

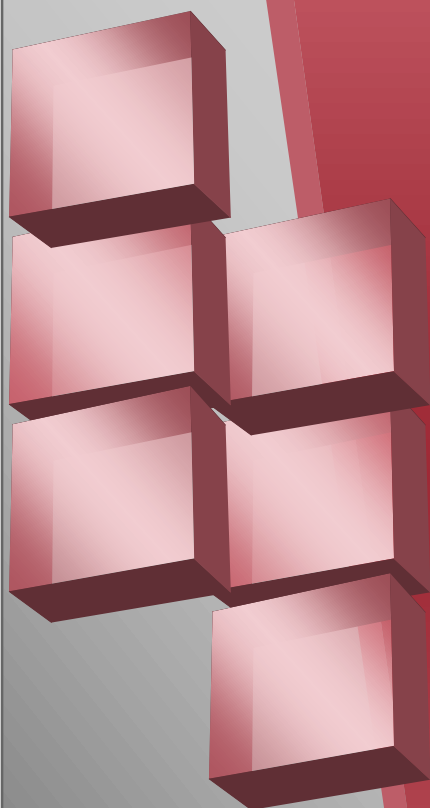
2011



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

PROYECTO FINAL DE GRADO

Análisis de la anisotropía dieléctrica para dos tipos de pinos de alta comercialización en España por medio de la técnica no destructiva del georradar con una antena de 2.0 GHz



ANÁLISIS DE LA ANISOTROPÍA DIELECTRICA PARA DOS TIPOS DE PINOS DE ALTA COMERCIALIZACIÓN EN ESPAÑA POR MEDIO DE LA TÉCNICA NO DESTRUCTIVA DEL GEORRADAR CON UNA ANTENA DE 2 GHZ

1. Introducción	
1.1. La madera en la construcción	3
1.2. Objetivos	6
1.3. La estructura de la madera	7
1.3.1. Propiedades físicas y mecánicas	9
1.4. Técnicas de análisis de la madera estructural	17
2. El Georradar	
2.1. Fundamento del Georradar	21
2.2. Componentes	24
2.3. Proceso de toma de datos	26
2.3.1. Calibración	28
2.3.2. Métodos de adquisición de registros	30
2.4. Interpretación y análisis de los resultados	32
3. Preparación del proceso experimental	
3.1. Estudio de los materiales a analizar	35
3.2. Características de los equipos de medición	37
3.3. Proceso de la toma de datos	39
3.3.1. Identificación de las muestras	39
3.3.2. Definición de los ensayos a realizar	40
3.3.3. Protocolo de desarrollo experimental	42
4. Método experimental e interpretación de resultados	
4.1. Proceso de la toma de datos	45
4.2. Análisis de los datos obtenidos	50
4.3. Interpretación de resultados	57
4.4. Estudio comparativo de los resultados con otros proyectos similares	64
5. Conclusiones	
Valoración del empleo del georradar como método no destructivo de análisis de materiales	67
- Anexo I: Tablas de registros y caso de ensayos	
- Anexo II: Tablas de datos	
- Anexo III: Análisis gráfico	
- Anexo IV: Tablas resumen de datos obtenidos	
- Anexo V: Cálculo del contenido de humedad y peso específico	
- Anexo VI: Normativa de aplicación	
- Bibliografía	

1. INTRODUCCIÓN

1.1.- La madera en la construcción:

Con la aparición del acero y el hormigón armado a mediados y fines del siglo XIX respectivamente, la utilización de la madera estructural sufre primero un retroceso y después un parón, de los que no se recuperará plenamente hasta la aplicación de las resinas sintéticas a las estructuras de la madera laminada hacia 1950.

El estudio de la madera como elemento estructural de la edificación y su tratamiento en la rehabilitación de edificios históricos se ha tratado en diversos libros desde principios de siglo hasta la actualidad. Ejemplos recientes de ello en nuestro país son los trabajos de Arriaga et al. (2002) y Vignote y Martínez (2006).

La situación actual en el sector de la edificación resulta crítica desde la entrada en vigor de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE: Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Modificada por la Ley 24/2001, de 27 de diciembre) y el Código Técnico de la Edificación (CTE: Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda, 2006). A esta situación no resulta ajena la madera en la construcción, resultando un momento especialmente interesante en la medida en que, por primera vez, en España se dispone de un marco normativo que sitúa a la madera estructural en igualdad de condiciones frente a otros materiales. Por otro lado, la elevada demanda de madera estructural en el mercado está haciendo muy necesaria y urgente la actualización del sector para asumir y dar respuesta a los retos planteados por el CTE.

En este nuevo marco, la madera y sus productos derivados para uso estructural por primera vez son contemplados en igualdad de condiciones con otros materiales, ofreciendo en edificación las mismas garantías de calidad y seguridad estructural. Así, la integración de la madera como material estructural en una normativa de obligado cumplimiento viene a satisfacer una demanda del sector para equipararse en el mercado a otros productos.

Pero para ello, la primera necesidad consiste en implantar en los sistemas de producción y caracterización de madera y productos derivados para uso estructural unas medidas encaminadas a garantizar sus propiedades mecánicas. Los sistemas actualmente más reconocidos e implantados en Europa y en otros países de sobrada tradición en la construcción con madera, son los basados en la clasificación visual y en la asignación de clases resistentes para la madera aserrada.

Para ello, desde hace años se vienen desarrollando las normas de Clasificación visual a nivel nacional (en España, la UNE 56544:2007), cuyos resultados están siendo refrendados por los Comités Europeos de

Normalización para reconocer la asignación de clases resistentes mediante su integración en la norma UNE-EN 1912:2005+A2:2008. El sistema de clases resistentes queda definido en la norma UNE-EN 338:2003.

EL laboratorio de Estructuras de Madera del CIFOR-INIA ha desarrollado diversos proyectos de investigación que han conducido a la caracterización de las cuatro especies de coníferas españolas más utilizadas en estructuras.

La caracterización de la madera en aserradero, se realiza por medio de la utilización de normas y procedimientos cuya aplicación in situ en estructuras resulta muy limitada, por lo que se hace necesario un nuevo enfoque para tratar de estimar las propiedades mecánicas de la madera puesta en obra.

Con este nuevo enfoque han aparecido nuevas líneas de investigación cuyo objetivo es el desarrollo de técnicas no destructivas que complementa la aplicación de la clasificación visual y mejoran la predicción de las propiedades mecánicas o la selección de anomalías.

Este estudio de técnicas no destructivas ha dado lugar a numerosos procedimientos y equipos no destructivos que se están desarrollando y optimizando para garantizar la seguridad en el uso de la madera. Actualmente la norma visual es el método más habitual para formar grupos de calidad homogénea. Sus mayores ventajas son la economía y validez para diferentes dimensiones. Sin embargo, las técnicas no destructivas implementadas en equipos tienen otras ventajas frente a las técnicas visuales: objetividad, mayor rendimiento clasificatorio y optimización del material. Aunque, también tienen el inconveniente de ser más caras y estar calibradas para unas dimensiones y especies determinadas.

En esta línea destacan la aplicación de técnicas basadas en medir la velocidad de propagación de ultrasonidos, la resistencia a la penetración de una varilla, la resistencia a la extracción de un tornillo o el análisis de los modos de vibración natural mediante vibraciones inducidas.

El resistógrafo es también una técnica muy utilizada, aunque sus aplicaciones en la práctica se encuentran más relacionadas con el diagnóstico de daños que con la caracterización de las propiedades mecánicas. La termografía permite detectar con un alto grado de sensibilidad los cambios de temperatura. La mayor parte de estas y otras técnicas no destructivas basadas en diferentes fundamentos, tratan de establecer relaciones que permitan mejorar la capacidad de predicción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Esta predicción es esencial para mejorar la fiabilidad del cálculo estructural en los trabajos de intervención en edificios con estructura de madera.

Otras técnicas y algunas de las anteriores también pueden ser utilizadas para localizar discontinuidades ocultas en la madera o algunas singularidades de la propia madera (nudos, fendas, etc.), daños biológicos como pudriciones o ataques de insectos, cambios de humedad, alternancia de materiales, etc. Al margen de las mencionadas, existen numerosas y variadas técnicas no destructivas basadas en muy diferentes

fundamentos físicos o mecánicos (infrarrojos, visión artificial, rayos X, densitometrías, entre otras) de las que actualmente no hay constancia de su utilización o investigación en España.

La madera es un material abundante en el patrimonio monumental e inmobiliario de España. Sin embargo, hasta la fecha no se han desarrollado técnicas de inspección y diagnóstico precisas al nivel que se ha producido en otros materiales de construcción como el hormigón o la piedra.

Es a partir de la primera década del 2000 cuando en España se vienen desarrollando proyectos y estudios por parte tanto de grupos de investigación emergentes como del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (INIA) con el objetivo de poner a punto metodologías de inspección, representación y análisis para la toma de decisiones de intervención sobre las estructuras de madera del patrimonio construido.

1.2.- Objetivos:

Los objetivos que se plantean en el presente proyecto son los siguientes:

- Establecer las diferencias 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 con otros compañeros nuestros resultados con otro tipo de maderas o idénticas con la misma frecuencia de antena de georradar.

El esquema de trabajo para lograr estos objetivos va a basarse fundamentalmente en el análisis de las mediciones realizadas en el laboratorio mediante el sistema de georradar. Para poder llevar a cabo esta labor se empezará introduciendo los materiales y los equipos con los que vamos a realizar las mediciones y su base teórica de funcionamiento. A continuación se definirá un método experimental para la realización de las mediciones. Una vez obtenidas las mediciones estas se analizarán mediante el software adecuado (RADAN), lo cual nos proporcionará unos datos que una vez tratados nos darán la suficiente información para poder cumplir los objetivos propuestos.

1.3.- Estructura y propiedades de la madera

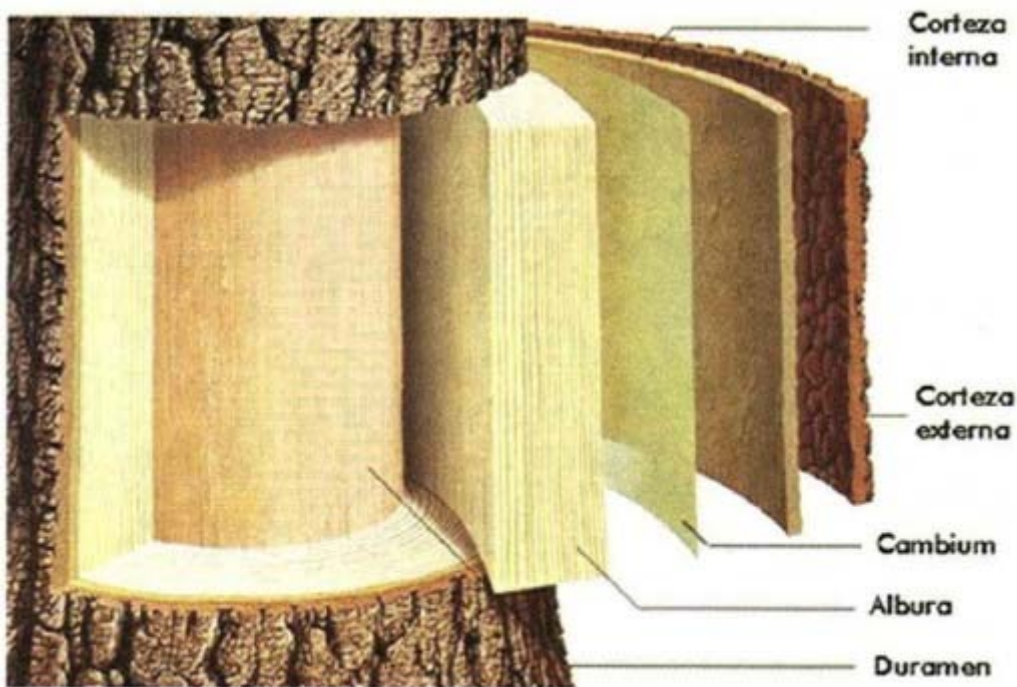


Fig. 1 Estructura de la madera

La **Madera**, está constituida por una aglomeración de células tubulares de forma y longitud muy variables. Si damos un corte como el representado en la figura 1, se aprecian diversas zonas:

- **Corteza externa**, constituida por células muertas, protege al árbol de los peligros del exterior. Se renueva constantemente, impide que pase el agua de lluvia, y evita que cuando incide el sol, se produzca una evaporación demasiado fuerte. Protege contra el frío y el calor y contra la invasión de hongos e insectos.
- **Cambium**: Es la capa generatriz, que se encuentra debajo de la corteza formada por células de paredes muy delgadas que son capaces de transformarse por divisiones sucesivas en nuevas células, formándose en la cara interna células de xilema o madera nueva, y en la externa líber o floema. Las capas de xilema están formadas por la madera de primavera, de color claro y blando, debida a la mayor actividad vegetal durante la primavera y parte del verano. Durante el otoño sucede lo contrario y se aprecian los anillos de crecimiento, constituidos por un doble anillo claro y blando el de primavera, y oscuro y compacto el de otoño. En la zona tropical, como la actividad vegetal es continua, no se aprecian los anillos de crecimiento.
- **Albura**: Es la madera joven, posee más savia y se transforma con el tiempo en duramen al ser sustituido el almidón por tanino, que se fija en la membrana celular, volviéndola más densa e imputrescible.

- **Duramen:** Es la parte inmediata a la médula o corazón, formado por madera dura y consistente impregnada de tanino y de lignina, que le comunica la coloración rosa.

1.3.1- Propiedades físicas y mecánicas generales

Propiedades físicas:

▪ *ANISOTROPÍA*

Dado que la madera es un material formado por fibras orientadas en una misma dirección, es un material anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado, si no que varían en función de la dirección en la que se aplique el esfuerzo.

Se consideran tres direcciones principales con características propias:

- Dirección axial: Paralela a las fibras y por tanto al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta mejores propiedades.
- Dirección radial: Perpendicular al axial, corta el eje del árbol en el plano transversal y es normal a los anillos de crecimiento aparecidos en la sección recta.
- Dirección tangencial: Localizada también en la sección transversal pero tangente a los anillos de crecimiento o también, normal a la dirección radial

▪ *HUMEDAD DE LA MADERA. RELACIONES AGUA – MADERA*

Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento. Esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:

- Agua de constitución o agua combinada: Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).
- Agua de impregnación o de saturación: Es la que impregna la pared de las células rellenando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma. Se introduce dentro de la pared celular, siendo la causa de la contracción de la madera cuando la pierde (desorción) y de su expansión o hinchamiento cuando la recupera (sorción: retención de agua). Se puede eliminar por calentamiento hasta 100 – 110° C.

– Agua libre: Es la que llena el lumen de las células o tubos (vasos, traqueidas, etc.) Es absorbida por capilaridad.

El agua libre, una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica. Para recuperarla, habrá de ser por inmersión directa en el agua. El agua libre no tiene más repercusión que la ocupación física de los huecos, y por consiguiente no influye en la hinchazón o merma de la madera ni en las propiedades mecánicas.

Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en % de su peso en estado anhidro.

- *PESO ESPECÍFICO*

Depende del contenido de agua de la madera. Es la relación que existe entre su peso y su volumen. Se obtiene dividiendo un peso conocido de la sustancia entre el volumen que ocupa.

Llamando p al peso y v al volumen, el peso específico, P_c se obtiene mediante la expresión 1:

$$P_c = p/v \quad (1)$$

- *HIGROSCOPICIDAD*

Es la capacidad de la madera de absorber humedad del medio ambiente. Hay un punto de equilibrio en el cual el material no acepta ni libera humedad de equilibrio higroscópico. Si la humedad ambiente es menor de este punto, la madera se seca, y si es mayor la madera se humedece.

- *HOMOGENEIDAD*

Una madera es homogénea, cuando la estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes.

- *DURABILIDAD*

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio en el que se encuentra. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad. El roble dura unos cien años aproximadamente, álamo de sesenta a noventa años; el pino y el alerce de cuarenta a ochenta años y el sauce unos treinta años. La duración media de la madera enterrada se estima en unos diez años.

- **INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN**

Las maderas arden fácilmente, lo cual desde el punto de su utilización como combustible, es una cualidad, pero para su empleo en la construcción y decoración es un defecto.

- Son maderas muy inflamables: Pino, abeto, sauce, chopo, aliso, etc. Casi todas ellas maderas resinosas.
- Son maderas medianamente inflamables: Haya, caoba, castaño, tuya, etc.
- Son maderas menos inflamables: Encina, ébano, boj, alerce, etc.

Arde mejor:

- La madera seca que madera húmeda.
- La madera con corteza y ramaje que la descortezada y cepillada.
- Las piezas de pequeño tamaño que las piezas de gran tamaño.
- Las piezas verticales que las horizontales.

Las maderas secas se encienden sometidas a una inflamación inicial a la temperatura de 300°C.

Las maderas frondosas duras arden superficialmente, con lentitud y llama corta; en cambio, las maderas frondosas blandas y las resinosas se queman profundamente con llama larga; estas diferencias se reducen cuando se trata de piezas de poco grosor.

Con el pintado y mejor con la impregnación de sustancias ignífugas, se reduce considerablemente la inflamabilidad y combustibilidad de la madera.

Propiedades mecánicas:

- **ELASTICIDAD – DEFORMABILIDAD:**

Bajo cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo con la ley de Hooke, o sea, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la rotura.

Este módulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de los esfuerzos y de la duración de los mismos. El valor del módulo de elasticidad E en el sentido transversal a las fibras será de 4000 a 5000 Kg / cm.². El valor del módulo de elasticidad E en el sentido de las fibras será de 80.000 a 180.000 Kg / cm.²

- *FLEXIBILIDAD:*

Es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado.

La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura (muebles, ruedas, cerchas, instrumentos musicales, etc.).

La madera verde, joven, húmeda o calentada, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación.

La flexibilidad se facilita calentando la cara interna de la pieza (produciéndose contracción de las fibras interiores) y, humedeciendo con agua la cara externa (produciéndose un alargamiento de las fibras exteriores) La operación debe realizarse lentamente. Actualmente esta propiedad se incrementa, sometiéndola a tratamientos de vapor.

-Maderas flexibles: Fresno, olmo, abeto, pino.

-Maderas no flexibles: Encina, arce, maderas duras en general.

- *DUREZA:*

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura.

Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, gubia, formón).

La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas.

El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor.

-Muy duras: Ébano, boj, encina.

-Duras: Cerezo, arce, roble, tejo...

-Semiduras: Haya, nogal, castaño, peral, plátano, acacia, caoba, cedro, fresno, teka.

-Blandas: Abeto, abedul, aliso, pino, okume.

-Muy blandas: Chopo, tilo, sauce, balsa.

- *CORTADURA:*

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras.

Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será cortadura y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgarramiento.

- *HENDIBILIDAD:*

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

La madera tiene cierta facilidad para hendirse o separarse en el sentido de las fibras. Una cuña, penetra fácilmente en la madera, al vencer por presión la fuerza de cohesión de las fibras (no las corta). Es fácil observar esta propiedad al cortar madera para hacer leña, en la dirección de las fibras se separa en dos fácilmente. La madera verde es más hendible que la seca.

Cuando se van a realizar uniones de piezas de madera por medio de tornillos o clavos nos interesa que la madera que vamos a usar tenga una gran resistencia a la hienda.

-Hendibles: Castaño, alerce y abeto.

-Poco hendibles: Olmo, arce y abedul.

-Astillables: Fresno

- *RESISTENCIA AL CHOQUE:*

Nos indica el comportamiento de la madera al ser sometida a un impacto. La resistencia es mayor, en el sentido axial de las fibras y menor en el transversal, o radial.

En la resistencia al choque influyen: el tipo de madera, el tamaño de la pieza, la dirección del impacto con relación a la dirección de las fibras, la densidad y la humedad de la madera, entre otros.

- *RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:*

La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones.

Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil.

La resistencia a la tracción de la madera presenta valores elevados. La resistencia de la madera a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular.

En la práctica existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta al someterla a este tipo de esfuerzos; en la zona de agarre existen compresiones, taladros, etc., que haría romper la pieza antes por raja o cortadura, con lo que no se aprovecharía la gran resistencia a la tracción. Por otra parte, los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de sollicitación, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión.

- *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:*

La madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción, siendo la relación del orden de 0,50, aunque variando de una especie a otra de 0,25 a 0,7.

La alta resistencia a la compresión es necesaria para cimientos y soportes en construcción. La resistencia a la flexión es fundamental en la utilización de madera en estructuras, como viguetas, travesaños y vigas de todo tipo. Muchos tipos de madera que se emplean por su alta resistencia a la flexión presentan alta resistencia a la compresión y viceversa; pero la madera de roble, por ejemplo, es muy resistente a la flexión pero más bien débil a la compresión, mientras que la de secuoya es resistente a la compresión y débil a la flexión.

Otra propiedad es la resistencia a impactos y a tensiones repetidas. El nogal americano y el fresno son muy duros y se utilizan para hacer bates de béisbol y mangos de hacha. Como el nogal americano es más rígido que el fresno, se suele utilizar para mangos finos, como los de los palos de golf.

Otras propiedades mecánicas menos importantes pueden resultar críticas en casos particulares; por ejemplo, la elasticidad y la resonancia de la pieza la convierten en el material más apropiado para construir pianos de calidad.

PINUS INSIGNIS	PINO RUSO
<p>- Nombre científico: <i>Pinus radiata</i>.</p> <p>- Familia: Pináceas.</p> <p>-Altura: 30-40 m.</p> <p>- Descripción de la madera: La albura es de color blanco amarillento, duramen tiene color pardo amarillento o pardo marrón.</p> <p>- Procedencia y disponibilidad: Zona de la costa de California en los Estados Unidos. Suroeste de Europa, Nueva Zelanda, suroeste de Australia, Chile, Brasil y Sudáfrica. España se encuentra en el País Vasco.</p>	<p>- Nombre Científico: <i>Pinus Sylvestris</i>.</p> <p>- Familia: Pináceas.</p> <p>-Altura: 25-40 m.</p> <p>- Descripción de la madera: Es compacta y resinosa, el color de la albura es blanco-amarillento y el del duramen rojizo.</p> <p>- Procedencia y disponibilidad: Se encuentra ampliamente distribuido en el norte de Asia y en Europa (España, Escocia, Noruega, Suecia, Finlandia, Alpes marítimos en Francia y Rusia). En España existen grandes masas en los Pirineos, Cordillera Ibérica y Cordillera Central.</p>

Tabla.1: Características descriptivas del *Pinus Insignis* y *Pino Ruso*

PROPIEDAD	REFERENCIA	UNIDAD	P. Insignis	P. Ruso	
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS					
Diám. Medio c/c		cm	39	43	
Edad media		Años	29	138	
Altura árbol		m	25	s/d	
Nº de árboles			70	41	
Anchura anillo	ECE	mm	6,5	1,2-1,8	
% altura		%	90	66	
% medio corteza (vol.)		%	14,5	s/d	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
Hum. En verde	UNE 56529	%	147	103	
Densidad en verde	UNE 56531	kg/m ³	950	-	
Densidad básica	UNE 56531	kg/m ³	410	425 (413extractada)	
Densidad al 12%	UNE 56531	kg/m ³	516	518	
Densidad anhidra	UNE 56531	kg/m ³	470	492	
Extractivos	Duramen	Metanol	%	3,5-7,5	6-8
	Albura			1-2	2-3
Contrac. Vol. (Coef.)	UNE 56533	%	12,7 (0,42)	13,4 (0,5)	
Coeficiente anisotropía	ISO 4469	Índice	1,97	1,8	
Anisotropía absoluta	INIA	%	3,3	3,4	
CARACTERÍSTICAS MECANICAS (Probetas pequeñas dimensiones)					
Dureza Monnin	UNE 56534	Índice	1,8	2,5	
Resistencia Flexión	UNE 56537	Kp/cm ²	875	1002	
Mod. Elasticidad	UNE 56537	Kp/cm ²	90000	117000	
Res. Comp. Paralela	UNE 56535	Kp/cm ²	434	484	
Res. Comp. Perpend.	UNE 56542	Kp/cm ²	59	58	
Cort. Paralela radial	UNE 56543	Kp/cm ²	97	79	
Cort. Paralela tang.	UNE 56543	Kp/cm ²	107	78	
Choque	UNE 56536	Kpm/cm ²	0,36	0,35	

Tabla2: Características morfológicas, físicas y mecánicas medias más relevantes de los dos pinos estudiados P. Ruso y P. Insignis.

1.4. Técnicas de análisis de la madera estructural

Semi-destructivas:

- ***RESISTÓGRAFO:***

Consiste en un taladro mecánico que realiza una perforación de 3 mm de diámetro y evalúa la resistencia que ofrece a la perforación. El aparato es portátil y tiene una broca con un diámetro de 1.5 mm en el fuste y 3 mm en la punta que avanza a una velocidad constante. La resistencia a la penetración se mide mediante el consumo de potencia.

- ***EXTRACTOR DE TORNILLOS:***

Técnica poco extendida en nuestro país. El instrumento registra el arranque de un tornillo de 4 mm de diámetro y 18 mm de longitud. La fuerza que se necesita para realizar el arranque está relacionada con la densidad y el módulo de elasticidad en piezas pequeñas y libres de defectos. Sin embargo, la escasa penetración del tornillo ofrece una información muy localizada de la pieza y muy difícil de extrapolar a madera estructural de gran escuadría.

- ***EXTRACTOR DE MUESTRAS (CORE-DRILLING, TENSIÓN MICRO-ESPECIMEN, FRACTÓMETRO):***

Esta técnica se emplea con el objetivo de examinar las propiedades mecánicas de una pieza *in situ*. Consiste en la extracción de muestras de pequeño diámetro (mm) del material y a los que se le aplican una serie de tensiones.

- ***DATACIÓN DE LA MADERA:***

Para la datación de la madera pueden aplicarse dos técnicas diferentes en metodología y precisión de los resultados como son la dendrocronología y la técnica del carbono 14.

La dendrodatación se basa en un fenómeno biológico específico de la madera y se fundamenta en el estudio de la secuencias de anillos de crecimiento del árbol. Precisa un cierto número de muestras con características muy particulares y la precisión del resultado es muy elevada de forma que con independencia de la antigüedad se llega a determinar la edad en años sin margen de error. (No puede ser aplicado a cualquier especie)

La radiodatación (técnica del carbono 14) es un método físico-químico que se aplica a cualquier resto orgánico y las muestras necesarias para el análisis son inferiores a las precisadas en la dendrodatación. Su precisión es menor.

No destructivas:▪ **ULTRASONIDOS:**

Obtención del módulo de elasticidad dinámico deducido a partir de la velocidad de propagación de las ondas mecánicas y la densidad del material.

La velocidad de propagación será mayor cuanto menor sea la presencia de defectos en la madera, ya que las fendas, las desviaciones de fibras generales o locales provocadas por nudos, provocan la interrupción en la continuidad de transmisión de la onda y por tanto retardan su llegada al receptor.

▪ **MÉTODOS DE VIBRACIONES INDUCIDAS:**

Basado en los mismos principios que la técnica de ultrasonidos. Se relaciona la velocidad de propagación de una onda (en este caso provocada por un impacto) con el módulo de elasticidad dinámico y la densidad. Además suelen añadir un análisis de la amortiguación de la vibración mediante un osciloscopio.

Sus aplicaciones 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 (madera laminada, postes, etc.).

Detecta degradaciones interiores u oquedades de galerías, la velocidad de propagación será diferente y el tiempo de propagación de la onda reflejará esta perturbación respecto a la madera sana. Estos sistemas se emplean en la inspección de estructuras de hormigón y acero, y actualmente también se comercializan para la madera.

▪ **TERMOGRAFÍA:**

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. La termografía infrarroja es un método de ensayo no destructivo que permite obtener imágenes térmicas de los objetos a partir de los rayos infrarrojos emitidos. Es una técnica de medición in situ, aplicable a cualquier fenómeno que comporte una variación de temperatura y que nos permite conocer, con una buena precisión y en cada momento, la temperatura de cada punto de un objeto. La imagen termográfica asigna a cada rango de temperatura un color determinado.

La pérdida de calor que supone la variación de la humedad que pueda tener la madera afecta a su temperatura. Esta diferencia puede ser observada con mucha claridad en las termografías. Por ello, esta técnica permite la inspección rápida en obra de amplias zonas, facilitando la localización de focos de humedad potencialmente peligrosos para la durabilidad de la madera.

- *RAYOS GAMMA-DENSITOMETRÍA:*

Esta técnica se emplea para medir la densidad de un material emitiendo una radiación a través de la pieza de la que se conoce el coeficiente de absorción y se mide la energía recibida al otro lado. Se ha empleado para la evaluación del estado de postes de madera de líneas de telecomunicaciones, como técnica complementaria a la inspección visual.

- *ONDAS RADIOFRECUENCIA:*

Forrer y Funck (1998) diseñaron un instrumento basado en el realizado por Ichijo (1953): electrodos que se sitúan en contacto directo con la superficie del material dieléctrico a estudio. Forrer y Funck (1998) lo implementan y mejoran para la detección de tipos de madera, nudos, huecos, azulado, etc. Las correlaciones entre este tipo de defectos y la atenuación y desplazamiento de fase son moderadas al trabajar en el rango de frecuencias de 1.4 a 20 MHz, es decir, en el rango de radiofrecuencia.

- *ONDAS MICROONDAS:*

La técnica de microondas permite estudiar y medir propiedades muy interesantes de la madera, como el contenido de humedad, la densidad, etc. Cuando un rayo de microondas se propaga a través de la madera, se produce un cambio de polaridad, se atenúa y se produce un cambio de fase. Estos tres cambios que se producen en la onda, todos ellos medibles, dependerán de la dirección de la fibra, del contenido de humedad y de la densidad.

- *GEORRADAR:*

El carácter no destructivo de la técnica del georradar se ha ido desarrollando y empleando desde los años cincuenta del siglo pasado en investigaciones de alta resolución del subsuelo o de ciertos medios en geología, ingeniería, minería y glaciología. Se ha convertido, en poco tiempo, en una herramienta prospectiva multidisciplinar y de gran resolución para profundidades que van desde centímetros hasta decenas de metros (se alcanzan 50m de profundidad). En la actualidad se aplica en muy diversas áreas: ingeniería civil, geología, recursos naturales, hidrología, estudios del medio ambiente, arqueología, patrimonio histórico y artístico.

2.- EL GEORRADAR

2.1.- Fundamento del georradar

El georradar es un sistema de investigación que nos permite analizar el comportamiento de las ondas electromagnéticas cuando atraviesan un medio determinado.

Desde sus inicios el georradar se ha empleado para muchos tipos de estudio. En un principio, los radares aéreos se basaban en la misma base teórica que el georradar para la detección de aviones y barcos, y poco a poco se fue empleando este fundamento científico para analizar el subsuelo terrestre.

El principal problema que se encontró en la aplicación del georradar fue la atenuación que se producía en la onda al atravesar determinados medios, perdiendo información y resolución en los análisis. El desarrollo tecnológico de los sistemas de georradar mejoró su capacidad de análisis, permitiendo que el empleo de este sistema se extendiera prácticamente a cualquier caso que requiriera un estudio como el que facilita la utilización del georradar.

En la arquitectura, el georradar resulta de gran utilidad, dado que una de sus principales características es su carácter no destructivo. El hecho de que se puedan realizar análisis sin necesidad de destruir o desmontar el elemento objeto de estudio hace que el georradar se emplee en gran cantidad de estudios, como localización de armaduras, búsqueda o cartografiado de tuberías, estudio de muros, análisis del subsuelo, estudio de edificios históricos, análisis de cimentaciones, estudio de materiales de construcción, inspección, estudio y diagnóstico de patologías, etc.

Como ya se ha dicho, el georradar basa su funcionamiento en el análisis de la propagación de las ondas electromagnéticas a través de un determinado medio, por lo que se requieren unos conceptos mínimos de teoría de ondas para poder entender el sistema. Al realizar nuestros estudios con distintos materiales vamos a fijarnos fundamentalmente en tres parámetros: la velocidad de la onda, la constante dieléctrica y la amplitud de onda.

La velocidad de una onda se puede definir como la distancia que recorre un frente de onda en un determinado tiempo. Siendo así se puede decir que la velocidad de la onda es el resultado de dividir su longitud de onda (variable espacio) entre su periodo (variable tiempo), o lo que es lo mismo, la longitud de onda multiplicada por la frecuencia.

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Otro principio a tener en cuenta es el de superposición de ondas. La combinación de dos ondas independientes en la misma región del espacio produce una onda resultante denominada interferencia. Estas interferencias pueden ser de dos tipos, constructivas o destructivas. Cuando se trabaja con georradar pueden ser no deseables ya que dificultan, en ocasiones, al análisis de los resultados.

La reflexión de las ondas también es un concepto a tener en cuenta. El sistema de trabajo del georradar consiste en la emisión de una onda electromagnética a través de un medio objeto de estudio. Para completar el proceso de obtención de información, el georradar recibe la misma onda pero una vez ha sido reflejada. Trataremos pues con la información proporcionada tanto por la onda directa como por la onda reflejada. Asimismo la refracción también es tenida en cuenta, ya que se producirá cuando la onda atraviese las distintas interfases de un mismo material.

Cuando se habla de la propagación de las ondas electromagnéticas, las ecuaciones de Maxwell forman las bases teóricas necesarias para su estudio. Las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio a la velocidad de la luz, siendo su valor inversamente proporcional a la raíz cuadrada del producto de la permeabilidad magnética y la permitividad dieléctrica del vacío.

$$c = 1/(\mu_0 \epsilon_0)^{1/2} \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío es $c=3 \cdot 10^8$ m/s, se establece la siguiente relación entre la frecuencia y la longitud de onda:

$$\lambda = c/f \quad (4)$$

Por ejemplo, una onda de radio de 5 MHz de frecuencia tendrá una longitud de onda de 60 m. En el proyecto que vamos a llevar a cabo vamos a trabajar con una antena de 2 GHz, con lo que si aplicamos la expresión anterior tendremos una longitud de onda de $3 \cdot 10^8 / 2 \cdot 10^9$ m, o sea, 15 cm., encontrándonos en el rango de las microondas, las cuales tienen longitudes de onda que oscilan entre 1 mm y 30 cm.

Los parámetros que influyen en la velocidad de la onda son la permitividad dieléctrica relativa del medio, la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la frecuencia de emisión. Los tres primeros son característicos del medio y, el cuarto depende del equipo empleado.

La conductividad de un medio (σ) es la capacidad que tiene un determinado material para conducir la corriente eléctrica.

La permeabilidad dieléctrica nos da una medida de la capacidad de polarización de un determinado material en presencia de un campo eléctrico. Normalmente viene definido por la constante dieléctrica relativa, cuyo valor oscila entre 1 (valor para el aire) y 81 (valor para el agua a 20º C)

La permeabilidad magnética (μ) relaciona la inducción magnética con la intensidad del campo magnético.

Además, durante la propagación de una onda electromagnética por un determinado medio se producen pérdidas de energía por diferentes causas, ya sea por las características propias del material que estamos estudiando como por el tipo de señal emitida. La cuestión es que normalmente el receptor de señales recibirá lecturas distintas a las esperadas.

Para realizar nuestros cálculos tendremos en cuenta que los la madera es un material dieléctrico (poco conductores), es decir, σ tendera a cero, y no magnéticos por lo que μ tenderá a la unidad. Aplicando estos supuestos, la ecuación que define la velocidad de propagación de una onda electromagnética se simplifica quedando reducida a la expresión siguiente:

$$v = c / (\epsilon)^{1/2} (5)$$

La amplitud de onda es la medida de la máxima perturbación de la onda, la cual se ve afectada directamente por la disminución de energía de la onda electromagnética al atravesar un determinado medio. Este hecho nos servirá para caracterizar los materiales objeto de estudio con los resultados de las mediciones hechas con el georradar. Como ya se ha dicho, es importante diferenciar entre la amplitud de la onda emitida directamente y la amplitud de la onda reflejada.

2.2.- Componentes

Los componentes de un georradar son la unidad de control central, las antenas y el sistema de visualización y almacenamiento de datos.

- **La unidad central:** La unidad central de un georradar es donde se realiza la coordinación y el control de las antenas y del resto de los accesorios que se pueden añadir al sistema. Además controla el sistema de almacenamiento de datos y en algunos casos el tratamiento de estos. Esta unidad lleva implementado un programa informático que realiza el procesado básico de la señal y que al mismo tiempo permite actuar sobre ella y sobre los registros adquiridos. Esta unidad suele ir conectada a un monitor en el que se visualiza la señal adquirida. Esta señal se puede representar mediante un registro de trazas de amplitud o con una serie de escalas de colores que representan la amplitud de onda registrada. La unidad central es alimentada mediante corriente continua, generalmente mediante una batería de 12 voltios.
- **Antenas:** Las antenas son los elementos del georradar empleados tanto para emitir el pulso electromagnético como para recibir la señal en la superficie tras la reflexión. Las antenas se pueden clasificar en función de distintos parámetros:

- *En función de la dirección de radiación de energía*

Según este parámetro las antenas pueden ser isotrópicas o direccionales. Las antenas isotrópicas o ideales radian la energía en todas las direcciones del espacio por igual. Si el medio en el que se propaga la energía radiada fuese homogéneo e infinito el frente de ondas sería esférico. Las antenas direccionales emiten la energía en una dirección privilegiada, resultando una emisión no homogénea en todas las direcciones.

- *En función de la frecuencia de emisión*

El georradar trabaja en bandas de frecuencia entre 3 GHz y 10 MHz aproximadamente, o sea, radiofrecuencia y microondas. En función de la frecuencia de emisión, una señal tendrá más o menos capacidad de penetración en el medio a estudiar. Las emisiones a bajas frecuencias se atenúan menos que las altas frecuencias, por lo que permitirán mayores profundidades de estudio. Por otro lado, teniendo en cuenta que según la expresión (4), que establece la longitud de onda como inversamente proporcional a la frecuencia, las antenas que emiten en baja frecuencia tendrán unas longitudes de onda mayores, por lo que proporcionarían una menor resolución.

- *En función del número de dipolos implementados*

Las antenas pueden ser monoestáticas o biestáticas. Las primeras son al mismo tiempo emisoras y receptoras de energía, pudiendo ser asimismo de dos tipos, de conmutación, con una única espira que hace

al mismo tiempo de receptora y emisora, y de dos dipolos, las cuales trabajan con dos dipolos separados dentro de una misma carcasa, uno receptor y otro emisor. Las antenas biestáticas se componen de dos módulos separados, siendo independientes la antena emisora de la receptora, y por lo tanto pudiendo separarse variando la distancia entre ambas.

- **Sistemas de visualización y almacenamiento de datos:** Dentro de este tipo de componentes se incluyen las impresoras, los monitores de visualización, el software informático necesario para el tratamiento de datos y las unidades de almacenamiento de información. Estos equipos se complementan con programas informáticos y unidades de tratamiento de información posterior a la toma de datos.

Asimismo también se puede contar con accesorios complementarios como los marcadores o los odómetros que nos sirven para introducir una marca en el registro mediante un pulsador, de forma que quedan registrados puntos característicos como el inicio, el final o algún elemento especial dentro del perfil. Actualmente hay dispositivos que ya están dotados de GPS para la determinación de las coordenadas de los perfiles.

2.3.- El proceso de toma de datos

El registro que se obtiene con un georradar se llama radargrama. Los radargramas nos resumen la información obtenida y, si bien basta con su observación para hacer una primera interpretación, es necesario tener en cuenta los parámetros en los que se basa un registro para poder llegar a una conclusión final correcta. Estos parámetros se recogen en la cabecera de los radargramas (véase fig. 2). La cabecera recoge, entre otros datos, el nombre del fichero, la fecha de registro, las fechas posteriores de modificación, el rango, la posición de inicio, el número de pulsos emitidos por segundo durante el proceso de adquisición de datos, el factor de superposición de trazas, la función de ganancia y los filtros que se han aplicado sobre el radargrama.

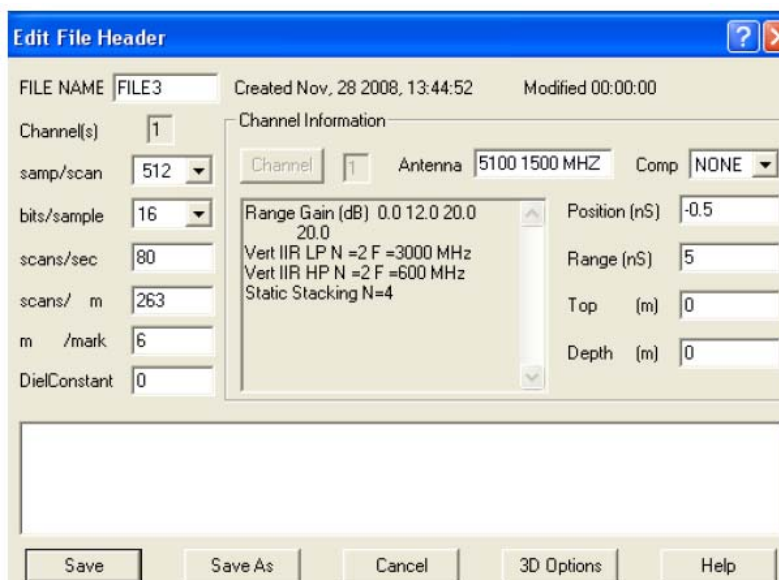


Fig. 2: Cabecera de radargrama

- **Rango de un registro:** El rango de un registro determina el tiempo máximo que puede tomarse en la adquisición de un registro, es decir, deja fuera del análisis aquellas reflexiones cuyo tiempo doble de propagación exceda el rango establecido. Es importante ajustar correctamente este rango para que el tiempo límite de la ventana incluya el registro de las posibles anomalías de la muestra.
- **Posición de inicio de la señal:** Este parámetro permite, junto con el rango, establecer la ventana de tiempo, la cual se determinará mediante la suma del tiempo de inicio y el rango. Se debe ajustar antes de empezar la adquisición de datos.
- **Puntos por traza:** Este parámetro determina los puntos de muestreo que se utilizarán para la representación de la traza. Dependiendo del rango empleado, serán necesarios más puntos o menos, ya que para la representación de la traza se tendrán en cuenta los dos parámetros. Si por ejemplo, empleamos 512 puntos de muestreo, con un rango de 128 ns, obtendremos 4 puntos por cada ns de tiempo doble de propagación.

A más rango, más elevado tendrá que ser el número de puntos por traza empleado para que la resolución resulte adecuada.

- **Velocidad de transmisión y de registro:** Actualmente, los equipos de georradar no permiten velocidades de registro equivalentes a las de transmisión de pulsos, por lo que no se puede registrar individualmente cada traza emitida. Lo que se hace es que se realiza un muestreo de la señal para obtener una única traza a partir de varios pulsos. Cuando establezcamos las velocidades de registro, tendremos en cuenta que los valores más altos se utilizan para conseguir altas resoluciones o en casos de elevada velocidad de desplazamiento de una de las antenas.
- **Superposición de trazas:** El número de trazas a superponer dependerá del tipo de estudio que estemos realizando. Hay que tener en cuenta que cuando se superponen las trazas se diluyen los fenómenos y efectos aleatorios, mientras que los fenómenos constantes y característicos quedan acentuados y por lo tanto más evidenciados. Si se superponen un número excesivo de trazas puede ocurrir que se disminuyan tanto las amplitudes que nos encontremos ante el radargrama de un medio continuo
- **Ganancia:** La ganancia consiste en una amplificación de la señal recibida. Hay que tener en cuenta que no solo se amplifica la señal, sino también el ruido, pudiendo registrarse una señal confusa en el caso de que se amplifique en exceso la señal.
- **Filtros frecuenciales aplicados durante la adquisición de datos:** La aplicación de filtros durante la toma de datos es un tanto desaconsejable, ya que en el caso de que no se seleccione correctamente el filtro a utilizar, se puede perder el registro. Aún así, en casos en los que es necesario una rápida interpretación de los registros, el uso de los filtros resulta adecuado siempre que se seleccionen correctamente.

2.3.1.- Calibración

Si pretendemos realizar una toma de datos en condiciones óptimas, antes de realizar una medición se tendrán en cuenta una serie de factores cuyo control nos dará una mayor precisión en la obtención del registro. Entre estos factores se encuentran el estudio de la atenuación del frente de ondas, el estudio de la huella de la antena, el estudio de las pérdidas por efecto de contorno y la resolución vertical y horizontal teórica, pero en este estudio vamos a tratar únicamente los dos más relevantes, como son el análisis del cero de la antena y el cálculo de la distancia mínima de no interferencia entre la antena y la superficie del medio.

- **Análisis del cero de la antena:** este procedimiento debe realizarse para poder ajustar correctamente la escala de tiempo y de esa forma poder estimar correctamente la velocidad de propagación en el medio. El cero de la antena es el punto en el que vamos a empezar a contar el tiempo de propagación, no teniendo por qué coincidir con el inicio del registro.

Como puntos de referencia se pueden destacar tres que son los más adecuados para la fijación del cero de la antena, la primera ruptura de tendencia, el punto de amplitud cero y el primer máximo positivo, representados en la figura 3 en los puntos a, b, c respectivamente.

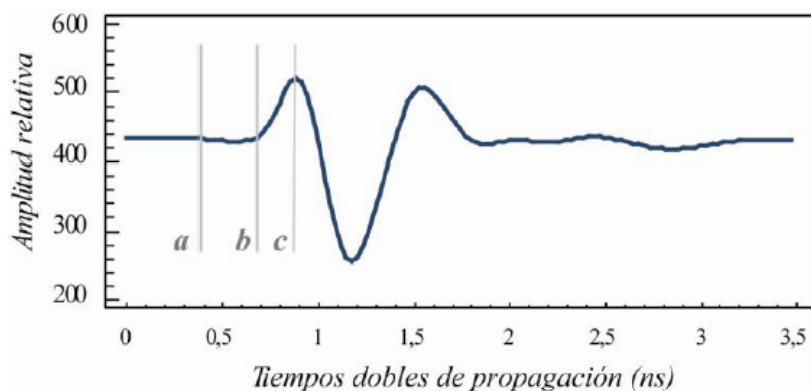


Fig. 3: Puntos de referencia representativos

Para comprobar qué punto es el más adecuado, lo que se hace es calcular primero el incremento teórico de tiempo entre la llegada de la onda directa y la reflejada mediante la aplicación de métodos matemáticos. Luego se calcula el incremento de tiempo entre el cero de antena propuesto y la llegada de la onda reflejada. Este procedimiento se repite para varias distancias de separación entre la superficie y la antena. Una vez se tienen los datos se observa si la diferencia de los incrementos de tiempo teóricos y medidos es lo suficientemente pequeña como para considerar el punto analizado como el cero de la antena.

En las muestras que utilizaremos en nuestro proyecto el cero de la antena es recomendable situarlo en el punto de primer máximo positivo, ya que es muy difícil fijar el punto de primera ruptura de tendencia de la onda reflejada.

- **Cálculo de la distancia mínima de no interferencia:** Cuando se analiza un radargrama resulta muy favorable el hecho de que la onda directa y la reflejada no se encuentren superpuestas. Para realizar el ajuste lo que haremos es emitir un pulso al aire, midiendo de esta forma la duración del tiempo de propagación por el aire. Con este tiempo y la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas por el aire calcularemos el espacio que recorre el pulso. El espacio calculado será la separación mínima que deberá haber desde el punto de emisión al de reflexión.

En el ejemplo de la figura 4 se observan unas mediciones realizadas colocando una antena de 1,6 GHz frente a un reflector metálico y aumentando la distancia de separación desde los 10 hasta los 40 cm. Según los cálculos anteriores obtendríamos en este caso un tiempo de duración del pulso de 2,23 ns, lo que supone una distancia de separación de 33,5 cm. En la figura 4 se ve como a partir de las mediciones realizadas a más de 30 cm es cuando se observa una clara separación entre la onda directa y la reflejada.

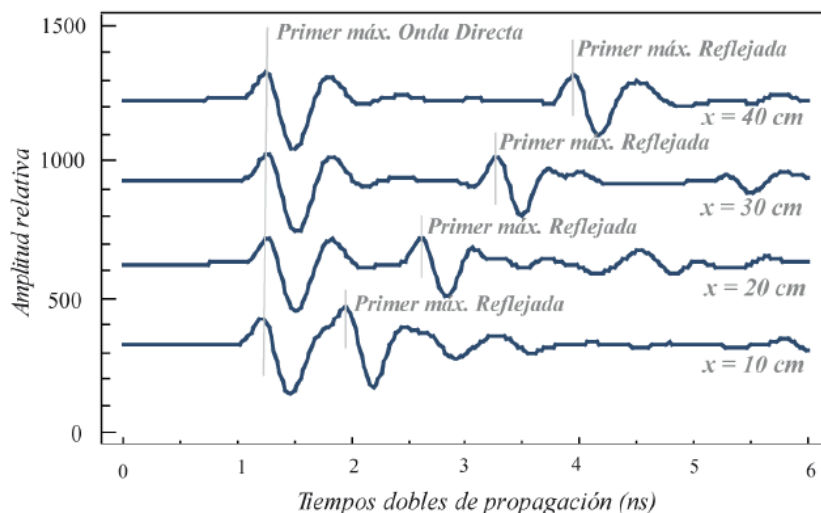


Fig. 4: Solape y separación entre onda directa y reflejada

2.3.2.- Métodos de adquisición de registros

Las adquisiciones de datos se realizan principalmente de dos formas: mediante la obtención de perfiles o de la adquisición de lecturas puntuales.

Para la realización de un perfil hay que desplazar la antena a lo largo de una línea, a una velocidad constante y sin variar la distancia entre los módulos en el caso de que se trate de una antena biestática. La gran cantidad de pulsos que se emiten durante el desplazamiento hacen que, a pesar de que la adquisición de datos sea en realidad puntual, pueda considerarse como continua, debido a la gran cantidad de trazas que se obtienen.

La obtención de datos de forma puntual se realiza fijando la antena en un determinado punto dentro del área de estudio. En el caso de antenas biestáticas, la distancia de separación entre los módulos debe de ser constante, obteniéndose la información sobre la zona central entre los módulos, en el punto de reflexión de la onda.

Existen otros métodos de adquisición de registros mediante el empleo de antenas biestáticas, como el Common Mid Point, en el que se obtienen los registros desplazando la antena emisora y la receptora en direcciones opuestas, la transiluminación, en la que la antena emisora se sitúa fija en una de las superficies y la receptora se desplaza por la superficie opuesta o la reflexión y refracción de gran ángulo, en el que en una misma superficie se mantiene fija una de las antenas mientras se desplaza la otra aumentando la distancia entre ambas.

Centrándonos en la adquisición de registros mediante antenas direccionales monoestáticas resulta importante el hecho de utilizar o no un reflector metálico en la base de la muestra que se analiza. Las reflexiones que se producen en la base de una muestra de madera presentan una amplitud muy baja, lo que hace que resulte muy difícil la identificación de dichas reflexiones. Para solucionar este problema se coloca un reflector metálico en la base de la probeta, asegurando una mayor amplitud de onda y además un cambio de fase que ayuda a reconocer la señal. Estas mediciones también se pueden realizar sobre el medio a analizar o a cierta distancia de este. En el caso de que se hagan a distancia no será necesaria la colocación de reflector metálico, ya que no se estudia la onda reflejada por estar muy atenuada. No se realizan mediciones de perfil a cierta distancia del medio, dado que la información que proporcionan es únicamente de la parte más superficial de la madera. Del mismo modo en las mediciones de perfiles o dinámicas se puede colocar el reflector solo en una parte de la muestra, obteniendo de esa forma, en una misma medición, distintos tipos de perfiles.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la anisotropía de la madera, por lo que tendremos que contemplar distintas superficies de medición en las probetas como son la cara, canto y longitud dependiendo de que tipo de estudio deseemos realizar.

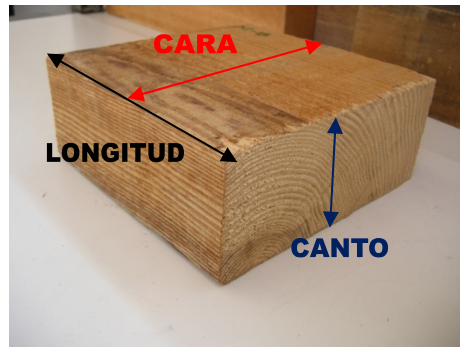


Fig. 5: Posibles direcciones de estudio

Observando la fig. 5 se puede establecer un criterio para definir la forma de adquirir los registros mediante la posición de la antena y la sección que atraviesa. De esta forma si situamos la antena en el canto de la probeta, la superficie que estaremos analizando será la cara, que es la que atraviesa el pulso. Si ubicamos la antena en la testa estaremos analizando la longitud y si lo hacemos en la cara estaremos analizando el canto. Asimismo también habrá que especificar si la antena se sitúa en dirección paralela o perpendicular a las fibras de la probeta.

2.4.- Interpretación y análisis de resultados: El radargrama

Cuando realizamos una toma de datos mediante georradar, obtenemos una información en forma gráfica que nos permite, a partir de su estudio, calcular ciertas propiedades del material que estamos analizando. A este informe gráfico se le llama radargrama, y lo que nos proporciona es un registro de amplitudes de onda en función de los tiempos de propagación empleados.

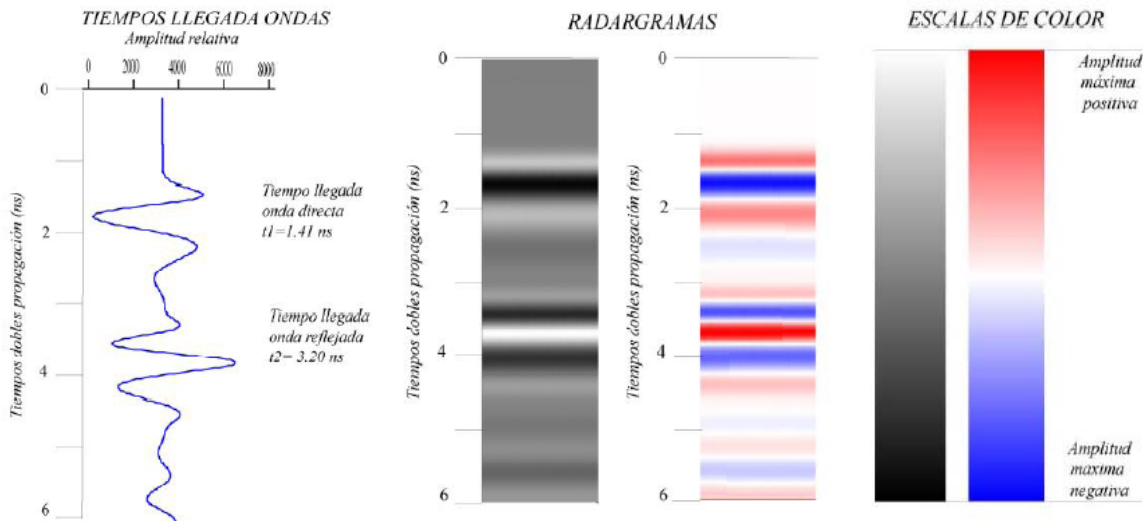


Fig. 6: Posibles modos de visualización de un mismo registro de georradar

Como podemos observar en la figura 6, el georradar nos da un registro de dos formas distintas, primero mediante una gráfica en la que se representan las amplitudes de onda del pulso emitido a través del material objeto de estudio en función los tiempos dobles de propagación. Este mismo gráfico se puede representar en forma de radargrama si le aplicamos una escala de colores, dándonos la misma información pero de una forma más fácilmente interpretable.

Analizando un radargrama obtendremos datos que nos valdrán para poder medir las propiedades dieléctricas del medio analizado.

Cuando una onda pasa de un medio a otro, parte de su energía se transmite al nuevo medio, pero el resto se refleja. El georradar va a medir esta reflexión, dándonos información sobre lo que tarda la onda en recorrer la distancia desde el inicio del pulso hasta su regreso a la superficie del medio (véase fig. 7)

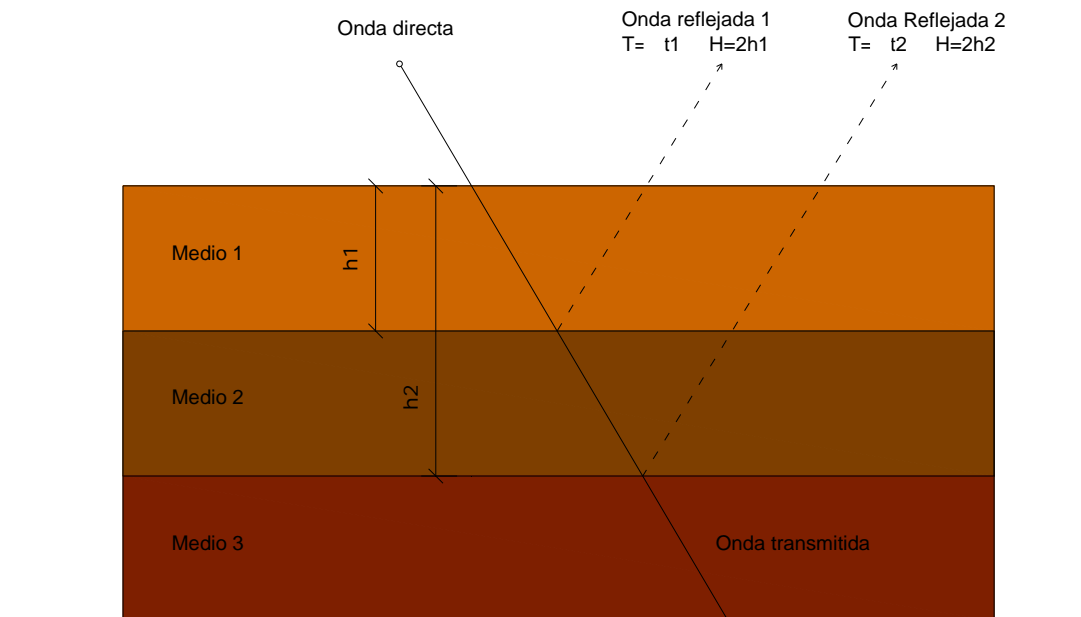


Fig. 7: Onda reflejada y transmitida

En el presente proyecto van a analizarse probetas de dos tipos de madera, las cuales tienen unas medidas determinadas dependiendo del tipo de ensayo que se realice, por lo que el espacio recorrido por la onda será el doble del espesor en la dirección de ensayo (2h). El tiempo doble de propagación corresponderá a lo que tarda la onda en recorrer el espesor de la probeta y volver a la superficie.

Mediante la aplicación del software informático Radan, podremos analizar el radargrama obtenido, de forma que obtendremos los tiempos dobles de propagación de los puntos que nos interesen. Para una mejor interpretación se puede utilizar un reflector metálico en la base de la probeta, de modo que será más fácil de identificar la llegada de la onda reflejada.

Una vez obtenidos los datos de incrementos de tiempo (Δt) y espacio recorrido (2h) de la onda directa y la reflejada, se podrá calcular, con la expresión 5, la constante dieléctrica relativa del medio estudiado:

$$v = \frac{2h}{\Delta t} \quad (6)$$

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

3. PREPARACIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL

3.1.- Estudio de los materiales a analizar:

Uno de los objetivos del presente proyecto es el análisis comparativo de dos tipos de madera, el *Pinus insignis* o *Pinus Radiata* y el Pino ruso o *Pinus Sylvestris*. La toma de datos se realizará sobre probetas paralelepípedicas de los dos tipos de madera, siendo las de *Pinus Insignis* de dimensiones 7,5 x 25 x 25 cm. y las de Pino Ruso de 7,5 x 22 x 22 cm. (fig. 8)

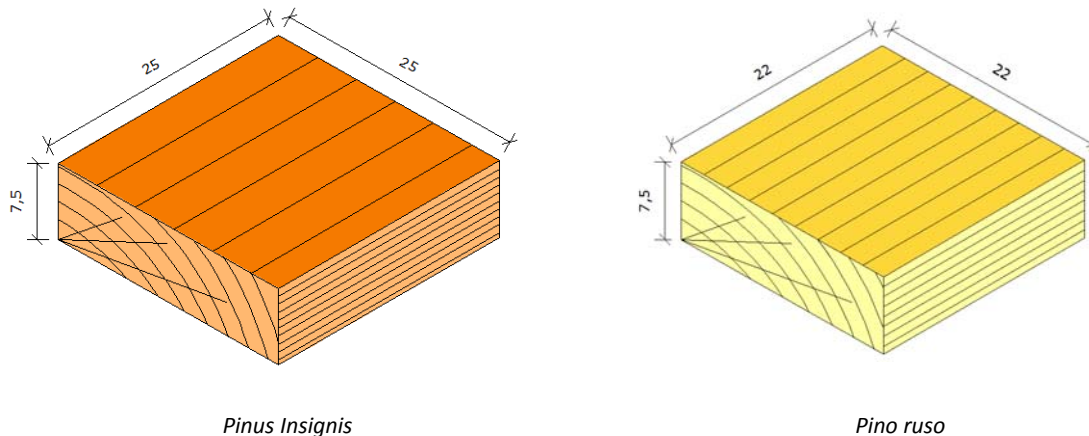


Fig. 8: Probetas de *Pinus insignis* y Pino Ruso

Las probetas han sido preparadas en el laboratorio, presentando cortes rectos y bien definidos. Una vez han sido comprobadas las dimensiones se observa que existen pequeñas variaciones en las medidas de unas probetas a otras, debidas a la realización de los cortes mediante elementos mecánicos. Dichas variaciones son de escasa entidad y por lo tanto se entiende que no afectan al análisis que se pretende realizar, pudiéndose tomar como medidas estándar las que se han indicado anteriormente. Se observa que debido a los cortes, las probetas presentan astillas en su superficie, por lo que se recomienda el uso de guantes de protección durante la manipulación de las muestras.



Pinus Insignis con reflector



Pino Ruso con reflector

Fig. 9: Colocación del reflector metálico en la base de las probetas

Como se puede observar en la figura 9, en algunas mediciones se coloca un reflector metálico en la base de la probeta. Este reflector puede ser una lámina de papel de aluminio, y su colocación nos va a proporcionar unas lecturas en las cuales el radargrama va a presentar un cambio de polaridad cuando el pulso atraviese la superficie metálica. Este cambio de polaridad nos será muy útil para identificar, por comparación con el mismo registro pero sin presencia de reflector metálico, algún punto de referencia característico cuando analicemos el radargrama obtenido.

Asimismo en la imagen de la figura 9, se muestra como las probetas están separadas de la mesa de trabajo mediante unos calzos de madera. La razón no es otra que evidenciar el paso del pulso electromagnético del medio "madera" al medio "aire", sobre todo cuando no hay presencia de reflector metálico. Si no se hiciera así sería muy complicado identificar el punto de reflexión en la base de la probeta del pulso electromagnético.

3.2.- Características de los equipos de medición:

El equipo georradar que vamos a emplear en las mediciones va a ser el SIR 3000 junto con una antena PALM de 2 GHz (véase figura 10).

El SIR-3000 se caracteriza por la exactitud de los datos obtenidos y su versatilidad, por lo que resulta altamente eficiente.

El SIR-3000 es un sistema pequeño y ligero diseñado para la ser operado por un solo usuario. Este producto ofrece las características esenciales y la flexibilidad que requieren los usuarios experimentados, así como la suficiente simplicidad funcional para usuarios sin experiencia GPR.

El SIR-3000 incorpora un procesamiento avanzado de señales y la capacidad de visualización de imágenes en 3D. A diferencia de otros productos de adquisición de datos en el mercado, el SIR-3000 es intercambiable con todas las antenas GSSI, lo que lo convierte en un sistema muy versátil.

System	
Antennas	Compatible with al GSSSI antennas
Number of channels	1 (one)
Data storage	Internal Memory
	2 GB flash memory card
	Compact flash port: Accepts industry standard CF memory up to 2 GB (user provided)
Display modes	Linescan, O-scope, 3D
Data acquisition	
Data format	RADAN
Scan rate examples	220 scans/sec at 256 samples/scan, 16 bit
	120 scans/sec at 512 samples
Scan interval	User-selectable
Number of samples/scan	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Operating modes	Free run, survey wheel, point mode
Time range	0-8,000 nanoseconds full scale, user selectable
	Gain: Manual or automatic, 1-5 gain points (-20 to + 80 dB)
Filters	Vertical: Low pass and high pass IIR and FIR
	Horizontal: Stacking, background removal
Languages	
	English, french, Italian, german, spanish, japanese, chinese
Operating	
Operating temperature	-10°C to 40°C ambient
Charger power requirements	15 v DC, 4 amps
Battery	10.8 V DC, internal
Transmit rate	Up to 100 KHz
Input/output	
Available ports	Antenna Input
	DC power input
	Serial RS232 (GPS port)
	Compact flash memory
	USB master slave
Mechanical	
Dimensions	31.5 (L) x 22 (W) x 10.5 (H) cm.
	12.4" x 8.7 x 4.1"
Weight	4.1 Kg, (9 lbs) including battery
Environmental	Water resistant

Tabla 3: Características del SIR 3000

La nueva antena Palm tiene un tamaño que la hace muy manejable y permite llegar a zonas de difícil acceso, tales como esquinas, contra las paredes y alrededores de obstrucciones.

La antena de Palm es compatible con el SIR-3000 y las unidades SIR-20 de control. La antena incluye una rueda de desplazamiento, una placa de deslizamiento sustituible y un mango desmontable para reducir la altura de la antena si fuera necesario.

2000 MHz Palm Antenna	
Frecuencia central	2000 MHz
Rango de profundidad	Hasta 0.4 m.
Peso de la antena	0.49 Kg.
Peso del cable	0.95 Kg.
Dimensiones	104.5 x 91.5 x 154.7 mm

Tabla 4: Características de la antena Palm 2000 MHz



Fig. 10: Imagen del display del SIR 3000 (izq.) y de la antena Palm 2000 MHz (dcha.)

3.3.- Proceso de toma de datos:

Para una correcta realización de la toma de datos, se establece una metodología de actuación durante la fase experimental, definiendo cada una de las muestras, los ensayos a realizar en cada una y el protocolo para su correcta ejecución.

3.3.1- Identificación de las muestras

Las muestras a analizar quedarán identificadas en la siguiente tabla. La designación se graficará con un rotulador en la superficie de cada probeta, de forma que cada muestra responda a una designación. Dispondremos de un total de 20 probetas de pino ruso y 20 más de Pinus Insignis.

TIPO	Nº	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES	TIPO	Nº	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES
P. Ruso	1	R1	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	1	I1	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	2	R2	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	2	I2	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	3	R3	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	3	I3	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	4	R4	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	4	I4	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	5	R5	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	5	I5	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	6	R6	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	6	I6	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	7	R7	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	7	I7	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	8	R8	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	8	I8	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	9	R9	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	9	I9	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	10	R10	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	10	I10	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	11	R11	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	11	I11	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	12	R12	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	12	I12	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	13	R13	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	13	I13	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	14	R14	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	14	I14	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	15	R15	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	15	I15	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	16	R16	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	16	I16	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	17	R17	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	17	I17	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	18	R18	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	18	I18	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	19	R19	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	19	I19	7,5 x 25 x 25 cm
P. Ruso	20	R20	7,5 x 22 x 22 cm	P. Insignis	20	I20	7,5 x 25 x 25 cm

Tabla 5: Identificación de las muestras a analizar

Según norma UNE EN 13183:2002 y UNE 56531:1977, relativas al cálculo de contenido de humedad y a la determinación del peso específico, se procede al cálculo de los mencionados parámetros, quedando establecidos los resultados en el Anexo V.

3.3.2- Definición de los ensayos a realizar

Además de establecer las diferencias entre los dos tipos de madera, otro de los objetivos es analizar la anisotropía dieléctrica de la madera, por lo que se realizarán cuatro tipos de ensayos en cada probeta, tal y como se muestra en la figura 11. De esta forma se podrá estudiar el comportamiento de los dos tipos de madera según se sitúe la antena del georradar en sentido paralelo a las fibras o perpendicular a estas y según se realice el ensayo en el canto, en la testa o en la cara de la probeta. En las imágenes se observa como en los casos 1 y 2 el campo electromagnético generado por la antena tiene, en el caso 1, la misma dirección que las fibras de la probeta a analizar, mientras que en el caso 2 la dirección del campo generado es perpendicular a las fibras. En los caso 3 y 4 la antena se sitúa en el canto y en la testa de la probeta, de forma que el campo electromagnético generado es perpendicular a las fibras de la probeta, en dirección radial y tangencial a estas. Hay que tener en cuenta que dependiendo del corte realizado en la probeta nos podremos encontrar trabajando radial o tangencialmente tanto en el canto como en la testa.

Se definirán cuatro casos, según se refleja en la figura 11:

1. *Cara paralela*: Antena situada en la cara de la probeta con el campo electromagnético E oscilando en dirección paralela a las fibras.
2. *Cara Perpendicular*: Antena situada en la cara de la probeta con el campo electromagnético E oscilando en dirección perpendicular a las fibras.
3. *Testa*: Antena situada en la testa de la probeta.
4. *Canto*: Antena situada en el canto de la probeta.

Asimismo, cada ensayo se realizará con un reflector metálico situado en la base de la probeta y sin reflector metálico, de forma que se observe los diferentes registros que se obtienen en presencia del reflector o sin él.

Una vez estudiados todos los posibles tipos de ensayo, quedan definidos 320 ensayos a realizar sobre un total de 40 probetas. Se realizarán 160 ensayos sobre cada tipo de madera, 80 con reflector y 80 sin reflector metálico, 40 para cada uno de los cuatro casos de toma de datos. Se pueden consultar las tablas de ensayos en el anexo I.

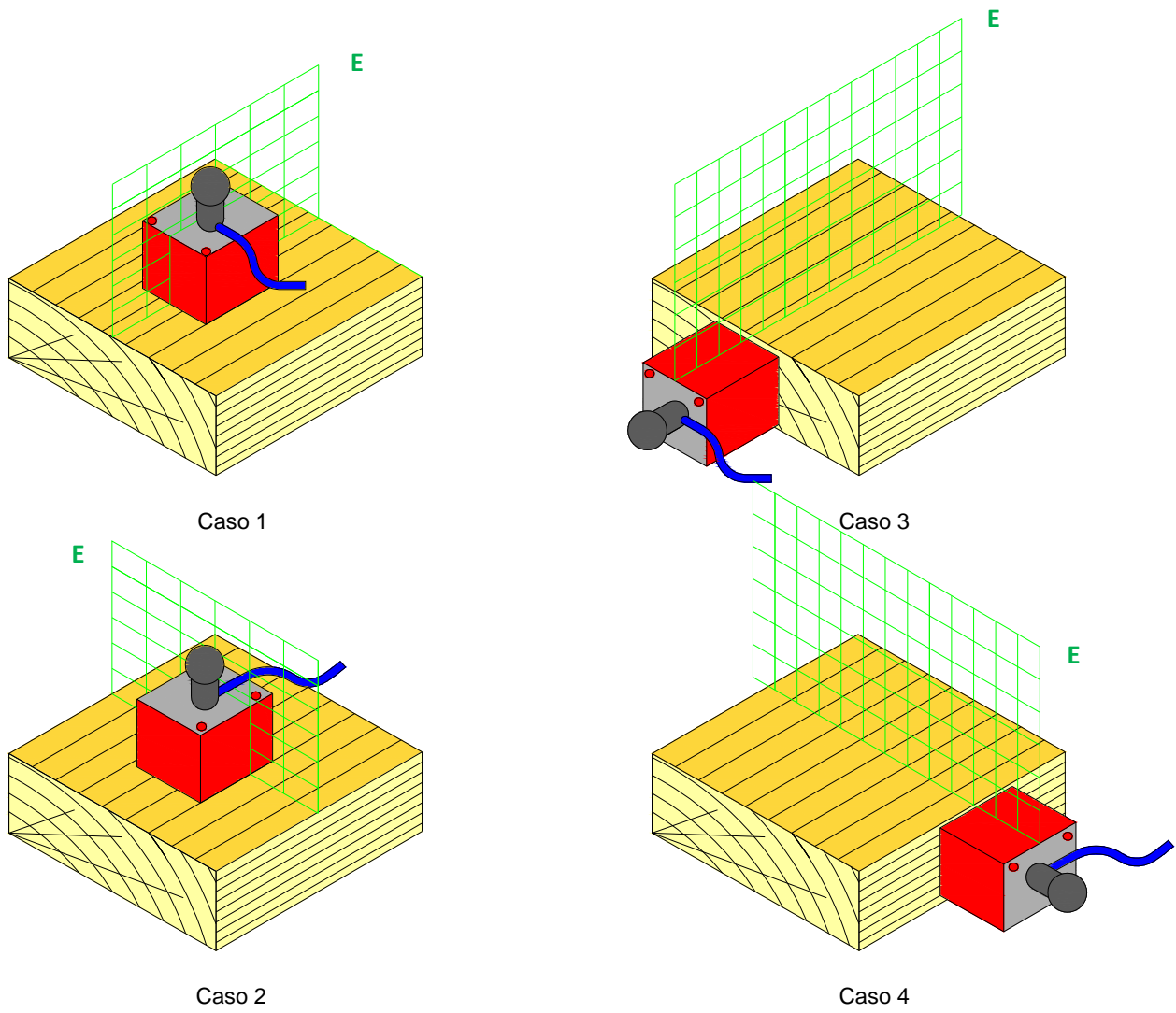


Fig. 11: Casos de ensayo y plano de oscilación del campo electromagnético

3.3.3- Protocolo de desarrollo experimental

En este punto se desarrollará la planificación de la ejecución del proceso experimental:

- **Fase 1: Preparativos**

- La toma de datos se realizará en con la asistencia de un Técnico especializado en el manejo de sistemas de georradar.
- Se dispondrá de los siguientes medios y materiales:
 - Sistema de georradar SIR 3000
 - Antena Palm de 2 GHz
 - 20 probetas de madera de *Pinus Insignis* designadas desde I1 hasta I20
 - 20 probetas de madera de *Pino ruso* designadas desde R1 hasta R20
 - Separadores de madera o calzos de madera sobre los que situar las probetas
 - Papel de aluminio
 - Cinta adhesiva
 - Modelos de hoja de control de registros
 - Esquema de los casos a realizar
 - Guantes de protección
 - Material de escritura
- Las probetas estarán preparadas para su uso, rotuladas en su superficie con la designación correspondiente a cada probeta para facilitar su identificación y agrupadas por tipo de madera.
- Previamente a la realización de la toma de datos se habrá calibrado el sistema de georradar para que los resultados obtenidos se ajusten a las exigencias del estudio, estableciendo las características óptimas para la realización de las mediciones estáticas con un mínimo de 200 scans.

- **Fase 2: Realización de las mediciones**

- Las mediciones se realizarán en tandas de 10 probetas en las que se fijará el caso y la presencia o no de reflector metálico. Por ejemplo:
 - Tanda 1: Probetas de I1 a I10, caso 1 con reflector metálico
 - Tanda 2: Probetas de R1 a R10, caso 1 con reflector metálico
 - Tanda 3: Probetas de I1 a I10, caso 2 con reflector metálico
 - Tanda 4: Probetas de R1 a R10, caso 2 con reflector metálico
 - Tanda x:
- Las tandas se organizarán según avance el proceso de toma de datos, debido a la necesidad de realizar cambios de posición en las probetas y a la colocación y retirada del reflector metálico.

- Las mediciones se registrarán en la hoja de control, en la que se anotará el número de registro de la medición realizada, la probeta sobre la que se ha realizado la medición, el caso analizado y la presencia o no de reflector. Cada día se utilizará una nueva hoja de control, reiniciando la numeración de los registros.
- Para facilitar la correcta aplicación del caso a analizar, se tendrá en cuenta la dirección en la que el cable sale de la antena, ajustándose a los gráficos adjuntos.
- Para agilizar el proceso de medición será necesario que se coordine el personal participante:
 - *Paso 1:* Operario 1: Rellena la hoja de control, identifica el ensayo a realizar y se dispone para anotar el número de registro correspondiente.
 - *Paso 2:* Operario 2: Según las instrucciones del operario 1 sitúa la antena sobre la probeta en la posición correspondiente al ensayo a realizar.
 - *Paso 3:* Operario 3: Registra la medición en el sistema de georradar y la almacena. A continuación da el visto bueno para que se realice una nueva medición.
 - *Paso 4:* Operario 1: Anota el número de registro correspondiente al ensayo realizado en la hoja de control (véase figura 12).
 - *Paso 5:* Operario 4: Prepara la probeta utilizada para el siguiente ensayo.
 - Repetir desde el paso 2 hasta una nuevas tanda, donde se retomará el paso 1

- **Fase 3: Finalización:**

- Una vez realizadas las mediciones se procederá al recuento de las mediciones realizadas, se estimarán las mediciones pendientes y se preparará el laboratorio para la siguiente toma de datos.
- Se extraerán los datos de los registros y se dispondrán para su análisis mediante el programa informático RADAN.



Fig. 12: Hoja de control de registros

4. METODO EXPERIMENTAL E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.- Proceso de toma de datos

A continuación se resume la ejecución de la toma de datos realizada el día 8 de Abril en el laboratorio de madera de la ETSIE. Como estaba previsto la sesión estuvo asistida por un Técnico de Laboratorio especializado en el manejo de Georradar.

La calibración del equipo se realizó en una sesión anterior, quedando establecidas después de numerosas pruebas las siguientes características óptimas para la realización de las mediciones estáticas con un mínimo de 200 scans:

- Range Gain (db) = 5.0
- Vert IIR LP N=2F=2700 MHz (para la de 2 GHz)
- Vert IIR HP N=2F=500 MHz (para la de 2 GHz)
- Static Stacking N=20
- Scans/second=100
- Bits/simple=16
- Samples Scan=512
- Rango=6 ns
- Position=-0.5 ns
- Posición del equipo SIR 3000: Balance: -14.23 / superficie:14.23

Una vez presentado el sistema de Georradar SIR3000 y la antena PALM de 2 GHz se identifican las probetas de madera a analizar



Fig. 13: Probetas dispuestas para realizar las mediciones

Las muestras, tal y como se puede ver en la figura 13, se organizan en grupos de la misma tipología de madera: pino ruso, pinus insignis, haya, mobila, etc.

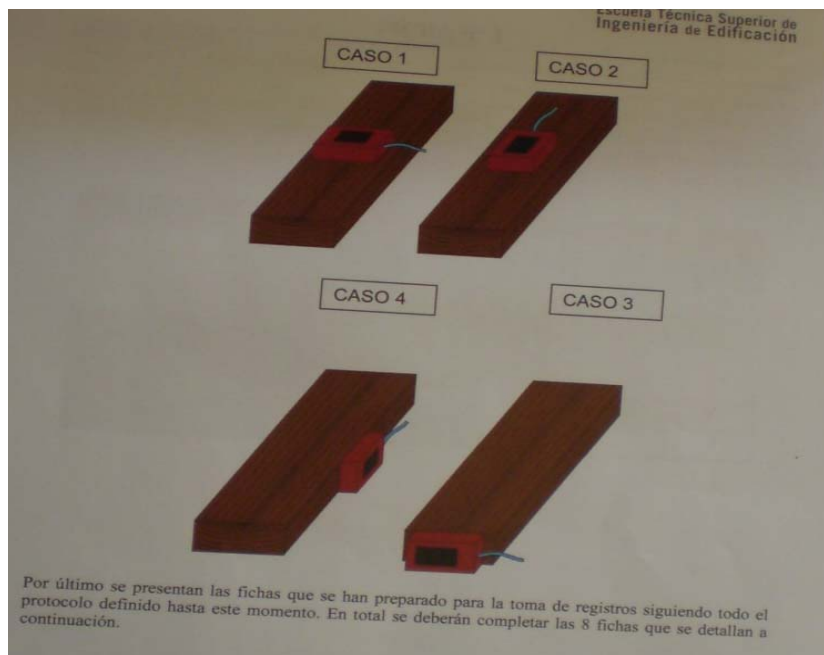


Fig. 14: Casos de análisis propuestos

Como anteriormente se había especificado, se vuelven a revisar los casos de ensayo propuestos (véase fig. 14):

1. *Cara paralela*: Antena situada en la cara de la probeta en dirección paralela a las fibras.
2. *Cara Perpendicular*: Antena situada en la cara de la probeta en dirección perpendicular a las fibras.
3. *Testa*: Antena situada en la testa de la probeta.
4. *Canto*: Antena situada en el canto de la probeta.

Dado que los ensayos van a ser realizados por varias personas, se establece un criterio sencillo para que no se produzcan confusiones a la hora de realizar repetitivamente por varias personas la toma de datos. Se considera como guía la posición del cable azul de la antena (véase fig. 10), dado que resulta más fácil de identificar que si tuviéramos que fijarnos en cualquier otro parámetro. En los diagramas de los casos de ensayo se identifica fácilmente este factor. (Véase fig. 14)

Antes de empezar los ensayos, tal y como se observa en la figura 15, se toma nota de las dimensiones de las probetas a analizar, ya que este dato resulta fundamental para el posterior análisis de los resultados de los ensayos.

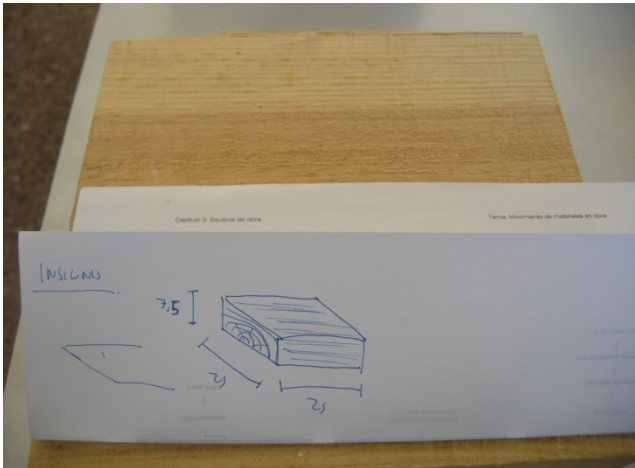


Fig. 15: Medición de las probetas

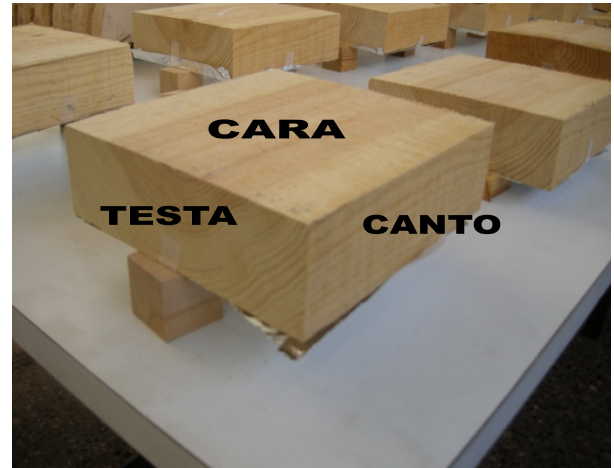


Fig. 16: Probetas dispuestas para medición con papel de aluminio

Como quedó definido en la metodología experimental, los ensayos se realizan con y sin reflector metálico. En la figura 16 se observa cómo se fijará el reflector metálico a la probeta con cinta adhesiva. En este caso se trata de una probeta de *Pinus Insignis*, y el material utilizado como reflector es papel de aluminio. En la imagen también se observa la utilización de los calzos de madera donde se sitúa la probeta para una correcta ejecución de la toma de datos. Estos calzos no cumplen unas dimensiones establecidas, siendo únicamente necesario que dejen suficiente espacio entre ellos para que la antena realice la toma de datos sin interferir con ellos.

En la figura 16 se pueden identificar claramente las tres ubicaciones de la antena en las realizaciones de los ensayos. Se trata de una probeta de *Pino Ruso*, quedando establecida como “cara” la parte superior, de dimensiones 22x22 cm; como “canto” la parte lateral derecha, de dimensiones 7.5x22 cm, y como “testa” la parte lateral izquierda, de dimensiones 7.5x22 cm.



Fig. 17: Rotulación de probeta de *P. Insignis*

En la figura 17 se puede observar, en la parte superior izquierda, como se ha rotulado la designación de la probeta. En este caso es la probeta R17, lo que quiere decir que es la probeta 17 de *pino Ruso*.



Fig. 18: Ejecución de las mediciones

En la figura 18 se observa la colocación de la antena a testa correspondiente al caso 4. La posición de la mano derecha sujetando el cable en posición elevada, debiendo de mantener en esta posición para una correcta ejecución de la toma de datos. Se debe de mantener esta posición un determinado intervalo de tiempo hasta que el técnico confirme la adquisición de datos antes de pasar a la siguiente probeta.



Fig. 19: Proceso de registro de las mediciones

En la figura 19 se observa la secuencia de adquisición de datos en la consola de control. En primer lugar se verifica que la adquisición de datos de la antena es correcta. Una vez transcurrido un intervalo de tiempo de espera (200 SCANS) se procede a registrar la señal, quedando reflejado a continuación en el panel informativo la señal adquirida.

Obtenido los datos de la determinada probeta se procede al guardado y comienzo del mismo procedimiento anterior

La figura 12 es la hoja control registros, donde se le asigna una determinada numeración a cada probeta de forma que todo registro queda identificado con el ensayo correspondiente y además en caso de error o mal funcionamiento del sistema se puede fácilmente corregir y seguir con el experimento. Para cada día o tipo de madera distinto se utiliza una nueva hoja de control, rellenando los correspondientes datos identificativos en la cabecera de esta.

El procedimiento a partir de aquí es cíclico, cambiándose la disposición de las probetas para los distintos casos de ensayo según va avanzando el experimento. Se observa que una vez se ha organizado el personal y se han repartido las funciones, la toma de datos avanza muy rápido, por lo que se considera de gran importancia la asimilación de la metodología de trabajos para la correcta ejecución de la toma de datos.

Después de la sesión del día 8 de abril de 2011, la cual dio comienzo a las 10:30, se cumplimentaron las fichas 3, 4 y 5, en las cuales se registraron ensayos correspondientes a la madera tipo *Mobila*, *Pinus Insignis* y *Pino Ruso*. En el anexo I se pueden consultar el registro asignado a cada medición realizada, según el caso de ensayo y de madera.

4.2.- Proceso de análisis de los datos obtenidos

Una vez realizada la toma de datos, se especifican las instrucciones y normas de utilización del software informático Radan, ya que debido a su elevado coste no se dispone de más de un equipo con el programa instalado. Por parte del profesorado se aporta un calendario donde se realizarán las reservas del equipo donde se ha instalado el Radan.

Previamente al análisis de los registros preparamos unas hojas de registros para ir anotando todos los datos necesarios. Esos formularios se crean como una hoja de cálculo Excel, de forma que una vez rellenos se puedan obtener los parámetros requeridos más fácilmente. (Fig. 20)

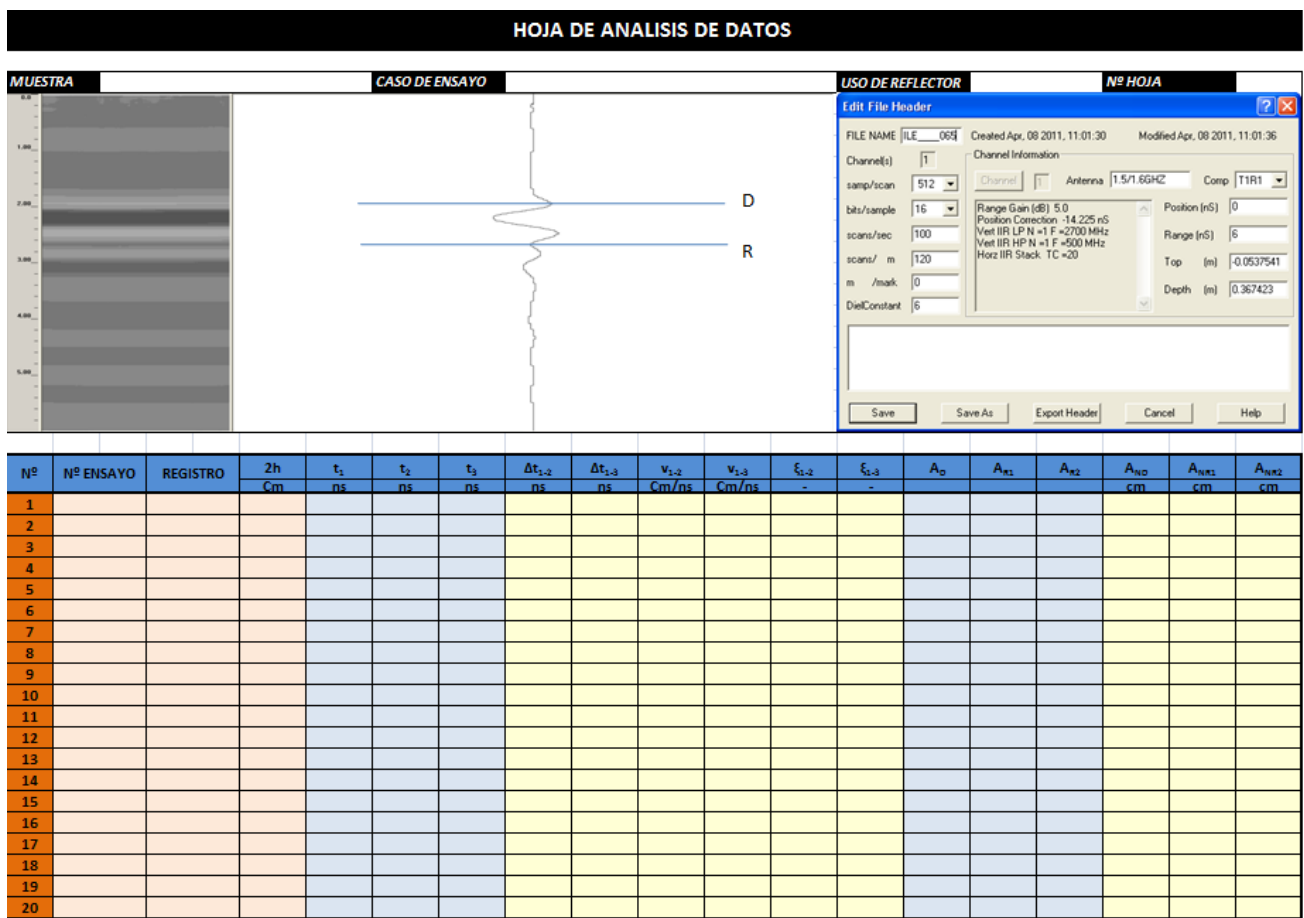


Fig. 20: Modelo tabla registros para anotación datos Radan

Para un aprovechamiento máximo del tiempo de trabajo con el equipo, uno de los componentes se ocupa de realizar las lecturas en pantalla, mientras que el otro se encarga de realizar las anotaciones en la hoja de datos correspondiente. El protocolo a seguir es el siguiente:

- Una vez ejecutado el programa mediante el USB (llave) para poder acceder, pasamos a personalizar la abertura de una de las dos carpetas de las tomas de datos Insignis y Ruso (Customizar).
- Mediante las hojas de tomas de datos del laboratorio de cada uno de los casos seguimos un orden con su correspondiente numeración para proceder a identificar en la carpeta customizada su idéntica numeración para el análisis de la muestra.
- Cada caso escogido se analiza sobre sus 20 registros anotándolos en la tabla para seguir un orden y comprobar que el número de la toma de datos se corresponde con el escogido en el programa.
- Identificada pasamos a visualizar cada muestra en modo Scope, muestra (Fig.21). Debido a la dificultad para analizar las ondas pasamos aplicar una ganancia (Display gain) (Fig.22). Tras la aplicación de la ganancia pasamos analizar los puntos correspondientes mediante el puntero del ratón pinchando sobre la línea que forma la onda.

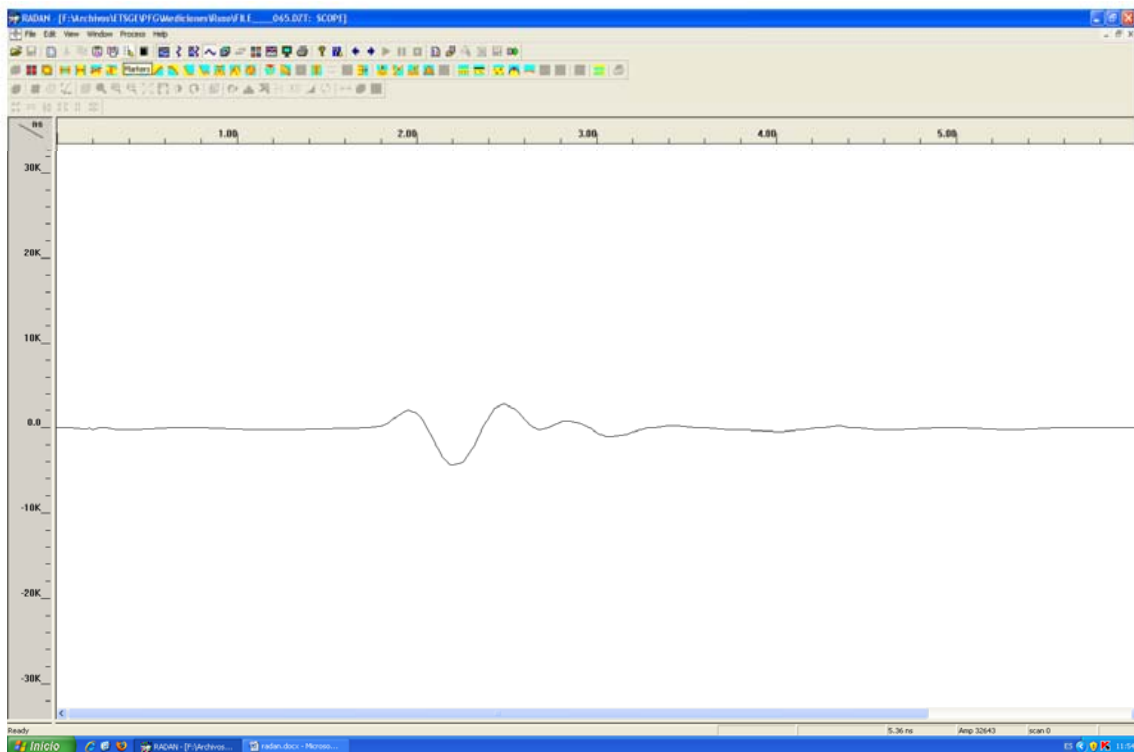


Figura 21: Visualización inicial modo Scope

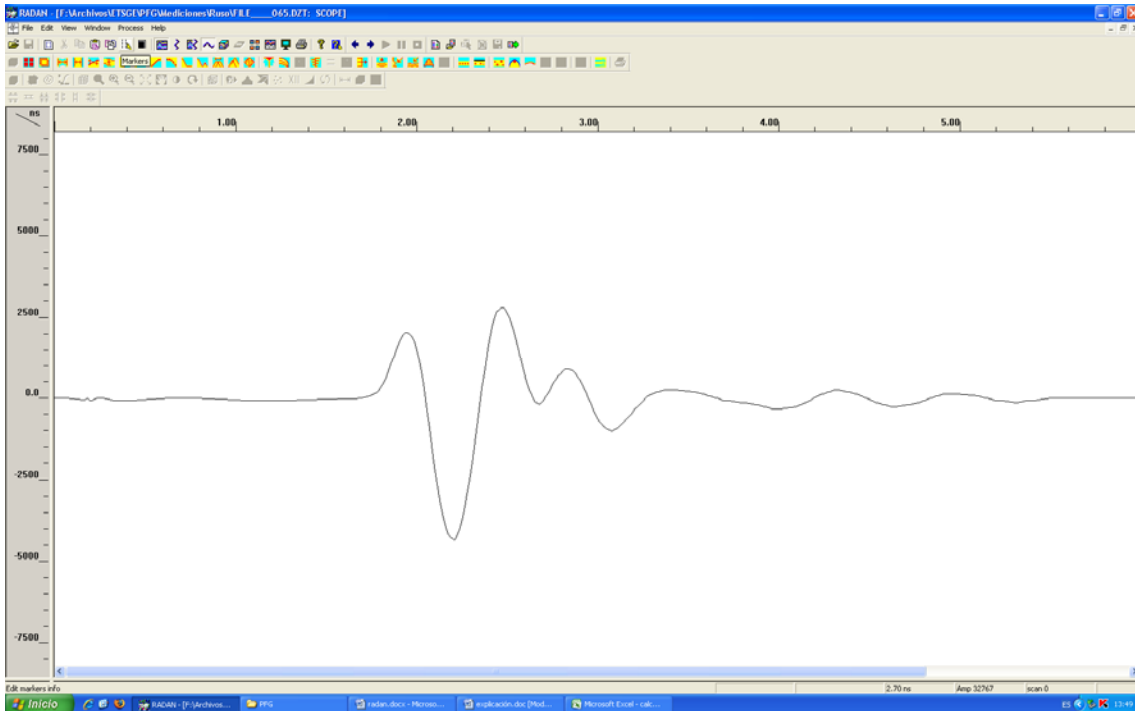


Figura 22: Visualización con ampliación ganancia (Display gain, 4)

En cada punto indicado obtenemos datos relativos a tiempos dobles de propagación y amplitudes, los cuales serán anotados en su lugar correspondiente en la hoja de datos. Con estos datos obtenidos podremos estudiar los parámetros elegidos para el estudio:

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

Este procedimiento lo realizaremos repetidamente en cada caso correspondiente a las 20 probetas del Pinus Insignis y Pino Ruso.

Criterios de localización de los puntos a medir en los casos 1 y 2

Se observa que al medir en cara en dirección tanto perpendicular como paralela a las fibras la resolución vertical es mayor que el espesor de la probeta ($h=7,5\text{cm}$) y por lo tanto la onda Reflejada y la onda Directa interfieren. Esto se debe a que la onda reflejada llega al receptor antes que finalice la recepción de la onda directa.

Visualizada la muestra escogemos un orden de selección: Primer parámetro tiempo directo, que es el primer máximo positivo de la onda directa, segundo parámetro tiempo reflejado inicio del cambio de polaridad, tercer parámetro amplitud directa, que es el primer máximo positivo de la onda directa y por

último, cuarto parámetro amplitud reflejada que coincide en su inicio con el cambio de polaridad del segundo parámetro. (Tabla 6)

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

Cambio de Polaridad en estos casos consiste en comparar dos registros de un mismo tipo de madera Insignis o Ruso, habiéndose realizado uno de los registros con reflector y el otro sin reflector. Se procede a abrir los dos registros mediante modo de visualización Scope y se amplía la ganancia de forma que se pueda apreciar la curva descrita por la función de onda. Una vez tenemos los dos registros en pantalla se procede, por comparación de las curvas, a identificar el punto en el que el registro en el que se ha empleado el reflector metálico sufre el cambio de polaridad. Este punto se identifica porque se observa como la curva del registro sin reflector no sufre ningún cambio en su crecimiento, mientras que en la que se ha empleado reflector pasa de creciente a decreciente o viceversa. (Fig.23)

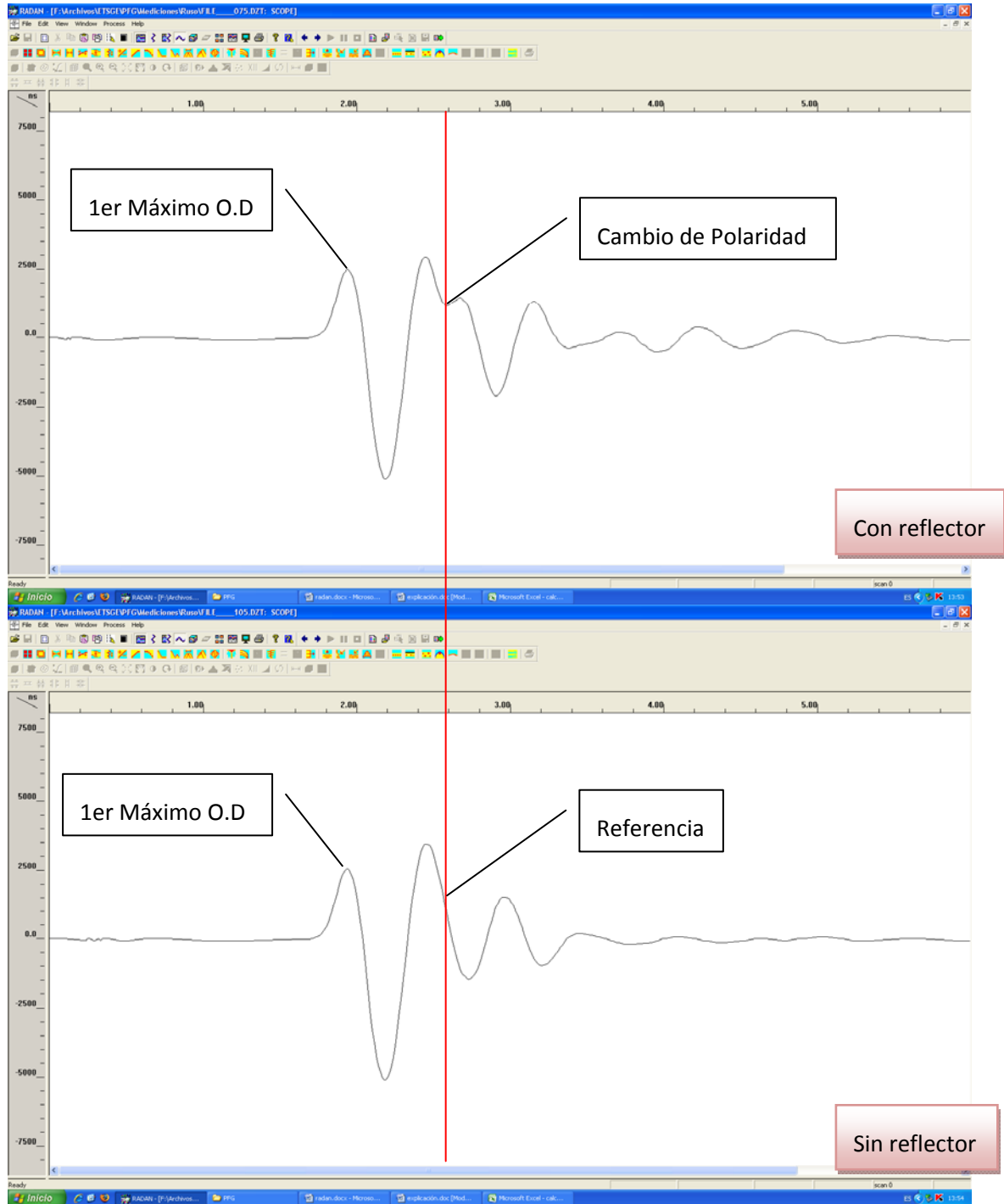


Figura 23: Comparación con y sin reflector pino ruso caso 2 (display gain 4)

Criterios de localización de los puntos a medir en el Caso 3 y 4

En estos casos no va a existir interferencia entre las ondas directa y reflejada.

Visualizada la muestra escogemos un orden de selección: Primer parámetro tiempo directo, que es el primer máximo positivo de la onda directa, segundo parámetro tiempo reflejado inicio del cambio de polaridad, tercer parámetro segundo tiempo reflejado, que es el primer máximo positivo de la onda reflejada, cuarto parámetro amplitud directa, es el primer máximo positivo de la onda directa, quinto parámetro amplitud reflejada que coincide en su inicio con el cambio de polaridad del segundo parámetro y por último, sexto parámetro que es el primer máximo positivo de la onda reflejada. (Tabla 7)

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.

El punto de cambio de polaridad en estos casos es aquel en el que la onda, después de atravesar todo el espesor de la probeta, y por lo tanto mostrando una curva de tendencia constante, llega al final de la probeta y sufre un cambio de medio, dando lugar a una nueva curva. En ese momento se rompe la tendencia regular que llevaba hasta el momento, siendo este punto en el que vamos a tomar los datos relativos a tiempos doble de propagación y amplitud de la onda reflejada.

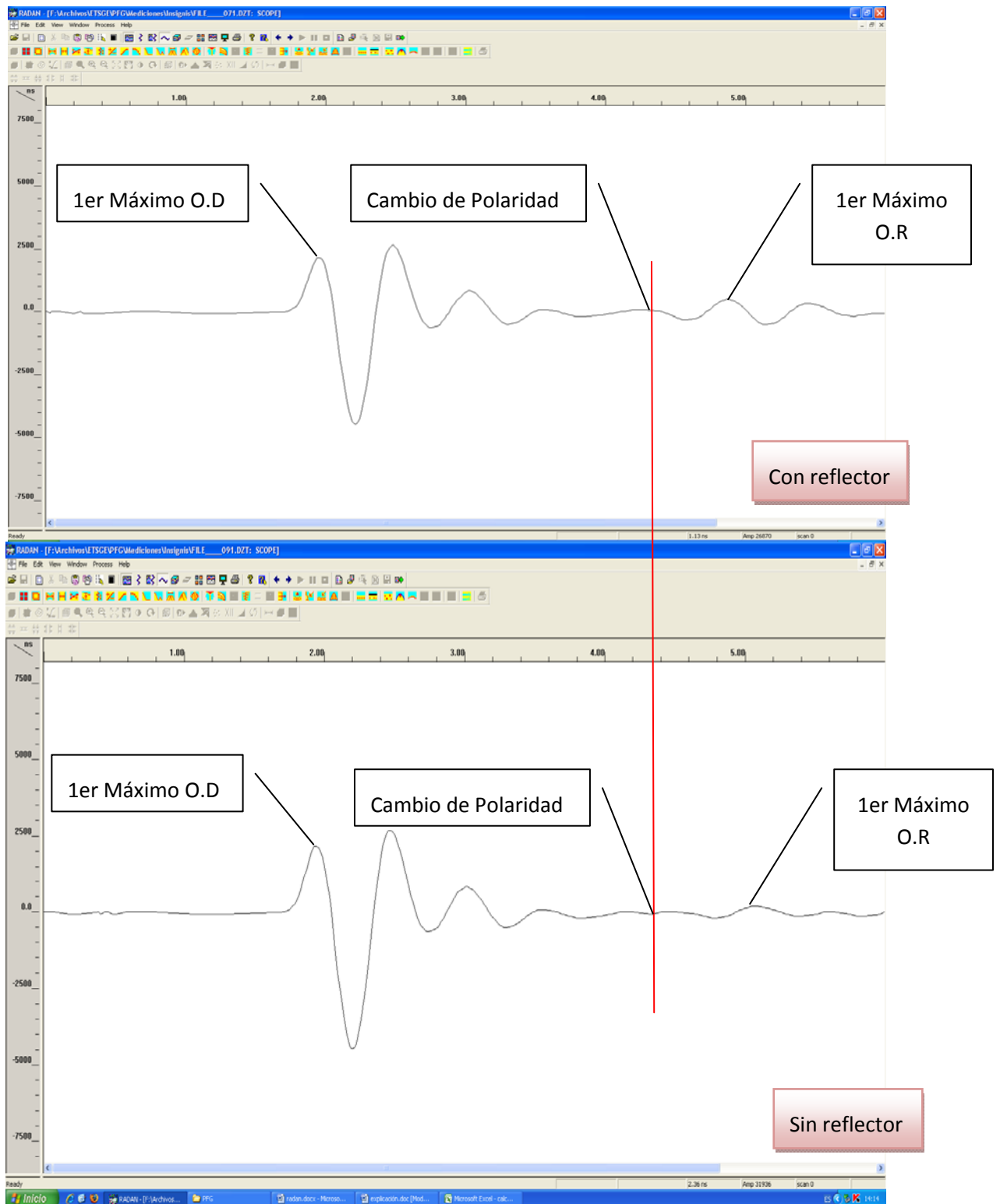


Fig.24: Comparación con y sin reflector pinus insignis caso 4 (display gain 4)

4.3.- Interpretación de resultados

Después de realizar los trabajos correspondientes al análisis de los radargramas obtenidos en el laboratorio, se han obtenido datos relativos a velocidad de propagación, constante dieléctrica relativa y amplitud correspondientes a las 40 muestras, 20 de Pino Ruso y 20 de Pinus Insignis. Estos datos se recogieron de forma manuscrita durante el análisis de los registros y, a continuación se han sometido a tratamiento mediante una hoja de cálculo. Después de gestionar los datos se han obtenido unas tablas de trabajo, las cuales se pueden consultar íntegramente en el anexo II, en las que se recogen todos los resultados obtenidos. A continuación, en la tabla 8, se muestra un resumen de los resultados obtenidos después de tratarlos estadísticamente.

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

Tabla 8: Tabla resumen de resultados obtenidos

Los datos que aparecen reflejados en esta tabla corresponden a los promedios de los datos obtenidos de las 20 probetas de cada tipo de madera. Antes de realizar el promedio mencionado se han eliminado aquellos registros cuyos valores se encontraban fuera de un determinado rango de error. Como criterio para establecer dicho rango se ha calculado la desviación típica de cada conjunto de datos, procediendo a continuación a crear un rango de valores aceptable determinado por el valor promedio de las 20 probetas analizadas en cada caso y la suma o resta del doble de la desviación típica.

Si se tomaba el valor estándar obtenido de la desviación típica el valor de los registros inválidos era demasiado elevado, por lo que se ha optado por coger un 200% de la desviación típica como valor aplicable para la determinación del rango.

Por ejemplo, en los datos relativos al estudio de la velocidad de propagación en el caso 1 de la muestra de Pino ruso se ha obtenido una velocidad promedio de 20,480 cm/ns. La desviación típica de la muestra es de 0,236 cm/ns. Si aplicásemos esta desviación típica a la determinación del rango, este quedaría establecido entre 20,244 y 20,717 cm/ns. De esta forma eliminaríamos 5 registros (25%) solo teniendo en cuenta el parámetro de velocidad (véase Anexo II). Esto resulta excesivo, ya que la muestra quedaría muy disminuida.

Si en cambio empleamos el 200% de la desviación típica para la determinación del rango, solo son dos el número de registros eliminados teniendo en cuenta solo el parámetro de velocidad de propagación

Una vez obtenidos los datos finales de los ensayos se ha procedido a realizar un análisis gráfico de los parámetros estudiados, de forma que resulte más fácil la interpretación de los resultados. El análisis completo se puede consultar en el anexo III.

- **Casos 1 y 2: Ensayos en cara de probeta en dirección paralela y perpendicular a las fibras**

En primer lugar vamos a analizar los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en la cara de la probeta. Se van a evaluar dos conceptos, en primer lugar las diferencias entre una madera y otra en los casos de ensayo 1 y 2, y en segundo lugar la anisotropía dieléctrica de un mismo tipo de madera, tanto de Pino Ruso como de Pinus Insignis.

a) Caso de ensayo 1: Pino Ruso Vs Pinus Insignis

Se puede afirmar que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en dirección paralela a las fibras de la madera es mayor en el Pino ruso que en Pinus Insignis. Por otra parte, dado que la constante dieléctrica es inversamente proporcional a la velocidad, resulta mayor en el Pinus insignis que en el Pino Ruso, reflejándose asimismo en las gráficas.

En el caso de las amplitudes de la onda electromagnética, tanto la de la onda directa como la de la onda reflejada resultan mayores en el caso del Pino Ruso.

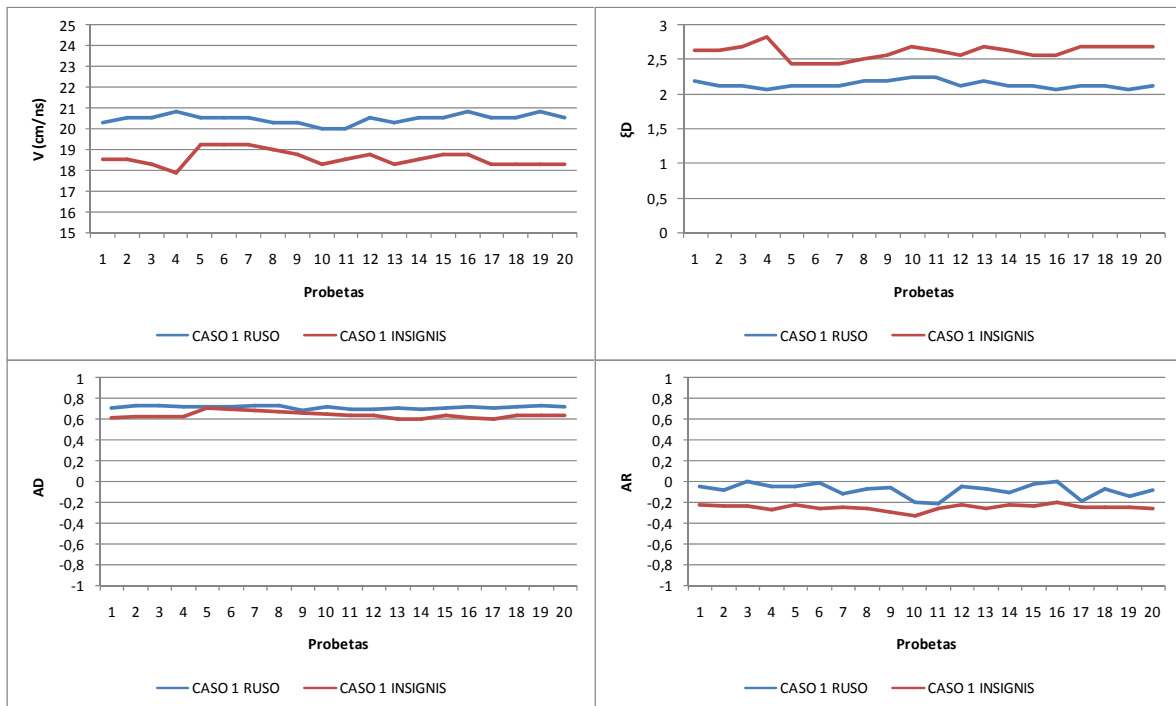


Fig. 25: Análisis gráfico caso de ensayo 1: mediciones en cara con oscilación del campo electromagnético paralela a las fibras

b) Caso de ensayo 2: Pino Ruso Vs Pinus Insignis

En el caso 2 nos encontramos en la misma situación que en el 1, mayores velocidades de propagación y amplitudes para el Pino ruso y una constante dieléctrica mayor para el Pinus Insignis.

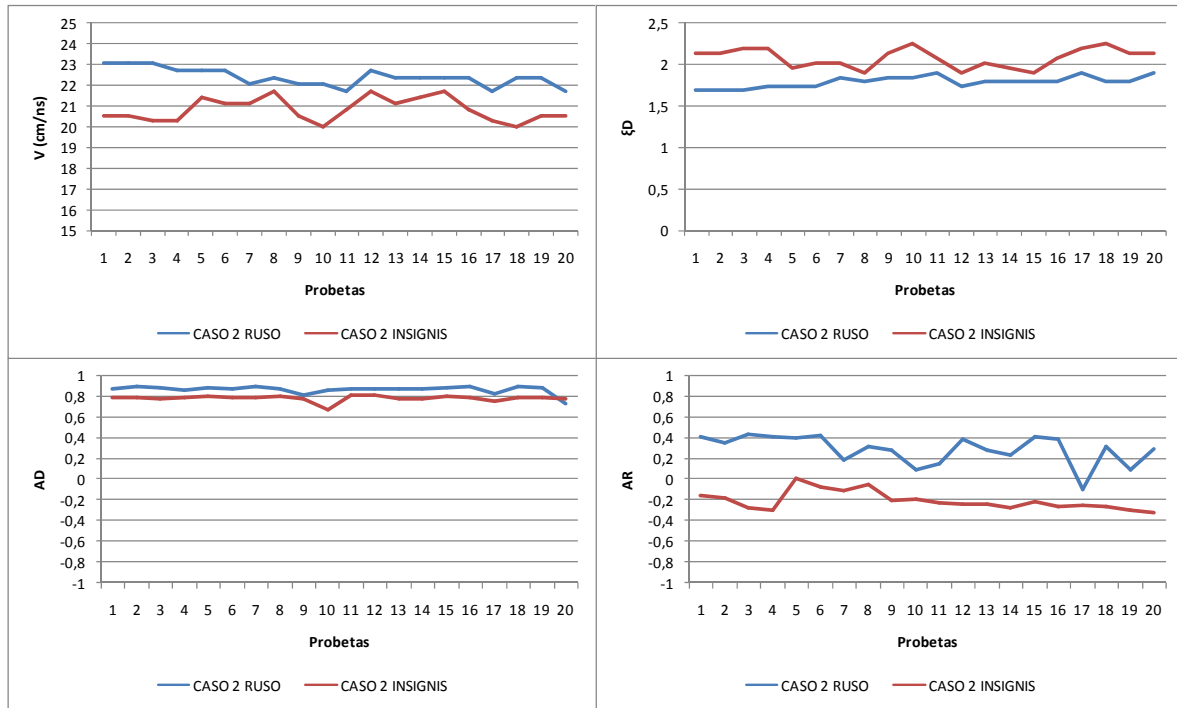


Fig. 26: Análisis gráfico caso de ensayo 2: mediciones en cara con oscilación del campo electromagnético perpendicular a las fibras

Si observamos las gráficas de las amplitudes vemos que en el Pino Ruso se dan mayores resultados que en Insignis.

c) Pino Ruso: Caso 1 Vs caso 2

Analizando los resultados obtenidos se observa que cuando las ondas se propagan en dirección paralela a las fibras (caso 1), sus velocidades y amplitudes resultan menores que cuando lo hacen de forma perpendicular a las fibras. De esta forma la constante dieléctrica resulta mayor cuando el pulso electromagnético se propaga en dirección paralela a las fibras que cuando lo hace en dirección perpendicular.

Si analizamos la relación entre las velocidades de propagación en el Pino Ruso en los casos 1 y 2 (0,915), observamos que es muy similar a la relación que se establece entre las velocidades de propagación en el Pinus Insignis (0,893), lo que evidencia que al tratar las velocidades de propagación y la constante dieléctrica el Pino Ruso y el Pinus Insignis tienen un comportamiento anisótropo similar.

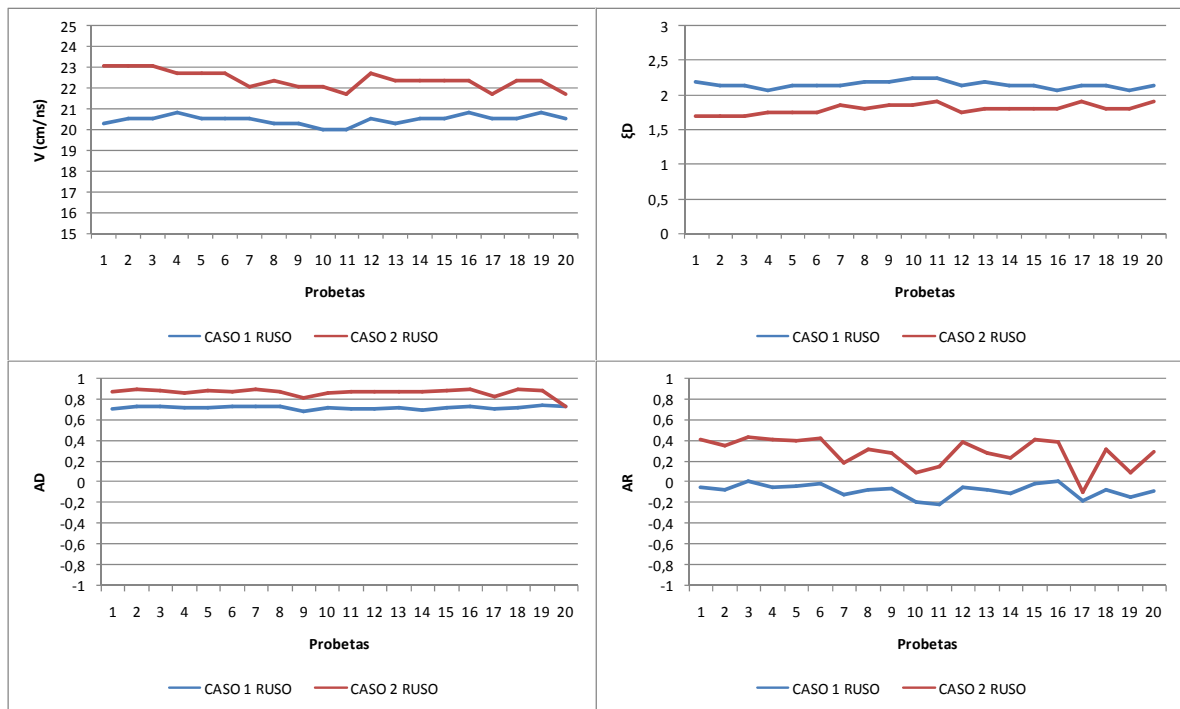


Fig. 27: Análisis gráfico del Pino ruso para los casos de ensayo 1 y 2: Evidencia de la anisotropía dieléctrica de la madera

d) Pinus Insignis: Caso 1 Vs caso 2

En el caso del Pinus Insignis, la interpretación es similar a la anterior, es decir mayores velocidades de propagación y mayores amplitudes cuando el campo electromagnético oscila en dirección perpendicular a las fibras.

Hay que mencionar la importancia del valor de la amplitud de la onda directa. Si observamos las graficas, se ve claramente que el Pino Ruso presenta amplitudes de onda directa levemente superiores a las del Pinus Insignis. De igual forma cuando el campo electromagnético oscila en dirección perpendicular a las fibras también resultan amplitudes de onda directa levemente superiores a cuando oscila en dirección paralela a las fibras. Lo más importante de este análisis de la amplitud de la onda directa no es el hecho de que tenga un valor u otro, sino la estabilidad de los valores recogidos. Se observa que, así como la onda reflejada presenta un conjunto de valores con una mayor dispersión, los valores medidos en la onda directa no tienen apenas dispersión, lo que nos ofrece la posibilidad de efectuar mediciones con un alto grado de fiabilidad en los resultados.

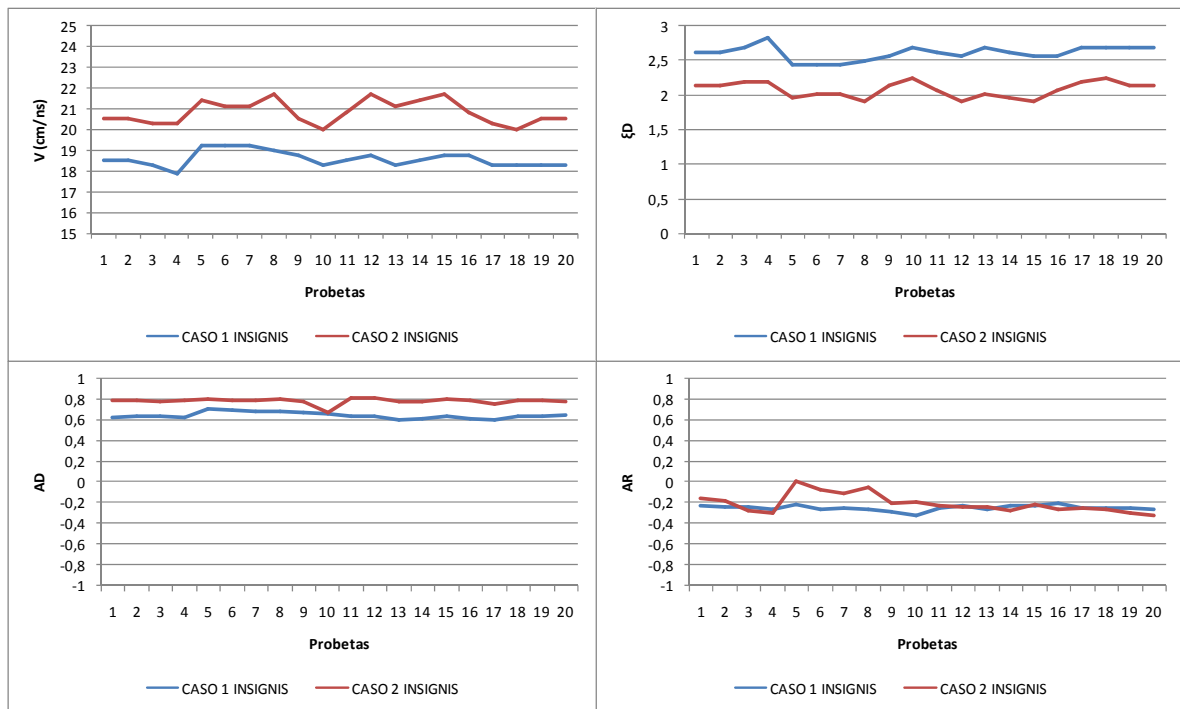


Fig28 x: Análisis gráfico del Pinus Insignis para los casos de ensayo 1 y 2: Evidencia de la anisotropía dieléctrica de la madera

En general se puede decir que el Pino Ruso presenta mayores velocidades y amplitudes que el Pinus Insignis, así como una menor constante dieléctrica. Por otra parte también se puede decir que cuando el campo electromagnético atraviesa la probeta en dirección paralela a las fibras la velocidad de propagación de las ondas y sus amplitudes resultan menores que cuando lo hacen en dirección perpendicular a estas, siendo las diferencias mínimas en un pino y en otro, por lo que se puede afirmar que tienen un comportamiento anisótropo similar.

- **Casos 3 y 4: Ensayos en testa y canto**

En este apartado se va a analizar los datos obtenidos de los ensayos realizados en el canto y en la testa. Se van a tomar las direcciones radial y tangencial a las fibras de la madera, por lo que no se puede garantizar una uniformidad en los resultados obtenidos dentro de una misma madera para distintos casos. Esto se debe a que el corte de las probetas no es idéntico, por lo que puede ser que en una medición en testa nos encontramos con un campo electromagnético en dirección radial a las fibras y, en otra medición en testa, el campo electromagnético tenga una dirección tangencial a las mismas. Para solucionar esta falta de criterio lo que se ha hecho es calcular los valores promedios entre los casos 3 y 4, siendo este nuevo dato el que va a ser fruto de interpretación.

e) Caso 3 y 4: Pino Ruso Vs Pinus Insignis

Al calcular los promedios de los valores de los casos 3 y 4 para la velocidad de propagación se observa claramente que las ondas electromagnéticas se propagan a más velocidad por el Pino Ruso que por el Insignis. Con la constante dieléctrica, lógicamente, ocurre lo contrario, es superior en el Pinus Insignis. Las amplitudes de la onda directa, reflejada y la designada como reflejada 1 son siempre mayores en el Pino Ruso.

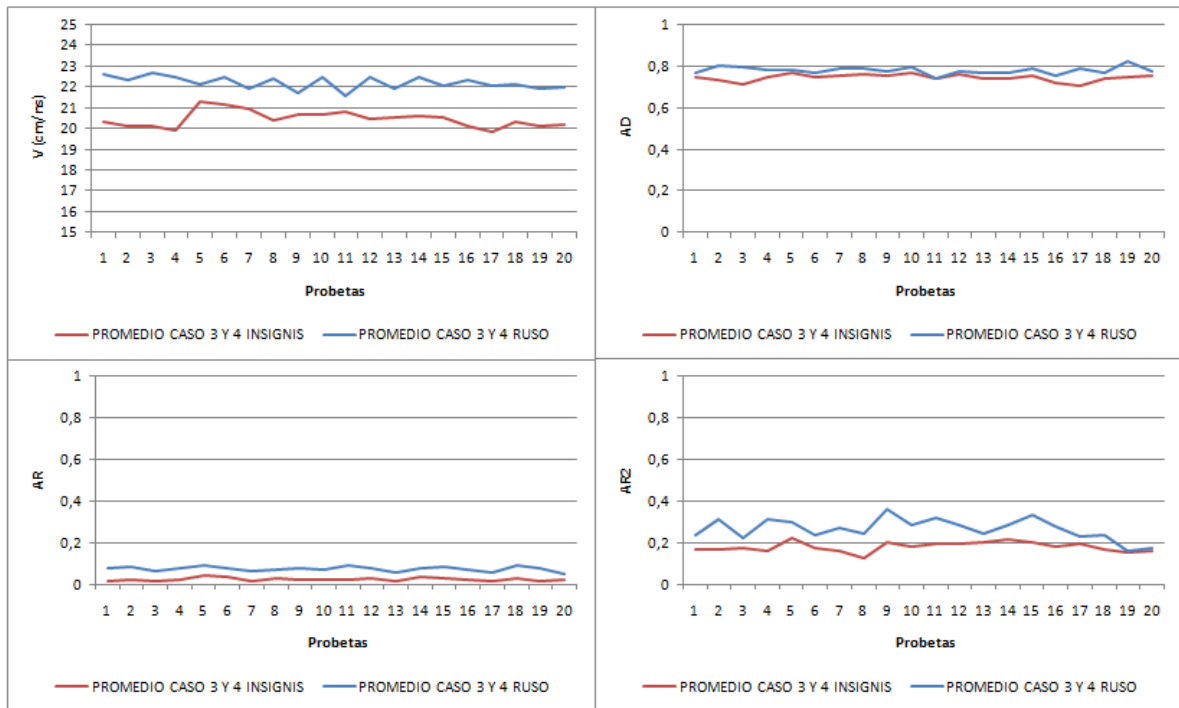


Fig. 29: Análisis gráfico de los casos de ensayo 3 y 4: Pino Ruso y Pinus Insignis

Si nos fijamos en el análisis del caso 2, en el que el campo electromagnético oscila en dirección perpendicular a las fibras, veremos que los valores de velocidad y constante dieléctrica son similares al valor promedio de los casos 3 y 4, tanto para el P. Ruso como para el P. Insignis. Esto se debe a que el campo electromagnético oscila en los tres casos en la misma dirección transversal a la probeta, y por lo tanto los resultados deben de ser similares.

- Valoración global

Después de analizar todos los posibles casos se observa que el Pino Ruso posibilita mayores velocidades de propagación de ondas electromagnéticas que el insignis, lo que implica que también tiene una menor constante dieléctrica. De la misma forma, las amplitudes de los pulsos que atraviesan la madera de Pino Ruso resultan generalmente superiores a las que atraviesan la madera de Pinus Insignis.

Al analizar la anisotropía dieléctrica de los dos tipos de pino, nos damos cuenta que cuando el campo electromagnético se propaga en dirección perpendicular a las fibras los valores de velocidad de propagación dieléctrica son generalmente superiores a cuando se propaga en dirección paralela a las fibras. Con la constante dieléctrica ocurre, lógicamente lo contrario. Con la amplitud en cambio no se puede afirmar lo mismo, ya que el Pinus Insignis no presenta unas diferencias notables de amplitud entre los casos 1 y 2.

4.4.- Estudio comparativo de los resultados con otros proyectos similares

La intención de este apartado es comparar los resultados obtenidos con el análisis de nuestras muestras de madera con otros tipos de muestras que se hayan estudiado en proyectos similares. De esta forma, en un principio se decidió realizar la comparación con los resultados obtenidos del análisis del P. Pinaster, dado que es el tipo de madera más parecida al P. Ruso y al P. Insignis. Esta proposición se tuvo que abortar debido a que ningún grupo había optado por el estudio del P. Pinaster. Como alternativa, se optó por realizar la comparativa con otro pino, la Mobila.

Después de intercambiar información con otros grupos se realizó un análisis gráfico para la comparativa de la Mobila con nuestras muestras.

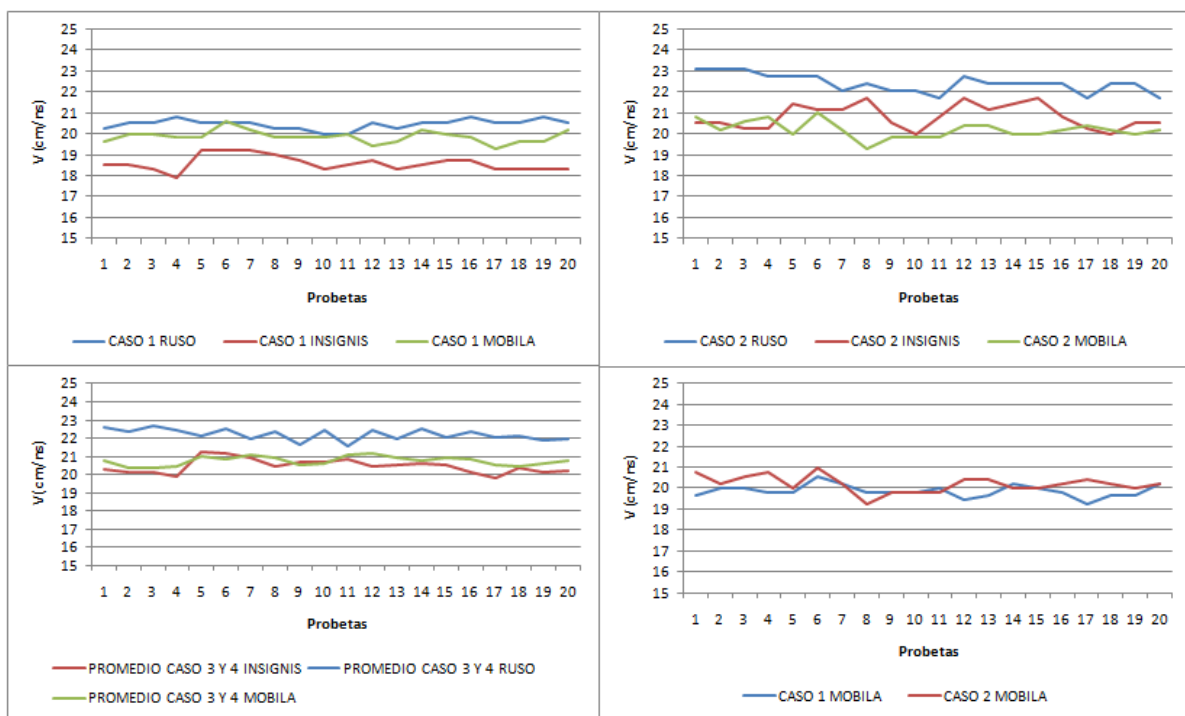


Fig. 30: Análisis gráfico de velocidades de propagación incluyendo la Mobila.

Analizando los gráficos anteriores se puede ver que la Mobila presenta unas velocidades de propagación inferiores en todos los casos al Pino Ruso, mientras que si la comparamos con el P. Insignis, estas velocidades son similares. Es obvio que la constante dieléctrica relativa tendrá valores superiores si la comparamos con la constante dieléctrica del P. Ruso y similares si lo hacemos con el P. Insignis.

Si analizamos la anisotropía dieléctrica de la Mobila observamos que presenta un comportamiento diferente a los otros dos pinos, ya que así como en el P. Ruso y en el P. Insignis si que se evidenciaba claramente la anisotropía dieléctrica de la madera, en la Mobila no se observa tanta diferencia entre las velocidades y las

constantes dieléctricas relativas cuando el campo electromagnético oscila en dirección perpendicular o paralela a las fibras.

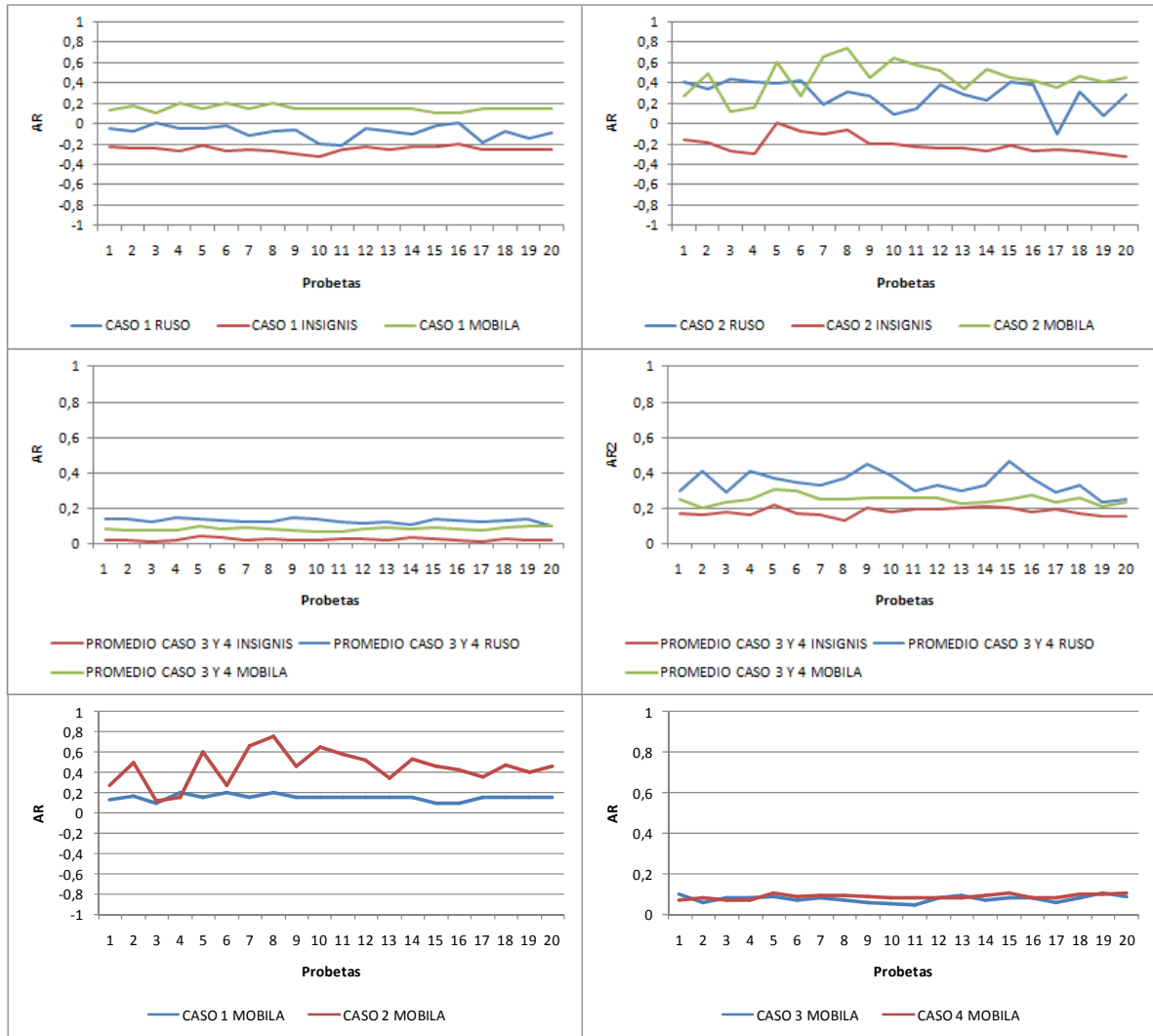


Fig. 31: Análisis gráfico de amplitudes incluyendo la Mobila.

Analizando las amplitudes se desprende que cuando el campo electromagnético oscila en dirección perpendicular a las fibras, al igual que en los otros Pinos estudiados, las amplitudes resultan superiores a cuando lo hace en dirección paralela a las fibras.

También podemos observar que la diferencia de registros entre el caso 1 y el caso 2, donde se evidencia la anisotropía dieléctrica de la madera, es mínima cuando hablamos de velocidades y constantes dieléctricas, resultando en cambio más elevada cuando se comparan amplitudes. Este tipo de comportamiento se corresponde con el que tiene el Pino Ruso cuando se comparan las amplitudes.

5. CONCLUSIONES

Valoración del empleo del georradar como método no destructivo de análisis de materiales

Llegado hasta este punto y teniendo en cuenta que el presente proyecto es nuestra primera toma de contacto con el sistema, podemos valorar el empleo del georradar, por una parte, desde el punto de vista de la información que nos aporta cuando lo utilizamos para analizar la madera estructural utilizada en la construcción. Según la forma de trabajo que hemos seguido en el presente proyecto no nos es muy útil ya que, durante nuestro desarrollo del proceso experimental los ensayos se han establecido como lecturas estáticas. De esta forma lo que obtenemos son datos globales sobre la calidad de un tipo de madera y no sobre el estado de una determinada muestra o probeta.

Si en lugar de medidas puntuales se realizaran perfiles, obtendríamos una información que si que sería útil como método de análisis no destructivo de la madera estructural.

Hay que tener en cuenta que el proyecto se ha definido con unos objetivos, siendo uno de los principales evidenciar la anisotropía dieléctrica de la madera, y se puede decir que el georradar si que es un medio adecuado para este tipo de análisis. Se estima que para obtener unos resultados más fiables se deberían de aumentar el número de muestras a analizar, pero somos conscientes que la limitación de tiempo hace este hecho imposible.

El grado de fiabilidad del georradar parece ser bastante elevado, aunque se ve afectado claramente por el factor humano. Esto hace que el estudio de cualquier tipo de madera mediante esta técnica, el cual puede motivar su rechazo o aceptación, deba de ser precedido por una rigurosa metodología en la que se cumplan todos los requisitos necesarios para que los errores humanos no sean significativos. Aunque no es nuestro caso, ya que no hemos trabajado con obtención de perfiles, tras trabajar con el sistema de georradar creemos que este sería muy útil para establecer si una determinada pieza de madera está en condiciones para poder hacer uso de ella o si se debe sustituir finalmente por alguna anomalía que pudiera tener en su interior difícil de poder observar a simple vista.

Por lo que respecta a la facilidad para realizar las mediciones con el georradar, al ser un sistema pequeño y ligero no hubo problema a la hora de manejarlo y desplazar la antena por las diferentes caras de las probetas. La información obtenida en las mediciones es fácilmente tratable mediante el software Radan, permitiendo una provechosa obtención de datos a partir de los registros.

El único inconveniente que se puede mencionar es, como ya se ha comentado antes, el excesivo peso del factor humano, tanto a la hora de realizar las mediciones como cuando se analizan los registros mediante el Radan. Por esto creemos que el sistema ganaría fiabilidad si se mecanizara la obtención de registros, o si por

ejemplo se automatizara el software Radan mediante alguna aplicación de tratamiento de gráficos que permitiera analizar los puntos característicos de la onda electromagnética registrada.

Tras la utilización del programa Radan, consideramos que con el elevado coste que tiene no es un programa muy desarrollado, pudiéndose mejorar mucho mediante la inclusión de herramientas de cálculo.

En general se puede decir que el sistema de georradar ofrece unos resultados satisfactorios como método de análisis no destructivo de materiales, los cuales pueden dar información muy fiable siempre que el equipo humano que lo gestione este preparado y posea la experiencia que requiere su correcto manejo.

Se propone por nuestra parte que en futuros proyectos se plantee la posibilidad de la obtención y análisis de perfiles sobre muestras de maderas puestas en servicio, de forma que se vea la aplicabilidad del sistema de georradar al mundo de la construcción.

BIBLIOGRAFIA:

- Documentación aportada por: Isabel Rodríguez Abad y Rosa María Martínez Sala
 - o Situación actual del empleo de la madera estructural en edificación
 - o Técnicas semi-destructivas de inspección y diagnóstico de la madera estructural
 - o Técnicas no destructivas de inspección y diagnóstico de la madera estructural
 - o El georradar
 - o Principales propiedades de la madera estructural
 - o Calibración del equipo y métodos de adquisición de registros
 - o Wave parameter analysis of dielectric anisotropy in *maritime pine* timber using gpr
 - o Analysis of dielectric anisotropy in *pinus pinaster ait* by the gpr technique
 - o Evaluación de la madera estructural para la rehabilitación naves cros (valencia, España) por medio de diferentes técnicas no destructivas.
 - o Teoría de propagación de ondas
 - o Aplicación de la técnica no destructiva del georradar a la inspección en edificación
 - o Manual Georradar sir 3000 (antena Palm de 2 GHz)
 - o Manual Radan V. 6.6. Geophysical Survey Systems, 2009
- BURBANO DE ERCILLA, S.: Física general. Mira editores, Zaragoza, 1993
- ISO 4469:1981 "Determinación de encogimiento radial y tangencial"
- Normativa UNE de referencia (véase anexo VI)

Sitios web:

- <http://quimicasthai.wordpress.com/category/madera-wood/page/5/>
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/madera/default4.asp
- <http://www.geophysical.com/>

ANEXO I

Tablas de registros y casos de ensayo

Ensayos con reflector metálico en la base de la probeta (INSIGNIS)															
Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG
1	1	l1	11	21	2	l1	1	41	3	l1	121	61	4	l1	71
2	1	l2	12	22	2	l2	2	42	3	l2	122	62	4	l2	72
3	1	l3	13	23	2	l3	3	43	3	l3	123	63	4	l3	73
4	1	l4	14	24	2	l4	4	44	3	l4	124	64	4	l4	74
5	1	l5	15	25	2	l5	5	45	3	l5	125	65	4	l5	75
6	1	l6	16	26	2	l6	6	46	3	l6	126	66	4	l6	76
7	1	l7	17	27	2	l7	7	47	3	l7	127	67	4	l7	77
8	1	l8	18	28	2	l8	8	48	3	l8	128	68	4	l8	78
9	1	l9	19	29	2	l9	9	49	3	l9	129	69	4	l9	79
10	1	l10	20	30	2	l10	10	50	3	l10	130	70	4	l10	80
11	1	l11	51	31	2	l11	61	51	3	l11	131	71	4	l11	141
12	1	l12	52	32	2	l12	62	52	3	l12	132	72	4	l12	142
13	1	l13	53	33	2	l13	63	53	3	l13	133	73	4	l13	143
14	1	l14	54	34	2	l14	64	54	3	l14	134	74	4	l14	144
15	1	l15	55	35	2	l15	65	55	3	l15	135	75	4	l15	145
16	1	l16	56	36	2	l16	66	56	3	l16	136	76	4	l16	146
17	1	l17	57	37	2	l17	67	57	3	l17	137	77	4	l17	147
18	1	l18	58	38	2	l18	68	58	3	l18	138	78	4	l18	148
19	1	l19	59	39	2	l19	69	59	3	l19	139	79	4	l19	149
20	1	l20	60	40	2	l20	70	60	3	l20	140	80	4	l20	150

Ensayos sin reflector metálico en la base de la probeta (INSIGNIS)															
Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG
81	1	l1	41	101	2	l1	31	121	3	l1	101	141	4	l1	91
82	1	l2	42	102	2	l2	32	122	3	l2	102	142	4	l2	92
83	1	l3	43	103	2	l3	33	123	3	l3	103	143	4	l3	93
84	1	l4	44	104	2	l4	34	124	3	l4	104	144	4	l4	94
85	1	l5	45	105	2	l5	35	125	3	l5	105	145	4	l5	95
86	1	l6	46	106	2	l6	36	126	3	l6	106	146	4	l6	96
87	1	l7	47	107	2	l7	37	127	3	l7	107	147	4	l7	97
88	1	l8	48	108	2	l8	38	128	3	l8	108	148	4	l8	98
89	1	l9	49	109	2	l9	39	129	3	l9	109	149	4	l9	99
90	1	l10	50	110	2	l10	40	130	3	l10	110	150	4	l10	100
91	1	l11	21	111	2	l11	151	131	3	l11	111	151	4	l11	81
92	1	l12	22	112	2	l12	152	132	3	l12	112	152	4	l12	82
93	1	l13	23	113	2	l13	153	133	3	l13	113	153	4	l13	83
94	1	l14	24	114	2	l14	154	134	3	l14	114	154	4	l14	84
95	1	l15	25	115	2	l15	155	135	3	l15	115	155	4	l15	85
96	1	l16	26	116	2	l16	156	136	3	l16	116	156	4	l16	86
97	1	l17	27	117	2	l17	157	137	3	l17	117	157	4	l17	87
98	1	l18	28	118	2	l18	158	138	3	l18	118	158	4	l18	88
99	1	l19	29	119	2	l19	159	139	3	l19	119	159	4	l19	89
100	1	l20	30	120	2	l20	160	140	3	l20	120	160	4	l20	90

Ensayos con reflector metálico en la base de la probeta (RUSO)															
Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG
161	1	R1	65	181	2	R1	75	201	3	R1	185	221	4	R1	195
162	1	R2	66	182	2	R2	76	202	3	R2	186	222	4	R2	196
163	1	R3	67	183	2	R3	77	203	3	R3	187	223	4	R3	197
164	1	R4	68	184	2	R4	78	204	3	R4	188	224	4	R4	198
165	1	R5	69	185	2	R5	79	205	3	R5	189	225	4	R5	199
166	1	R6	70	186	2	R6	80	206	3	R6	190	226	4	R6	200
167	1	R7	71	187	2	R7	81	207	3	R7	191	227	4	R7	201
168	1	R8	72	188	2	R8	82	208	3	R8	192	228	4	R8	202
169	1	R9	73	189	2	R9	83	209	3	R9	193	229	4	R9	203
170	1	R10	74	190	2	R10	84	210	3	R10	194	230	4	R10	204
171	1	R11	85	191	2	R11	95	211	3	R11	215	231	4	R11	205
172	1	R12	86	192	2	R12	96	212	3	R12	216	232	4	R12	206
173	1	R13	87	193	2	R13	97	213	3	R13	217	233	4	R13	207
174	1	R14	88	194	2	R14	98	214	3	R14	218	234	4	R14	208
175	1	R15	89	195	2	R15	99	215	3	R15	219	235	4	R15	209
176	1	R16	90	196	2	R16	100	216	3	R16	221	236	4	R16	210
177	1	R17	91	197	2	R17	101	217	3	R17	222	237	4	R17	211
178	1	R18	92	198	2	R18	102	218	3	R18	223	238	4	R18	212
179	1	R19	93	199	2	R19	103	219	3	R19	224	239	4	R19	213
180	1	R20	94	200	2	R20	104	220	3	R20	225	240	4	R20	214

Ensayos sin reflector metálico en la base de la probeta (RUSO)															
Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG	Nº	CASO	MUE	REG
241	1	R1	115	261	2	R1	105	281	3	R1	135	301	4	R1	125
242	1	R2	116	262	2	R2	106	282	3	R2	136	302	4	R2	126
243	1	R3	117	263	2	R3	107	283	3	R3	137	303	4	R3	127
244	1	R4	118	264	2	R4	108	284	3	R4	138	304	4	R4	128
245	1	R5	119	265	2	R5	109	285	3	R5	139	305	4	R5	129
246	1	R6	120	266	2	R6	110	286	3	R6	140	306	4	R6	130
247	1	R7	121	267	2	R7	111	287	3	R7	141	307	4	R7	131
248	1	R8	122	268	2	R8	112	288	3	R8	142	308	4	R8	132
249	1	R9	123	269	2	R9	113	289	3	R9	143	309	4	R9	133
250	1	R10	124	270	2	R10	114	290	3	R10	144	310	4	R10	134
251	1	R11	145	271	2	R11	155	291	3	R11	175	311	4	R11	165
252	1	R12	146	272	2	R12	156	292	3	R12	176	312	4	R12	166
253	1	R13	147	273	2	R13	157	293	3	R13	177	313	4	R13	167
254	1	R14	148	274	2	R14	158	294	3	R14	178	314	4	R14	168
255	1	R15	149	275	2	R15	159	295	3	R15	179	315	4	R15	169
256	1	R16	150	276	2	R16	160	296	3	R16	180	316	4	R16	170
257	1	R17	151	277	2	R17	161	297	3	R17	181	317	4	R17	171
258	1	R18	152	278	2	R18	162	298	3	R18	182	318	4	R18	172
259	1	R19	153	279	2	R19	163	299	3	R19	183	319	4	R19	173
260	1	R20	154	280	2	R20	164	300	3	R20	184	320	4	R20	174

ANEXO II

Tablas de datos

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Ruso	CASO DE ENSAYO	1 Cara paralela	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	1
----------------	-----------	-----------------------	-----------------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: ILE_065 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 /mark: 0

DiellConstant: 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

Vert IIR HP N =1 F =500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack TC =20

Save Save As Export Header Cancel Help

Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	Δt_{D-R2}	V_{D-R}	V_{D-R2}	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A_D	A_R	A_{R2}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns									
1	81	65	15,00	1,940	2,680		0,740		20,270		2,190		2040	-151		0,703	-0,052	
2	82	66	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2106	-223		0,726	-0,077	
3	83	67	15,00	1,940	2,670		0,730		20,548		2,132		2123	16		0,732	0,005	
4	84	68	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2073	-151		0,715	-0,052	
5	85	69	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2073	-120		0,715	-0,041	
6	86	70	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2090	-36		0,721	-0,013	
7	87	71	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2106	-348		0,726	-0,120	
8	88	72	15,00	1,950	2,690		0,740		20,270		2,190		2106	-213		0,726	-0,073	
9	89	73	15,00	1,950	2,690		0,740		20,270		2,190		1973	-181		0,680	-0,063	
10	90	74	15,00	1,950	2,700		0,750		20,000		2,250		2073	-566		0,715	-0,195	
11	91	85	15,00	1,940	2,690		0,750		20,000		2,250		2023	-628		0,698	-0,217	
12	92	86	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2023	-151		0,698	-0,052	
13	93	87	15,00	1,960	2,700		0,740		20,270		2,190		2056	-213		0,709	-0,073	
14	94	88	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2006	-306		0,692	-0,106	
15	95	89	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2056	-57		0,709	-0,020	
16	96	90	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2090	5		0,721	0,002	
17	97	91	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2040	-535		0,703	-0,184	
18	98	92	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2073	-213		0,715	-0,073	
19	99	93	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2140	-410		0,738	-0,141	
20	100	94	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2090	-244		0,721	-0,084	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Ruso			CASO DE ENSAYO			1 Cara paralela				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		1
Media 1				1,955	2,687				20,480		2,147		2068	-236				
Desviación típica				0,009	0,009				0,236		0,050		42	183				
Rango			Superior	1,972	2,704				20,953		2,247		2151	129				
Rango			Inferior	1,937	2,670				20,008		2,046		1985	-601				
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	81	65	15,00	1,940	2,680		0,740		20,270		2,190		2040	-151		0,703	-0,052	
2	82	66	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2106	-223		0,726	-0,077	
3	83	67	15,00	1,940	2,670		0,730		20,548		2,132		2123	16		0,732	0,005	
4	84	68	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2073	-151		0,715	-0,052	
5	85	69	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2073	-120		0,715	-0,041	
6	86	70	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2090	-36		0,721	-0,013	
7	87	71	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2106	-348		0,726	-0,120	
8	88	72	15,00	1,950	2,690		0,740		20,270		2,190		2106	-213		0,726	-0,073	
9	89	73	15,00	1,950	2,690		0,740		20,270		2,190		1973	-181		0,680	-0,063	
10	90	74	15,00	1,950	2,700		0,750		20,000		2,250		2073	-566		0,715	-0,195	
11	91	85	15,00	1,940	2,690		0,750		20,000		2,250		2023	-628		0,698	-0,217	
12	92	86	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2023	-151		0,698	-0,052	
13	93	87	15,00	1,960	2,700		0,740		20,270		2,190		2056	-213		0,709	-0,073	
14	94	88	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2006	-306		0,692	-0,106	
15	95	89	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2056	-57		0,709	-0,020	
16	96	90	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2090	5		0,721	0,002	
17	97	91	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2040	-535		0,703	-0,184	
18	98	92	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2073	-213		0,715	-0,073	
19	99	93	15,00	1,960	2,680		0,720		20,833		2,074		2140	-410		0,738	-0,141	
20	100	94	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2090	-244		0,721	-0,084	
Media 2		Nº Reg validos	17	1,956	2,686		0,730		20,549		2,132		2076	-197		0,716	-0,068	

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Ruso	CASO DE ENSAYO	2 Cara perpendicular	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	2
----------------	-----------	-----------------------	----------------------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: ILE_075 Created Apr. 08 2011, 11:05:16 Modified Apr. 08 2011, 11:05:22

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/ m: 120

m /mark: 0

DiellConstant: 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

Vert IIR HP N = 1 F = 500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack: TC = 20

Buttons: 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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns									
1	101	75	15,00	1,940	2,590		0,650		23,077		1,690		2508	1182		0,865	0,408	
2	102	76	15,00	1,960	2,610		0,650		23,077		1,690		2575	1003		0,888	0,346	
3	103	77	15,00	1,960	2,610		0,650		23,077		1,690		2541	1254		0,876	0,432	
4	104	78	15,00	1,960	2,620		0,660		22,727		1,742		2491	1187		0,859	0,409	
5	105	79	15,00	1,950	2,610		0,660		22,727		1,742		2558	1137		0,882	0,392	
6	106	80	15,00	1,950	2,610		0,660		22,727		1,742		2508	1220		0,865	0,421	
7	107	81	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2575	535		0,888	0,184	
8	108	82	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2524	919		0,870	0,317	
9	109	83	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2341	802		0,807	0,277	
10	110	84	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2491	267		0,859	0,092	
11	111	95	15,00	1,940	2,630		0,690		21,739		1,904		2508	435		0,865	0,150	
12	112	96	15,00	1,960	2,620		0,660		22,727		1,742		2524	1103		0,870	0,380	
13	113	97	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2524	819		0,870	0,282	
14	114	98	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2500	685		0,862	0,236	
15	115	99	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2558	1187		0,882	0,409	
16	116	100	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2575	1103		0,888	0,380	
17	117	101	15,00	1,950	2,640		0,690		21,739		1,904		2369	-279		0,817	-0,096	
18	118	102	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2575	903		0,888	0,311	
19	119	103	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2558	246		0,882	0,085	
20	120	104	15,00	1,940	2,630		0,690		21,739		1,904		2106	836		0,726	0,288	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Ruso			CASO DE ENSAYO			2 Cara perpendicular				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		2
Media 1				1,951	2,620				22,413		1,794		2495	827				
Desviación típica				0,006	0,011				0,427		0,068		111	407				
Rango			Superior	1,963	2,642				23,266		1,930		2717	1642				
Rango			Inferior	1,938	2,598				21,559		1,657		2274	13				
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	101	75	15,00	1,940	2,590		0,650		23,077		1,690		2508	1182		0,865	0,408	
2	102	76	15,00	1,960	2,610		0,650		23,077		1,690		2575	1003		0,888	0,346	
3	103	77	15,00	1,960	2,610		0,650		23,077		1,690		2541	1254		0,876	0,432	
4	104	78	15,00	1,960	2,620		0,660		22,727		1,742		2491	1187		0,859	0,409	
5	105	79	15,00	1,950	2,610		0,660		22,727		1,742		2558	1137		0,882	0,392	
6	106	80	15,00	1,950	2,610		0,660		22,727		1,742		2508	1220		0,865	0,421	
7	107	81	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2575	535		0,888	0,184	
8	108	82	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2524	919		0,870	0,317	
9	109	83	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2341	802		0,807	0,277	
10	110	84	15,00	1,950	2,630		0,680		22,059		1,850		2491	267		0,859	0,092	
11	111	95	15,00	1,940	2,630		0,690		21,739		1,904		2508	435		0,865	0,150	
12	112	96	15,00	1,960	2,620		0,660		22,727		1,742		2524	1103		0,870	0,380	
13	113	97	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2524	819		0,870	0,282	
14	114	98	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2500	685		0,862	0,236	
15	115	99	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2558	1187		0,882	0,409	
16	116	100	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2575	1103		0,888	0,380	
17	117	101	15,00	1,950	2,640		0,690		21,739		1,904		2369	-279		0,817	-0,096	
18	118	102	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2575	903		0,888	0,311	
19	119	103	15,00	1,950	2,620		0,670		22,388		1,796		2558	246		0,882	0,085	
20	120	104	15,00	1,940	2,630		0,690		21,739		1,904		2106	836		0,726	0,288	
Media 2		Nº Reg validos	17	1,952	2,620		0,668		22,453		1,787		2525	871		0,871	0,300	

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Insignis	CASO DE ENSAYO	1 Cara paralela	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	3
----------------	---------------	-----------------------	-----------------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: ILE_060 Created Apr. 08 2011, 13:00:20 Modified Apr. 08 2011, 13:00:26

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/ m: 120

m /mark: 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

Vert IIR HP N=1 F=500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack: TC=20

Buttons: 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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns									
1	1	11	15,00	1,980	2,790		0,810		18,519		2,624		1789	-665		0,617	-0,229	
2	2	12	15,00	1,990	2,800		0,810		18,519		2,624		1822	-694		0,628	-0,239	
3	3	13	15,00	1,990	2,810		0,820		18,293		2,690		1822	-694		0,628	-0,239	
4	4	14	15,00	1,980	2,820		0,840		17,857		2,822		1806	-784		0,623	-0,270	
5	5	15	15,00	1,980	2,760		0,780		19,231		2,434		2040	-635		0,703	-0,219	
6	6	16	15,00	1,990	2,770		0,780		19,231		2,434		2006	-764		0,692	-0,263	
7	7	17	15,00	1,980	2,760		0,780		19,231		2,434		1973	-724		0,680	-0,250	
8	8	18	15,00	1,980	2,770		0,790		18,987		2,496		1956	-764		0,674	-0,263	
9	9	19	15,00	1,980	2,780		0,800		18,750		2,560		1923	-853		0,663	-0,294	
10	10	20	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1889	-952		0,651	-0,328	
11	11	51	15,00	1,950	2,760		0,810		18,519		2,624		1850	-744		0,638	-0,257	
12	12	52	15,00	1,960	2,760		0,800		18,750		2,560		1839	-665		0,634	-0,229	
13	13	53	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1739	-754		0,600	-0,260	
14	14	54	15,00	1,950	2,760		0,810		18,519		2,624		1755	-665		0,605	-0,229	
15	15	55	15,00	1,970	2,770		0,800		18,750		2,560		1839	-675		0,634	-0,233	
16	16	56	15,00	1,970	2,770		0,800		18,750		2,560		1772	-595		0,611	-0,205	
17	17	57	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1739	-722		0,600	-0,249	
18	18	58	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1838	-724		0,634	-0,250	
19	19	59	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1839	-722		0,634	-0,249	
20	20	60	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1856	-754		0,640	-0,260	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Insignis			CASO DE ENSAYO			1 Cara paralela				USO DE REFLECTOR			Si		Nº HOJA		3
Media 1				1,974	2,781				18,583		2,609		1854	-727					
Desviación típica				0,011	0,018				0,375		0,104		86	78					
Rango			Superior	1,996	2,816				19,332		2,818		2026	-570					
Rango			Inferior	1,951	2,746				17,834		2,401		1682	-884					
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	V _{D-R}	V _{D-R2}	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}	
1		11	15,00	1,980	2,790		0,810		18,519		2,624		1789	-665		0,617	-0,229		
2		12	15,00	1,990	2,800		0,810		18,519		2,624		1822	-694		0,628	-0,239		
3		13	15,00	1,990	2,810		0,820		18,293		2,690		1822	-694		0,628	-0,239		
4		14	15,00	1,980	2,820		0,840		17,857		2,822		1806	-784		0,623	-0,270		
5		15	15,00	1,980	2,760		0,780		19,231		2,434		2040	-635		0,703	-0,219		
6		16	15,00	1,990	2,770		0,780		19,231		2,434		2006	-764		0,692	-0,263		
7		17	15,00	1,980	2,760		0,780		19,231		2,434		1973	-724		0,680	-0,250		
8		18	15,00	1,980	2,770		0,790		18,987		2,496		1956	-764		0,674	-0,263		
9		19	15,00	1,980	2,780		0,800		18,750		2,560		1923	-853		0,663	-0,294		
10		20	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1889	-952		0,651	-0,328		
11		51	15,00	1,950	2,760		0,810		18,519		2,624		1850	-744		0,638	-0,257		
12		52	15,00	1,960	2,760		0,800		18,750		2,560		1839	-665		0,634	-0,229		
13		53	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1739	-754		0,600	-0,260		
14		54	15,00	1,950	2,760		0,810		18,519		2,624		1755	-665		0,605	-0,229		
15		55	15,00	1,970	2,770		0,800		18,750		2,560		1839	-675		0,634	-0,233		
16		56	15,00	1,970	2,770		0,800		18,750		2,560		1772	-595		0,611	-0,205		
17		57	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1739	-722		0,600	-0,249		
18		58	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1838	-724		0,634	-0,250		
19		59	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1839	-722		0,634	-0,249		
20		60	15,00	1,970	2,790		0,820		18,293		2,690		1856	-754		0,640	-0,260		
Media 2		Nº Reg validos	15	1,976	2,782		0,806		18,610		2,599		1850	-718		0,638	-0,248		

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Insignis	CASO DE ENSAYO	2 Cara perpendicular	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	4
----------------	---------------	-----------------------	----------------------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME ILE_009 Created Apr, 08 2011, 12:43:44 Modified Apr, 08 2011, 12:43:50

Channel(s) 1

samp/scan 512

bits/sample 16

scans/sec 100

scans/ m 120

m /mark 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

Vert IIR HP N =1 F =500 MHz Depth (m) 0.367423

Horz IIR Stack TC =20

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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns									
1	21	1	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2290	-466		0,790	-0,161	
2	22	2	15,00	1,980	2,710		0,730		20,548		2,132		2290	-536		0,790	-0,185	
3	23	3	15,00	1,980	2,720		0,740		20,270		2,190		2240	-794		0,772	-0,274	
4	24	4	15,00	1,990	2,730		0,740		20,270		2,190		2274	-873		0,784	-0,301	
5	25	5	15,00	1,980	2,680		0,700		21,429		1,960		2307	20		0,796	0,007	
6	26	6	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2290	-218		0,790	-0,075	
7	27	7	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2290	-308		0,790	-0,106	
8	28	8	15,00	1,990	2,680		0,690		21,739		1,904		2307	-169		0,796	-0,058	
9	29	9	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2227	-595		0,768	-0,205	
10	30	10	15,00	1,980	2,730		0,750		20,000		2,250		1923	-565		0,663	-0,195	
11	31	61	15,00	1,950	2,670		0,720		20,833		2,074		2341	-665		0,807	-0,229	
12	32	62	15,00	1,960	2,650		0,690		21,739		1,904		2341	-694		0,807	-0,239	
13	33	63	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2240	-694		0,772	-0,239	
14	34	64	15,00	1,980	2,680		0,700		21,429		1,960		2257	-794		0,778	-0,274	
15	35	65	15,00	1,970	2,660		0,690		21,739		1,904		2307	-635		0,796	-0,219	
16	36	66	15,00	1,940	2,660		0,720		20,833		2,074		2290	-764		0,790	-0,263	
17	37	67	15,00	1,940	2,680		0,740		20,270		2,190		2173	-724		0,749	-0,250	
18	38	68	15,00	1,940	2,690		0,750		20,000		2,250		2274	-764		0,784	-0,263	
19	39	69	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2274	-863		0,784	-0,298	
20	40	70	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2240	-952		0,772	-0,328	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Insignis			CASO DE ENSAYO			2 Cara perpendicular				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		4
Media 1				1,969	2,689				20,834		2,078		2259	-603				
Desviación típica				0,017	0,022				0,570		0,113		88	257				
Rango			Superior	2,002	2,732				21,974		2,303		2435	-88				
Rango			Inferior	1,935	2,646				19,693		1,853		2082	-1117				
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	21	1	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2290	-466	0	0,790	-0,161	
2	22	2	15,00	1,980	2,710		0,730		20,548		2,132		2290	-536	0	0,790	-0,185	
3	23	3	15,00	1,980	2,720		0,740		20,270		2,190		2240	-794	0	0,772	-0,274	
4	24	4	15,00	1,990	2,730		0,740		20,270		2,190		2274	-873	0	0,784	-0,301	
5	25	5	15,00	1,980	2,680		0,700		21,429		1,960		2307	20	0	0,796	0,007	
6	26	6	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2290	-218	0	0,790	-0,075	
7	27	7	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2290	-308	0	0,790	-0,106	
8	28	8	15,00	1,990	2,680		0,690		21,739		1,904		2307	-169	0	0,796	-0,058	
9	29	9	15,00	1,970	2,700		0,730		20,548		2,132		2227	-595	0	0,768	-0,205	
10	30	10	15,00	1,980	2,730		0,750		20,000		2,250		1923	-565	0	0,663	-0,195	
11	31	61	15,00	1,950	2,670		0,720		20,833		2,074		2341	-665	0	0,807	-0,229	
12	32	62	15,00	1,960	2,650		0,690		21,739		1,904		2341	-694	0	0,807	-0,239	
13	33	63	15,00	1,980	2,690		0,710		21,127		2,016		2240	-694	0	0,772	-0,239	
14	34	64	15,00	1,980	2,680		0,700		21,429		1,960		2257	-794	0	0,778	-0,274	
15	35	65	15,00	1,970	2,660		0,690		21,739		1,904		2307	-635	0	0,796	-0,219	
16	36	66	15,00	1,940	2,660		0,720		20,833		2,074		2290	-764	0	0,790	-0,263	
17	37	67	15,00	1,940	2,680		0,740		20,270		2,190		2173	-724	0	0,749	-0,250	
18	38	68	15,00	1,940	2,690		0,750		20,000		2,250		2274	-764	0	0,784	-0,263	
19	39	69	15,00	1,950	2,680		0,730		20,548		2,132		2274	-863	0	0,784	-0,298	
20	40	70	15,00	1,960	2,690		0,730		20,548		2,132		2240	-952	0	0,772	-0,328	
Media 2		Nº Reg validos	18	1,967	2,687		0,720		20,833		2,074		2275	-639	0	0,784	-0,220	

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Insignis	CASO DE ENSAYO	3 Testa	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	5
----------------	---------------	-----------------------	---------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: FILE_140 Created Apr, 08 2011, 13:31:56 Modified Apr, 08 2011, 13:32:02

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/ m: 120

m /mark: 0

DiellConstant: 6

Channel Information

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

Vert IIR HP N =1 F =500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack TC =20

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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns									
1	41	121	50,00	1,940	4,420	4,900	2,480		20,161		2,214		2113	57	452	0,729	0,020	0,156
2	42	122	50,00	1,950	4,470	4,900	2,520		19,841		2,286		2113	67	462	0,729	0,023	0,159
3	43	123	50,00	1,940	4,460	4,950	2,520		19,841		2,286		1916	47	452	0,661	0,016	0,156
4	44	124	50,00	1,960	4,520	5,010	2,560		19,531		2,359		2123	36	358	0,732	0,013	0,123
5	45	125	50,00	1,940	4,270	4,760	2,330		21,459		1,954		2196	140	514	0,757	0,048	0,177
6	46	126	50,00	1,950	4,300	4,820	2,350		21,277		1,988		2092	99	452	0,721	0,034	0,156
7	47	127	50,00	1,940	4,350	4,800	2,410		20,747		2,091		2154	47	431	0,743	0,016	0,149
8	48	128	50,00	1,950	4,460	4,890	2,510		19,920		2,268		2175	47	379	0,750	0,016	0,131
9	49	129	50,00	1,950	4,410	4,810	2,460		20,325		2,179		2175	26	545	0,750	0,009	0,188
10	50	130	50,00	1,950	4,360	4,840	2,410		20,747		2,091		2175	67	462	0,750	0,023	0,159
11	51	131	50,00	1,930	4,330	4,850	2,400		20,833		2,074		2092	57	555	0,721	0,020	0,192
12	52	132	50,00	1,940	4,460	4,950	2,520		19,841		2,286		2134	47	379	0,736	0,016	0,131
13	53	133	50,00	1,950	4,410	4,870	2,460		20,325		2,179		2113	57	555	0,729	0,020	0,192
14	54	134	50,00	1,940	4,440	4,910	2,500		20,000		2,250		2092	36	535	0,721	0,013	0,184
15	55	135	50,00	1,950	4,400	4,870	2,450		20,408		2,161		2090	84	535	0,721	0,029	0,184
16	56	136	50,00	1,940	4,510	4,990	2,570		19,455		2,378		2019	11	493	0,696	0,004	0,170
17	57	137	50,00	1,940	4,470	4,970	2,530		19,763		2,304		2051	5	474	0,707	0,002	0,163
18	58	138	50,00	1,960	4,460	4,900	2,500		20,000		2,250		2092	57	420	0,721	0,020	0,145
19	59	139	50,00	1,960	4,470	4,930	2,510		19,920		2,268		2123	47	379	0,732	0,016	0,131
20	60	140	50,00	1,940	4,470	4,920	2,530		19,763		2,304		2123	26	358	0,732	0,009	0,123

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Insignis			CASO DE ENSAYO			3 Testa				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		5
Media 1				1,946	4,422	4,892			20,208		2,209		2108	53	459			
Desviación típica				0,008	0,068	0,066			0,554		0,117		63	30	66			
Rango			Superior	1,962	4,559	5,024			21,315		2,443		2233	113	592			
Rango			Inferior	1,930	4,285	4,760			19,101		1,974		1983	-8	326			
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	41	121	50,00	1,940	4,420	4,900	2,480		20,161		2,214		2113	57	452	0,729	0,020	0,156
2	42	122	50,00	1,950	4,470	4,900	2,520		19,841		2,286		2113	67	462	0,729	0,023	0,159
3	43	123	50,00	1,940	4,460	4,950	2,520		19,841		2,286		1916	47	452	0,661	0,016	0,156
4	44	124	50,00	1,960	4,520	5,010	2,560		19,531		2,359		2123	36	358	0,732	0,013	0,123
5	45	125	50,00	1,940	4,270	4,760	2,330		21,459		1,954		2196	140	514	0,757	0,048	0,177
6	46	126	50,00	1,950	4,300	4,820	2,350		21,277		1,988		2092	99	452	0,721	0,034	0,156
7	47	127	50,00	1,940	4,350	4,800	2,410		20,747		2,091		2154	47	431	0,743	0,016	0,149
8	48	128	50,00	1,950	4,460	4,890	2,510		19,920		2,268		2175	47	379	0,750	0,016	0,131
9	49	129	50,00	1,950	4,410	4,810	2,460		20,325		2,179		2175	26	545	0,750	0,009	0,188
10	50	130	50,00	1,950	4,360	4,840	2,410		20,747		2,091		2175	67	462	0,750	0,023	0,159
11	51	131	50,00	1,930	4,330	4,850	2,400		20,833		2,074		2092	57	555	0,721	0,020	0,192
12	52	132	50,00	1,940	4,460	4,950	2,520		19,841		2,286		2134	47	379	0,736	0,016	0,131
13	53	133	50,00	1,950	4,410	4,870	2,460		20,325		2,179		2113	57	555	0,729	0,020	0,192
14	54	134	50,00	1,940	4,440	4,910	2,500		20,000		2,250		2092	36	535	0,721	0,013	0,184
15	55	135	50,00	1,950	4,400	4,870	2,450		20,408		2,161		2090	84	535	0,721	0,029	0,184
16	56	136	50,00	1,940	4,510	4,990	2,570		19,455		2,378		2019	11	493	0,696	0,004	0,170
17	57	137	50,00	1,940	4,470	4,970	2,530		19,763		2,304		2051	5	474	0,707	0,002	0,163
18	58	138	50,00	1,960	4,460	4,900	2,500		20,000		2,250		2092	57	420	0,721	0,020	0,145
19	59	139	50,00	1,960	4,470	4,930	2,510		19,920		2,268		2123	47	379	0,732	0,016	0,131
20	60	140	50,00	1,940	4,470	4,920	2,530		19,763		2,304		2123	26	358	0,732	0,009	0,123
Media 2		Nº Reg validos	18	1,947	4,428	4,896	2,482		20,159		2,218		2114	48	457	0,729	0,017	0,158

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Insignis	CASO DE ENSAYO	4 Canto	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	6
----------------	---------------	-----------------------	---------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: ILE_143 Created Apr, 08 2011, 13:42:00 Modified Apr, 08 2011, 13:42:06

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/ m: 120

m /mark: 0

DielConstant: 6

Channel Information

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

Vert IIR HP N =1 F =500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack: TC =20

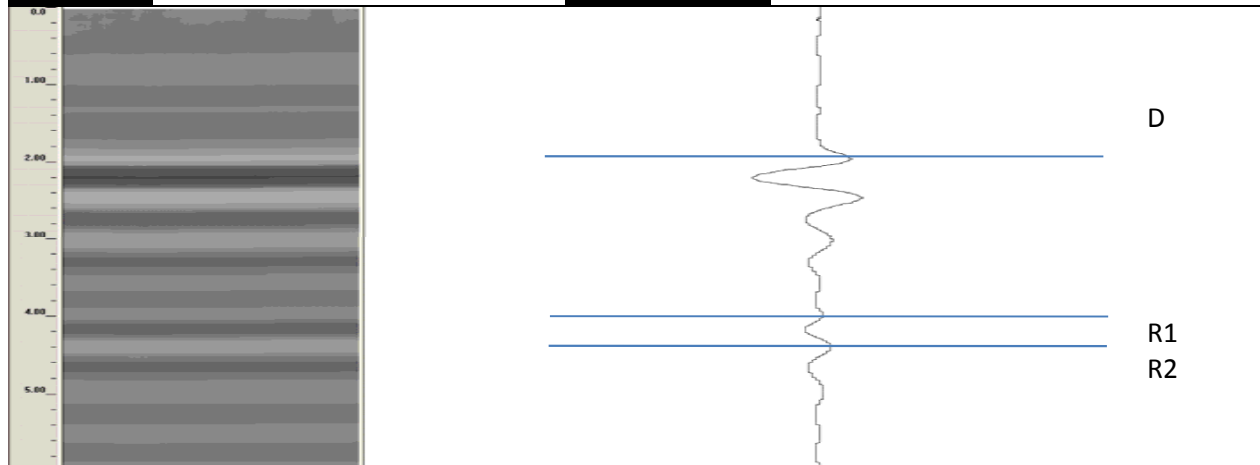
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h	t ₁	t ₂	t ₃	Δt ₁₋₂	Δt ₁₋₃	v ₁₋₂	v ₁₋₃	ξ ₁₋₂	ξ ₁₋₃	A _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns								
1	61	71	50,00	1,960	4,400	4,880	2,440		20,492		2,143		2217	36	514	0,764	0,013	0,177
2	62	72	50,00	1,960	4,410	4,840	2,450		20,408		2,161		2123	36	493	0,732	0,013	0,170
3	63	73	50,00	1,960	4,410	4,900	2,450		20,408		2,161		2206	16	555	0,761	0,005	0,192
4	64	74	50,00	1,960	4,430	4,870	2,470		20,243		2,196		2196	67	587	0,757	0,023	0,202
5	65	75	50,00	1,970	4,340	4,800	2,370		21,097		2,022		2279	119	770	0,786	0,041	0,265
6	66	76	50,00	1,960	4,330	4,770	2,370		21,097		2,022		2227	109	545	0,768	0,038	0,188
7	67	77	50,00	1,960	4,330	4,770	2,370		21,097		2,022		2217	36	493	0,764	0,013	0,170
8	68	78	50,00	1,950	4,340	4,770	2,390		20,921		2,056		2237	99	358	0,772	0,034	0,123
9	69	79	50,00	1,970	4,350	4,800	2,380		21,008		2,039		2206	78	638	0,761	0,027	0,220
10	70	80	50,00	1,970	4,400	4,820	2,430		20,576		2,126		2300	36	587	0,793	0,013	0,202
11	71	141	50,00	1,930	4,330	4,800	2,400		20,833		2,074		2186	78	587	0,754	0,027	0,202
12	72	142	50,00	1,940	4,310	4,750	2,370		21,097		2,022		2269	99	732	0,782	0,034	0,252
13	73	143	50,00	1,950	4,360	4,810	2,410		20,747		2,091		2175	36	607	0,750	0,013	0,209
14	74	144	50,00	1,950	4,310	4,790	2,360		21,186		2,005		2206	171	701	0,761	0,059	0,242
15	75	145	50,00	1,940	4,360	4,790	2,420		20,661		2,108		2279	88	649	0,786	0,030	0,224
16	76	146	50,00	1,940	4,350	4,790	2,410		20,747		2,091		2154	109	545	0,743	0,038	0,188
17	77	147	50,00	1,940	4,450	4,900	2,510		19,920		2,268		2051	67	649	0,707	0,023	0,224
18	78	148	50,00	1,950	4,370	4,830	2,420		20,661		2,108		2186	109	545	0,754	0,038	0,188
19	79	149	50,00	1,940	4,400	4,850	2,460		20,325		2,179		2206	47	524	0,761	0,016	0,181
20	80	150	50,00	1,940	4,370	4,830	2,430		20,576		2,126		2248	78	555	0,775	0,027	0,192

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Insignis			CASO DE ENSAYO			4 Canto				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		6
Media 1				1,952	4,368	4,818			20,705		2,101		2208	76	582			
Desviación típica				0,012	0,040	0,044			0,343		0,070		57	38	93			
Rango			Superior	1,976	4,448	4,906			21,391		2,242		2323	152	767			
Rango			Inferior	1,928	4,287	4,730			20,019		1,960		2094	-1	396			
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	V _{D-R}	V _{D-R2}	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	61	71	50,00	1,960	4,400	4,880	2,440		20,492		2,143		2217	36	514	0,764	0,013	0,177
2	62	72	50,00	1,960	4,410	4,840	2,450		20,408		2,161		2123	36	493	0,732	0,013	0,170
3	63	73	50,00	1,960	4,410	4,900	2,450		20,408		2,161		2206	16	555	0,761	0,005	0,192
4	64	74	50,00	1,960	4,430	4,870	2,470		20,243		2,196		2196	67	587	0,757	0,023	0,202
5	65	75	50,00	1,970	4,340	4,800	2,370		21,097		2,022		2279	119	770	0,786	0,041	0,265
6	66	76	50,00	1,960	4,330	4,770	2,370		21,097		2,022		2227	109	545	0,768	0,038	0,188
7	67	77	50,00	1,960	4,330	4,770	2,370		21,097		2,022		2217	36	493	0,764	0,013	0,170
8	68	78	50,00	1,950	4,340	4,770	2,390		20,921		2,056		2237	99	358	0,772	0,034	0,123
9	69	79	50,00	1,970	4,350	4,800	2,380		21,008		2,039		2206	78	638	0,761	0,027	0,220
10	70	80	50,00	1,970	4,400	4,820	2,430		20,576		2,126		2300	36	587	0,793	0,013	0,202
11	71	141	50,00	1,930	4,330	4,800	2,400		20,833		2,074		2186	78	587	0,754	0,027	0,202
12	72	142	50,00	1,940	4,310	4,750	2,370		21,097		2,022		2269	99	732	0,782	0,034	0,252
13	73	143	50,00	1,950	4,360	4,810	2,410		20,747		2,091		2175	36	607	0,750	0,013	0,209
14	74	144	50,00	1,950	4,310	4,790	2,360		21,186		2,005		2206	171	701	0,761	0,059	0,242
15	75	145	50,00	1,940	4,360	4,790	2,420		20,661		2,108		2279	88	649	0,786	0,030	0,224
16	76	146	50,00	1,940	4,350	4,790	2,410		20,747		2,091		2154	109	545	0,743	0,038	0,188
17	77	147	50,00	1,940	4,450	4,900	2,510		19,920		2,268		2051	67	649	0,707	0,023	0,224
18	78	148	50,00	1,950	4,370	4,830	2,420		20,661		2,108		2186	109	545	0,754	0,038	0,188
19	79	149	50,00	1,940	4,400	4,850	2,460		20,325		2,179		2206	47	524	0,761	0,016	0,181
20	80	150	50,00	1,940	4,370	4,830	2,430		20,576		2,126		2248	78	555	0,775	0,027	0,192
Media 2		Nº Reg validos	16	1,952	4,369	4,819	2,418		20,686		2,104		2212	66	572	0,763	0,023	0,197

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA Pino Ruso CASO DE ENSAYO 3 Testa USO DE REFLECTOR Si Nº HOJA 7



Edit File Header

FILE NAME: ILE_225 Created Apr, 08 2011, 11:46:06 Modified Apr, 08 2011, 11:46:14

Channel(s): 1 Channel Information: Channel: 1 Antenna: 1.5/1.6GHZ Comp: T1R1

samp/scan: 512 Range Gain (dB): 5.0 Position (nS): 0

bits/sample: 16 Position Correction: -14.225 nS Range (nS): 6

scans/sec: 100 Vert IIR LP N=1 F=2700 MHz Top (m): -0.0537541

scans/ m: 120 Vert IIR HP N=1 F=500 MHz Depth (m): 0.367423

m /mark: 0 DieIConstant: 6

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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns								
1	101	75	44,00	1,940	3,880	4,300	1,940		22,680		1,750		2283	420	871	0,787	0,145	0,300
2	102	76	44,00	1,950	3,910	4,360	1,960		22,449		1,786		2366	379	1037	0,816	0,131	0,358
3	103	77	44,00	1,940	3,890	4,320	1,950		22,564		1,768		2282	358	871	0,787	0,124	0,300
4	104	78	44,00	1,960	3,920	4,390	1,960		22,449		1,786		2379	452	1030	0,820	0,156	0,355
5	105	79	44,00	1,950	3,930	4,350	1,980		22,222		1,823		2379	420	1030	0,820	0,145	0,355
6	106	80	44,00	1,960	3,910	4,330	1,950		22,564		1,768		2379	389	1110	0,820	0,134	0,383
7	107	81	44,00	1,940	3,940	4,360	2,000		22,000		1,860		2379	379	792	0,820	0,131	0,273
8	108	82	44,00	1,950	3,910	4,370	1,960		22,449		1,786		2300	379	1110	0,793	0,131	0,383
9	109	83	44,00	1,950	3,970	4,410	2,020		21,782		1,897		2379	452	1110	0,820	0,156	0,383
10	110	84	44,00	1,950	3,910	4,330	1,960		22,449		1,786		2366	420	1120	0,816	0,145	0,386
11	111	95	44,00	1,930	3,940	4,370	2,010		21,891		1,878		2300	254	475	0,793	0,088	0,164
12	112	96	44,00	1,930	3,880	4,270	1,950		22,564		1,768		2300	317	792	0,793	0,109	0,273
13	113	97	44,00	1,930	3,940	4,340	2,010		21,891		1,878		2379	452	872	0,820	0,156	0,301
14	114	98	44,00	1,940	3,900	4,300	1,960		22,449		1,786		2379	254	872	0,820	0,088	0,301
15	115	99	44,00	1,940	3,940	4,390	2,000		22,000		1,860		2379	389	1348	0,820	0,134	0,465
16	116	100	44,00	1,930	3,880	4,280	1,950		22,564		1,768		2300	379	1030	0,793	0,131	0,355
17	117	101	44,00	1,930	3,940	4,350	2,010		21,891		1,878		2300	389	872	0,793	0,134	0,301
18	118	102	44,00	1,940	3,920	4,370	1,980		22,222		1,823		2300	327	1030	0,793	0,113	0,355
19	119	103	44,00	1,940	3,960	4,360	2,020		21,782		1,897		2379	420	872	0,820	0,145	0,301
20	120	104	44,00	1,960	3,970	4,370	2,010		21,891		1,878		2300	348	872	0,793	0,120	0,301

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Ruso			CASO DE ENSAYO			3 Testa				USO DE REFLECTOR		Si			Nº HOJA		7
Media 1				1,943	3,922	4,346			22,238		1,821		2340	379	956				
Desviación típica				0,010	0,028	0,037			0,313		0,051		42	57	180				
Rango			Superior	1,964	3,978	4,421			22,863		1,924		2424	493	1316				
Rango			Inferior	1,922	3,866	4,271			21,613		1,718		2257	265	596				
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}	
1	101	75	44,00	1,940	3,880	4,300	1,940		22,680		1,750		2283	420	871	0,787	0,145	0,300	
2	102	76	44,00	1,950	3,910	4,360	1,960		22,449		1,786		2366	379	1037	0,816	0,131	0,358	
3	103	77	44,00	1,940	3,890	4,320	1,950		22,564		1,768		2282	358	871	0,787	0,124	0,300	
4	104	78	44,00	1,960	3,920	4,390	1,960		22,449		1,786		2379	452	1030	0,820	0,156	0,355	
5	105	79	44,00	1,950	3,930	4,350	1,980		22,222		1,823		2379	420	1030	0,820	0,145	0,355	
6	106	80	44,00	1,960	3,910	4,330	1,950		22,564		1,768		2379	389	1110	0,820	0,134	0,383	
7	107	81	44,00	1,940	3,940	4,360	2,000		22,000		1,860		2379	379	792	0,820	0,131	0,273	
8	108	82	44,00	1,950	3,910	4,370	1,960		22,449		1,786		2300	379	1110	0,793	0,131	0,383	
9	109	83	44,00	1,950	3,970	4,410	2,020		21,782		1,897		2379	452	1110	0,820	0,156	0,383	
10	110	84	44,00	1,950	3,910	4,330	1,960		22,449		1,786		2366	420	1120	0,816	0,145	0,386	
11	111	95	44,00	1,930	3,940	4,370	2,010		21,891		1,878		2300	254	475	0,793	0,088	0,164	
12	112	96	44,00	1,930	3,880	4,270	1,950		22,564		1,768		2300	317	792	0,793	0,109	0,273	
13	113	97	44,00	1,930	3,940	4,340	2,010		21,891		1,878		2379	452	872	0,820	0,156	0,301	
14	114	98	44,00	1,940	3,900	4,300	1,960		22,449		1,786		2379	254	872	0,820	0,088	0,301	
15	115	99	44,00	1,940	3,940	4,390	2,000		22,000		1,860		2379	389	1348	0,820	0,134	0,465	
16	116	100	44,00	1,930	3,880	4,280	1,950		22,564		1,768		2300	379	1030	0,793	0,131	0,355	
17	117	101	44,00	1,930	3,940	4,350	2,010		21,891		1,878		2300	389	872	0,793	0,134	0,301	
18	118	102	44,00	1,940	3,920	4,370	1,980		22,222		1,823		2300	327	1030	0,793	0,113	0,355	
19	119	103	44,00	1,940	3,960	4,360	2,020		21,782		1,897		2379	420	872	0,820	0,145	0,301	
20	120	104	44,00	1,960	3,970	4,370	2,010		21,891		1,878		2300	348	872	0,793	0,120	0,301	
Media 2		Nº Reg validos	16	1,945	3,924	4,349	1,979		22,241		1,821		2341	398	977	0,807	0,137	0,337	

HOJA DE ANÁLISIS DE DATOS

MUESTRA	Pino Ruso	CASO DE ENSAYO	4 canto	USO DE REFLECTOR	Si	Nº HOJA	8
----------------	-----------	-----------------------	---------	-------------------------	----	----------------	---

Edit File Header

FILE NAME: ILE_203 Created Apr, 08 2011, 11:36:10 Modified Apr, 08 2011, 11:36:16

Channel(s): 1

samp/scan: 512

bits/sample: 16

scans/sec: 100

scans/ m: 120

m /mark: 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

Vert IIR HP N =1 F =500 MHz Depth (m): 0.367423

Horz IIR Stack TC =20

Buttons: 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 _D	A _{R1}	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR1}	A _{NR2}
			Cm	ns	ns	ns	ns	ns	Cm/ns	Cm/ns								
1	141	195	44,00	1,930	3,880	4,300	1,950		22,564		1,768		2283	389	871	0,787	0,134	0,300
2	142	196	44,00	1,950	3,930	4,360	1,980		22,222		1,823		2538	420	1348	0,875	0,145	0,465
3	143	197	44,00	1,950	3,880	4,290	1,930		22,798		1,732		2538	327	792	0,875	0,113	0,273
4	144	198	44,00	1,950	3,910	4,350	1,960		22,449		1,786		2379	379	1348	0,820	0,131	0,465
5	145	199	44,00	1,940	3,940	4,360	2,000		22,000		1,860		2300	379	1110	0,793	0,131	0,383
6	146	200	44,00	1,940	3,900	4,290	1,960		22,449		1,786		2300	358	872	0,793	0,123	0,301
7	147	201	44,00	1,930	3,940	4,410	2,010		21,891		1,878		2379	317	1110	0,820	0,109	0,383
8	148	202	44,00	1,940	3,910	4,340	1,970		22,335		1,804		2379	327	1030	0,820	0,113	0,355
9	149	203	44,00	1,940	3,980	4,420	2,040		21,569		1,935		2300	379	1506	0,793	0,131	0,519
10	150	204	44,00	1,940	3,900	4,310	1,960		22,449		1,786		2379	358	1110	0,820	0,123	0,383
11	151	205	44,00	1,930	4,000	4,420	2,070		21,256		1,992		2141	452	1268	0,738	0,156	0,437
12	152	206	44,00	1,940	3,910	4,320	1,970		22,335		1,804		2300	358	1110	0,793	0,123	0,383
13	153	207	44,00	1,940	3,940	4,390	2,000		22,000		1,860		2300	265	842	0,793	0,091	0,290
14	154	208	44,00	1,960	3,910	4,310	1,950		22,564		1,768		2300	347	1030	0,793	0,120	0,355
15	155	209	44,00	1,940	3,930	4,360	1,990		22,111		1,841		2379	387	1341	0,820	0,133	0,462
16	156	210	44,00	1,940	3,930	4,340	1,990		22,111		1,841		2300	357	1110	0,793	0,123	0,383
17	157	211	44,00	1,950	3,930	4,350	1,980		22,222		1,823		2538	297	788	0,875	0,103	0,272
18	158	212	44,00	1,940	3,940	4,340	2,000		22,000		1,860		2300	434	872	0,793	0,150	0,301
19	159	213	44,00	1,950	3,950	4,360	2,000		22,000		1,860		2617	397	475	0,902	0,137	0,164
20	160	214	44,00	1,940	3,930	4,310	1,990		22,111		1,841		2300	228	554	0,793	0,079	0,191

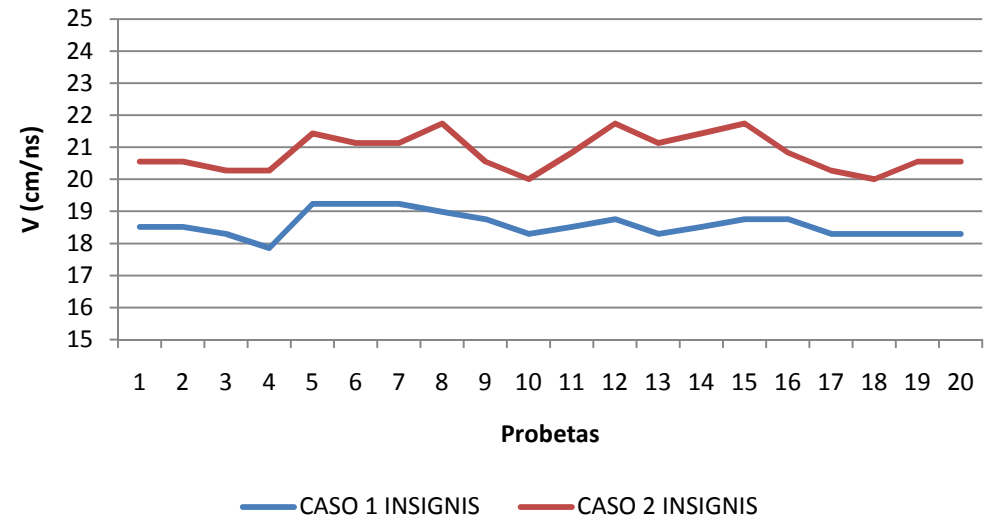
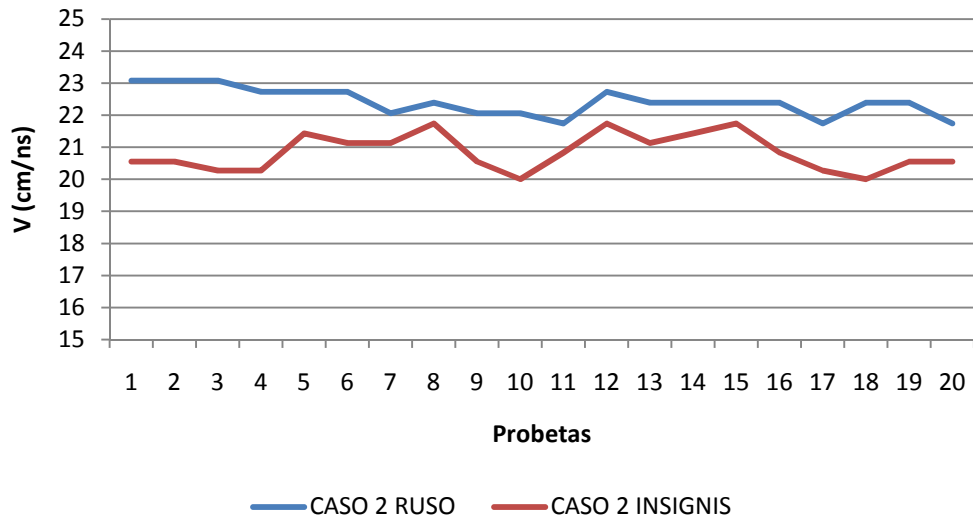
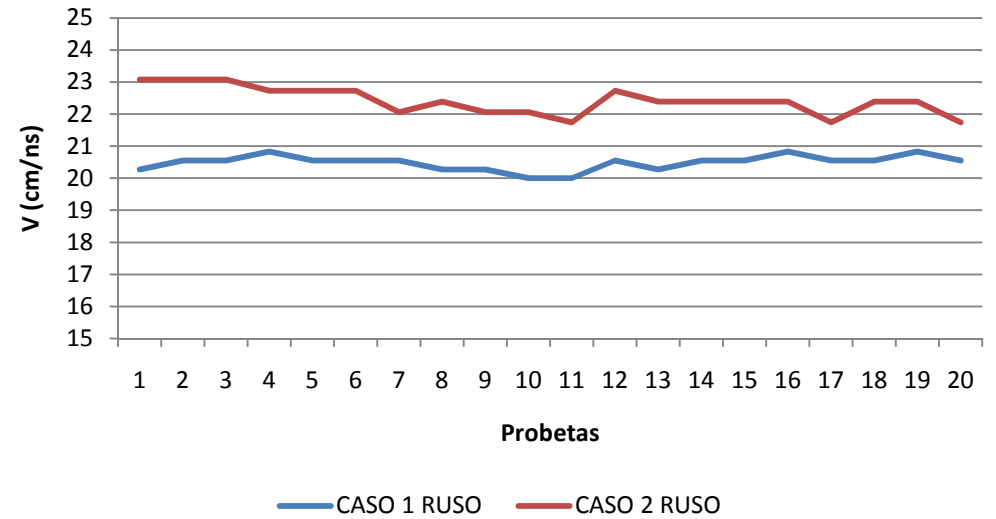
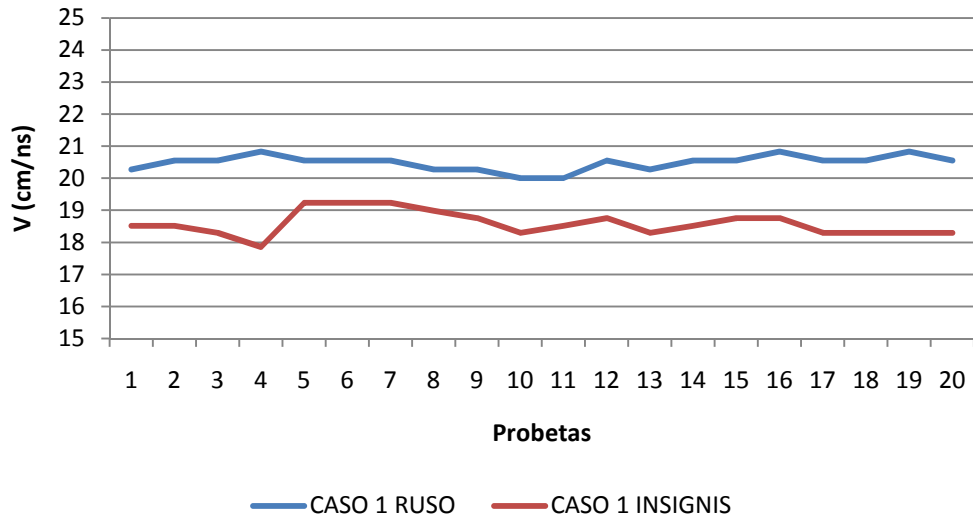
ANÁLISIS ESTADÍSTICO

MUESTRA		Pino Ruso			CASO DE ENSAYO			4 canto				USO DE REFLECTOR		Si		Nº HOJA		8
Media 1				1,942	3,927	4,347			22,172		1,832		2363	358	1024			
Desviación típica				0,008	0,029	0,040			0,355		0,060		114	54	269			
Rango			Superior	1,957	3,986	4,427			22,882		1,952		2591	466	1562			
Rango			Inferior	1,927	3,868	4,266			21,461		1,713		2134	249	487			
Nº	Nº ENSAYO	REGISTRO	2h Cm	tD ns	tR ns	tR2 ns	Δt_{D-R} ns	Δt_{D-R2} ns	v_{D-R} Cm/ns	v_{D-R2} Cm/ns	ξ_{D-R}	ξ_{D-R2}	A _D	A _R	A _{R2}	A _{ND}	A _{NR}	A _{NR2}
1	141	195	44,00	1,930	3,880	4,300	1,950		22,564		1,768		2283	389	871	0,787	0,134	0,300
2	142	196	44,00	1,950	3,930	4,360	1,980		22,222		1,823		2538	420	1348	0,875	0,145	0,465
3	143	197	44,00	1,950	3,880	4,290	1,930		22,798		1,732		2538	327	792	0,875	0,113	0,273
4	144	198	44,00	1,950	3,910	4,350	1,960		22,449		1,786		2379	379	1348	0,820	0,131	0,465
5	145	199	44,00	1,940	3,940	4,360	2,000		22,000		1,860		2300	379	1110	0,793	0,131	0,383
6	146	200	44,00	1,940	3,900	4,290	1,960		22,449		1,786		2300	358	872	0,793	0,123	0,301
7	147	201	44,00	1,930	3,940	4,410	2,010		21,891		1,878		2379	317	1110	0,820	0,109	0,383
8	148	202	44,00	1,940	3,910	4,340	1,970		22,335		1,804		2379	327	1030	0,820	0,113	0,355
9	149	203	44,00	1,940	3,980	4,420	2,040		21,569		1,935		2300	379	1506	0,793	0,131	0,519
10	150	204	44,00	1,940	3,900	4,310	1,960		22,449		1,786		2379	358	1110	0,820	0,123	0,383
11	151	205	44,00	1,930	4,000	4,420	2,070		21,256		1,992		2141	452	1268	0,738	0,156	0,437
12	152	206	44,00	1,940	3,910	4,320	1,970		22,335		1,804		2300	358	1110	0,793	0,123	0,383
13	153	207	44,00	1,940	3,940	4,390	2,000		22,000		1,860		2300	265	842	0,793	0,091	0,290
14	154	208	44,00	1,960	3,910	4,310	1,950		22,564		1,768		2300	347	1030	0,793	0,120	0,355
15	155	209	44,00	1,940	3,930	4,360	1,990		22,111		1,841		2379	387	1341	0,820	0,133	0,462
16	156	210	44,00	1,940	3,930	4,340	1,990		22,111		1,841		2300	357	1110	0,793	0,123	0,383
17	157	211	44,00	1,950	3,930	4,350	1,980		22,222		1,823		2538	297	788	0,875	0,103	0,272
18	158	212	44,00	1,940	3,940	4,340	2,000		22,000		1,860		2300	434	872	0,793	0,150	0,301
19	159	213	44,00	1,950	3,950	4,360	2,000		22,000		1,860		2617	397	475	0,902	0,137	0,164
20	160	214	44,00	1,940	3,930	4,310	1,990		22,111		1,841		2300	228	554	0,793	0,079	0,191
Media 2		Nº Reg validos	16	1,941	3,922	4,346	1,981	0,000	22,219	0,000	1,824	0,000	2368	358	1073	0,817	0,123	0,370

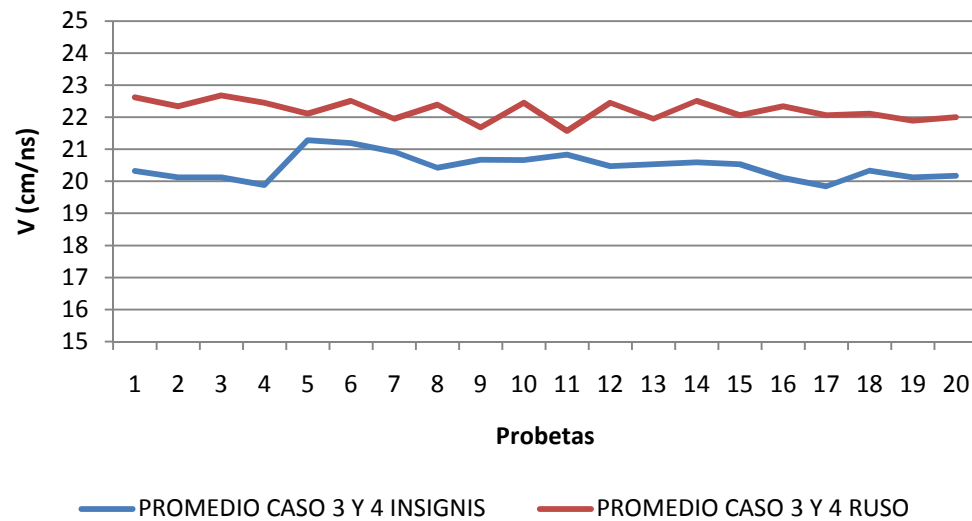
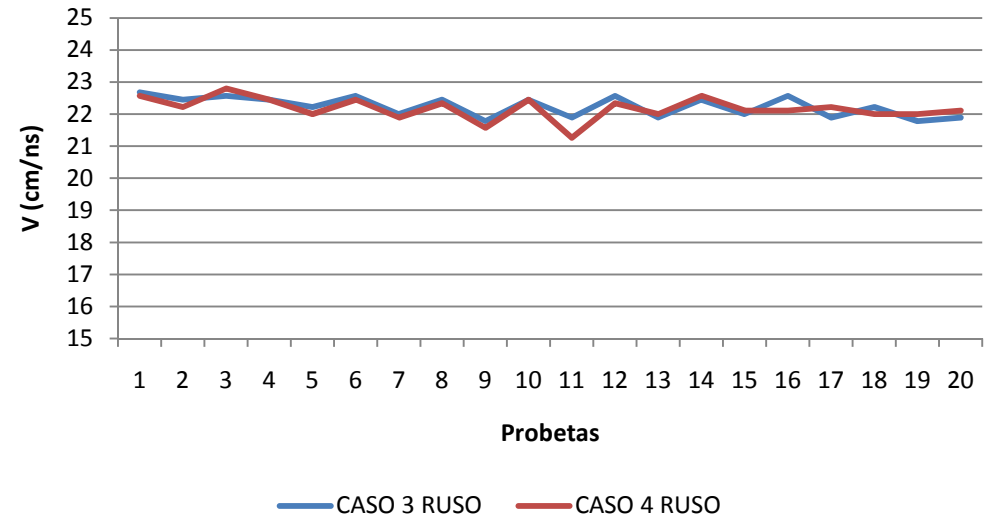
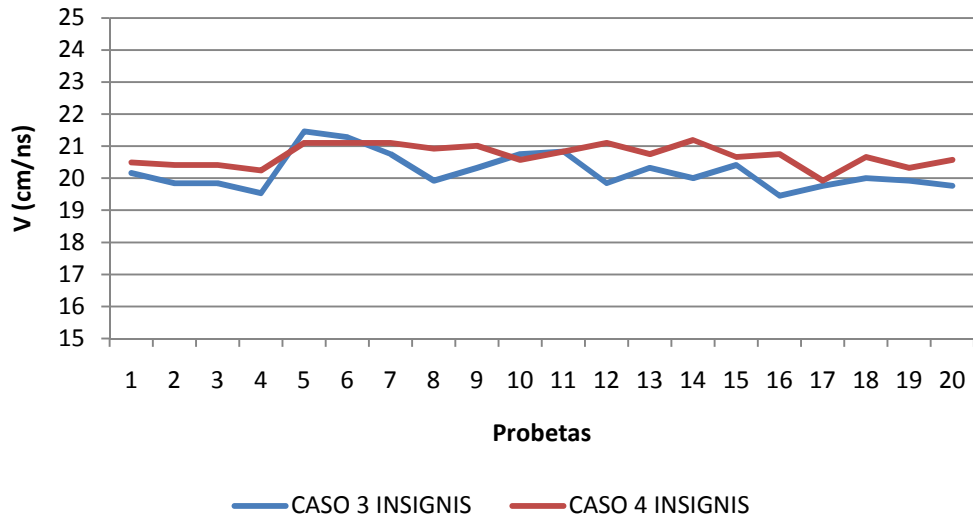
ANEXO III

Análisis gráfico

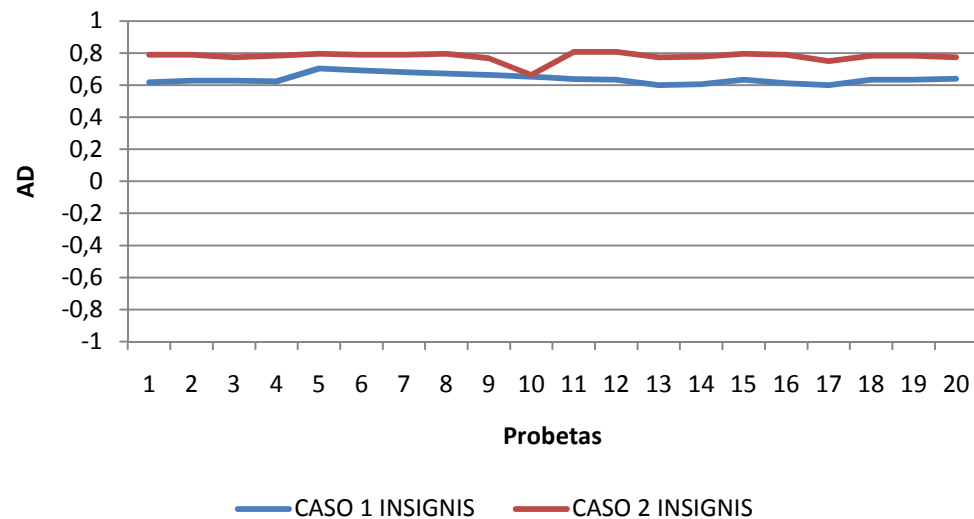
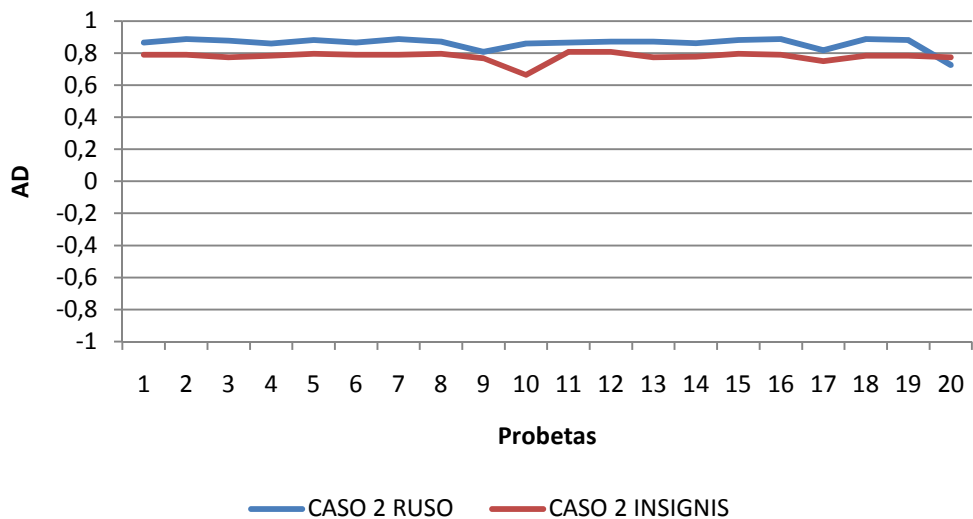
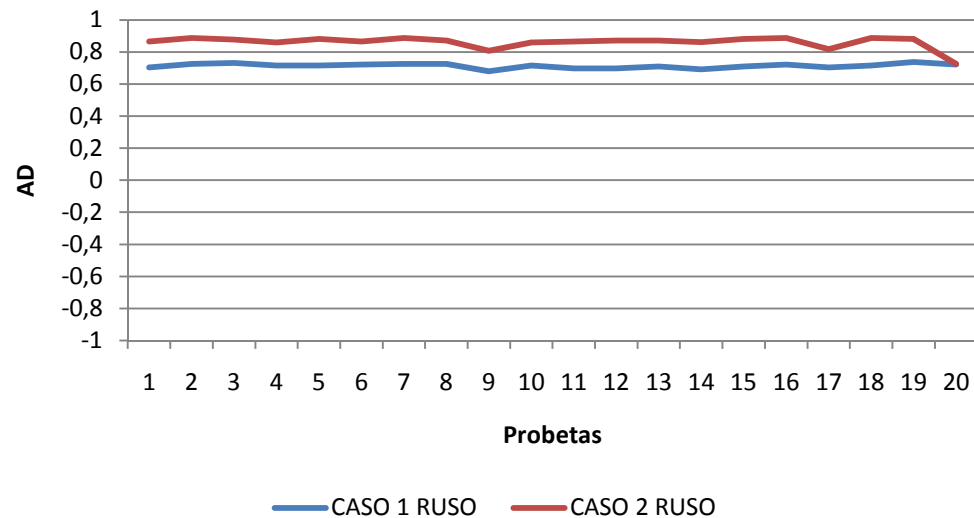
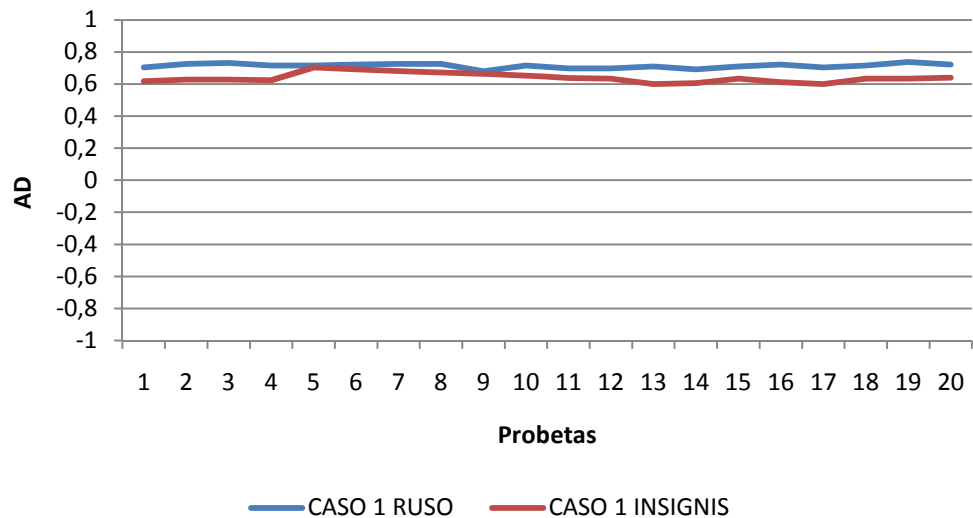
ANÁLISIS GRÁFICO DE VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN (Cm/ns) EN CASOS 1 Y 2



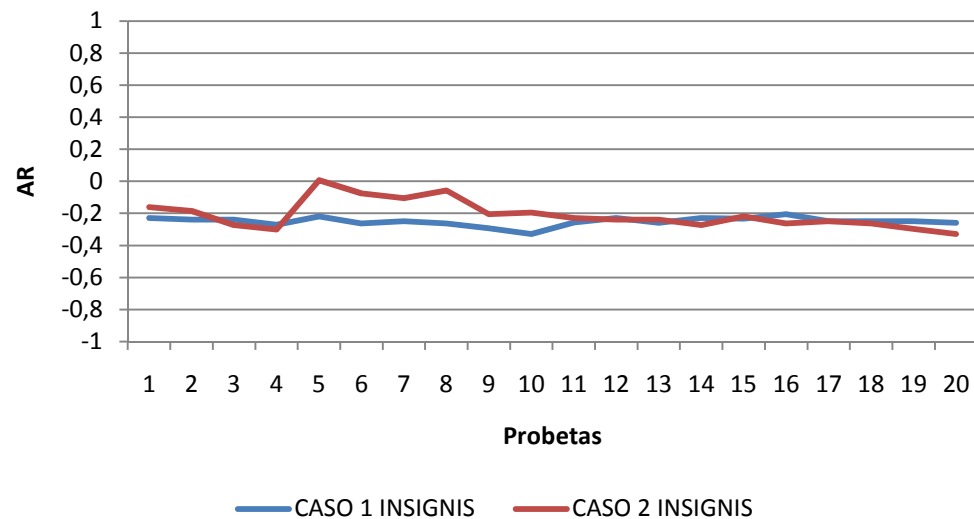
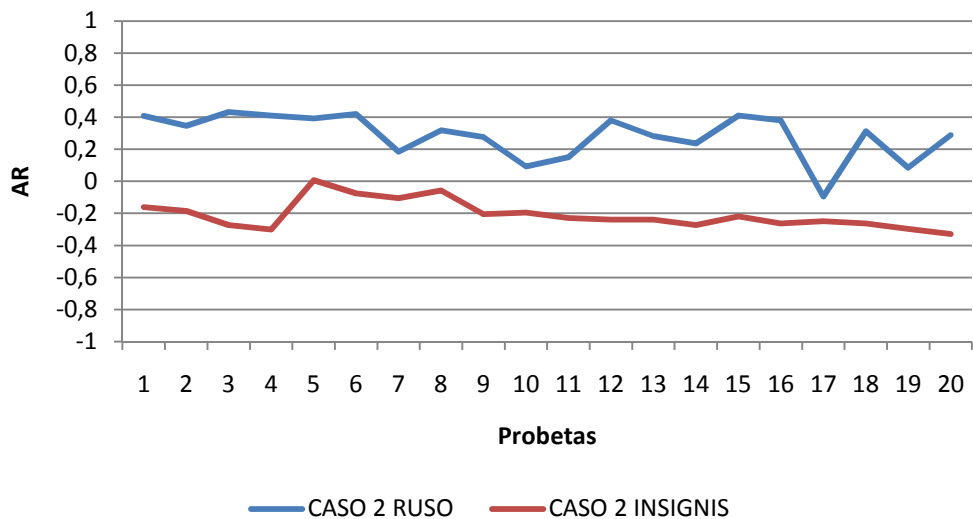
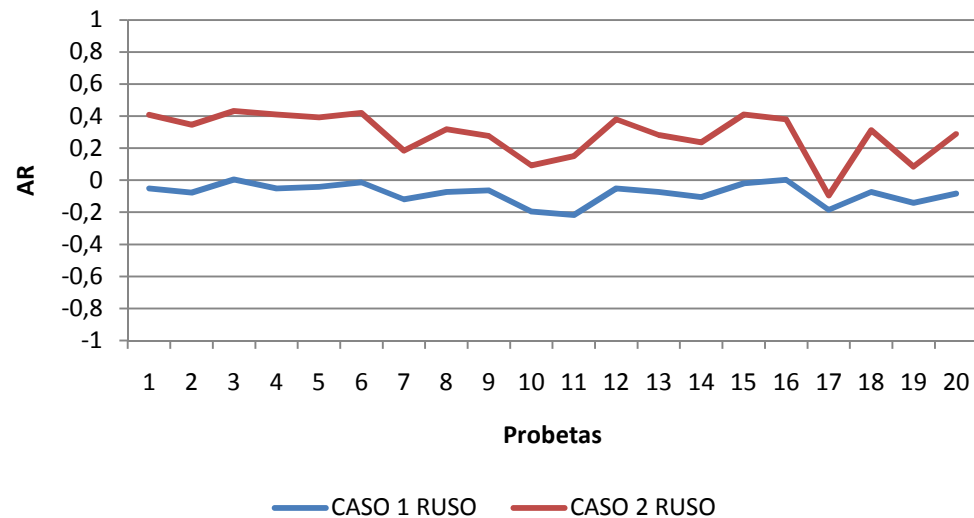
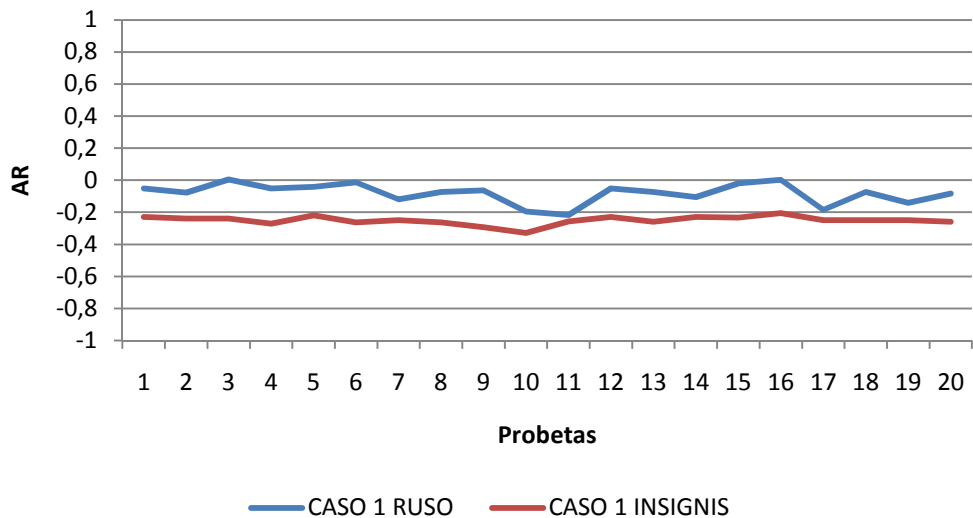
ANÁLISIS GRÁFICO DE VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN (Cm/ns) EN CASOS 3 Y 4



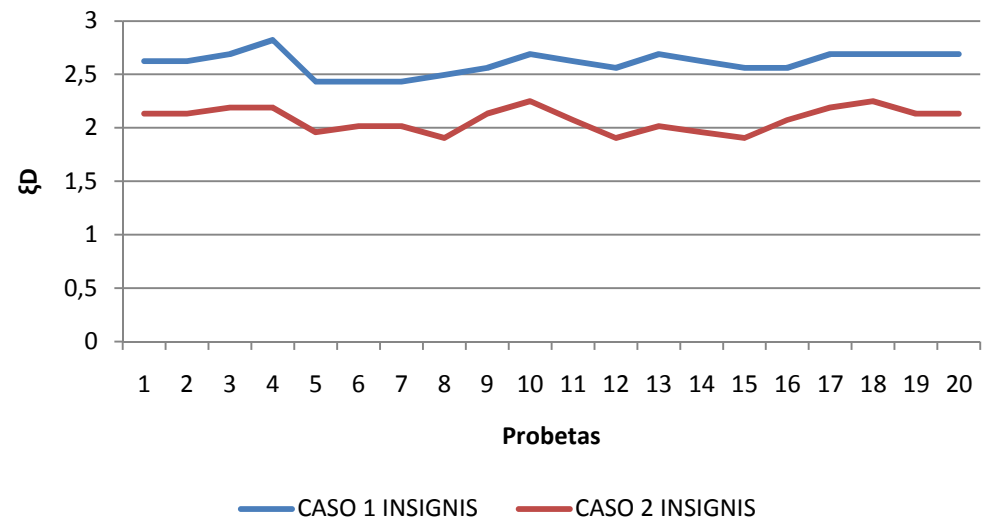
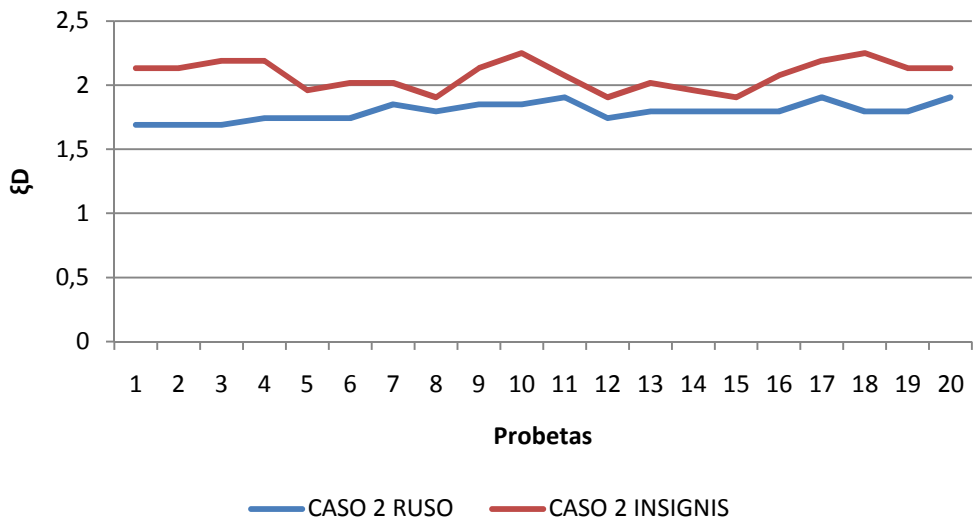
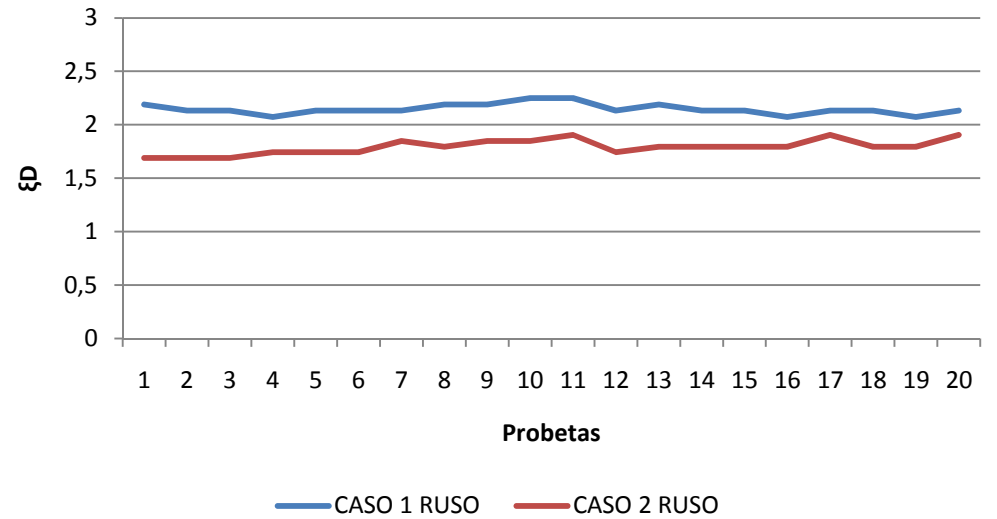
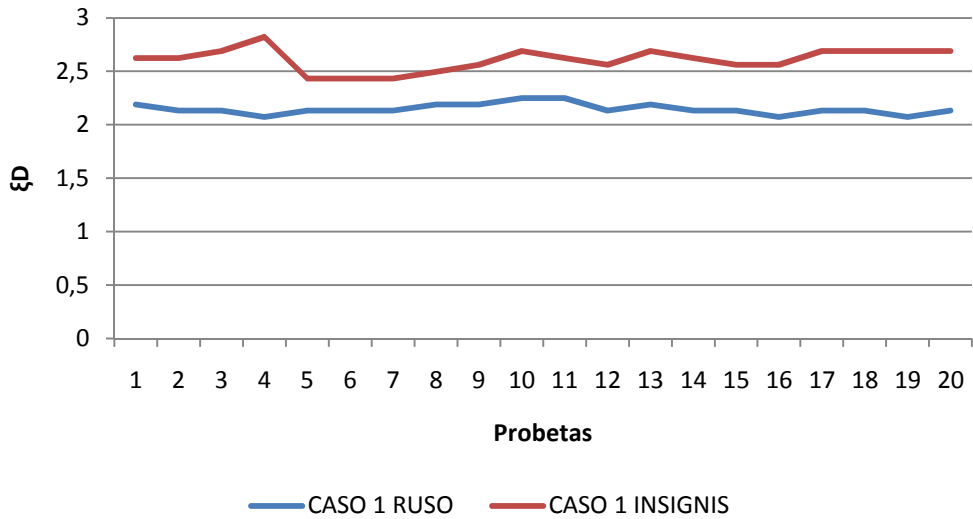
ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AD) EN CASOS 1 Y 2



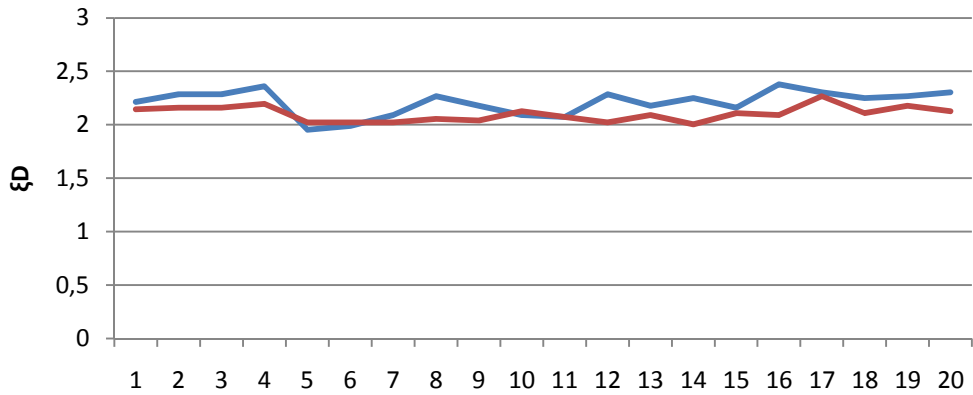
ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AR) EN CASOS 1 Y 2



ANÁLISIS GRÁFICO DE CONSTANTES DIELECTRICAS EN CASOS 1 Y 2

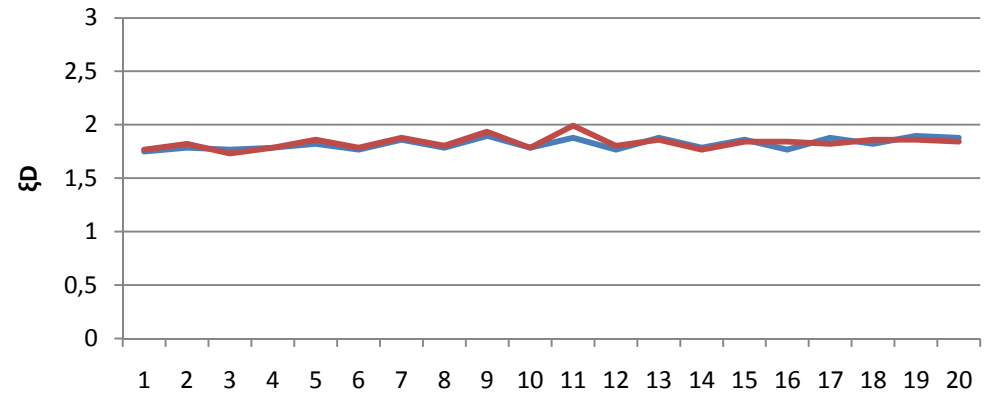


ANÁLISIS GRÁFICO DE CONSTANTES DIELECTRICAS EN CASOS 3 Y 4



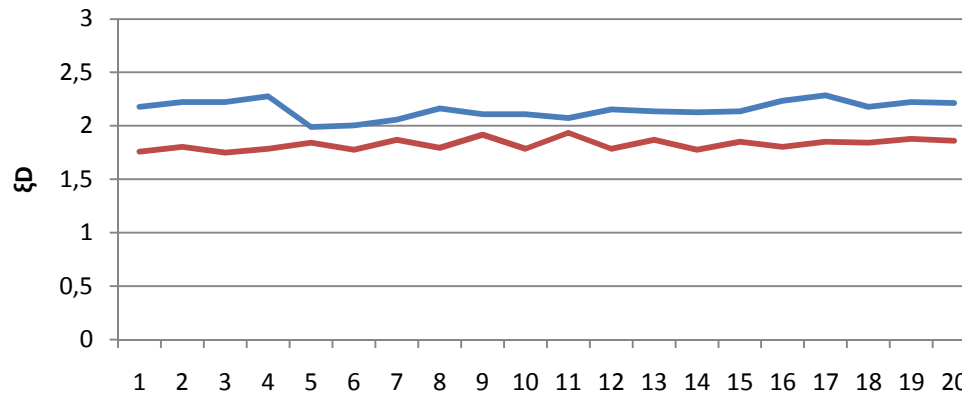
Probetas

— CASO 3 INSIGNIS — CASO 4 INSIGNIS



Probetas

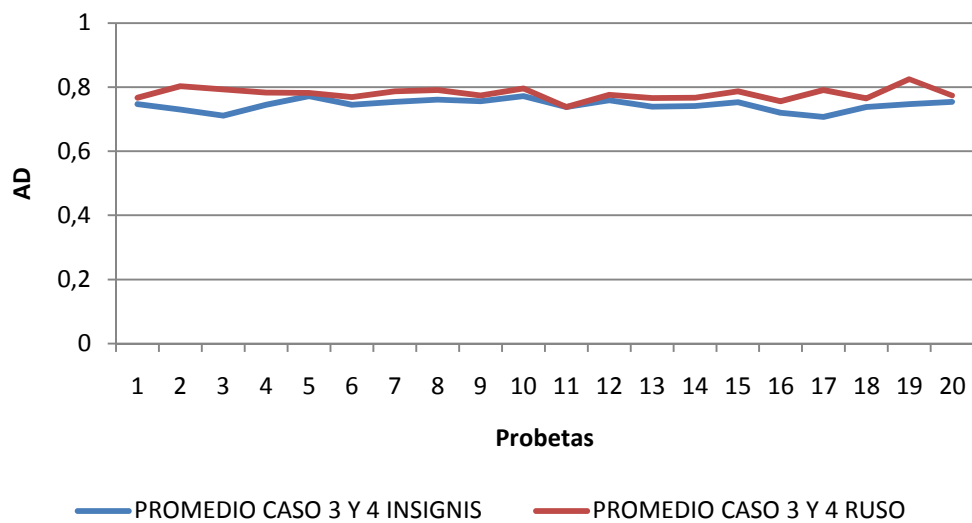
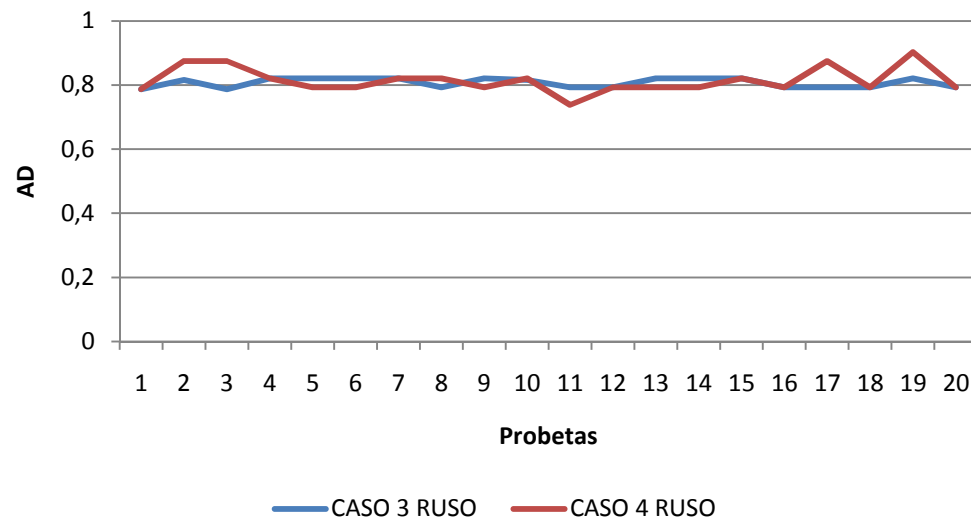
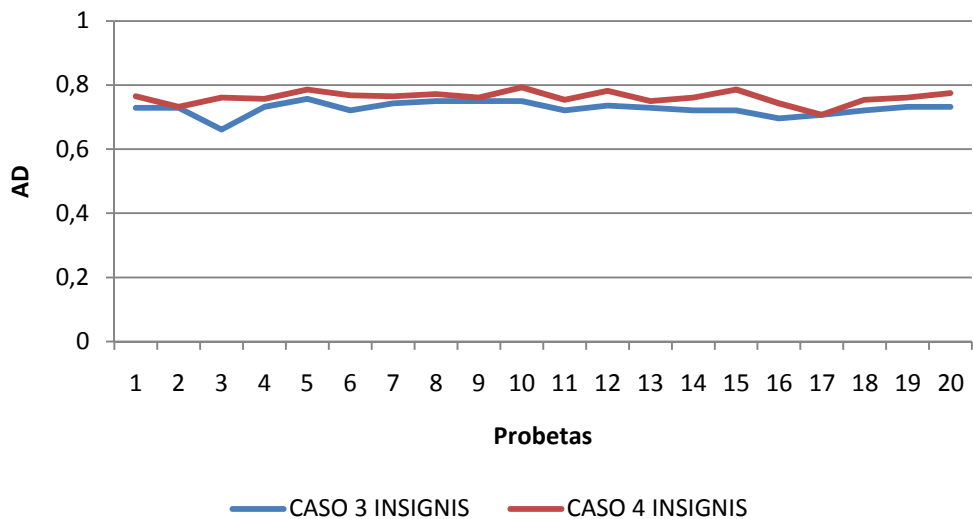
— CASO 3 RUSO — CASO 4 RUSO



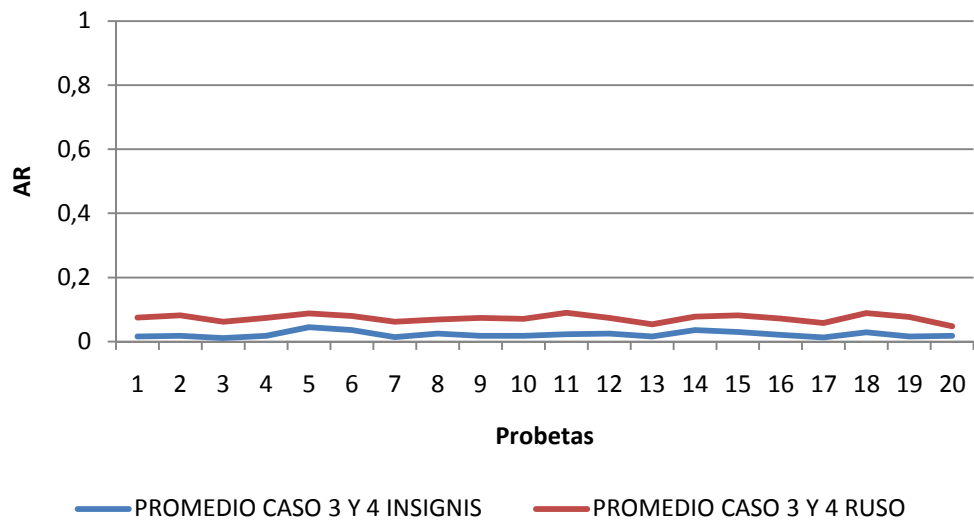
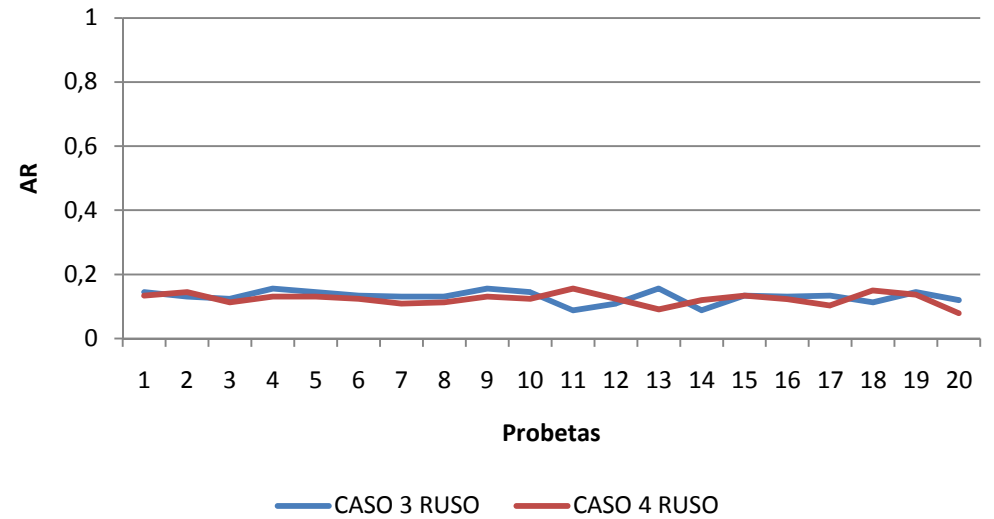
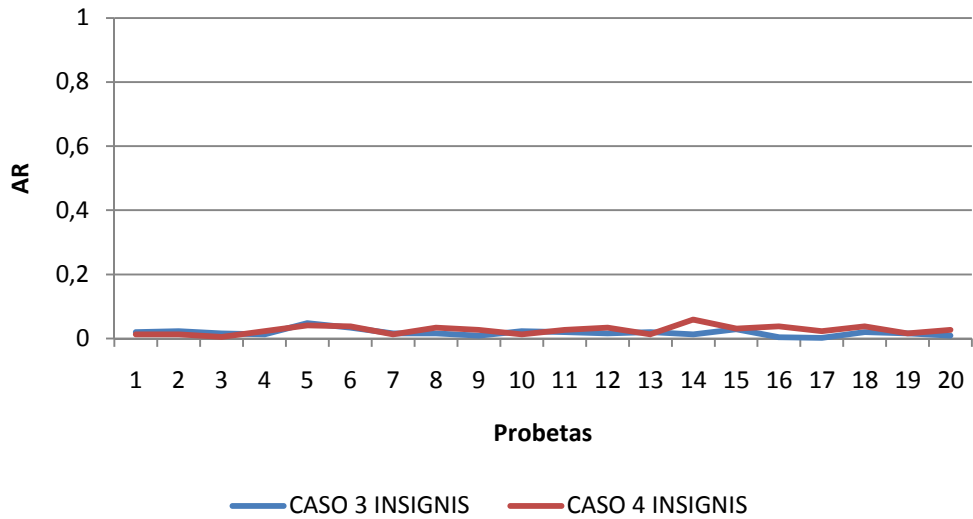
Probetas

— PROMEDIO CASO 3 Y 4 RUSO — PROMEDIO CASO 3 Y 4 INSIGNIS

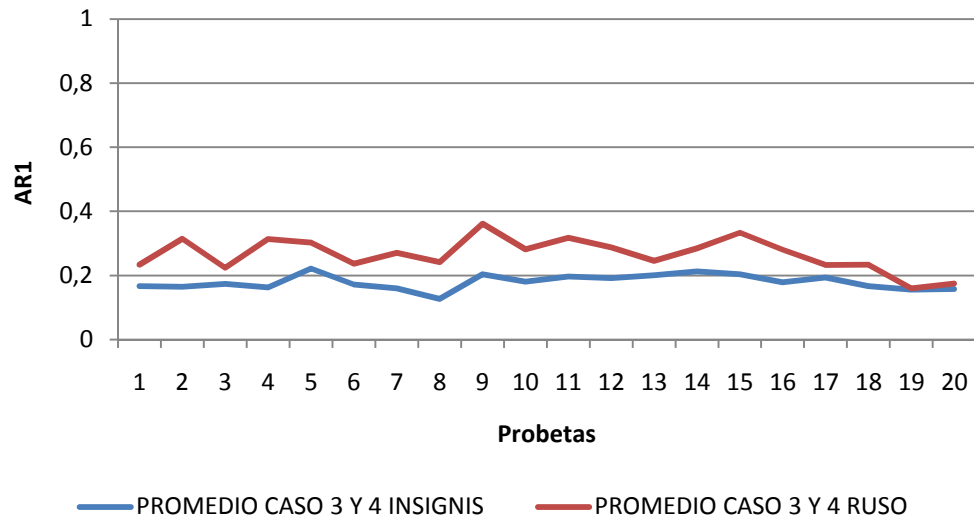
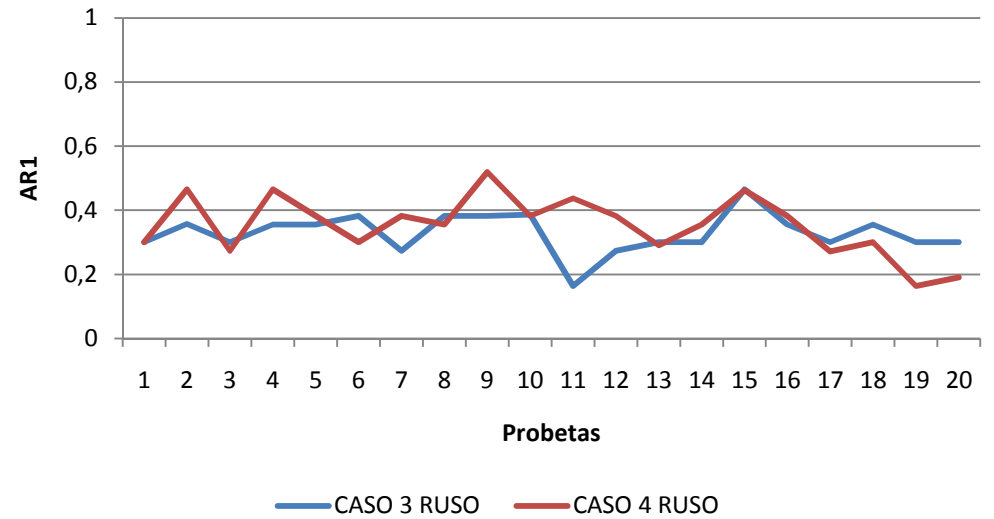
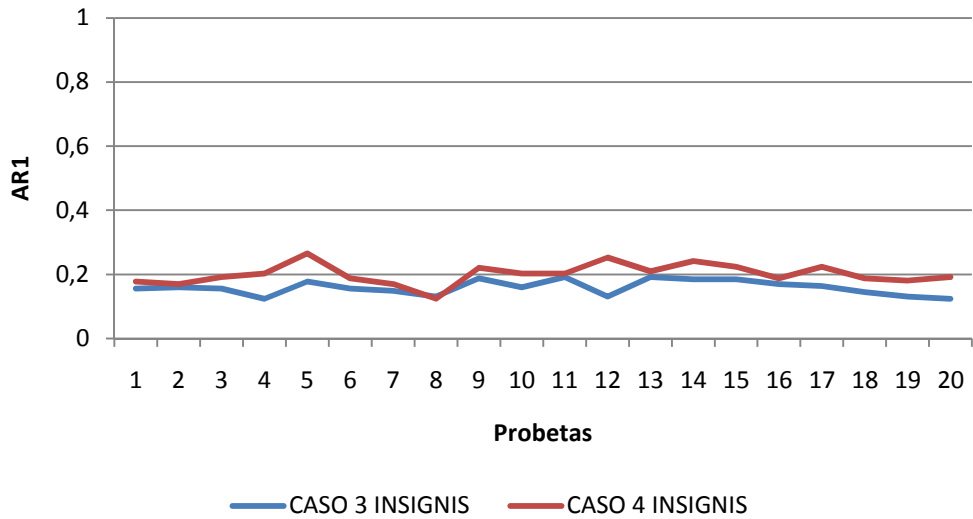
ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AD) EN CASOS 3 Y 4



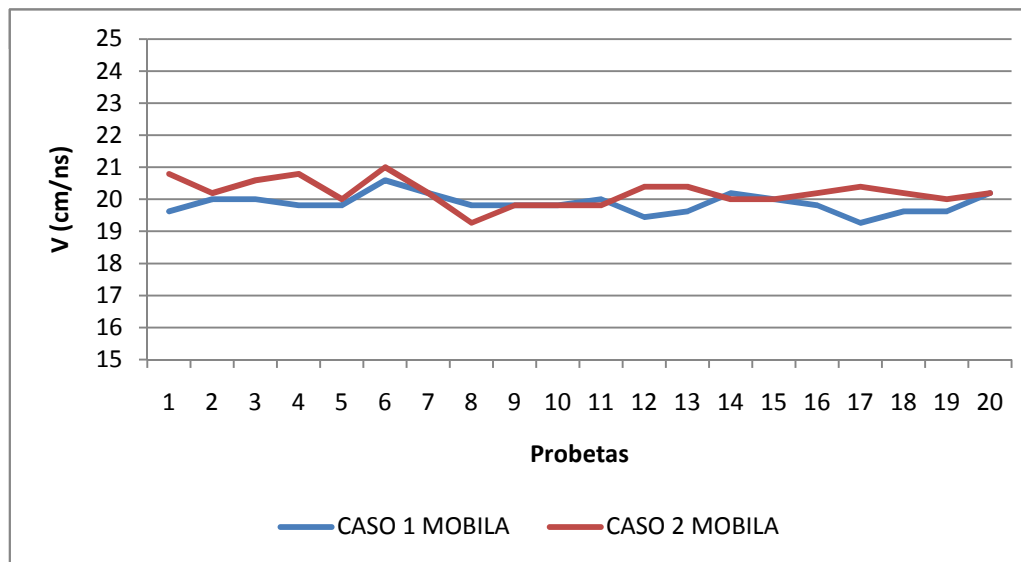
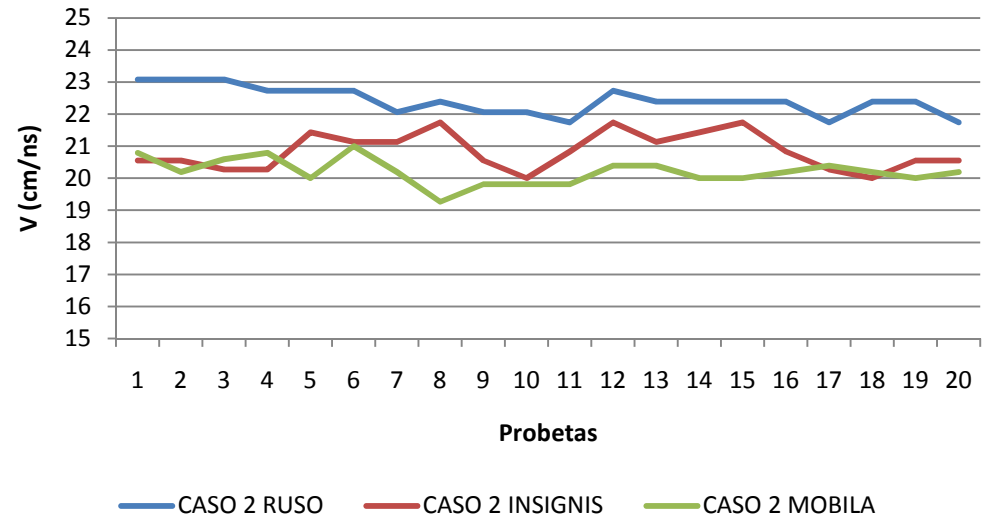
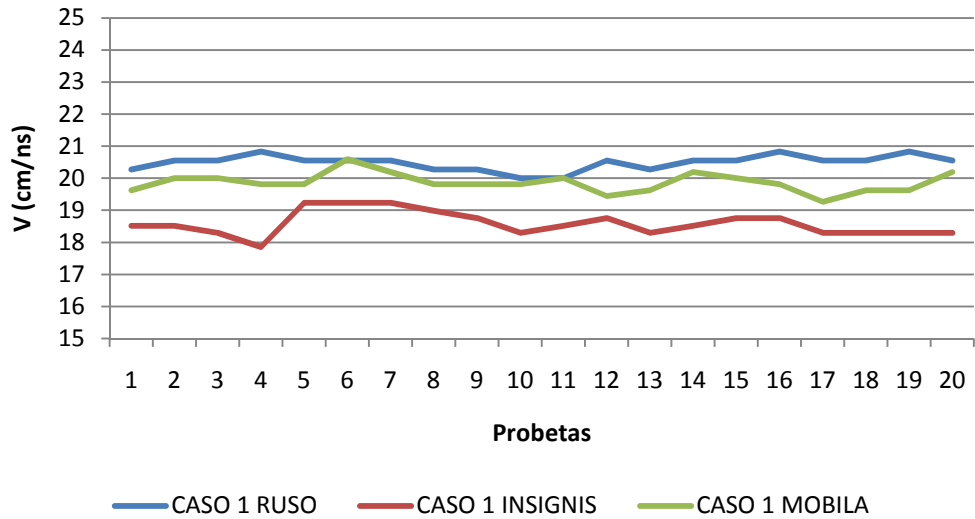
ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AR) EN CASOS 3 Y 4



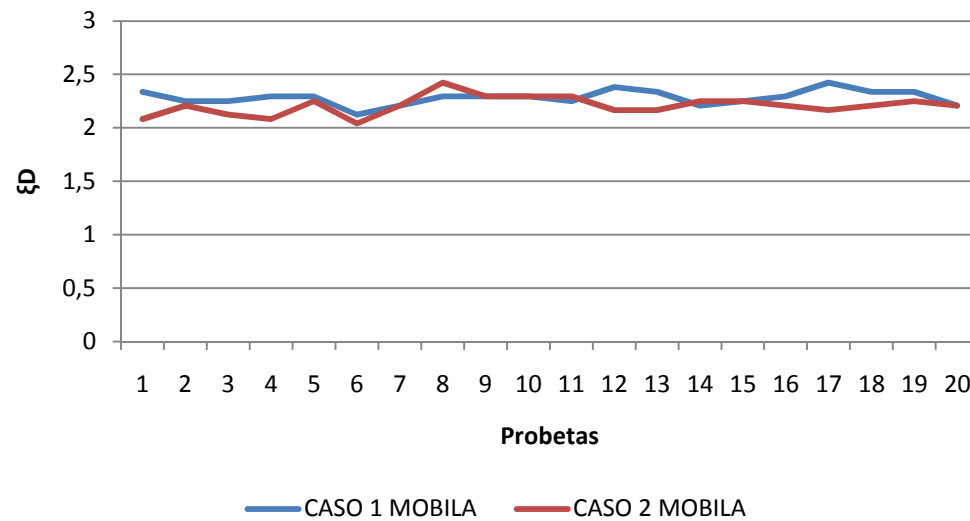
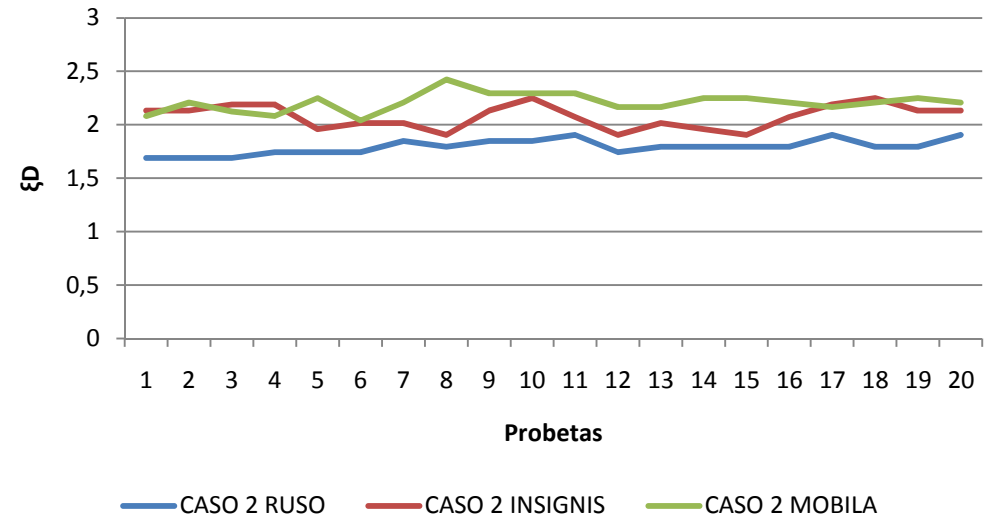
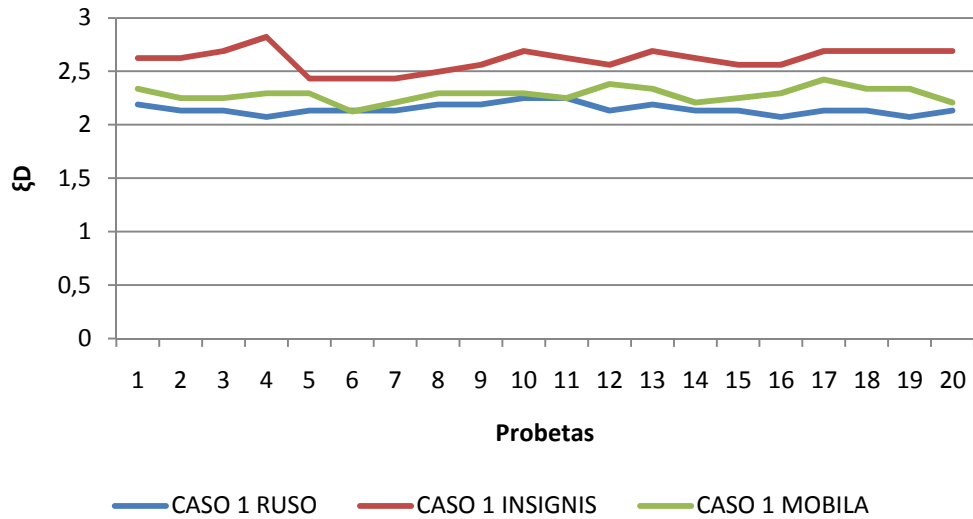
ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AR1) EN CASOS 3 Y 4



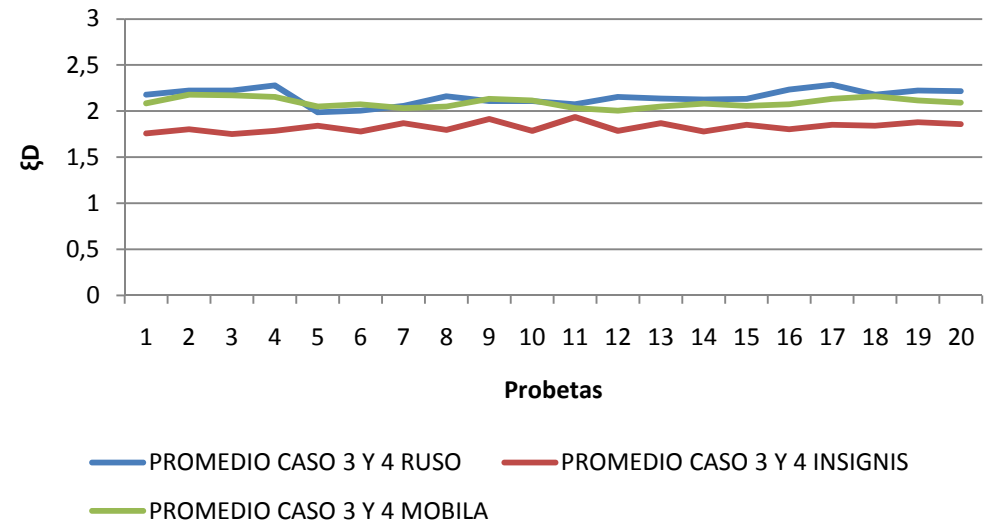
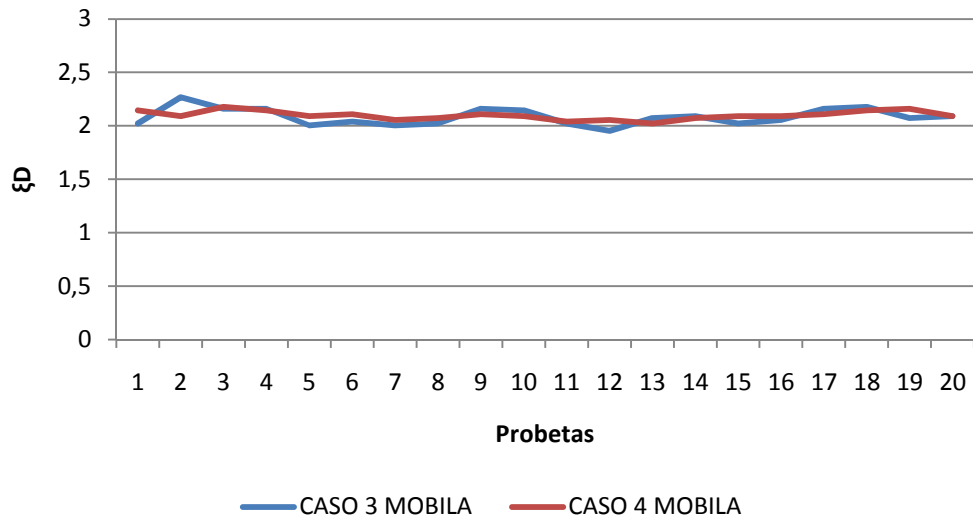
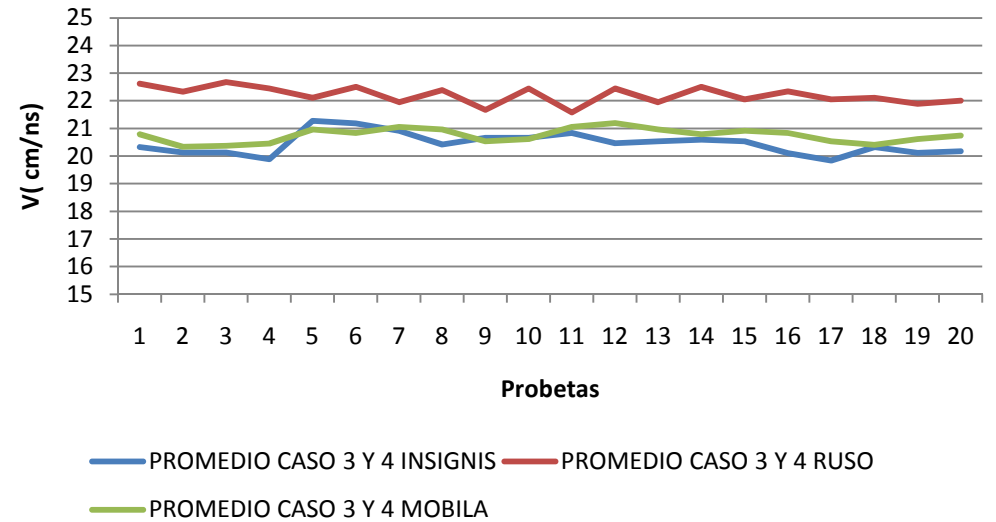
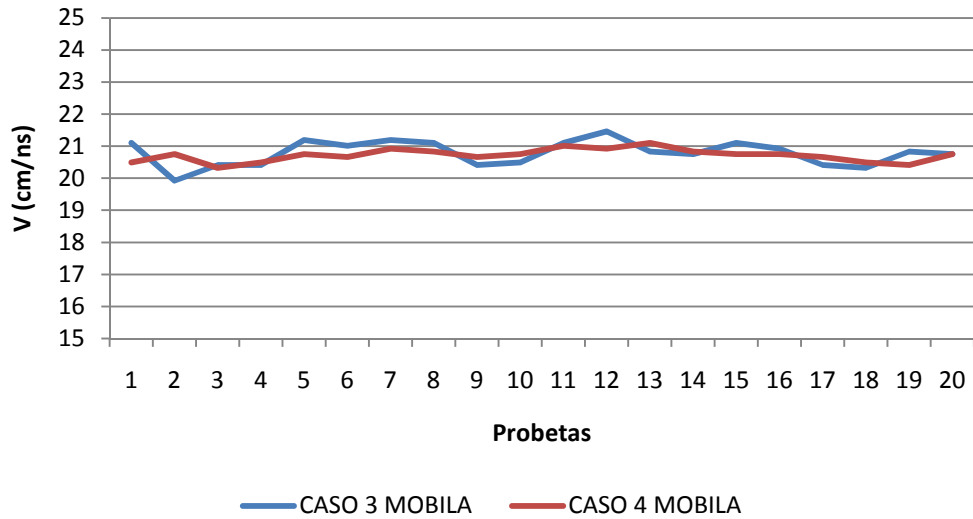
MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN (Cm/ns) EN CASOS 1 Y 2



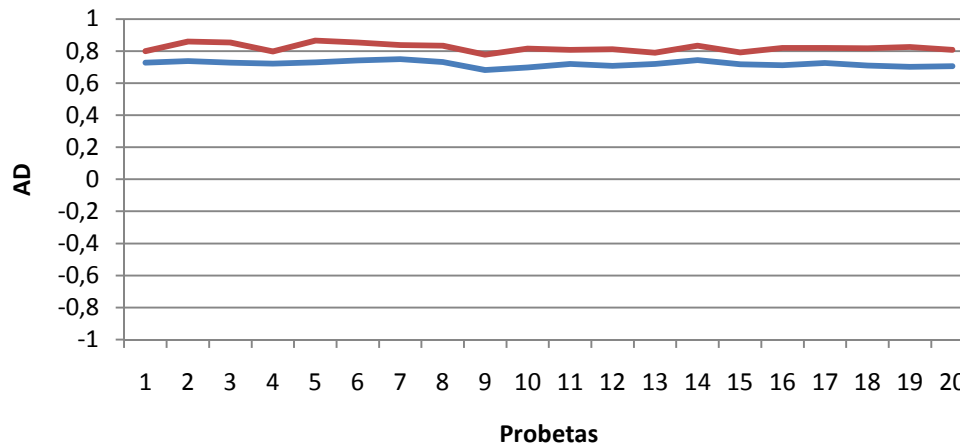
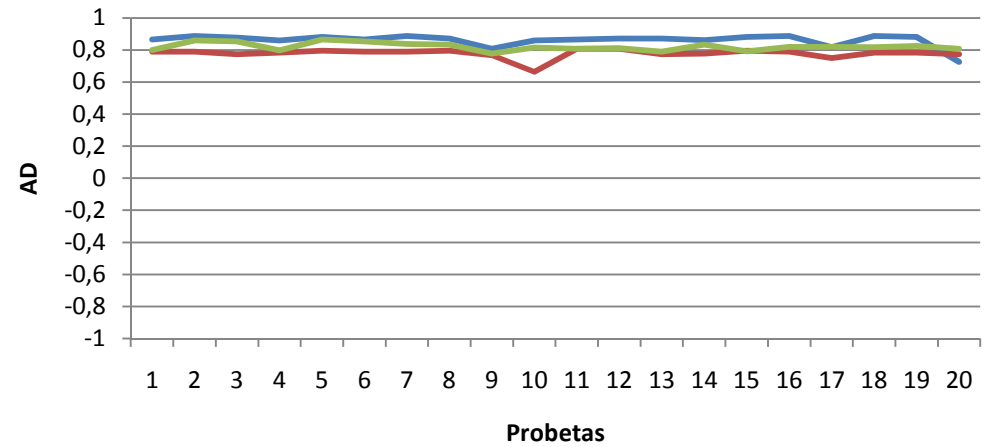
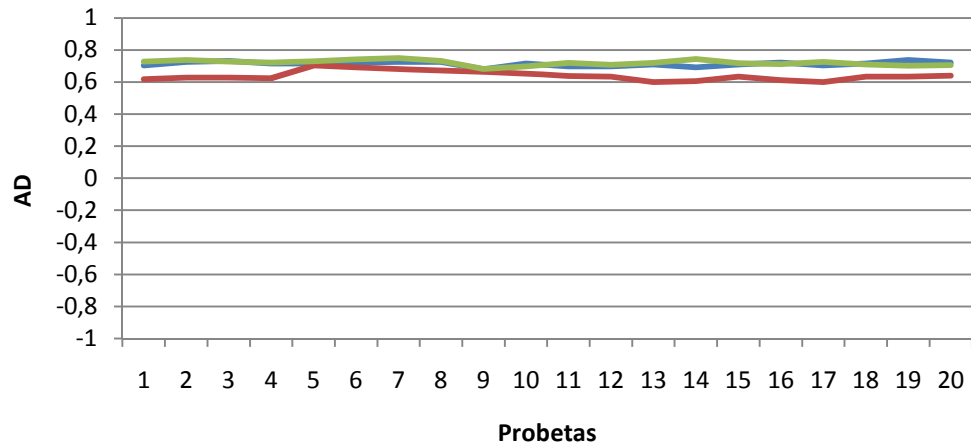
MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE CONSTANTES DIELECTRICAS EN CASOS 1 Y 2



MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE VELOCIDADES Y CTES DIELECTRICAS (Cm/ns) EN CASOS 3 Y 4

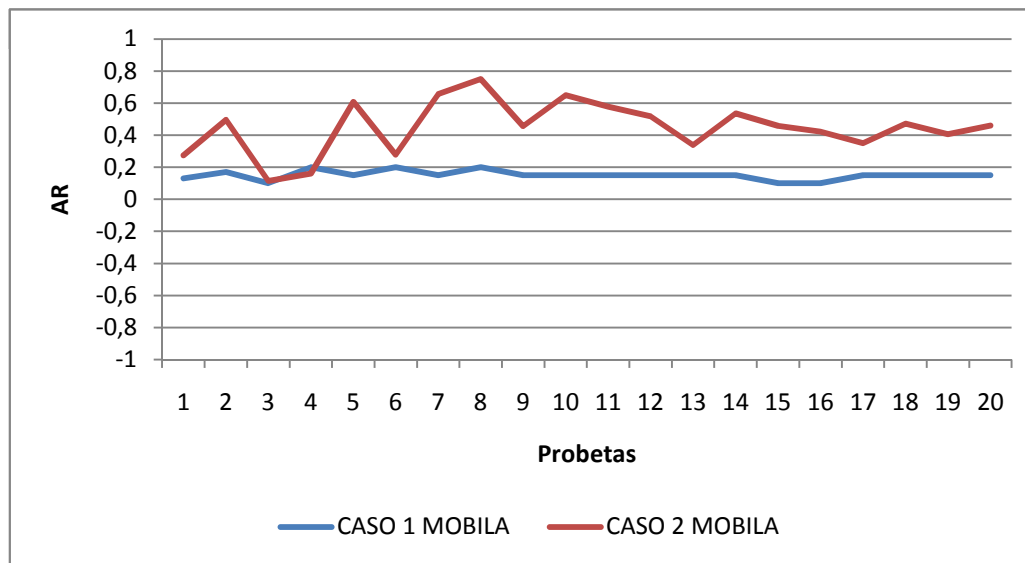
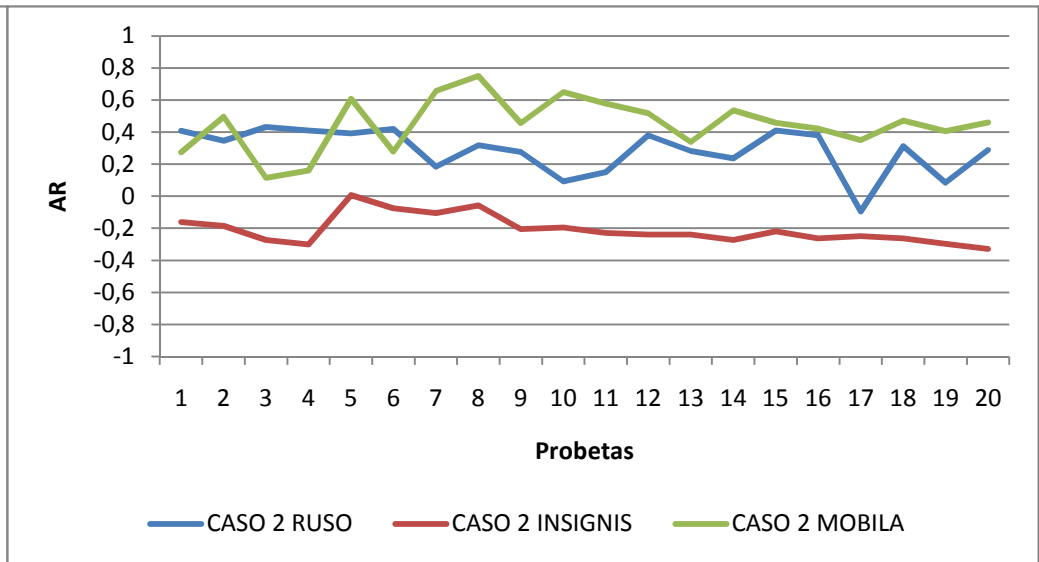
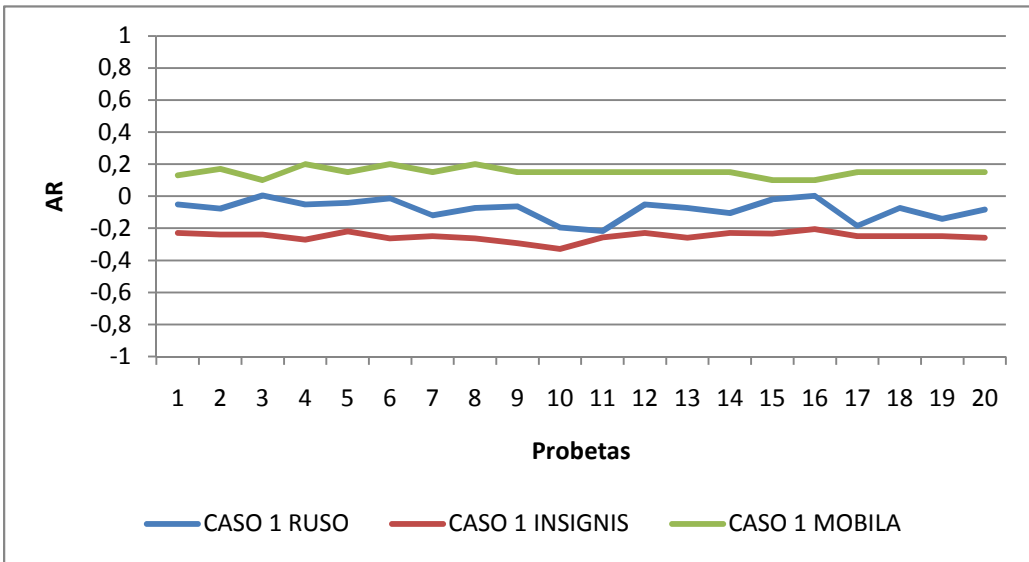


MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AD) EN CASOS 1 Y 2

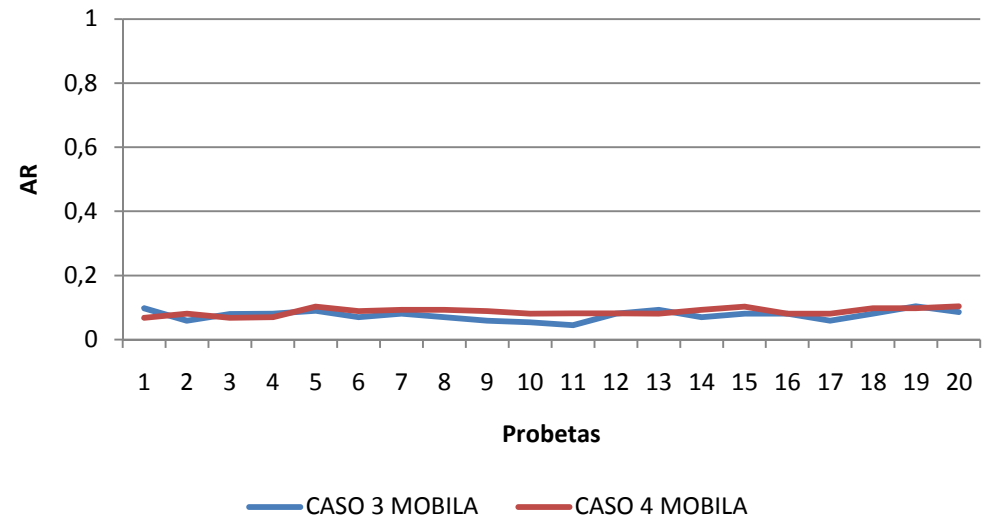
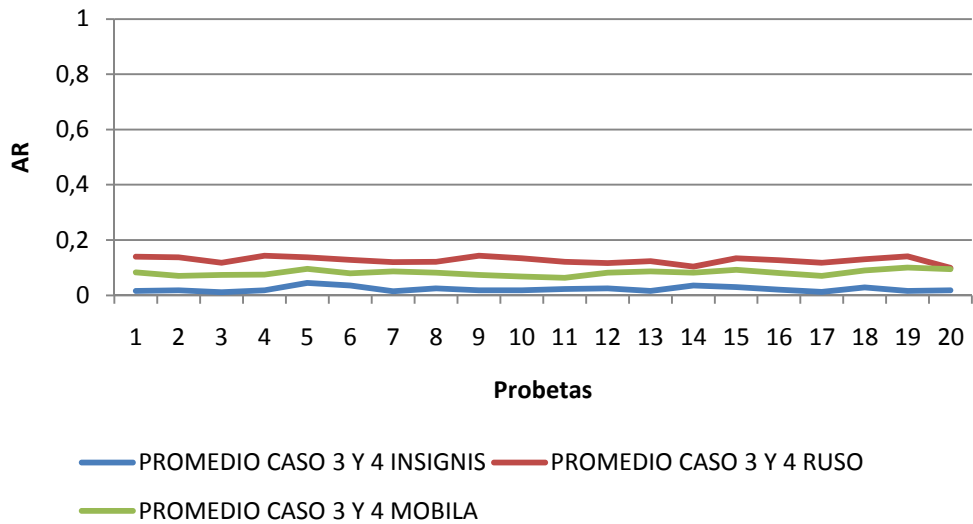
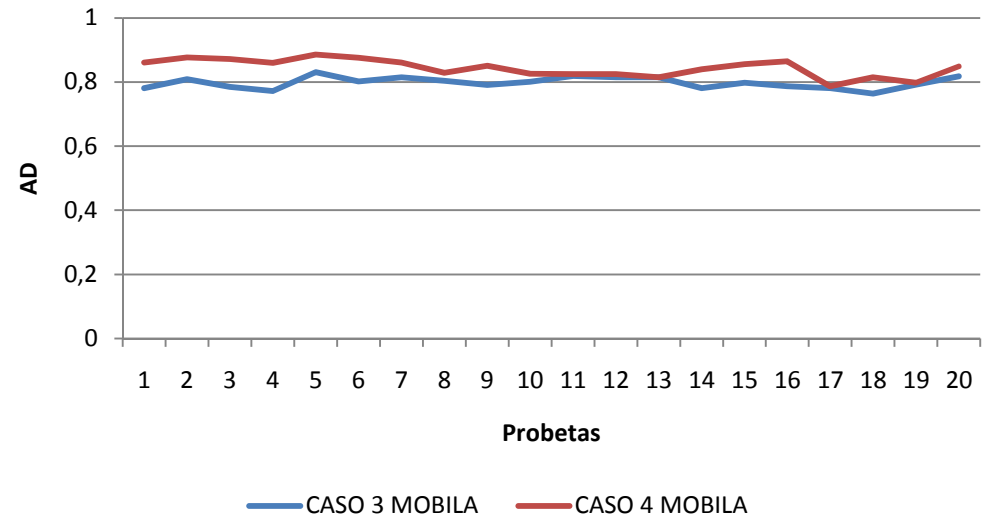
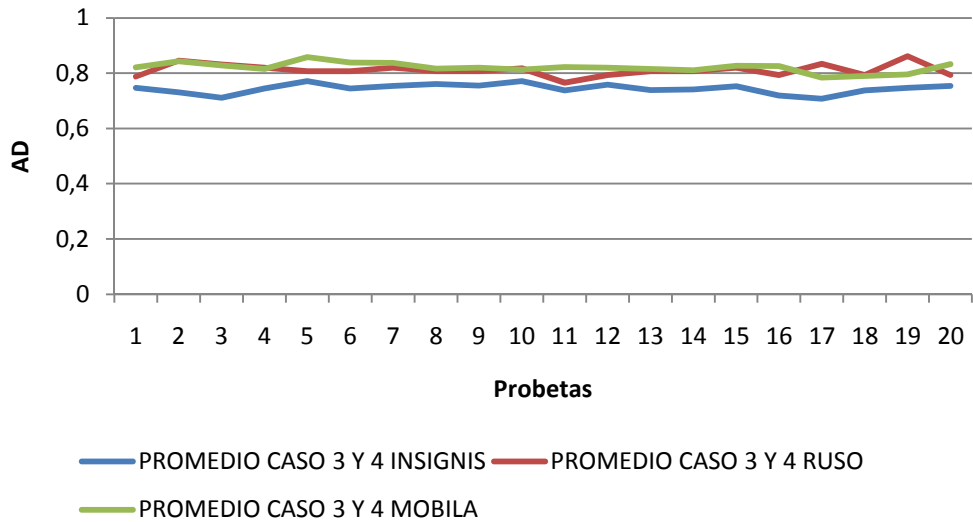


— CASO 1 MOBILA — CASO 2 MOBILA

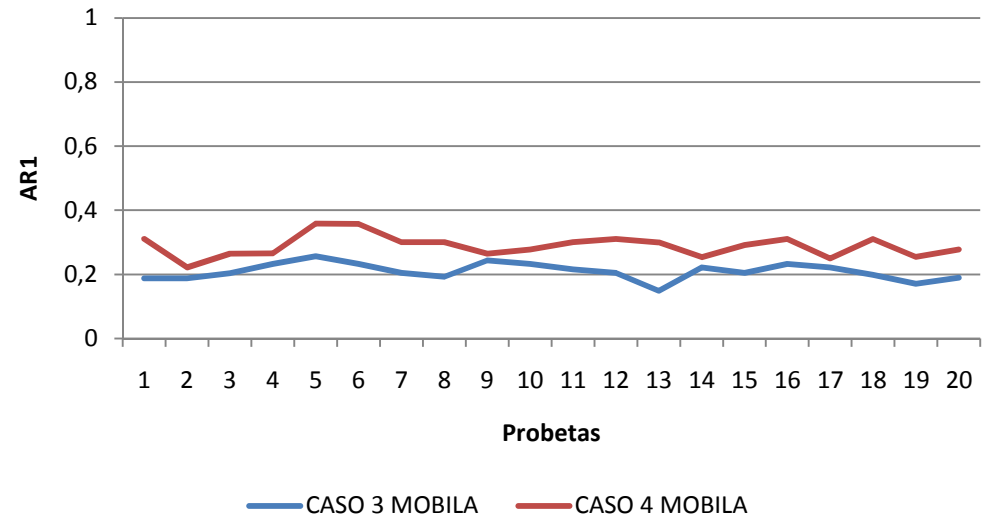
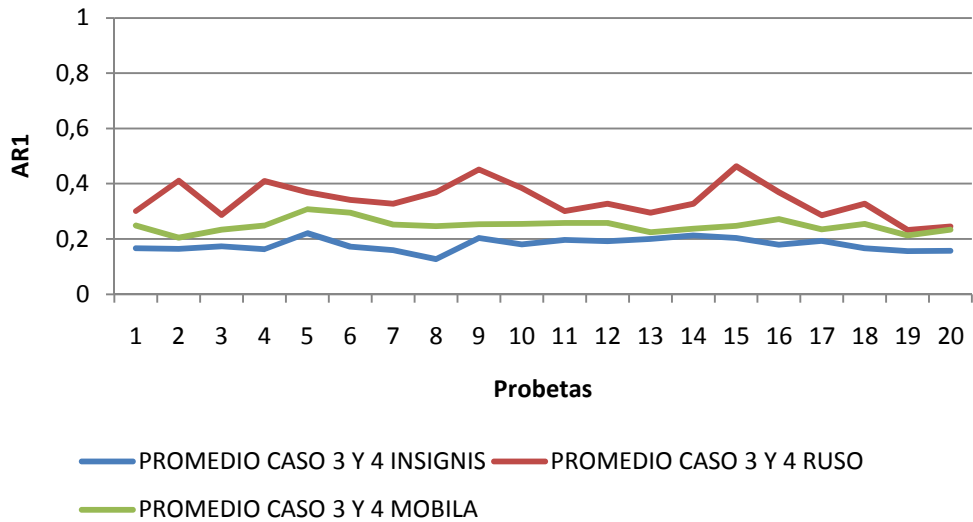
MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AR) EN CASOS 1 Y 2



MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AD Y AR) EN CASOS 3 Y 4



MOBILA: ANÁLISIS GRÁFICO DE AMPLITUDES (AR2) EN CASOS 3 Y 4



ANEXO IV

Tablas resumen de datos obtenidos

RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS

TABLA GENERAL

Nº	MUESTRA	CASO	HOJA DE DATOS	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	V_{D-R}	ξ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
				Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
1	P. RUSO	1	1	15	1,956	2,686		0,730	20,549	2,132	0,716	-0,068	
2	P. RUSO	2	2	15	1,952	2,620		0,668	22,447	1,787	0,871	0,300	
3	P. RUSO	3	7	44	1,945	3,924	4,349	1,979	22,241	1,821	0,807	0,137	0,337
4	P. RUSO	4	8	44	1,941	3,922	4,346	1,981	22,219	1,824	0,817	0,123	0,370
5	P. INSIGNIS	1	3	15	1,976	2,782		0,806	18,610	2,599	0,638	-0,248	
6	P. INSIGNIS	2	4	15	1,967	2,687		0,720	20,833	2,074	0,784	-0,220	
7	P. INSIGNIS	3	5	50	1,947	4,428	4,896	2,482	20,159	2,218	0,729	0,017	0,158
8	P. INSIGNIS	4	6	50	1,952	4,369	4,819	2,418	20,686	2,104	0,763	0,023	0,197

PINO RUSO

Nº	MUESTRA	CASO	HOJA DE DATOS	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	V_{D-R}	ξ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
				Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
1	P. RUSO	1	1	15	1,956	2,686		0,730	20,549	2,132	0,716	-0,068	
2	P. RUSO	2	2	15	1,952	2,620		0,668	22,447	1,787	0,871	0,300	
3	P. RUSO	3	7	44	1,945	3,924	4,349	1,979	22,241	1,821	0,807	0,137	0,337
4	P. RUSO	4	8	44	1,941	3,922	4,346	1,981	22,219	1,824	0,817	0,123	0,370
4	P. RUSO	RELACIÓN 1/2		44	1,002	1,025		1,092	0,915	1,193	0,822	-0,226	
5	P. RUSO	PROMEDIO 3 Y 4		44	1,943	3,923	4,348	1,980	22,230	1,822	0,812	0,130	0,353

PINUS INSIGNIS

Nº	MUESTRA	CASO	HOJA DE DATOS	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	V_{D-R}	ξ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
				Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
1	P. INSIGNIS	1	3	15	1,976	2,782		0,806	18,610	2,599	0,638	-0,248	
2	P. INSIGNIS	2	4	15	1,967	2,687		0,720	20,833	2,074	0,784	-0,220	
3	P. INSIGNIS	3	5	50	1,947	4,428	4,896	2,482	20,159	2,218	0,729	0,017	0,158
4	P. INSIGNIS	4	6	50	1,952	4,369	4,819	2,418	20,686	2,104	0,763	0,023	0,197
4	P. INSIGNIS	RELACIÓN 1/2		44	1,004	1,035		1,119	0,893	1,253	0,813	1,123	
5	P. INSIGNIS	PROMEDIO 3 Y 4		44	1,949	4,399	4,857	2,450	20,422	2,161	0,746	0,020	0,177

CASOS 1 Y 2

Nº	MUESTRA	CASO	HOJA DE DATOS	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	V_{D-R}	ξ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
				Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
1	P. RUSO	1	1	15	1,956	2,686		0,730	20,549	2,132	0,716	-0,068	
2	P. INSIGNIS	1	3	15	1,976	2,782		0,806	18,610	2,599	0,638	-0,248	
3	CASO 1	RELACIÓN R/I		15	0,990	0,965		0,906	1,104	0,820	1,122	0,274	
4	P. RUSO	2	2	15	1,952	2,620		0,668	22,447	1,787	0,871	0,300	
5	P. INSIGNIS	2	4	15	1,967	2,687		0,720	20,833	2,074	0,784	-0,220	
6	CASO 2	RELACIÓN R/I		15	0,992	0,975		0,928	1,077	0,861	1,110	-1,363	

CASOS 3 Y 4

Nº	MUESTRA	CASO	HOJA DE DATOS	2h	tD	tR	tR2	Δt_{D-R}	V_{D-R}	ξ_{D-R}	A_{ND}	A_{NR}	A_{NR2}
				Cm	ns	ns	ns	ns	Cm/ns				
1	P. RUSO	3	7	44	1,945	3,924	4,349	1,979	22,241	1,821	0,807	0,137	0,337
2	P. RUSO	4	8	44	1,941	3,922	4,346	1,981	22,219	1,824	0,817	0,123	0,370
3	P. RUSO	PROMEDIO 3 Y 4		44	1,943	3,923	4,348	1,980	22,230	1,822	0,812	0,130	0,353
4	P. INSIGNIS	3	5	50	1,947	4,428	4,896	2,482	20,159	2,218	0,729	0,017	0,158
5	P. INSIGNIS	4	6	50	1,952	4,369	4,819	2,418	20,686	2,104	0,763	0,023	0,197
6	P. INSIGNIS	PROMEDIO 3 Y 4		50	1,949	4,399	4,857	2,450	20,422	2,161	0,746	0,020	0,177

ANEXO V

*Calculo del contenido de humedad y peso
específico*

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DEL PESO ESPECÍFICO

MUESTRA	PROBETA	a	b	l	Masa inicial	Masa final	ω	V	r_H	r_{Ha}
		cm	cm	cm	gr	gr	%	cm ³	Kg/m ³	Kg/m ³
Ruso	1	9,50	7,50	22,50	730,94	661,46	10,5	1603,13	456	413
	2	9,00	7,50	22,50	657,87	594,10	10,7	1518,75	433	391
	3	9,00	7,50	22,50	764,78	694,06	10,2	1518,75	504	457
	Media Pino ruso							10,5		464,2
Insignis	1	6,00	7,30	24,50	657,57	583,05	12,8	1073,10	613	543
	2	6,00	7,30	24,50	659,77	584,20	12,9	1073,10	615	544
	3	6,00	7,30	24,50	667,99	592,50	12,7	1073,10	622	552
	Media Pinus insignis							12,8		616,7

ω : Contenido de humedad en tanto por ciento

V: Volumen de la probeta en cm³

r_H : Peso específico en Kilogramos por metro cúbico a humedad H_ω

r_{Ha} : Peso específico en Kilogramos por metro cúbico en estado anhidro

Calculos realizados según normas UNE 56531:1977 "determinación del peso específico" y UNE EN 13183-1:2002 "contenido de humedad de una pieza serrada".

ANEXO VI

Normativa de aplicación

UNE-EN 338:2003

Madera estructural. Clases resistentes. *Structural timber. Strength classes.*

UNE-EN 384:2004

Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad. *Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density*

UNE-EN 408:2004

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para su uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. *Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties*

UNE-EN 1912:2005+A2:2008

Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies. *Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species.*

UNE 56531:1977

Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. *Physical-mechanical characteristics of wood. Determination of specific weight.*

UNE 56544:2007

Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. *Visual grading for structural sawn timber. Coniferous timber.*

UNE-EN 13183-1:2002

Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa. *Moisture content of a piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method.*

UNE-EN 13183-2:2002

Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica. *Moisture content of a piece of sawn timber. Part 2: Estimation by electrical resistance method.*

UNE-EN 13556:2004

Madera aserrada y madera en rollo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en España. *Round and sawn timber. Nomenclature of timbers used in Europe.*

UNE-EN 14081-1:2006

Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia.
Parte 1: Requisitos generales. *Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements*