

Análisis de la anisotropía dieléctrica para dos pinos de alta comercialización en España por medio de la técnica no destructiva del georradar con una antena de 2 GHz

Tutores

Rosa M. Martínez Sala

Isabel Rodríguez Abad



CONTENIDO

- **1. Introducción**

- La madera en la construcción
- Objetivos
- La estructura de la madera
- Técnicas de análisis de la madera estructural

- **2. El Georradar**

- Fundamento del Georradar
- Componentes
- Proceso de toma de datos
- Interpretación y análisis de los resultados

- **3. Preparación del proceso experimental**

- Estudio de los materiales a analizar
- Características de los equipos de medición
- Proceso de la toma de datos

- **4. Método experimental e interpretación de resultados**

- Proceso de la toma de datos
- Análisis de los datos obtenidos
- Interpretación de resultados
- Estudio comparativo de los resultados con otros proyectos similares



INTRODUCCIÓN

LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN:

- Aparición del acero y el hormigón
- Normativa sobre calidad y seguridad estructural
- Nuevos métodos de caracterización y ensayo
 - Ensayos destructivos y no destructivos



OBJETIVOS

Establecer las diferencias dieléctricas que existen entre dos tipos de madera de la misma familia pero de distinta especie

Evidenciar la anisotropía dieléctrica de la madera según se trabaje en sentido perpendicular o paralelo a sus fibras.

Valorar la utilidad de la aplicación del georradar como técnica de análisis no destructiva

Comparar los resultados de nuestro proyecto con los de otros estudios



INTRODUCCIÓN

Anisotropía:

Es la propiedad general de la materia según la cual determinadas propiedades físicas, tales como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. varían según la dirección en que son examinadas.

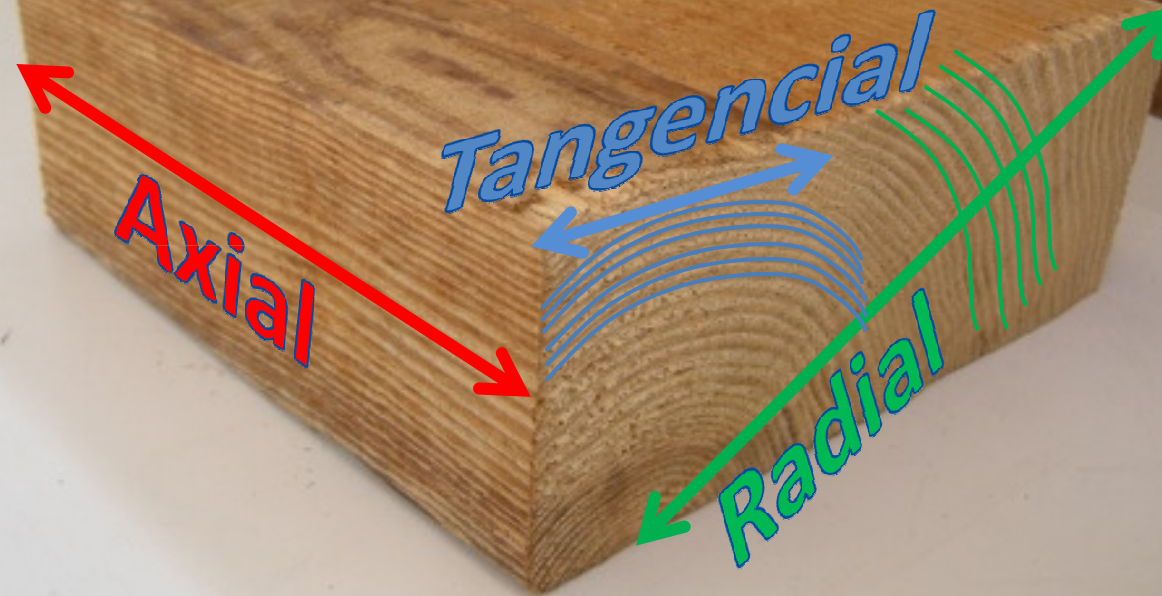
La madera, por ejemplo, presenta diferentes características según la dirección de estudio.

3 Direcciones:

- Dirección axial:** paralela a las fibras o en la dirección del crecimiento de los anillos
- Dirección radial:** perpendicular al axial
- Dirección tangencial:** sección transversal pero tangente a los anillos



INTRODUCCIÓN



LA MADERA

PINUS INSIGNIS

Nombre científico: Pinus radiata.

Familia: Pináceas.

Altura: 30-40 m.

Descripción de la madera:

Albura: Blanco amarillento

Duramen: Pardo amarillento

Pardo Marrón

PINO RUSO

Nombre Científico: Pinus sylvestris.

Familia: Pináceas.

Altura: 25-40 m.

Descripción de la madera:

Compacta y resinosa

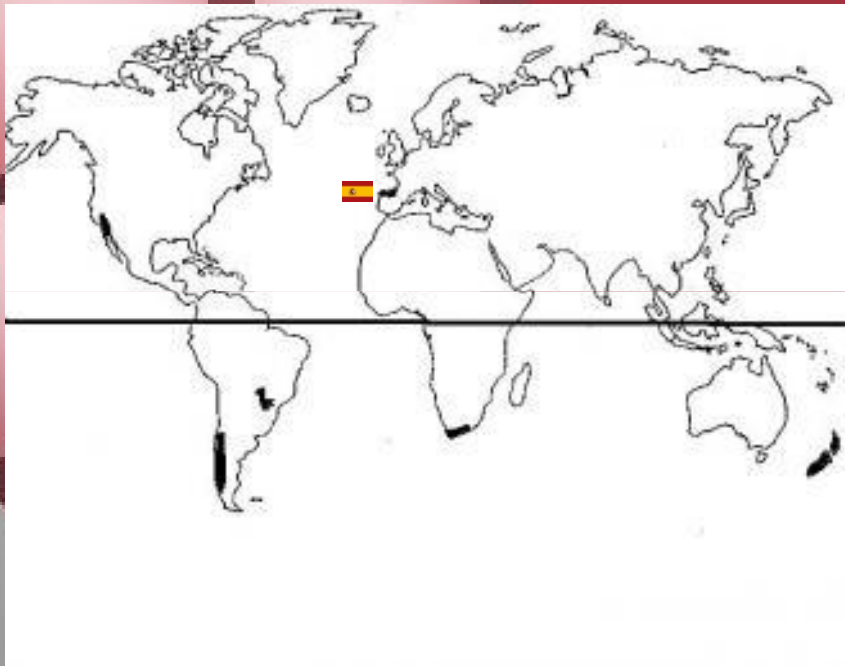
Albura: blanco amarillento

Duramen: rojizo

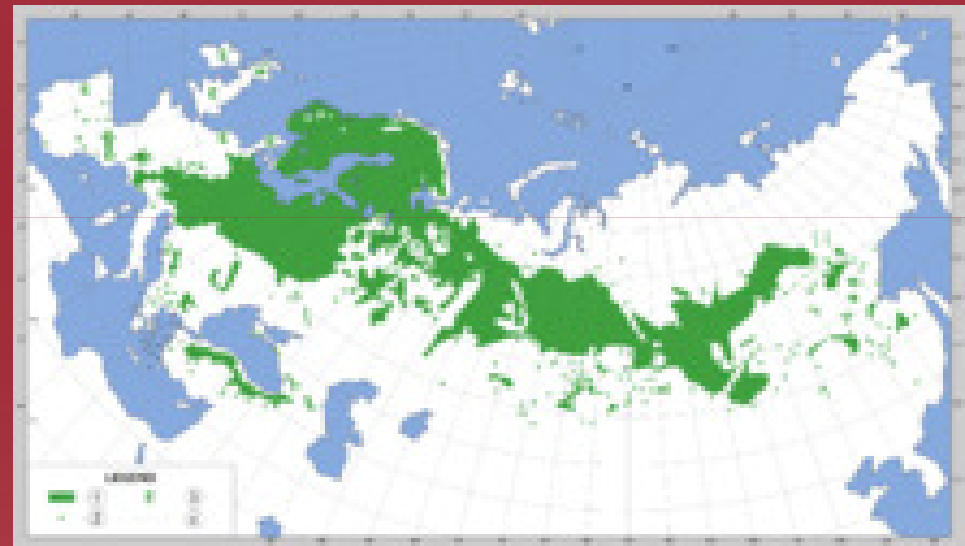


LA MADERA

PINUS INSIGNIS



PINO RUSSO



TÉCNICAS DE ANÁLISIS

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA MADERA ESTRUCTURAL

Semi-destructivas: Resistógrafo, Extracción de tornillos, Extracción de muestras y Datación de la madera.

No destructivas: Ultrasonidos, Métodos de vibraciones inducidas, Termografía, Rayos Gamma-Desintrometría, Ondas Radiofrecuencia, Ondas Microondas y **Georradar**.



EL GEORRADAR

- Técnica de análisis no destructiva
- Teoría de ondas
- Componentes:
 - Unidad central
 - Sistema de visualización
 - Antenas
- Equipo para el proyecto:
 - Sistema SIR 3000
 - Antena Palm 2 GHz



EL GEORRADAR

Conceptos fundamentales

- Rango de un registro
- Puntos por traza
- Ganancia
- Calibración
 - Cero de la antena
 - Distancia mínima de no interferencia
- Métodos de adquisición de registros
 - Obtención de perfiles
 - Lecturas puntuales

Edit File Header

FILE NAME: FILE3 Created Nov, 28 2008, 13:44:52 Modified 00:00:00

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 80

scans/ m: 263

m /mark: 6

DielConstant: 0

Channel Information

Channel: 1 Antenna: 5100 1500 MHZ Comp: NONE

Range Gain (dB): 0.0 12.0 20.0
20.0
Vert IIR LP N =2 F =3000 MHz
Vert IIR HP N =2 F =600 MHz
Static Stacking N=4

Position (nS): -0.5

Range (nS): 5

Top (m): 0

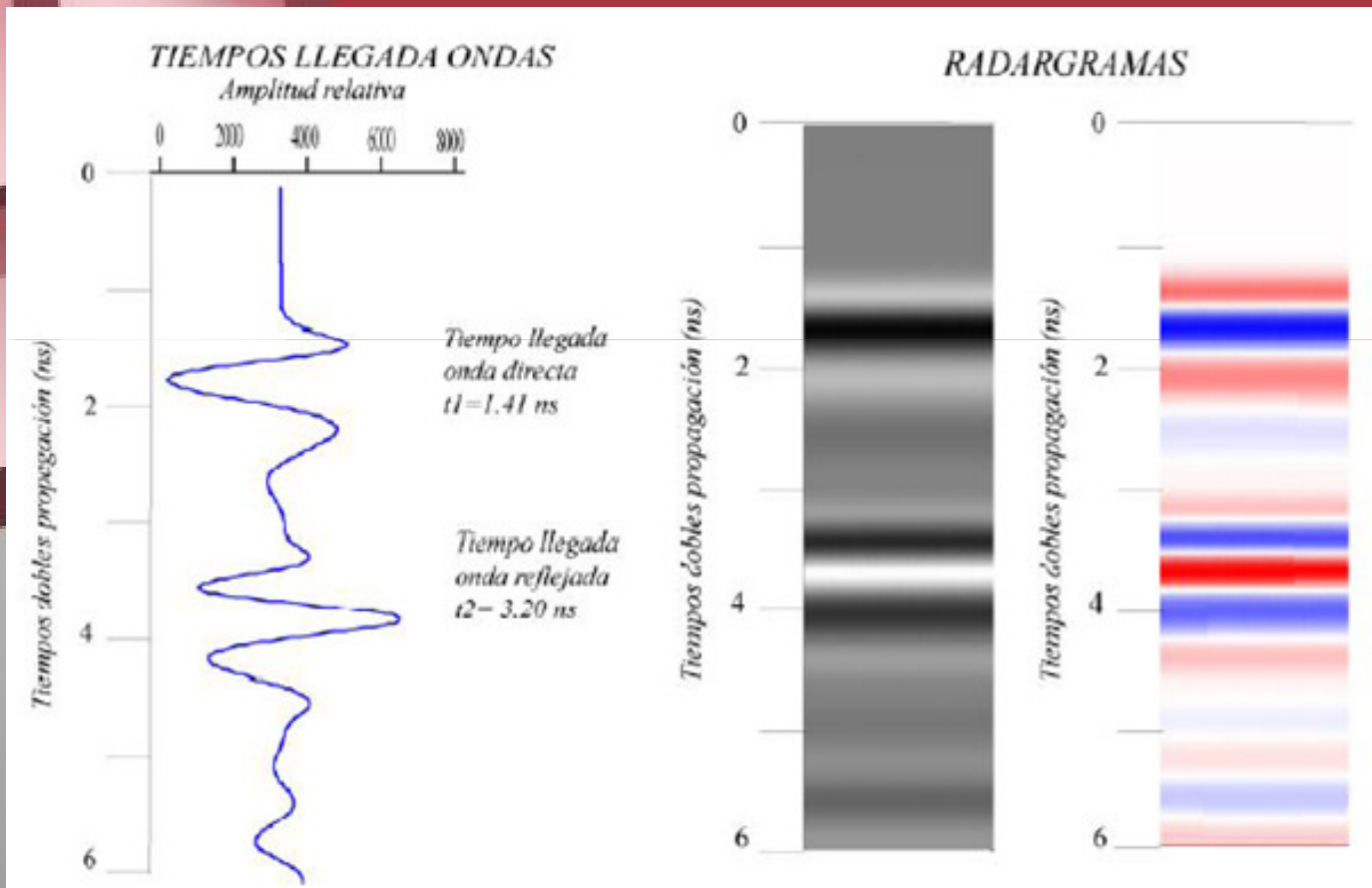
Depth (m): 0

Buttons: Save Save As Cancel 3D Options Help



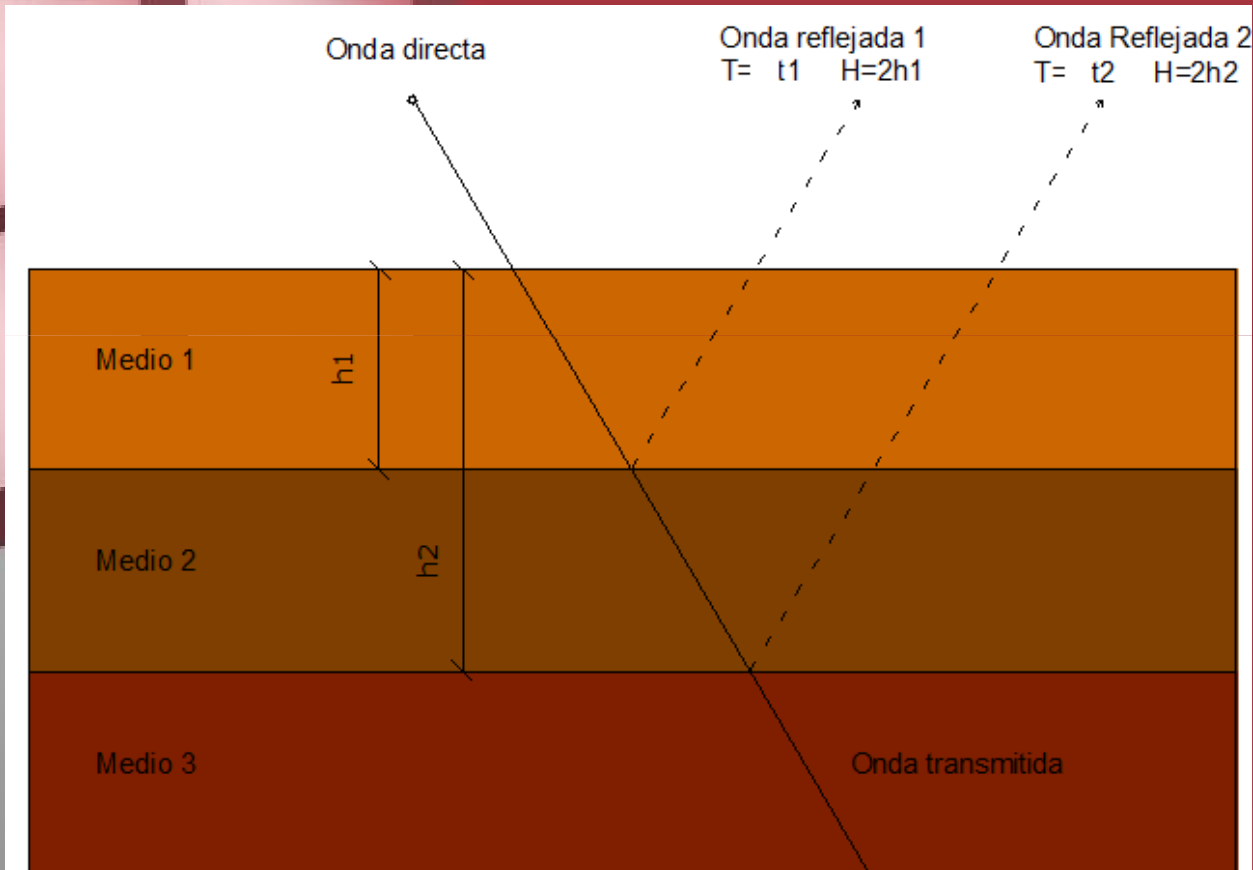
EL GEORRADAR

Interpretación y análisis de resultados



EL GEORRADAR

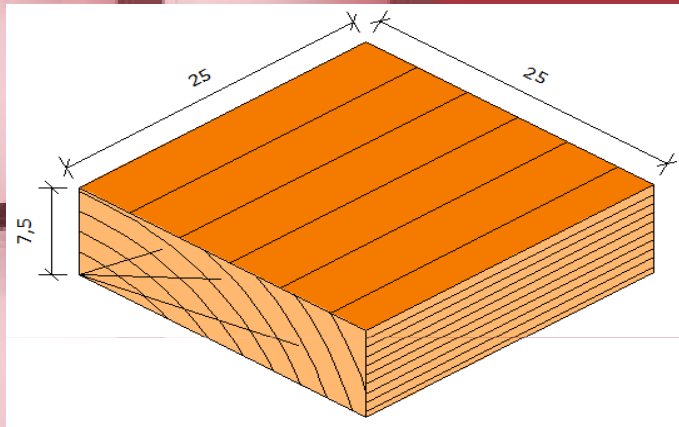
Interpretación y análisis de resultados



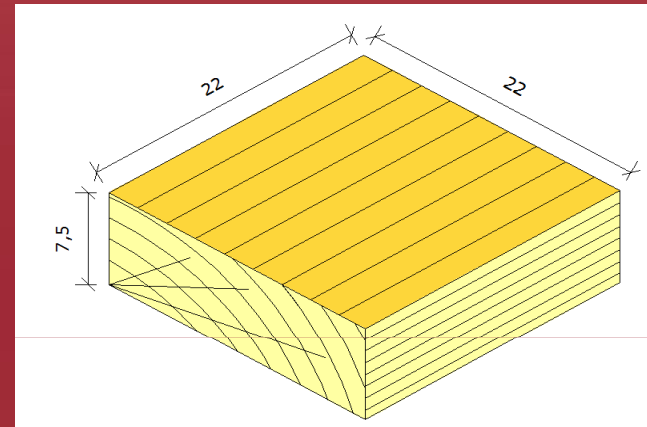
$$\varepsilon = \left(\frac{c \Delta t}{2h} \right)^2 \quad (7)$$

LAS MUESTRAS

Pinus Insignis



Pino Ruso



TIPO	Nº	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES
P. Ruso	1	R1	7,5 x 22 x 22 cm
P. Ruso	2	R2	7,5 x 22 x 22 cm
P. Ruso	3	R3	7,5 x 22 x 22 cm
P. Ruso	4	R4	7,5 x 22 x 22 cm
P. Ruso	5	R5	7,5 x 22 x 22 cm

TIPO	Nº	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES
P. Insignis	1	I1	7,5 x 25 x 25 cm
P. Insignis	2	I2	7,5 x 25 x 25 cm
P. Insignis	3	I3	7,5 x 25 x 25 cm
P. Insignis	4	I4	7,5 x 25 x 25 cm
P. Insignis	5	I5	7,5 x 25 x 25 cm

Normativa UNE

MUESTRA	G	r _H
	%	Kg/m ³
P. Ruso	10,5	464,2
P. Insignis	12,8	616,7



CASOS DE ENSAYO

- **CASO 1: Cara paralela**

Antena situada en la cara de la probeta con campo E. oscilando en dirección paralela a las fibras.

- **CASO 2: Cara Perpendicular:**

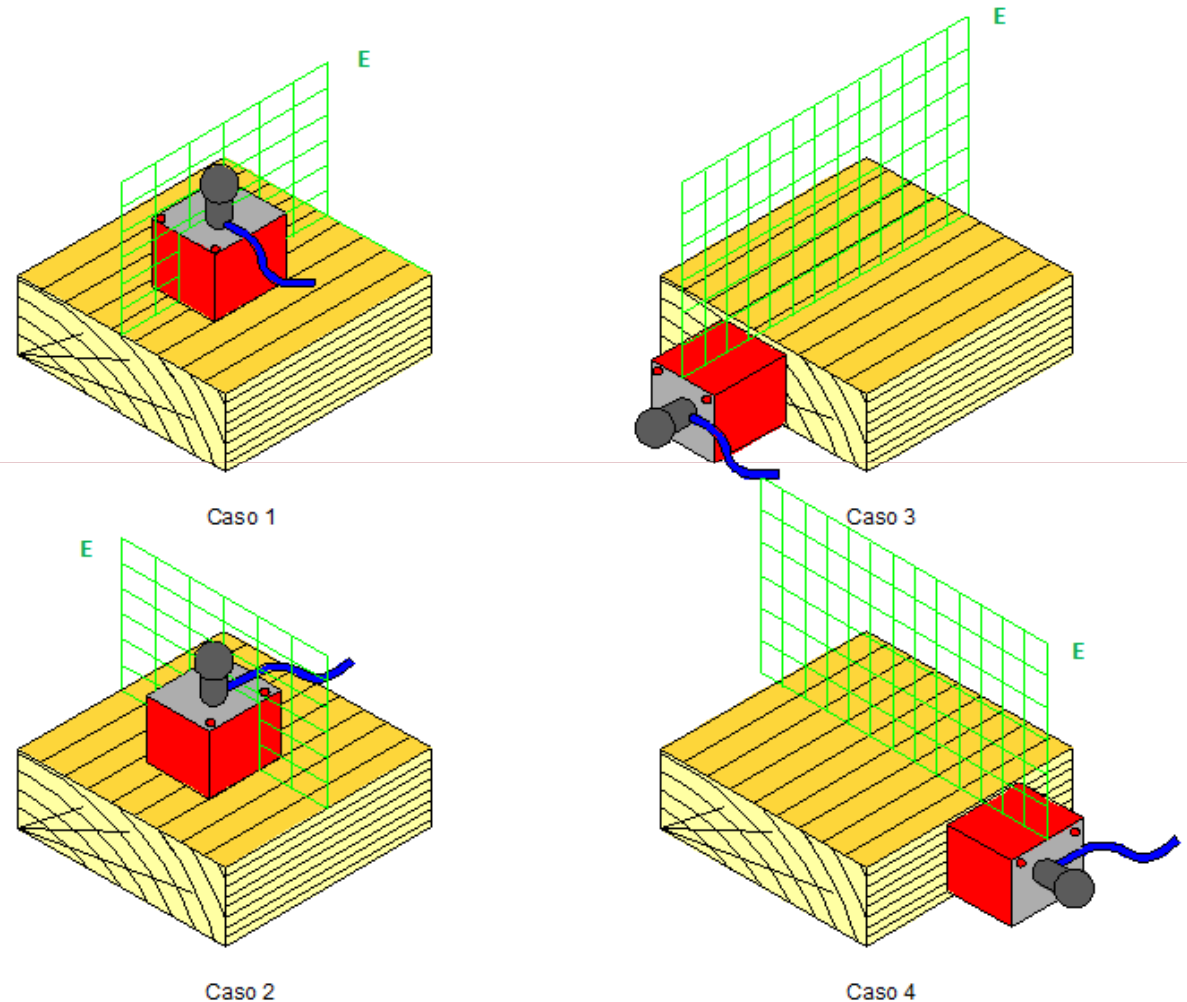
Antena situada en la cara de la probeta con campo E. oscilando en dirección perpendicular a las fibras.

- **CASO 3: Testa**

Antena situada en la testa de la probeta.

- **CASO 4: Canto**

Antena situada en el canto de la probeta.



PROCESO EXPERIMENTAL

- 20 probetas x 4 casos x 2 tipos de madera



PROCESO:



PROCESO EXPERIMENTAL



Tiempo de espera y anotación del registro

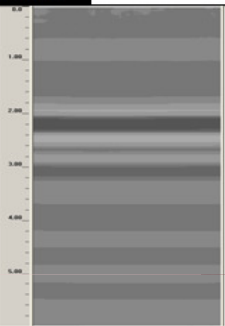


ANALISIS DE DATOS

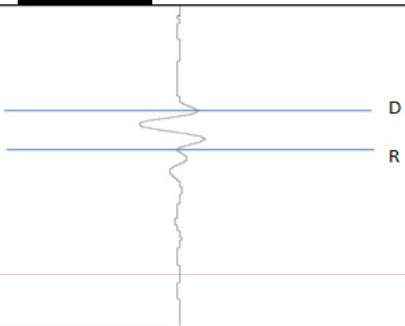
Modelo tabla registros para anotación datos Radan

HOJA DE ANALISIS DE DATOS

MUESTRA



CASO DE ENSAYO



USO DE REFLECTOR

Nº HOJA

Edit File Header

FILE NAME: FILE_064 Created Apr, 08 2011, 11:01:30 Modified Apr, 08 2011, 11:01:36

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/m: 120

m /mask: 0

DielConstant: 6

Channel Information

Channel: 1 Antenna: 1.5/1.6GHz Comp: T1R1

Range Gain (dB): 5.0 Position (ns): 0

Position Correction: -14.225 ns

Range (ns): 6

Vert IIR LP N=1 F=2700 MHz

Top (m): -0.0537541

Horz IIR Stack TC=20

Depth (m): 0.367423

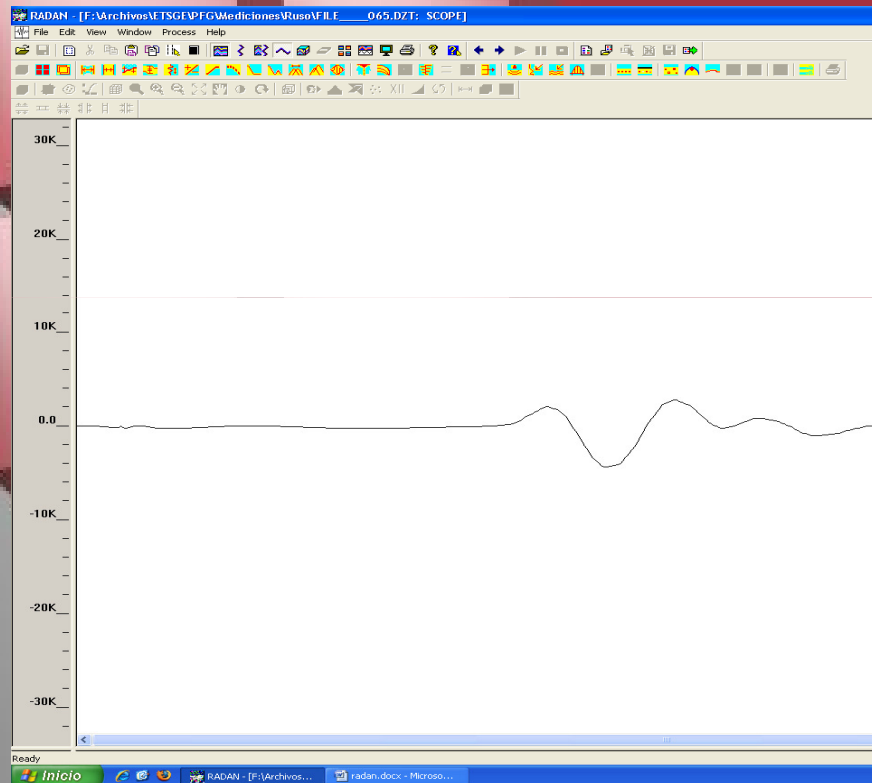
Save Save As Export Header Cancel Help

Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h	t ₁	t ₂	t ₃	Δt ₁₋₂	Δt ₁₋₃	v ₁₋₂	v ₁₋₃	ξ ₁₋₂	ξ ₁₋₃	A ₀	A _{K1}	A _{K2}	A _{N10}	A _{NK1}	A _{NK2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns	-	-			cm	cm	cm	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		

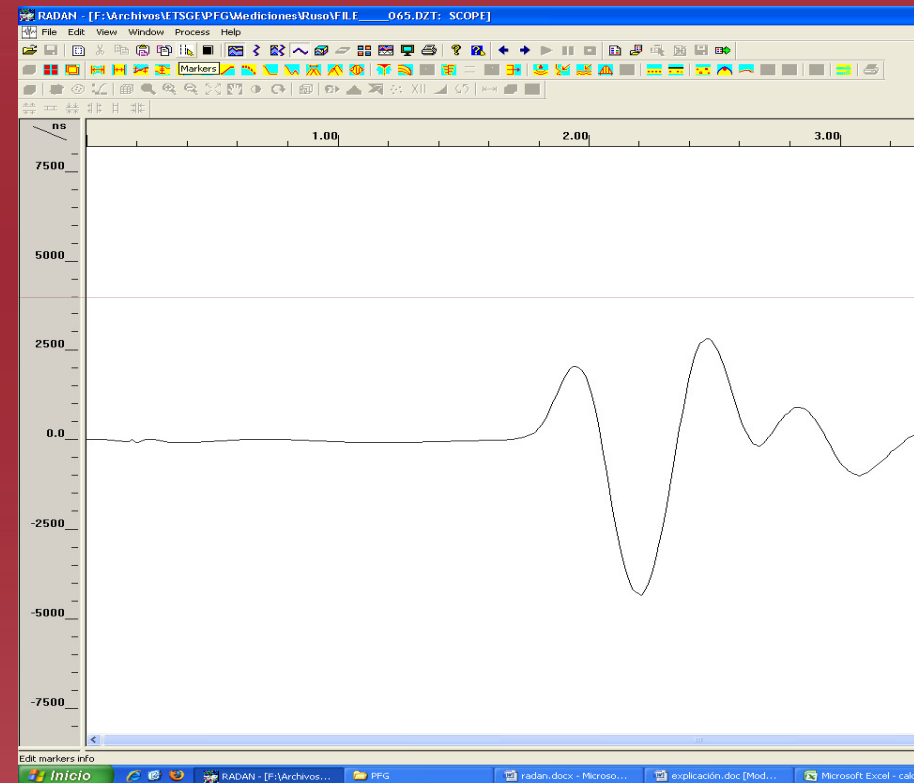


ANALISIS DE DATOS

Modo Scope D.G. 1



Modo Scope D.G. 4



ANALISIS DE DATOS

- **Datos obtenidos:**

- Tiempos doble de propagación
- Amplitudes

- **Parámetros calculados:**

- 1.-Cálculo de Velocidades
- 2.-Cte. Dieléctrica
- 3.-Amplitudes

Normalización :

Emisión al aire

ORDEN	PARAMETRO	PUNTO DE REFERENCIA
1º	TD (Tiempo directo)	1er Máximo positivo de la O.D.
2º	TR (Tiempo reflejado)	Cambio de Polaridad
3º	AD (Amplitud directa)	1er Máximo positivo de la O.D.
4º	AR (Amplitud reflejada)	Cambio de Polaridad

Tabla 6: Criterios de selección de puntos a analizar en casos 1 y 2

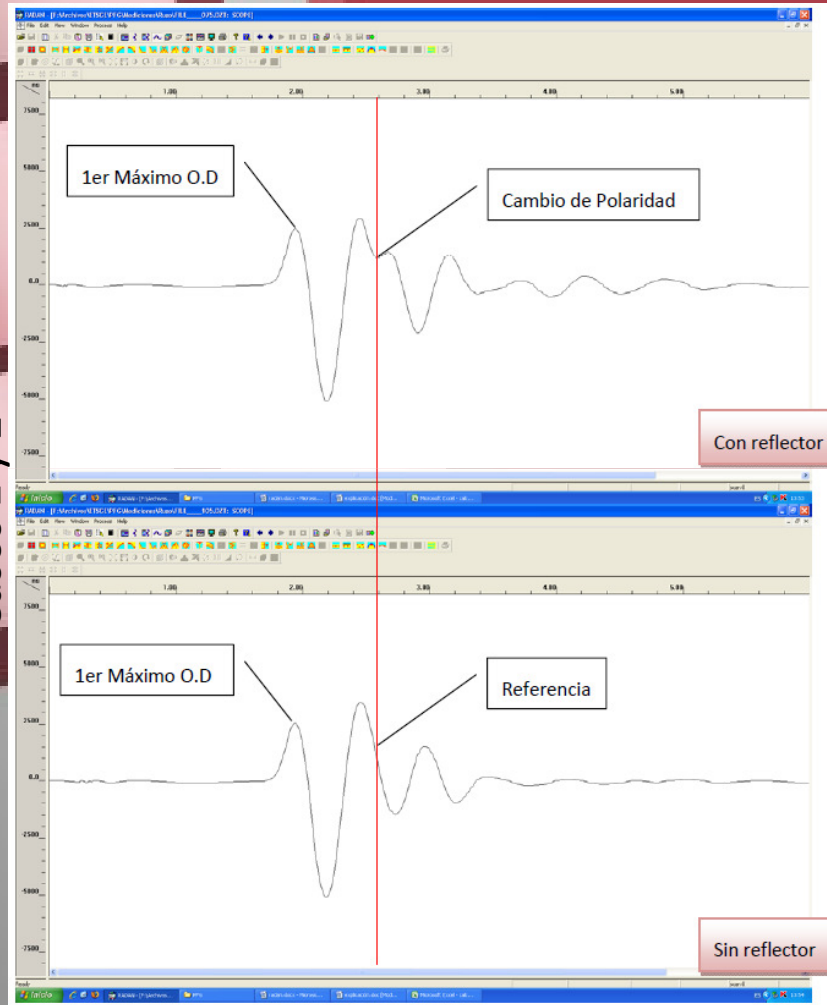
ORDEN	PARAMETRO	PUNTO DE REFERENCIA
1º	TD (Tiempo directo)	1er Máximo positivo de la onda directa
2º	TR (Tiempo reflejado)	Cambio de Polaridad
3º	TR2 (Tiempo reflejado-2)	1er Máximo positivo de la onda reflejada
4º	AD (Amplitud directa)	1er Máximo positivo de la onda directa
5º	AR (Amplitud Reflejada)	Cambio de Polaridad
6º	AR2 (Amplitud reflejada-2)	1er Máximo positivo de la onda reflejada

Tabla 7: Puntos escogidos en el radargrama en el Caso 2 y 3.

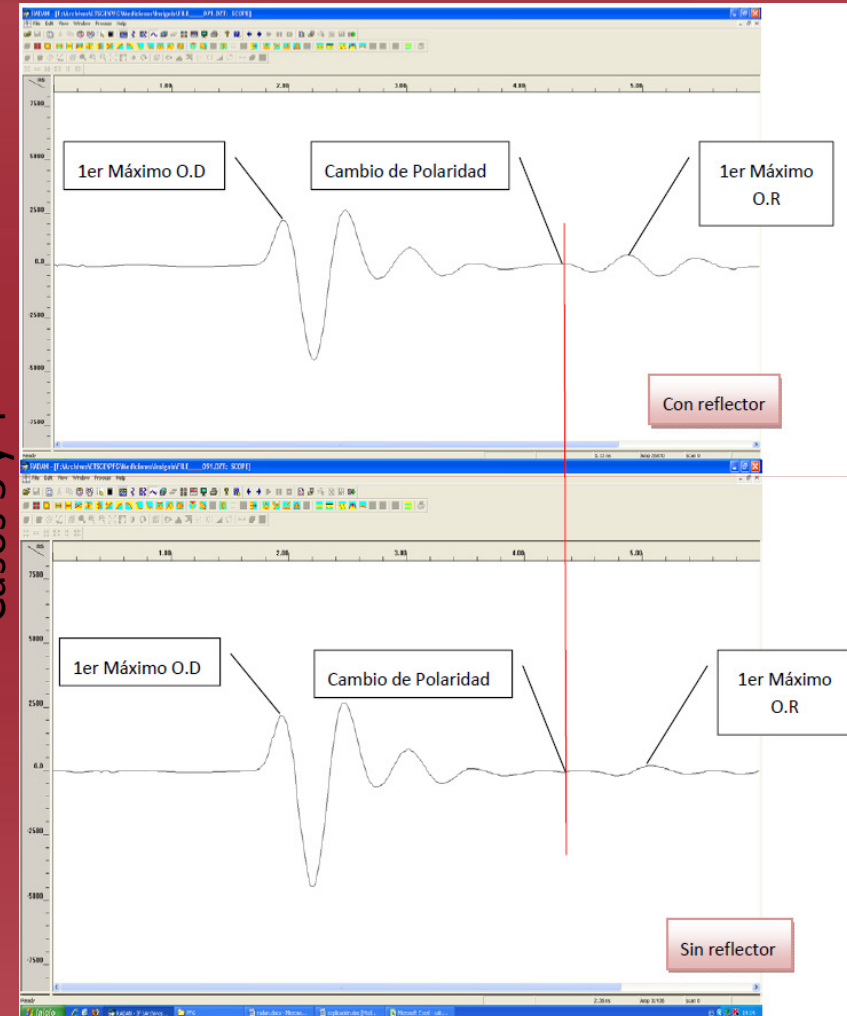


ANALISIS DE DATOS

Casos 1 y 2



Casos 3 y 4



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

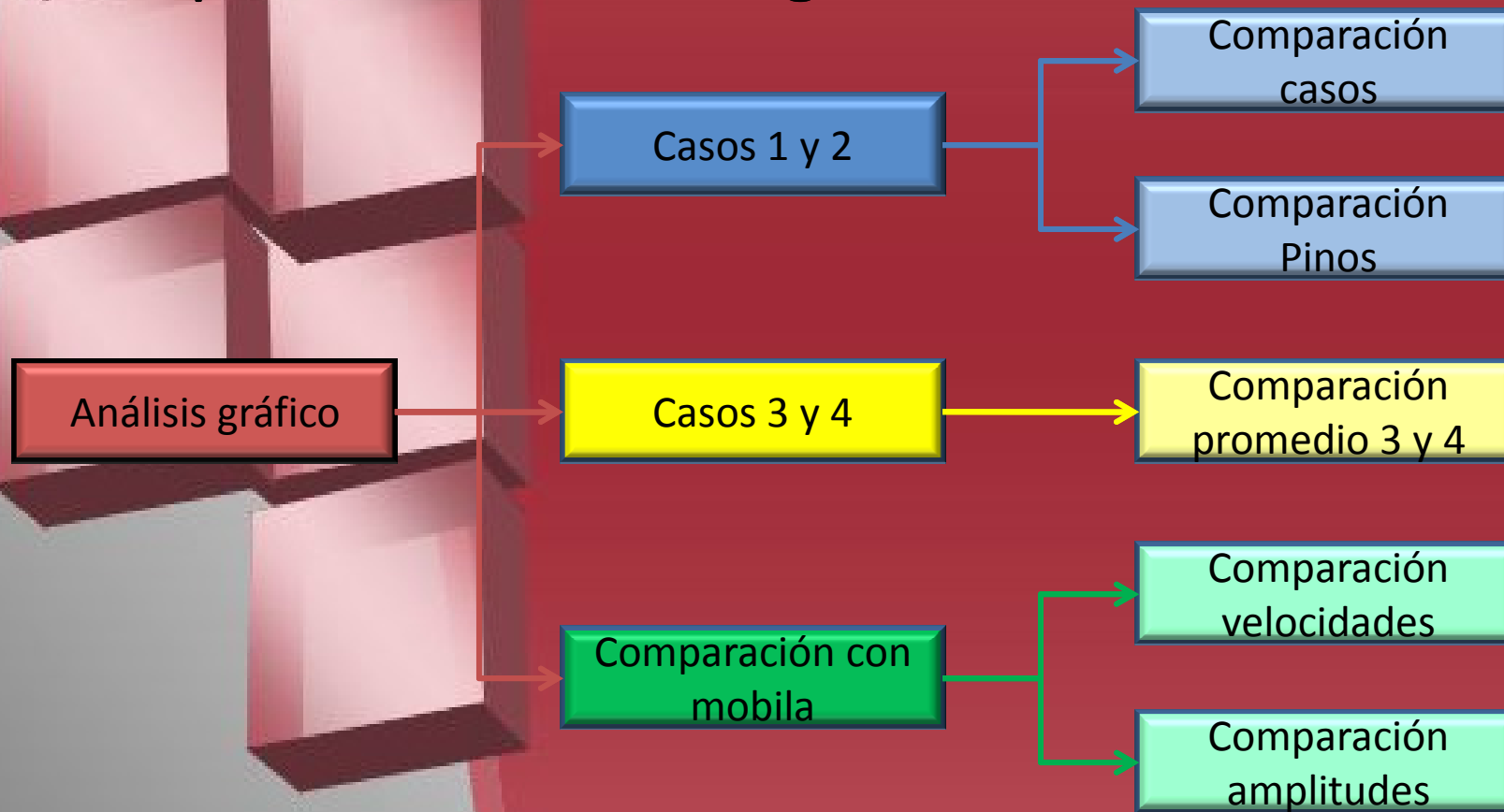
Tabla resumen de resultados

MUESTRA	CASO	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	v_{D-R}	ϵ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
		Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
P. RUSO	1	15	1,956	2,686		0,730	20,549	2,132	0,716	-0,068	
P. RUSO	2	15	1,952	2,620		0,668	22,447	1,787	0,871	0,300	
P. RUSO	3	44	1,945	3,924	4,349	1,979	22,241	1,821	0,807	0,137	0,337
P. RUSO	4	44	1,941	3,922	4,346	1,981	22,219	1,824	0,817	0,123	0,370
P. INSIGNIS	1	15	1,976	2,782		0,806	18,610	2,599	0,638	-0,248	
P. INSIGNIS	2	15	1,967	2,748		0,781	20,835	2,074	0,784	-0,220	
P. INSIGNIS	3	50	1,947	4,428	4,896	2,482	20,159	2,218	0,729	0,017	0,158
P. INSIGNIS	4	50	1,952	4,369	4,819	2,418	20,686	2,104	0,763	0,023	0,197



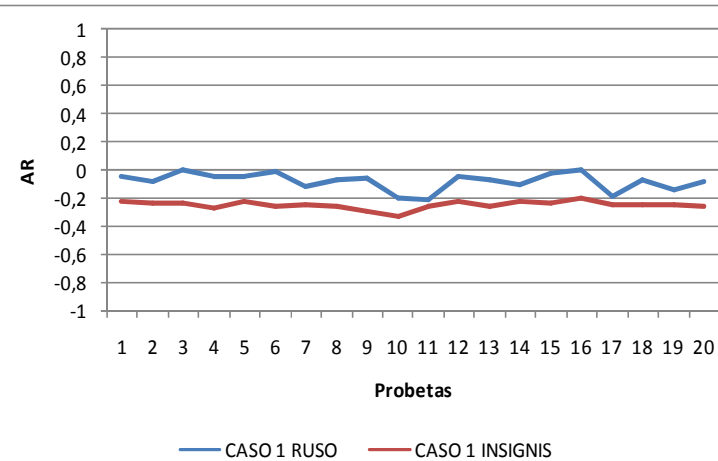
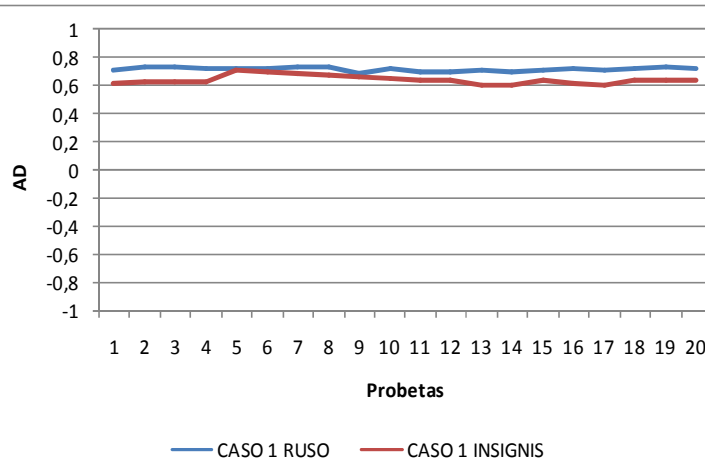
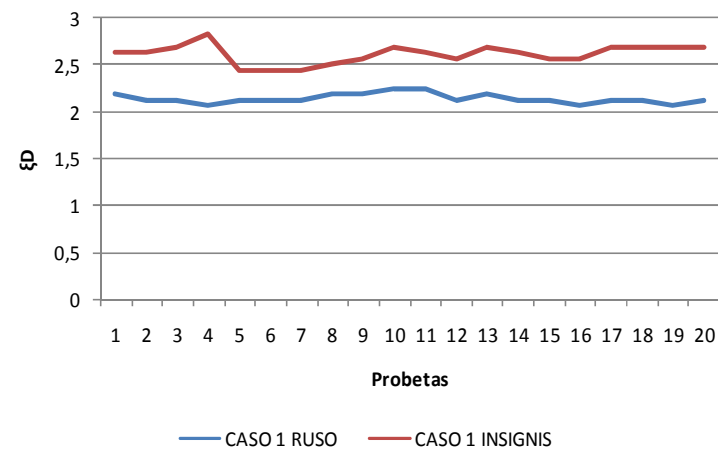
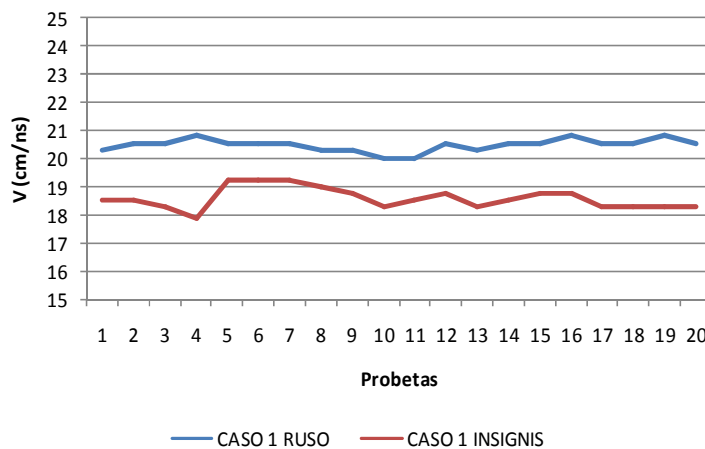
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Esquema del análisis gráfico



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CASO 1 (Campo E. paralelo a las fibras): Pino Ruso Vs Pinus Insignis



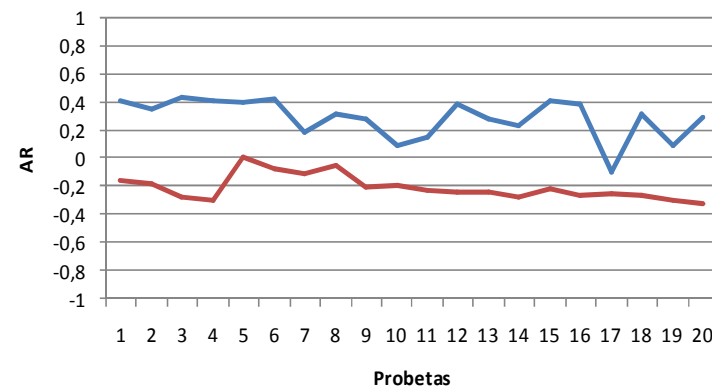
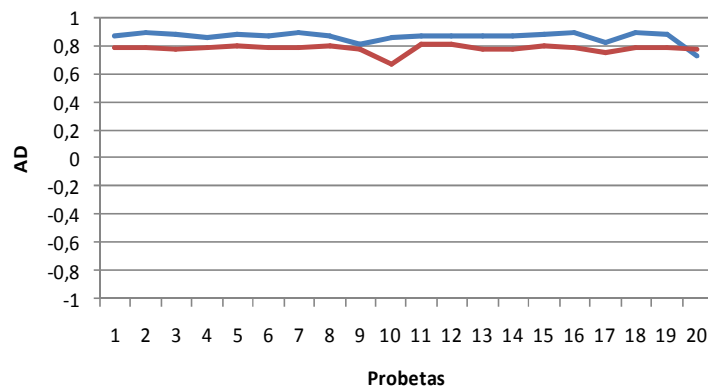
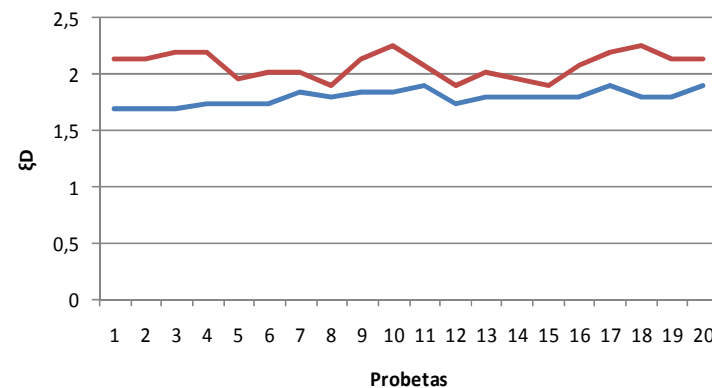
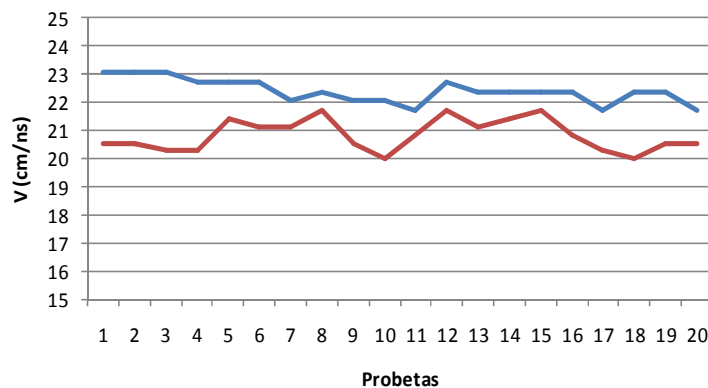
— P. Insignis

— P. Ruso



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CASO 2 (*Campo E. perpendicular a las fibras*): Pino Ruso Vs Pinus Insignis



P. Insignis

P. Ruso



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

RELACIÓN DE VELOCIDADES P. RUSO/P. INSIGNIS

Caso 1: 1.104 Caso 2: 1.071

RELACIÓN DE CONSTANTES DIELECTRICAS P. RUSO/P. INSIGNIS

Caso 1: 0.820 Caso 2: 0.862

DIFERENCIAS DE AMPLITUDES DIRECTAS P. RUSO/P. INSIGNIS

Caso 1: 0.078 Caso 2: 0.087

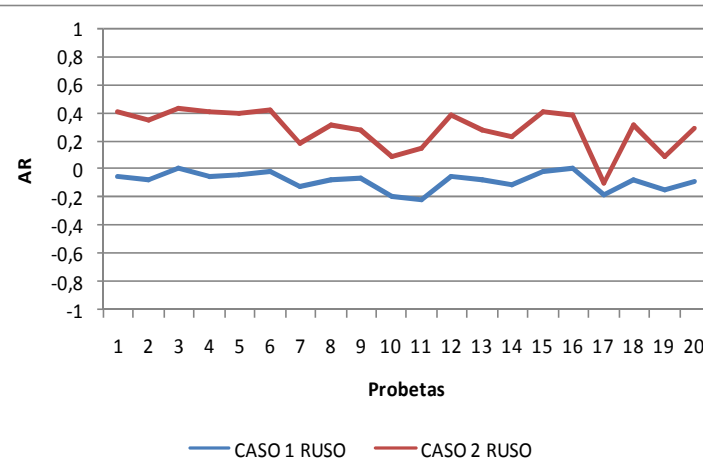
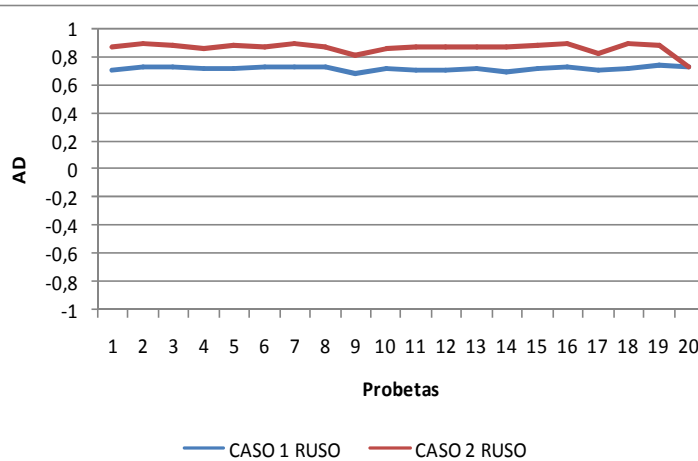
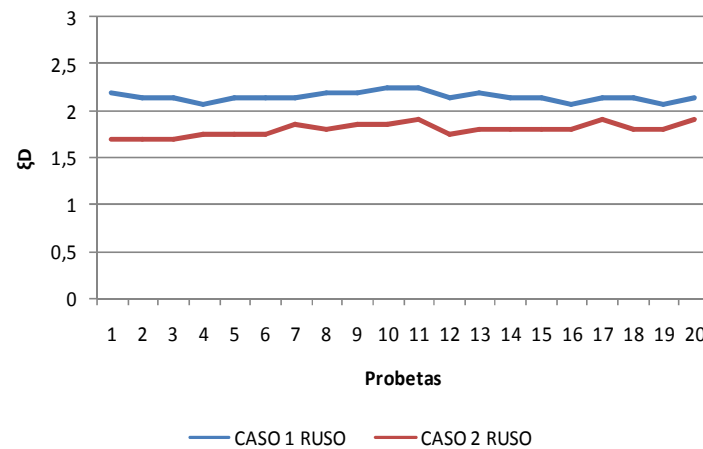
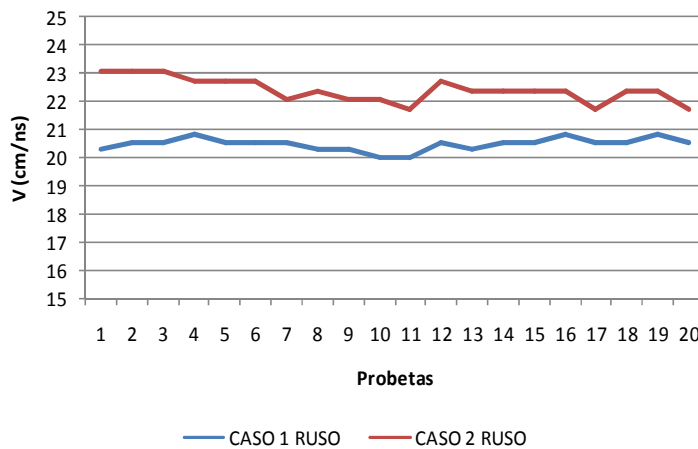
DIFERENCIAS DE AMPLITUDES REFLEJADAS P. RUSO/P. INSIGNIS

Caso 1: 0.180 Caso 2: **0.520**



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

PINO RUSO: Caso 1 (C.E. paralelo) Vs Caso 2 (C.E. perpendicular)



Caso 2

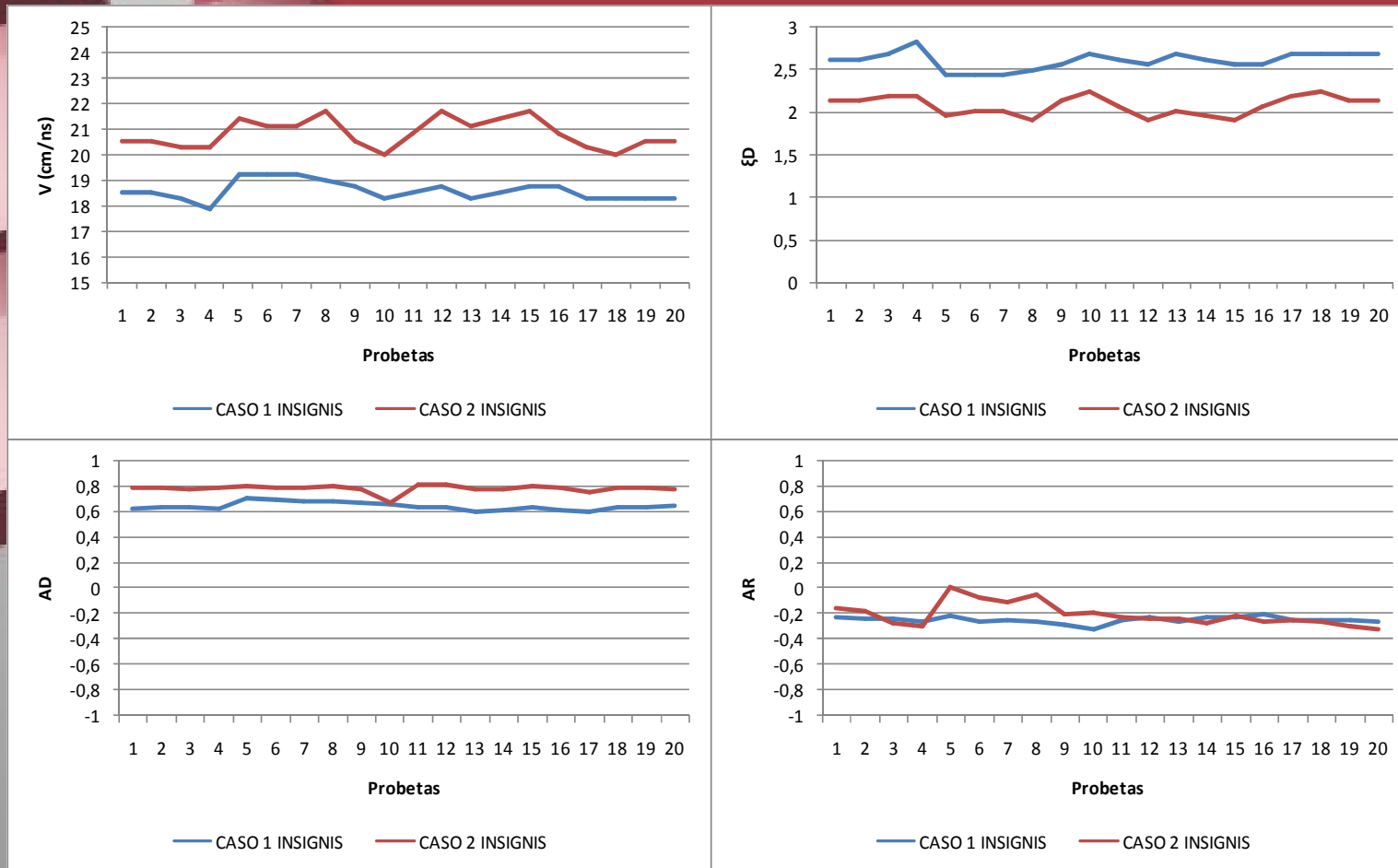


Caso 1



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

PINUS INSIGNIS: Caso 1 (C.E. paralelo) Vs Caso 2 (C.E. perpendicular)



— Caso 2

— Caso 1



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

RELACIÓN DE VELOCIDADES CASO 1/CASO 2

P. Ruso: 0.915 P. Insignis: 0.893

RELACIÓN DE CONSTANTES DIELECTRICAS CASO 1/CASO 2

P. Ruso: 1.193 P. Insignis: 1.253

DIFERENCIA DE AMPLITUDES DIRECTAS CASO 1/CASO 2

P. Ruso: -0.155 P. Insignis: -0.146

DIFERENCIA DE AMPLITUDES REFLEJADAS CASO 1/CASO 2

P. Ruso: -0.368 P. Insignis: -0.028



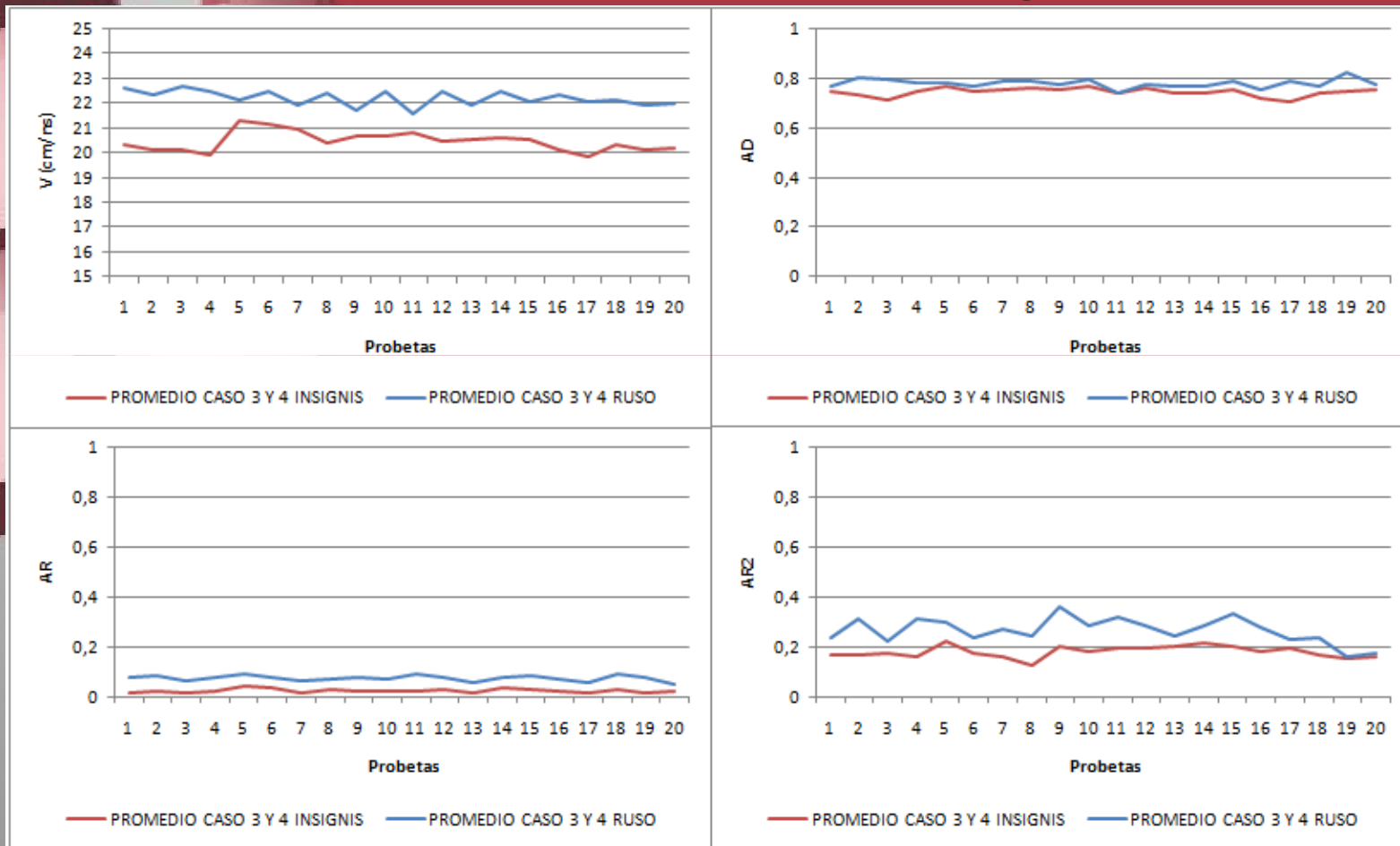
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- El P. Ruso presenta en general valores superiores de velocidad y amplitud que el P. Insignis.
- La diferencia de valores en la Amplitud de la onda reflejada es mayor en el caso 2 que en el caso 1
- Cuando el Campo E. se propaga en dirección perpendicular a las fibras los valores de velocidad y amplitud son superiores para los dos tipos de pino a cuando lo hace en dirección paralelo a las estas.
- En el P. Insignis la diferencia de valores en la amplitud de la onda reflejada no evidencia su anisotropía dieléctrica, dado que estos son muy similares.



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CASOS 3 Y 4: Pino Ruso Vs Pinus Insignis



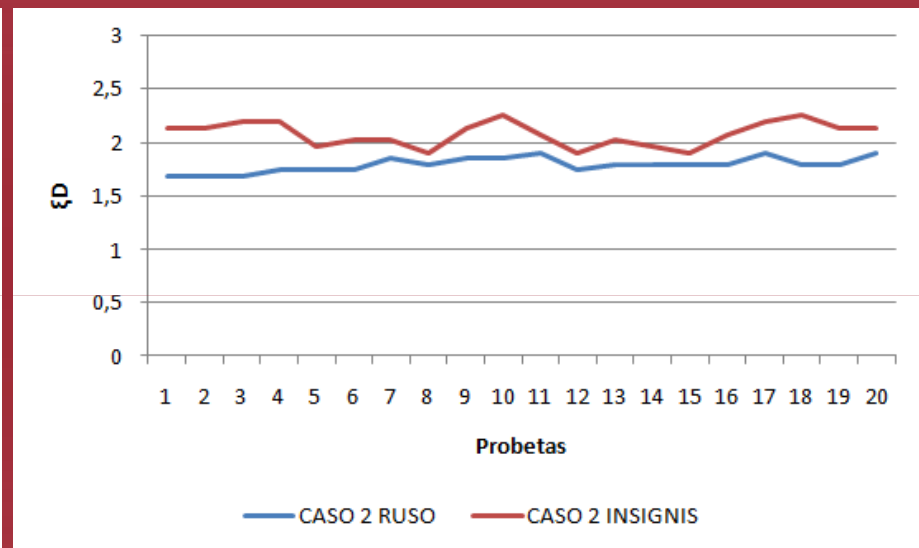
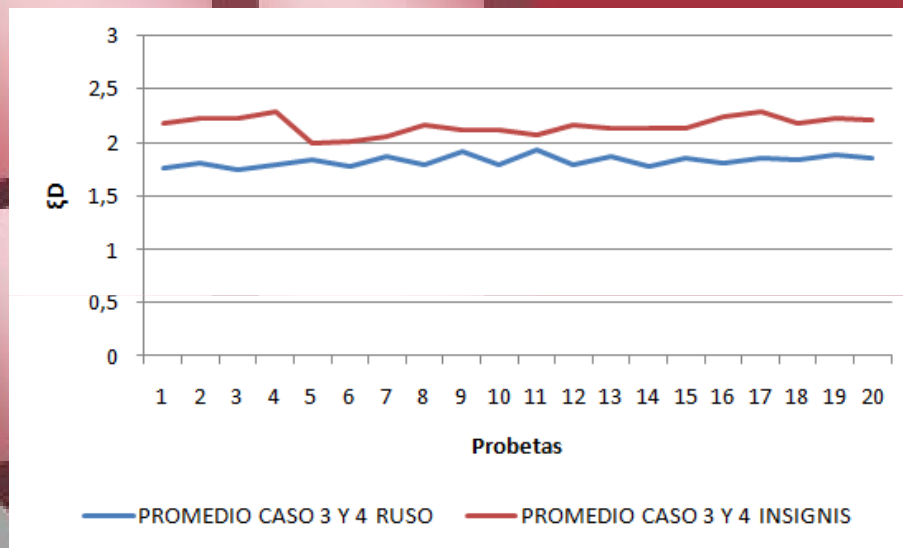
— P. Insignis

— P. Ruso



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CASOS 3 Y 4: Pino Ruso Vs Pinus Insignis



— P. Insignis

— P. Ruso



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

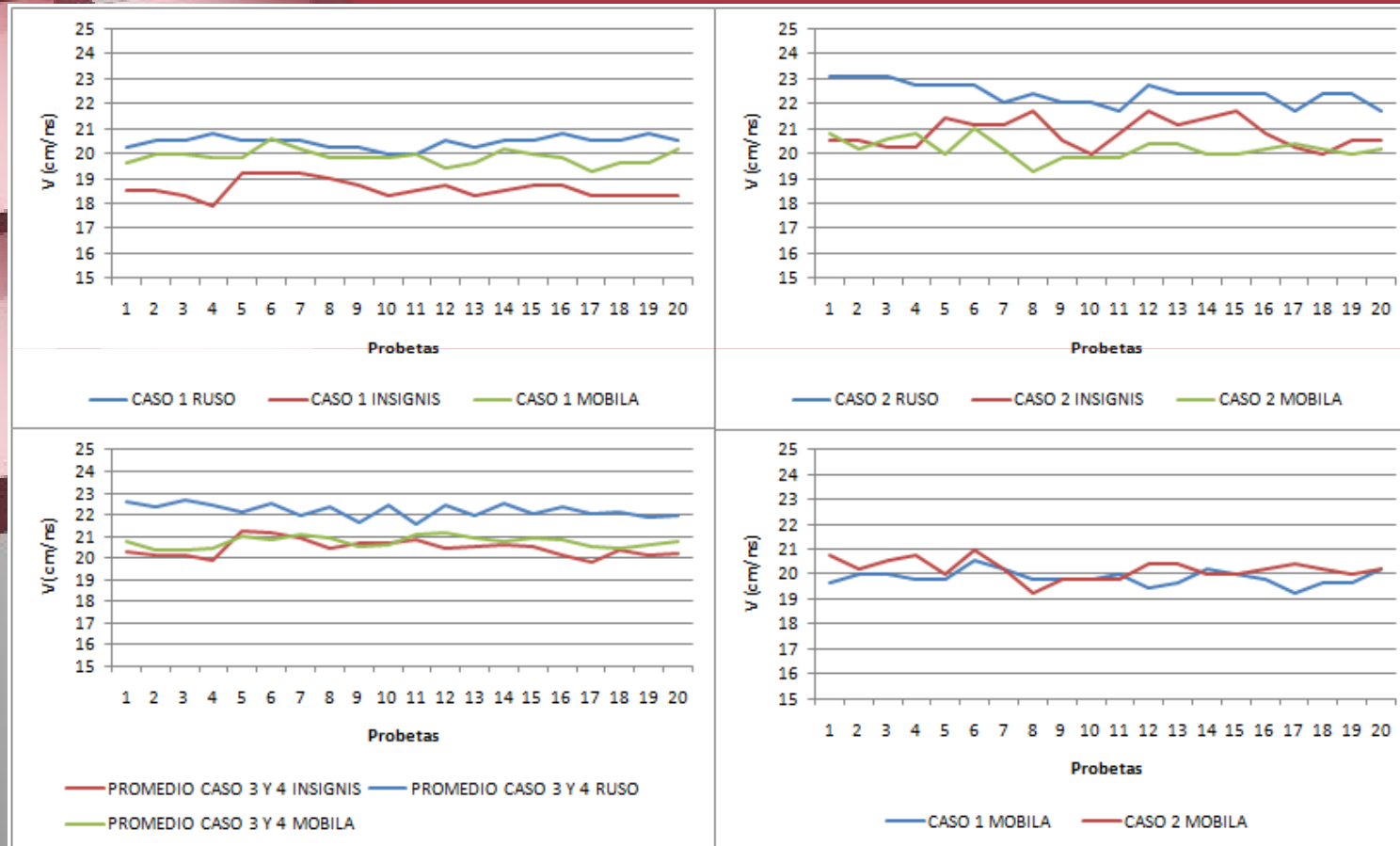
-En los casos 3 y 4 el comportamiento de los pinos es muy similar al del caso 2

MUESTRA	CASO	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	v_{D-R}	ϵ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
		Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
P. RUSO	1	15	1,956	2,686		0,730	20,549	2,132	0,716	-0,068	
P. RUSO	2	15	1,952	2,620		0,668	22,447	1,787	0,871	0,300	
P. RUSO	3	44	1,945	3,924	4,349	1,979	22,241	1,821	0,807	0,137	0,337
P. RUSO	4	44	1,941	3,922	4,346	1,981	22,219	1,824	0,817	0,123	0,370
P. INSIGNIS	1	15	1,976	2,782		0,806	18,610	2,599	0,638	-0,248	
P. INSIGNIS	2	15	1,967	2,748		0,781	20,833	2,074	0,784	-0,220	
P. INSIGNIS	3	50	1,947	4,428	4,896	2,482	20,159	2,218	0,729	0,017	0,158
P. INSIGNIS	4	50	1,952	4,369	4,819	2,418	20,686	2,104	0,763	0,023	0,197



COMPARACIÓN CON OTROS PROYECTOS

VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN Y CONSTANTES DIELECTRICAS



— P. Insignis

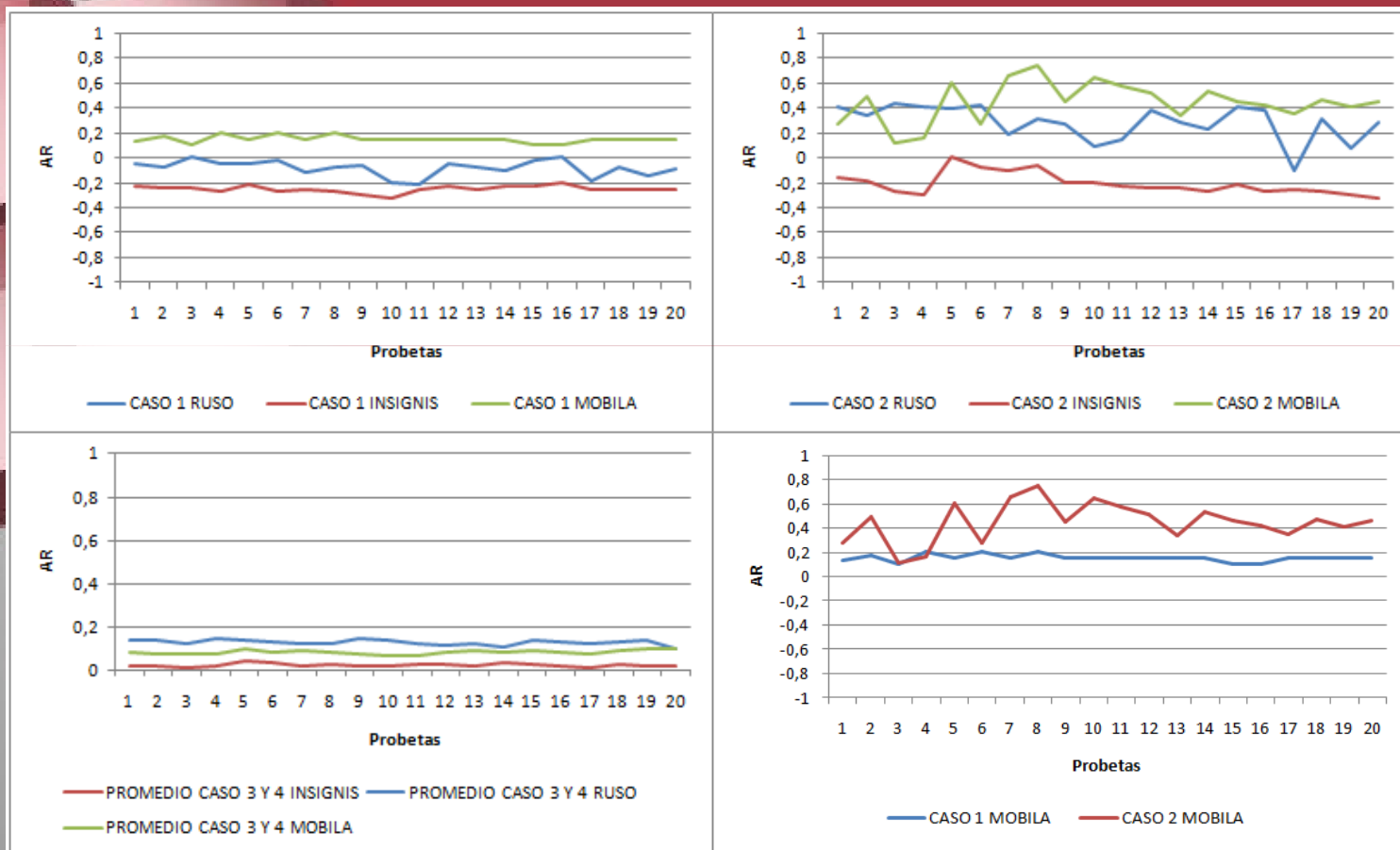
— Mobila

— P. Ruso



COMPARACIÓN CON OTROS PROYECTOS

AMPLITUDES



P. Insignis



Mobila



P. Ruso



Conclusiones

Método de ensayo no destructivo adecuado, pero más interesante con obtención de perfiles

Claramente evidenciada la anisotropía dieléctrica de la madera en las dos muestras estudiadas

Método de ensayo con resultados fiables, pero afecta en gran parte por el factor humano

Con la comparación con otro proyecto se evidencia como cambia el comportamiento de la madera dependiendo de su especie.

Se propone realizar nuevos proyectos con obtención de perfiles de elementos que hayan estado o estén puestos en obra

