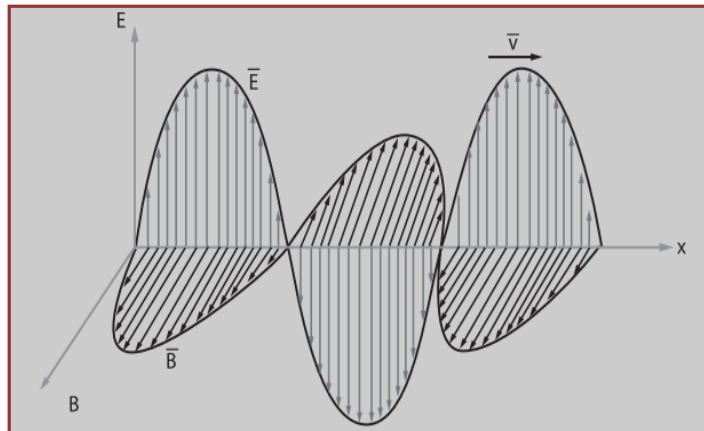
Procedente del sur de los Estados Unidos

Se emplea para carpintería la de calidad superior y la calidad más ordinaria para construcción.

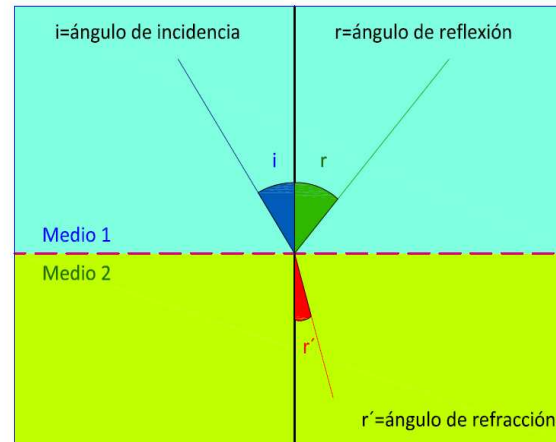
MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS

- **El georradar**

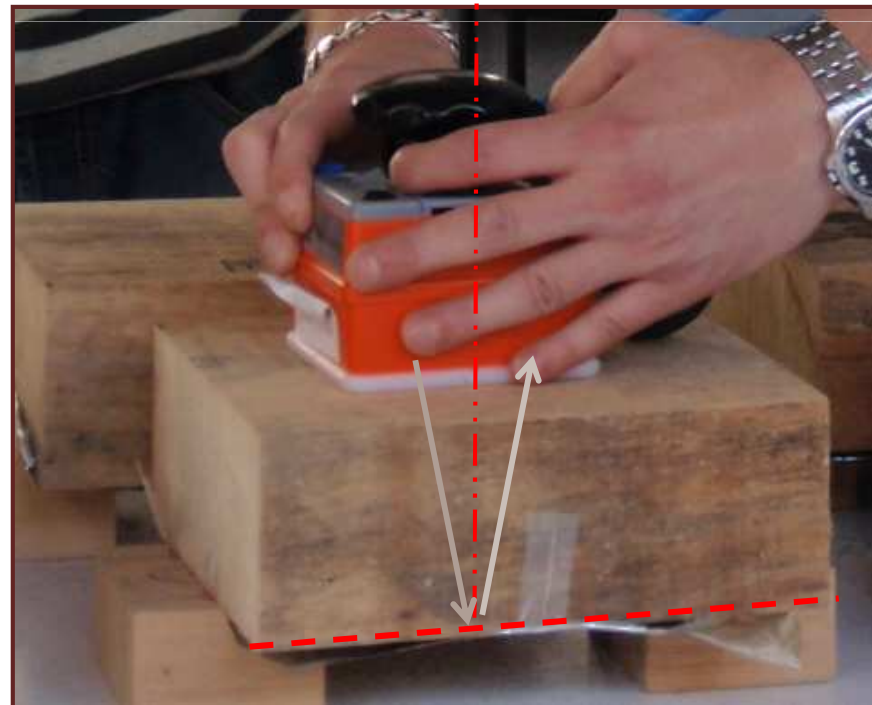
El fundamento se basa en la teoría de propagación de ondas electromagnéticas



$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

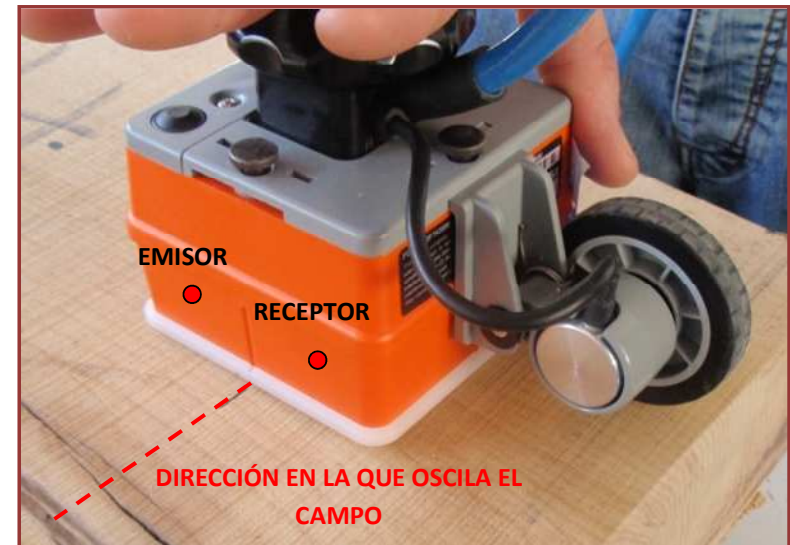
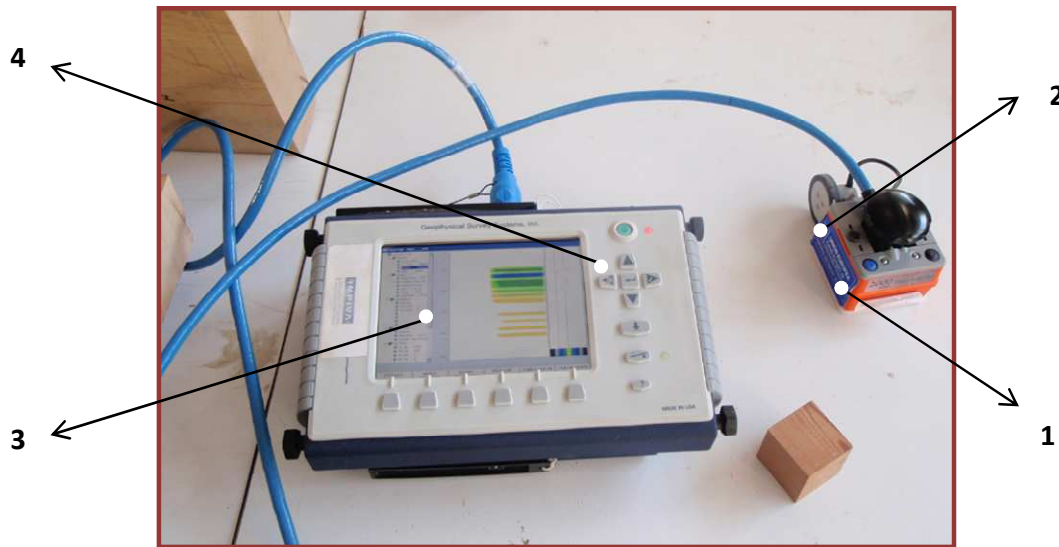


FENÓMENOS DE
REFLEXIÓN Y
REFRACCIÓN



MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS

- Partes del equipo



1. Antena monoestática EMISOR
2. Antena monoestática RECEPTOR
3. Equipo de visualización
4. Unidad central

MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS.

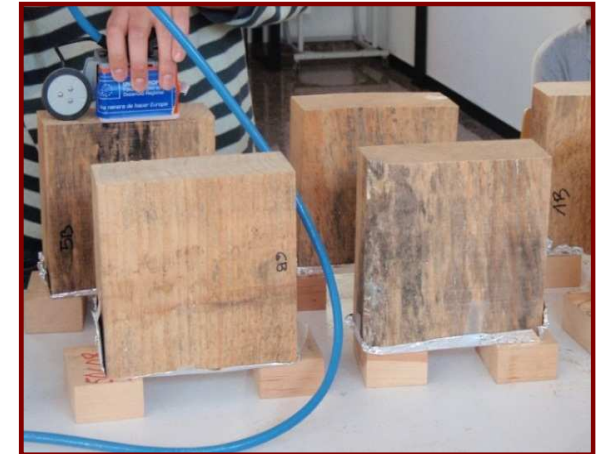
- Método de obtención de datos



Ensayo dinámico



Ensayo estático



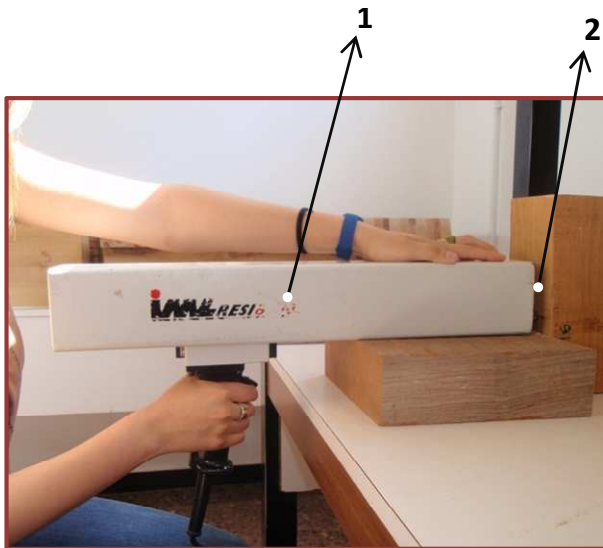
**Ensayo con reflector
metálico**

MATERIAL Y EQUIPOS EMPLEADOS

- **El resistógrafo.**

El **fundamento** del equipo se basa en medir la resistencia a la penetración de la aguja mediante el consumo de potencia.

Las **partes** que componen el equipo son:



1. Instrumento de perforación
2. Aguja perforadora
3. Unidad electrónica

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- ¿En qué ha consistido?

Se han ensayado **20 probetas** de madera de mobila mediante las técnicas del georradar y del resistógrafo.

Estas probetas se encontraban a una temperatura, contenido de humedad de equilibrio y densidad, **constantes**.

HEH: 11.5% (calculado según UNE –EN 13.813)

DENSIDAD: 0,52 g/cm³ (calculado según norma UNE –EN 56.531)

MADERA	PROBETA	MASA INICIAL	MASA FINAL	a	b	l
Mobila	1	1639,44	1470,63	12	10,5	25

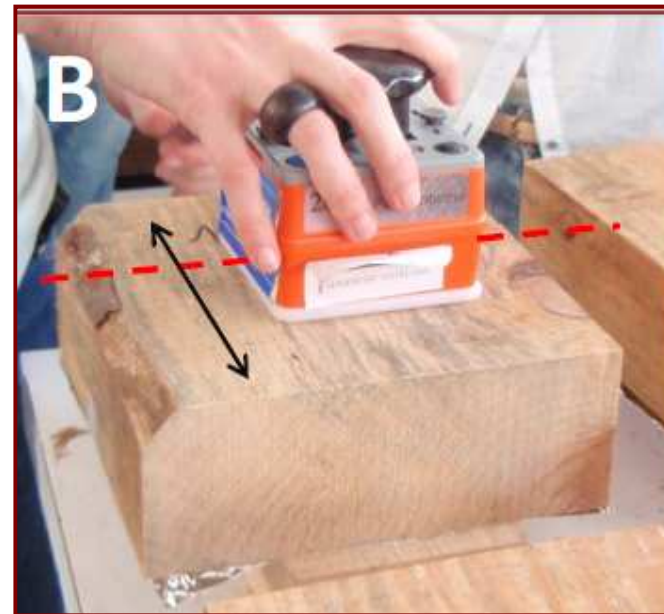
EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Toma de datos. 4 posiciones:



CASO 1: Campo eléctrico oscila en dirección paralela a las fibras.

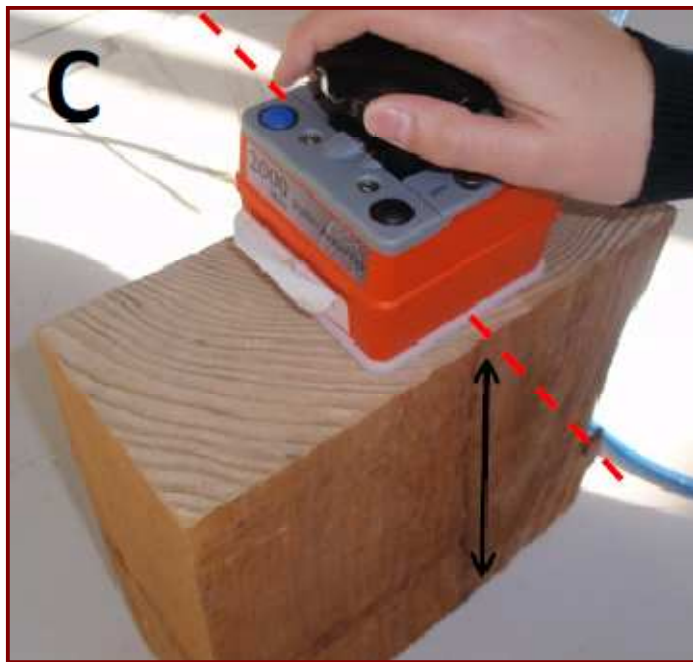


CASO 2: Campo eléctrico oscila en dirección perpendicular a las fibras.

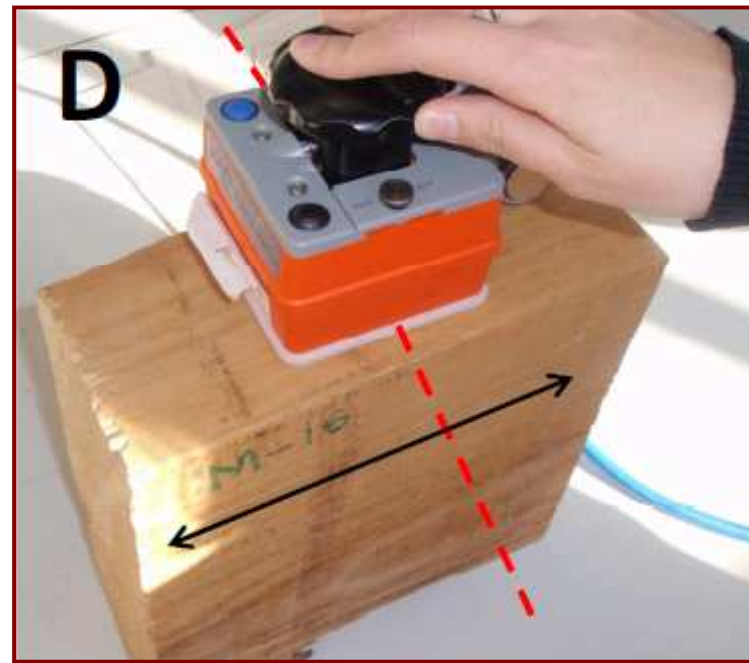
EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Toma de datos. 4 posiciones:



CASO 3: Antena colocada en la testa.

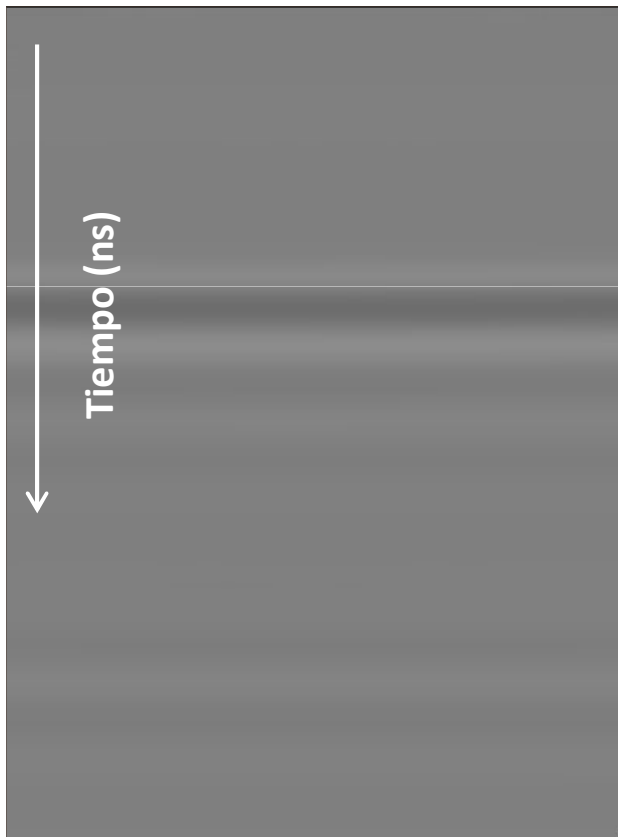


CASO 4: Antena colocada en el canto.

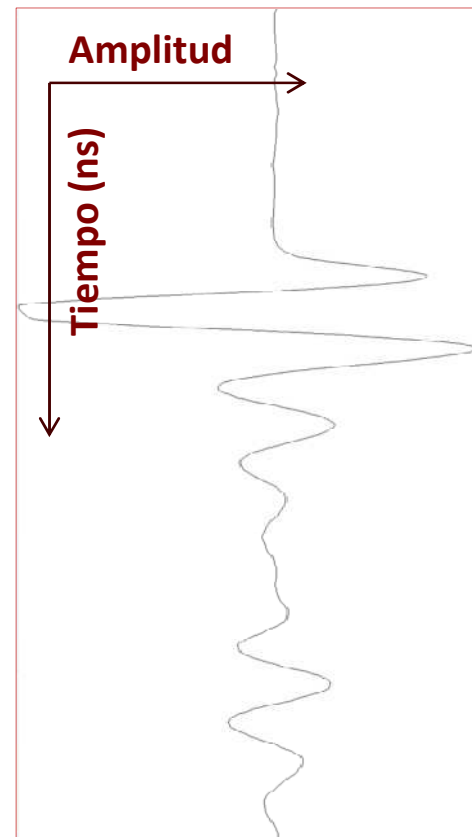
EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Procesado de los datos:



RADARGRAMA

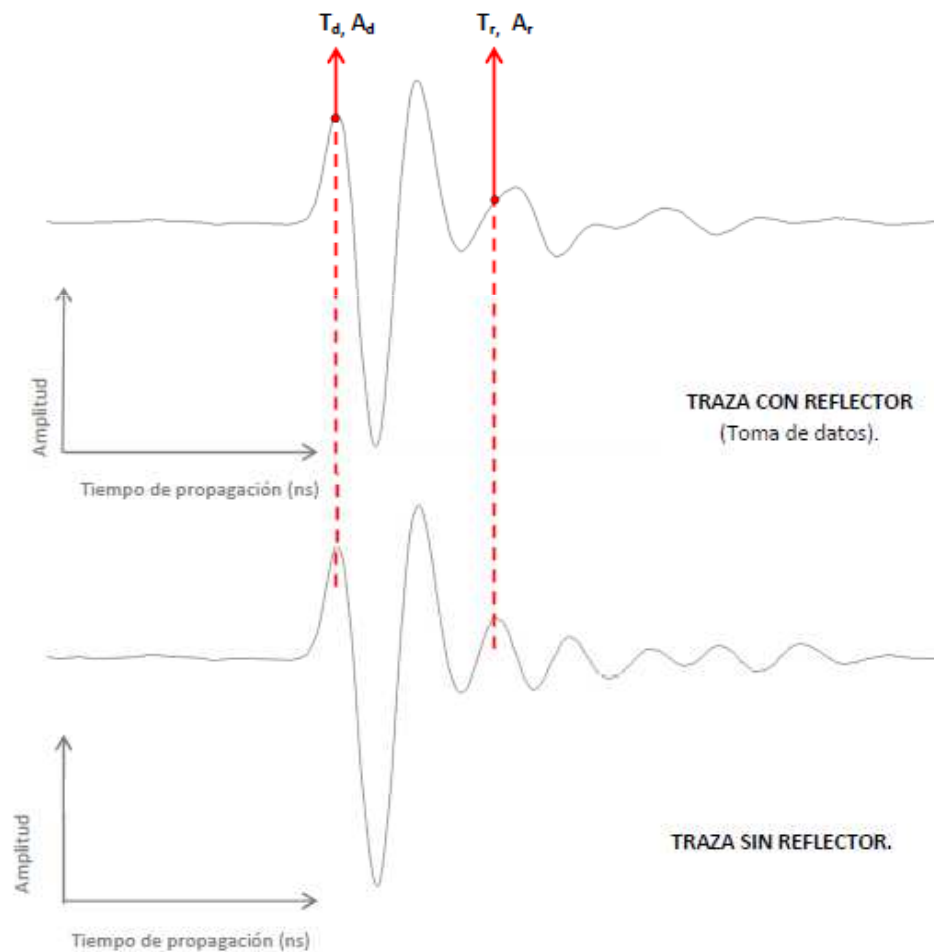


TRAZA DEL RADARGRAMA

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Procesado de los datos: CASO 1 Y CASO 2.



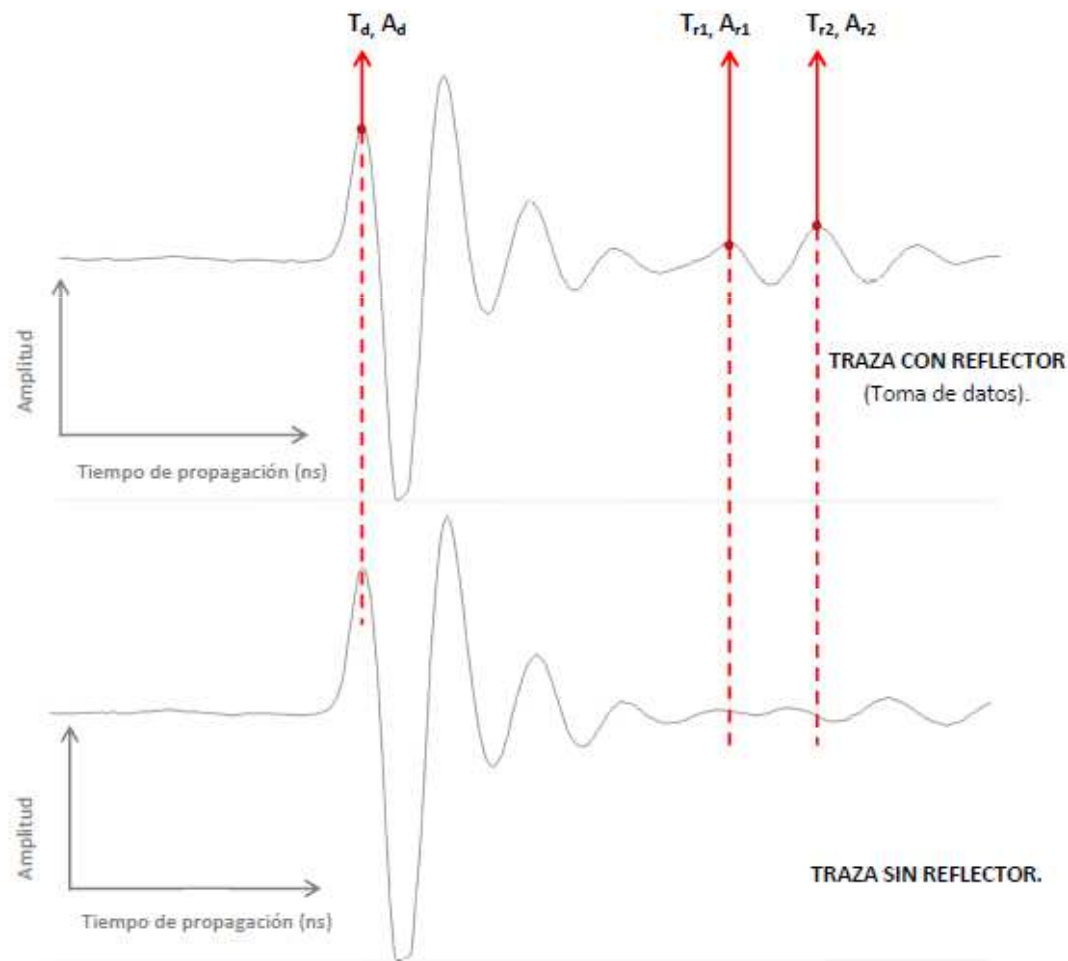
Obtenemos:

- T_d, A_d
- T_r, A_r

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Procesado de los datos: CASO 3 Y CASO 4.



Obtenemos:

- T_d, A_d
- T_{r1}, A_{r1}
- T_{r2}, A_{r2}

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **georradar**.

Procesado de los datos: TABLA DE DATOS.

CASO I: EL CAMPO MAGNÉTICO OSCILA EN DIRECCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.						
T R A Z A		E A D A R G R A M A		Tipo de madera:	Móvil.	
				Dimensión de las probetas:	25 x 25 x 10,5 cm	
				Representación con uso de reflector:	Sí.	
				Datos obtenidos:	Tiempos y amplitud.	
				Datos calculados:	Velocidad y constante dieléctrica.	
				Fórmulas empleadas:	Velocidad.	Constante dieléctrica.
				$v = \frac{2h}{\Delta t}$	$\epsilon = \left(\frac{c}{v}\right)^2$	
TABLA DE DATOS OBTENIDOS Y CÁLCULOS REALIZADOS.						
PROBETA	t(D) ns	A	t(R) ns	A	V (cm/ns)	ε
1	1,93	0,73	3,00	0,22	19,63	2,34
2	1,95	0,74	3,00	0,21	20,00	2,25
3	1,94	0,73	2,99	0,15	20,00	2,25
4	1,94	0,72	3,00	0,32	19,81	2,29
5	1,95	0,73	3,01	0,3	19,81	2,29
6	1,95	0,74	3,00	0,17	20,00	2,25
7	1,94	0,75	2,98	0,29	20,19	2,21
8	1,94	0,73	3,00	0,29	19,81	2,29
9	1,94	0,68	3,00	0,22	19,81	2,29
10	1,95	0,70	3,01	0,28	19,81	2,29
11	1,95	0,72	3,00	0,27	20,00	2,25
12	1,94	0,71	3,02	0,29	19,44	2,38
13	1,96	0,72	3,03	0,21	19,63	2,34
14	1,97	0,74	3,01	0,22	20,19	2,21
15	1,98	0,72	3,03	0,22	20,00	2,25
16	1,97	0,71	3,03	0,20	19,81	2,29
17	1,97	0,73	3,02	0,14	20,00	2,25
18	1,97	0,71	3,04	0,20	19,63	2,34
19	1,96	0,70	3,03	0,18	19,63	2,34
20	1,99	0,71	3,03	0,23	20,19	2,21
MEDIA DE LA MUESTRA	1,954	0,720	3,011	0,219	19,867	2,279
DESVIACIÓN TÍPICA	0,016	0,017	0,016	0,050	0,206	0,047
AMPLITUD DE EMISIÓN AL AIRE:		2776				

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **resistógrafo**.

Toma de datos.



Botón que acciona la salida de la aguja perforadora

Gatillo

Mango de sujeción



EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **resistógrafo**.

Toma de datos. 2 posiciones:



PERFORANDO EN CARA

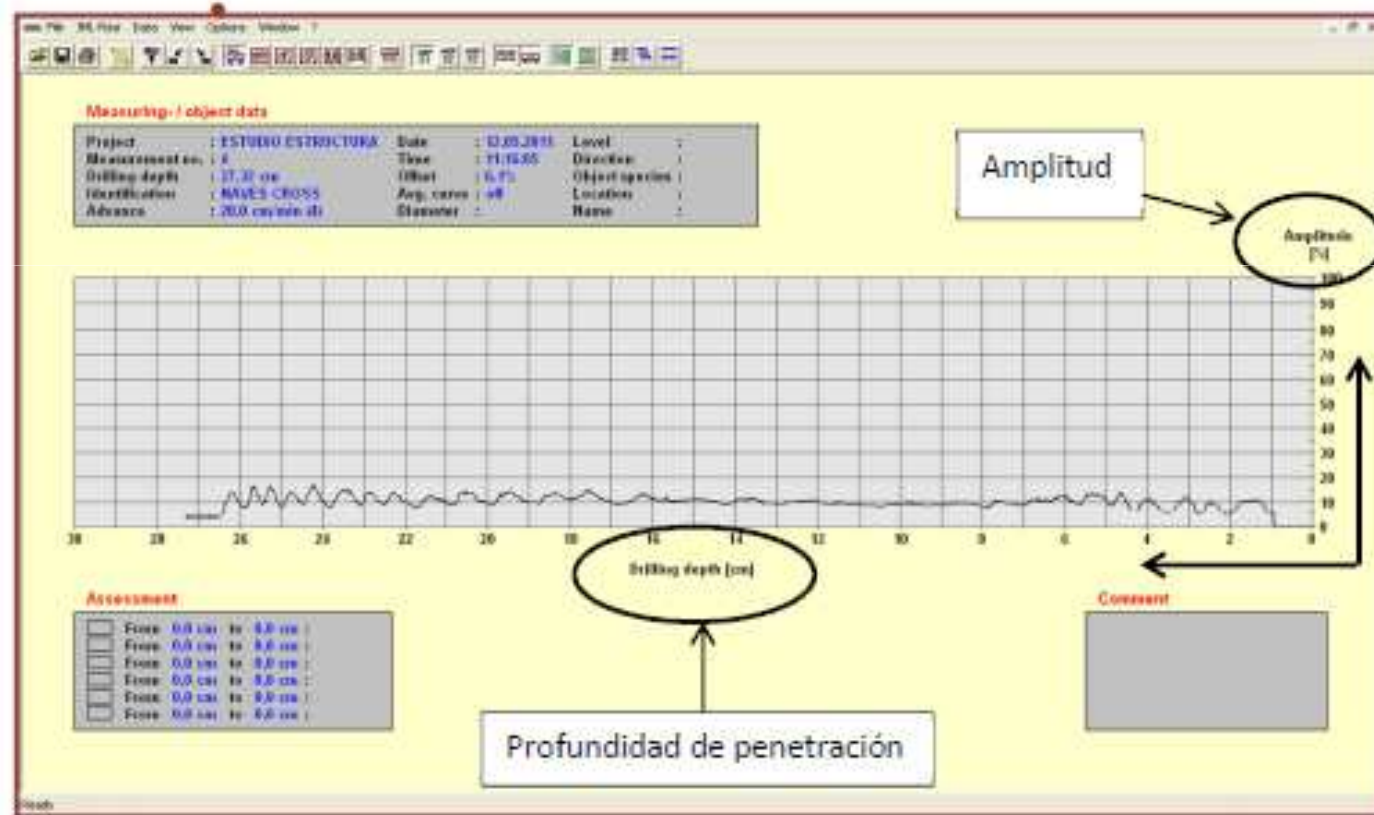


PERFORANDO EN CANTO

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

- Mediante la técnica de **resistógrafo**.

Procesado de los datos.



Obtenemos:

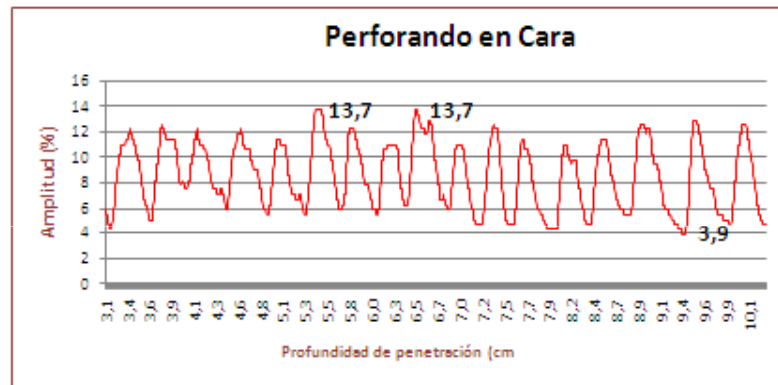
- **Amplitud:** % potencia.
- **Profundidad de penetración.**

EL ESTUDIO CIENTÍFICO

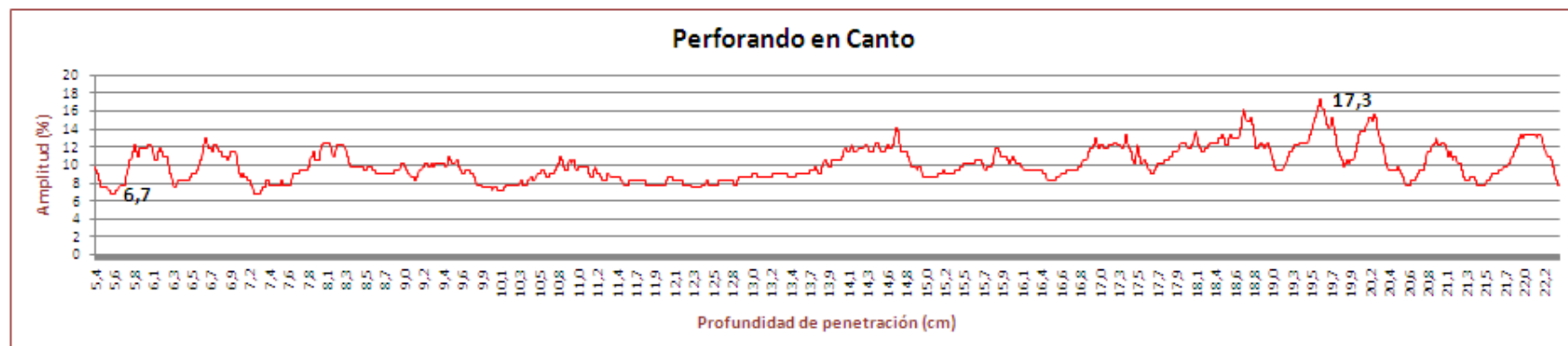
- Mediante la técnica de **resistógrafo**.

Procesado de los datos. Tabla de datos.

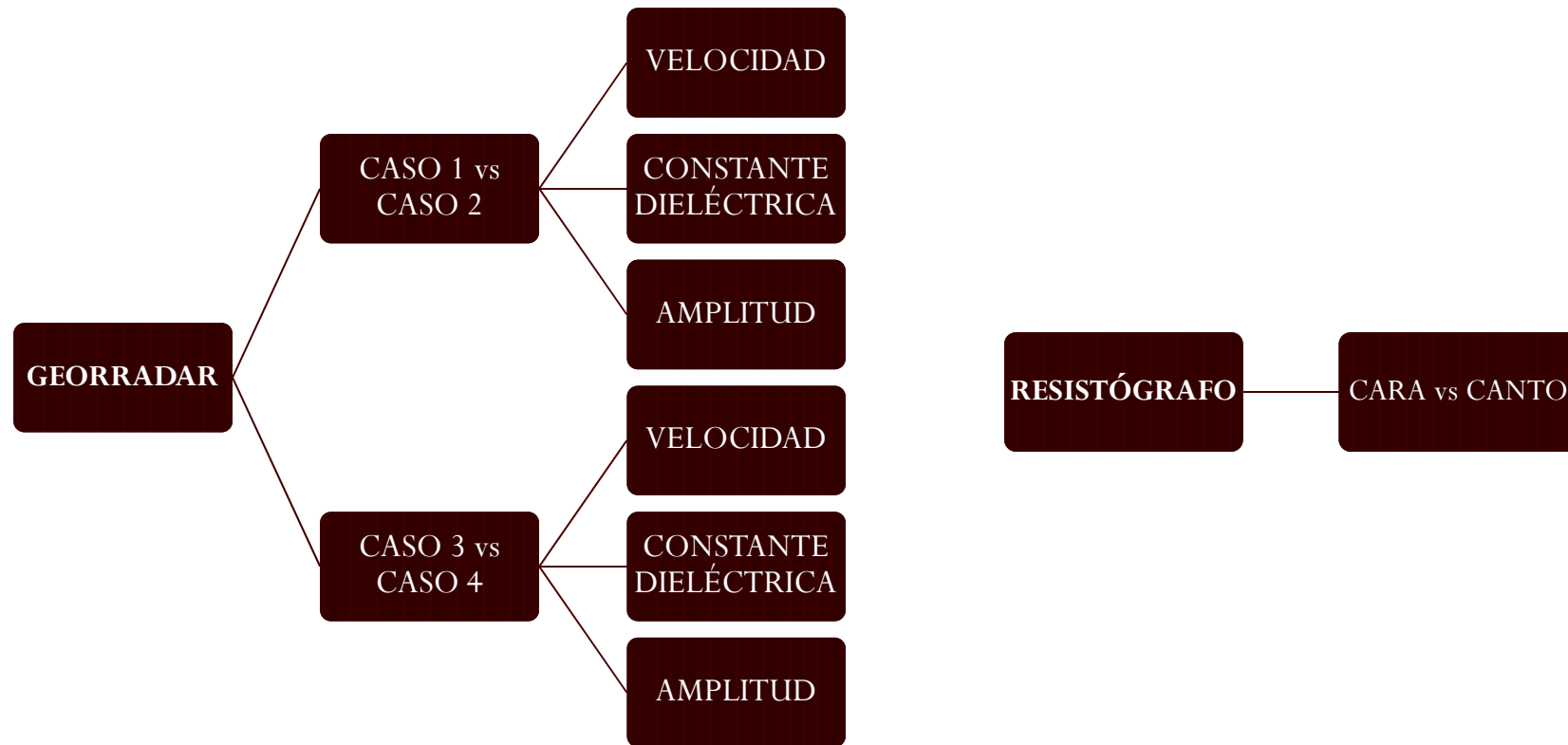
PROBETA 1



FUNCIÓN	PERFORANDO EN	
	CARA	CANTO
VALOR MÁXIMO	13,7	17,3
VALOR MÍNIMO	3,9	6,7
MEDIA	7,737	9,757
DESVIACIÓN TÍPICA	2,617	1,905



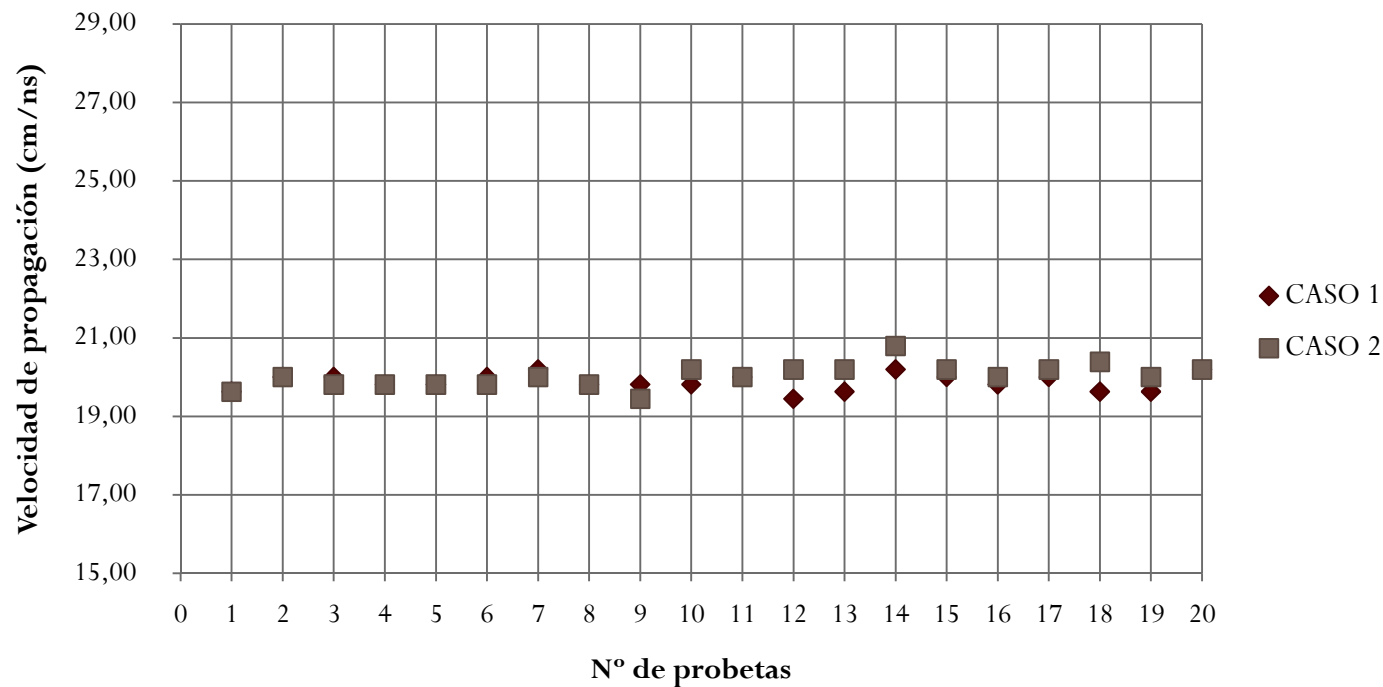
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.



INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 1 vs CASO 2.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN



VELOCIDAD	CASO	
	1	2
MEDIA	19,867	20,03
DESVIACIÓN TÍPICA	0,206	0,2863

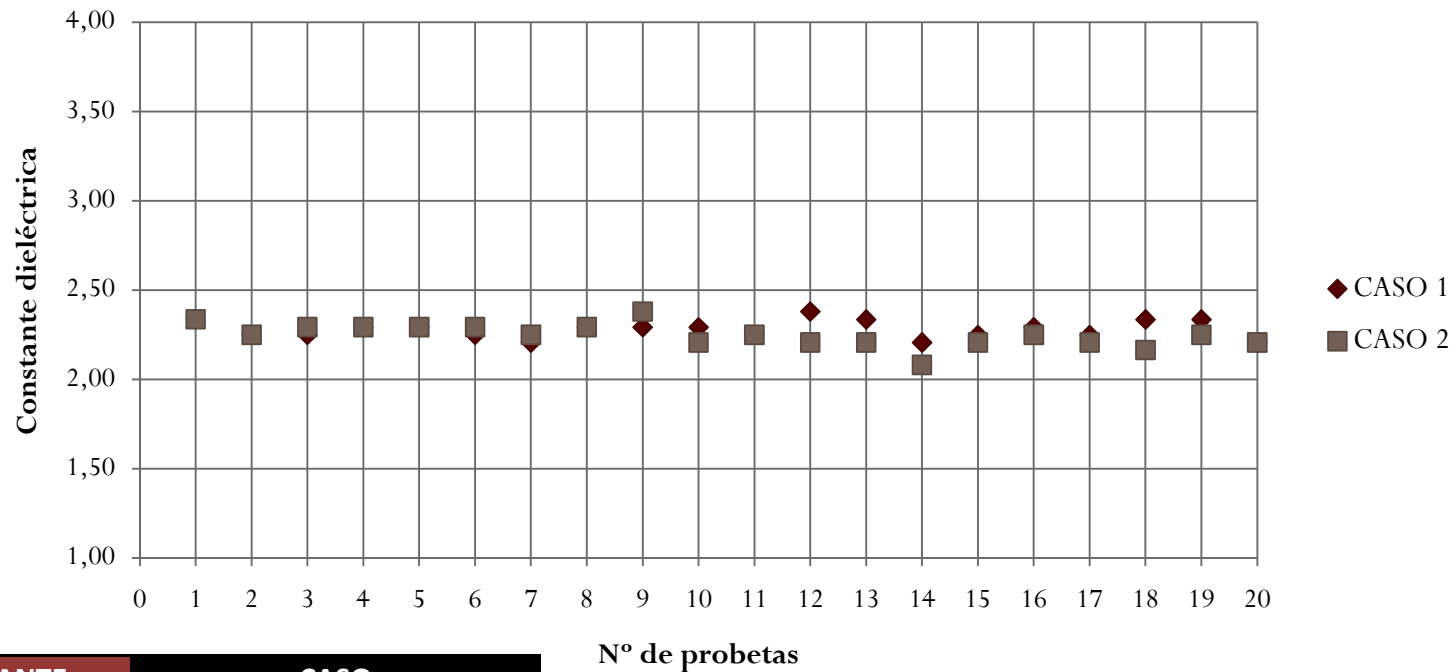
$$V_1/V_2 = 0.992$$

$$\text{DESTIP} = 0,01$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 1 vs CASO 2.

CONSTANTE DIELECTRICA



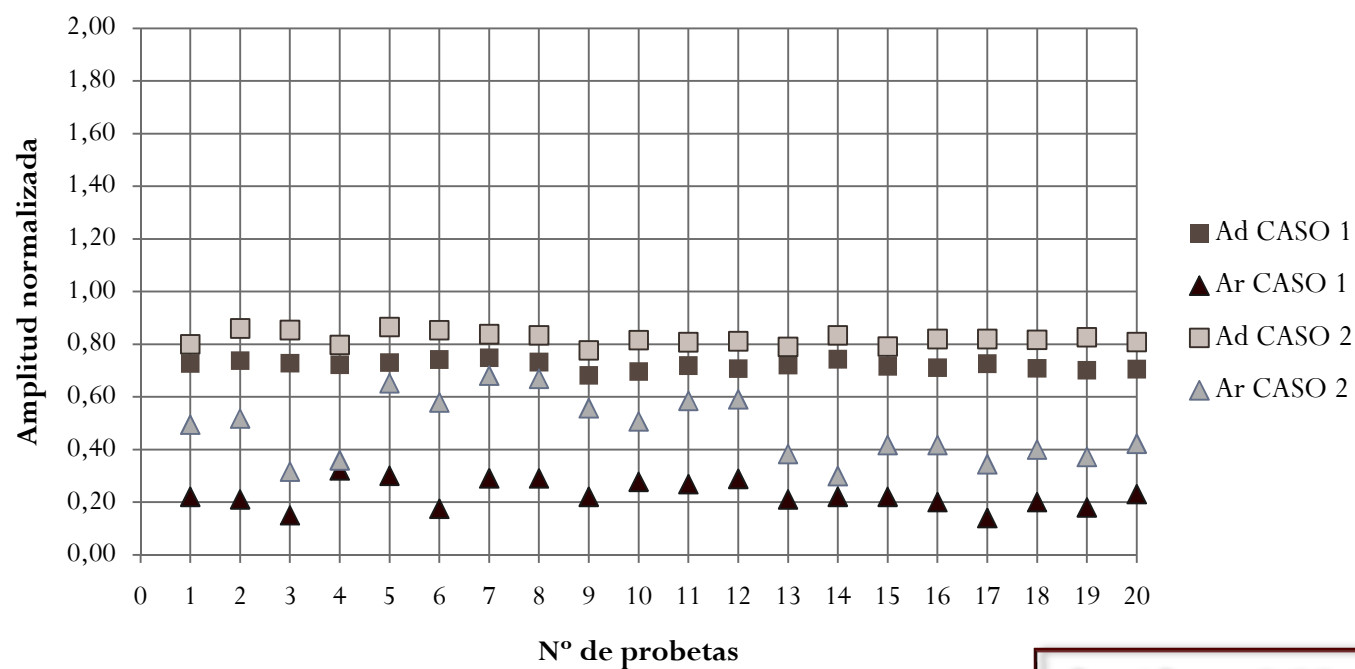
CONSTANTE DIELÉCTRICA	CASO	
	1	2
MEDIA	2,279	2,244
DESVIACIÓN TÍPICA	0,047	0,063

$$\epsilon_1 / \epsilon_2 = 1,01$$
$$\text{DESTIP} = 0,03$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 1 vs CASO 2.

AMPLITUDES



AMPLITUD NORMALIZADA	CASO			
	1		2	
	Ad	Ar	Ad	Ar
MEDIA	0.720	0.219	0.820	0.45
DESVIACIÓN TÍPICA	0,017	0,005	0,024	0,118

$$A_{d1}/A_{d2} = 0,88$$

$$\text{DESTIP} = 0,02$$

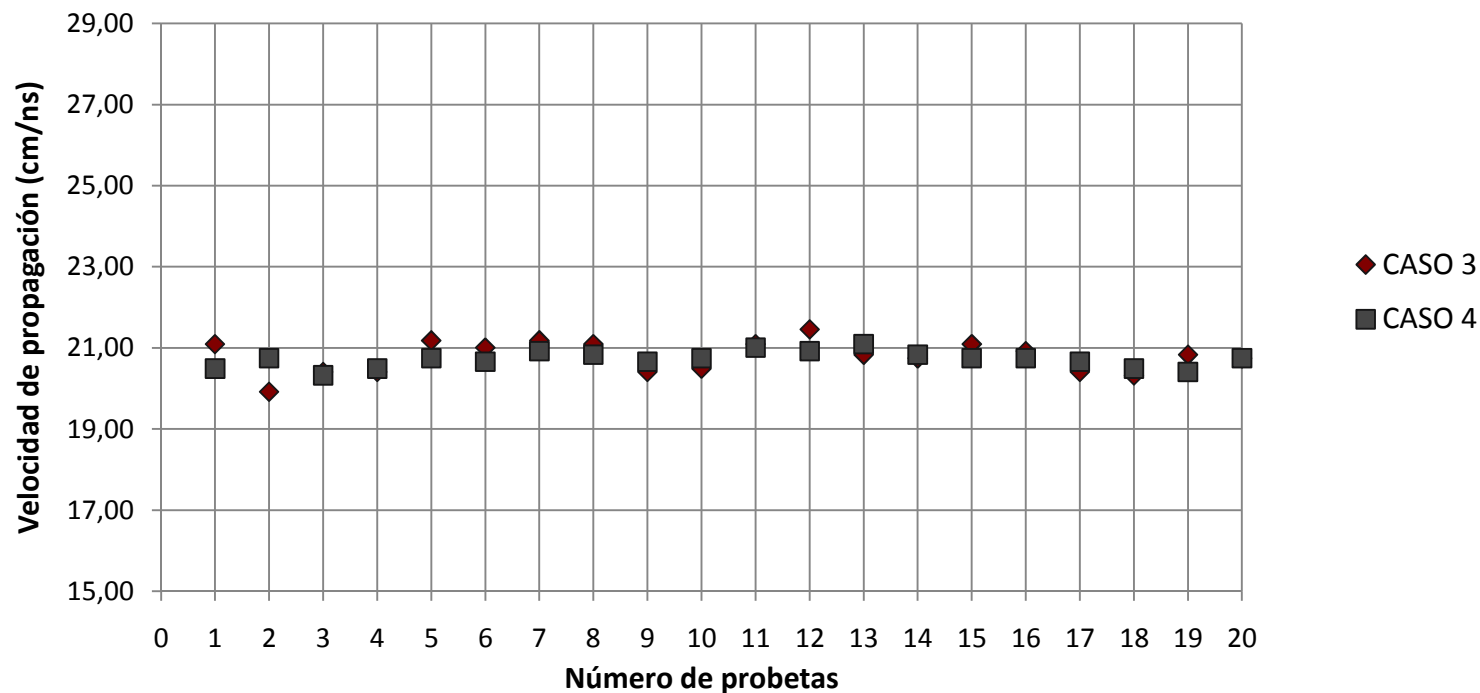
$$A_{r1}/A_{r2} = 0,49$$

$$\text{DESTIP} = 0,12$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 3 vs CASO 4.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN



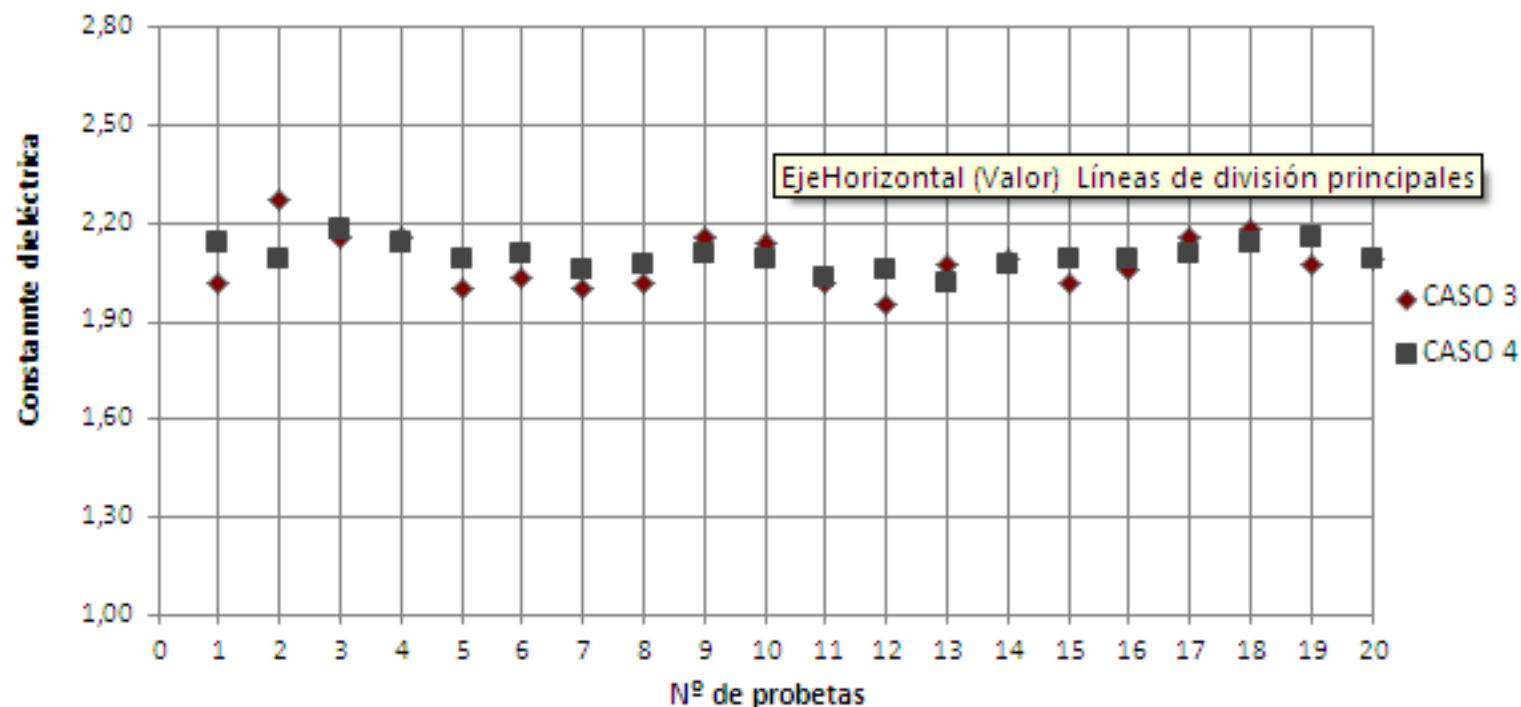
VELOCIDAD(V_{r1})	CASO	
	3	4
MEDIA	20,777	20,713
DESVIACIÓN TÍPICA	0,378	0,193

$$V_3/V_4 = 1,00$$
$$\text{DESTIP} = 0,2$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 3 vs CASO 4.

CONSTANTE DIELECTRICA



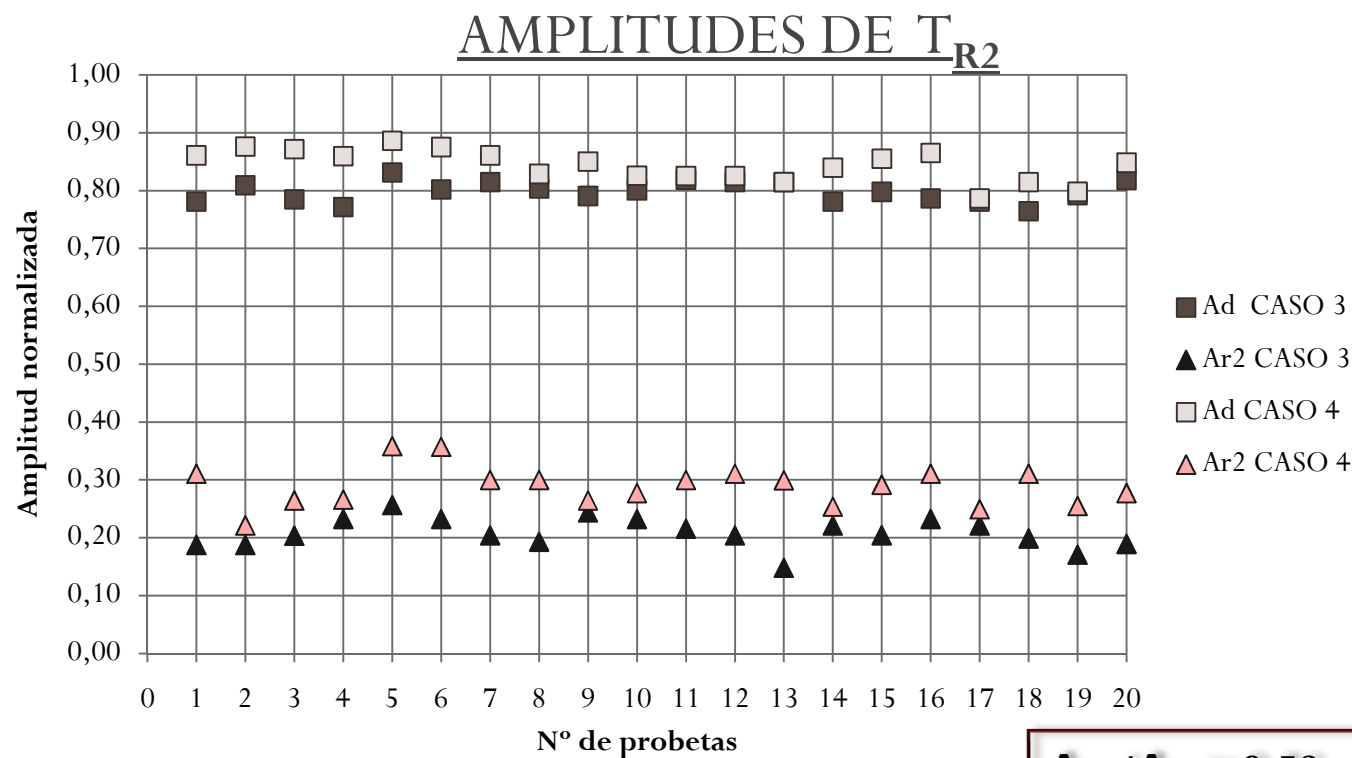
CONSTANTE DIELÉCTRICA(ε ₁)	CASO	
	3	4
MEDIA	2,083	2,097
DESVIACIÓN TÍPICA	0,077	0,039

$$\epsilon_3 / \epsilon_4 = 0,99$$

$$DESTIP = 0,3$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- GEORRADAR. CASO 3 vs CASO 4.



AMPLITUD NORMALIZADA	CASO			
	3		4	
	Ad	Ar 2	Ad	Ar 2
MEDIA	0,798	0,206	0,843	0,285
DESVIACIÓN TÍPICA	0,017	0,025	0,027	0,034

$$A_{d3}/A_{d4} = 0,58$$

$$\text{DESTIP} = 0,03$$

$$A_{r3}/A_{r4} = 0,72$$

$$\text{DESTIP} = 0,1$$

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- RESISTÓGRAFO. CARA vs CANTO.

Nº DE PROBETA	AMPLITUD (% DE CANTIDAD DE ENERGÍA)			
	CARA		CANTO	
	VALOR PROBETA	DESVIACIÓN TÍPICA	VALOR PROBETA	DESVIACIÓN TÍPICA
1	7,737	2,617	9,757	1,905
2	8,499	2,588	10,617	2,005
3	7,801	2,668	9,522	1,435
4	8,194	2,737	10,468	1,700
5	7,665	2,180	10,445	2,316
6	7,988	2,625	9,249	2,245
7	6,878	2,472	9,081	2,050
8	8,293	2,392	8,724	2,094
9	7,871	2,570	10,385	1,499
10	8,482	2,550	10,071	1,481
11	7,331	2,716	9,322	1,505
12	6,832	2,763	8,664	1,747
13	8,040	2,755	9,460	1,229
14	8,664	2,612	10,862	1,949
15	8,388	2,485	9,872	1,497
16	8,422	1,921	10,617	2,749
17	8,929	1,590	9,545	1,529
18	9,115	1,380	9,477	1,948
19	9,477	1,948	10,428	1,663
20	8,229	2,200	10,428	1,663
MEDIA	8,142	2,388	9,850	1,810

MAYOR RESISTENCIA
EN CANTO

CONCLUSIONES.

- Con la técnica del georradar empleando la antena de 2 GHz, no se pueden obtener datos de la anisotropía de la madera de mobila.

$$\begin{array}{l} \epsilon_1/\epsilon_2 = 1,01 \\ \text{DESTIP} = 0,03 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \epsilon_3/\epsilon_4 = 0,99 \\ \text{DESTIP} = 0,3 \end{array}$$

Lo cual es una ventaja para estudiar una estructura en servicio.

CONCLUSIONES.

- Con la técnica del **resistógrafo** hemos obtenido que la madera de mobila presenta una **mayor resistencia** a su perforación cuando se realiza en el canto.
- A la hora de realizar el **ensayo**, el empleo del georradar es más **sencillo** que el resistógrafo.
- El **georradar** tiene **un precio elevado**, al igual que el software para el tratamiento posterior de datos, y sólo se puede emplear en un ordenador a la vez.

CONCLUSIONES.

- Mientras que el programa del **resistógrafo** es un **software libre**, te permite instalarlo en tantos ordenadores como desees.
- El **tratamiento de los datos** con la técnica del resistógrafo es más sencilla que la del georradar.

GRACIAS A TODOS