

## **TALLER I23**

APLICACIÓN DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS PARA EL ESTUDIO  
DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

## **PROYECTO FINAL DE GRADO:**

# **APLICACIÓN DEL GEORRADAR AL ESTUDIO DE LA ANISOTROPIA DIELECTRICA DE LA MADERA DE MOBILA**

---

TUTORAS: D<sup>a</sup> ROSA MARIA MARTINEZ SALA  
D<sup>a</sup> ISABEL RODRIGUEZ ABAD

ALUMNAS: ANA MARIA GARCIA ZAMORA  
AMPARO IRANZO JUAN

CURSO 2010- 2011

# INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.....	2
2. MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO: MADERA DE MOBILA.	
2.1 GENERALIDADES DE LA MADERA.....	4
2.2 MADERA DE MOBILA.....	14
2.3 MUESTRAS LABORATORIO .....	19
3. MÉTODO E INSTRUMENTOS DE ENSAYO CON TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS. GEORRADAR.	
3.1 GENERALIDADES DEL GEORRADAR.....	21
3.2 GEORRADAR SIR-3000 .....	25
3.3 OTRAS TÉCNICAS USUALES .....	31
4. METOLOGIA.	
4.1 ENSAYOS EN LABORATORIO.....	33
4.2 TOMA DE DATOS.....	37
5. CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	43
6. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN.....	59
7. CONCLUSIONES Y VALORACIONES.....	66
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y NORMATIVA.....	68
9. ANEXOS .....	69

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La madera ha sido utilizada para diversos fines a lo largo de la historia, pero su uso en la construcción comienza con la aparición de las primeras herramientas incisivas, y se perfecciona hasta nuestros días.

El estudio de la madera como elemento estructural de la edificación hace que sea necesario tener herramientas objetivas para poder clasificarla. La clasificación resistente de los distintos tipos de la madera, surge por la necesidad de controlar los factores de variabilidad de la misma, tanto en distintos tipos de madera como dentro de un mismo tipo.

Existen herramientas o técnicas que la clasifican atendiendo a las diferentes propiedades que afectan, de forma determinante, a su resistencia mecánica, como la anisotropía dieléctrica, el contenido de humedad o la densidad.

Algunas de las técnicas que actualmente se emplean para clasificar y catalogar la madera pueden realizarse mediante métodos destructivos, que producen daños como consecuencia de las perforaciones que en muchos casos hay que realizar, o métodos no destructivos, como la inspección visual, el resistógrafo, los ultrasonidos o el georradar. Son técnicas que pueden realizarse en el laboratorio o "in situ", ya que el manejo es más sencillo.

El objetivo principal del proyecto consiste en el estudio de la anisotropía de la madera de mobla desde el punto de vista dieléctrico, con la utilización de una técnica no destructiva basada en la propagación de ondas electromagnéticas. Para ello utilizaremos un equipo de Georradar SIR-3000 y una antena de 2GHz.

Para ello, realizaremos una serie de ensayos en el laboratorio con distintas muestras de madera de mobla, donde se evaluará el sistema de adquisición y procesado de los datos, así como el grado de alteración que se produce en las señales electromagnéticas registradas como consecuencia de la variación de las propiedades.

El fin de estudiar el comportamiento dieléctrico y la anisotropía de la madera de mobla con el Georradar, es el de conocer el comportamiento de ésta y, a su vez, conocer el funcionamiento del equipo, así como sus cualidades, sus características y qué dificultades puede presentar a la hora de implantarlo in situ, para posteriormente, exponer un caso práctico de aplicación, basado en la implantación del equipo.

El caso práctico será una vivienda con estructura realizada de madera de mobla.

## RESUMEN DE CONTENIDO

En el apartado 2 nos centraremos en la madera y sus generalidades, para posteriormente hablar de la madera de mobla en concreto y acabar describiendo las muestras de laboratorio a analizar.

En el apartado 3 describiremos la técnica no destructiva del Georradar y se describirá el equipo que se va a utilizar en el laboratorio. También comentaremos otras técnicas no destructivas.

En el apartado 4 hablaremos de la metodología de medición utilizada y como obtener los datos, para pasar en el apartado 5 donde se realizarán los cálculos oportunos y el análisis de los resultados.

En el apartado 6 expondremos el caso práctico de aplicación de la vivienda.

En el apartado 7 llegaremos a nuestras conclusiones y valoraciones.

Y por último, en el apartado 8 incluiremos las bibliografía y la normativa de aplicación.

## 2. MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO: MADERA DE MOBILA

### 2.1 GENERALIDADES DE LA MADERA

La madera es un material orgánico, producido por un organismo vivo, el árbol, con estructura celular. Es una materia fibrosa y organizada. Se denomina madera al conjunto de tejidos leñosos que forman el tronco, las raíces y las ramas, excluida la corteza.

En el estudio de la madera como material, se distinguen tres niveles dentro de los que se explican todas las características de su comportamiento físico-mecánico:

-Estructura macroscópica de la madera es la parte visualizable a simple vista o con una lupa de 10 aumentos. Se puede observar: medula, duramen, albura, cambium, liber, corteza y anillos de crecimiento. (Ver figura 1)

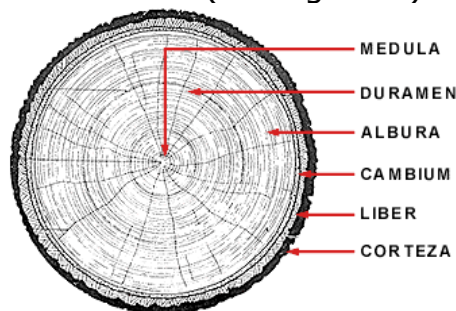


Figura 1. Dibujo de Estructura macroscópica.(fuente sacada de internet)

- Médula y radios medulares:

Es la parte central, la más antigua, y se forma por secado y resinificación. Forma un cilindro en el eje del árbol y está constituida por células redondeadas que dejan grandes meatos en sus ángulos de unión.

- 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.

- Albura:

La 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.

- 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 blanda, 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.

- Corteza:

Su misión es la protección y aislamiento de los tejidos del árbol de los agentes atmosféricos.

-Estructura microscópica de la madera es la parte visible con 2000 aumentos, se puede observar: las traqueidas y los radios leñosos.(Ver figura 2)

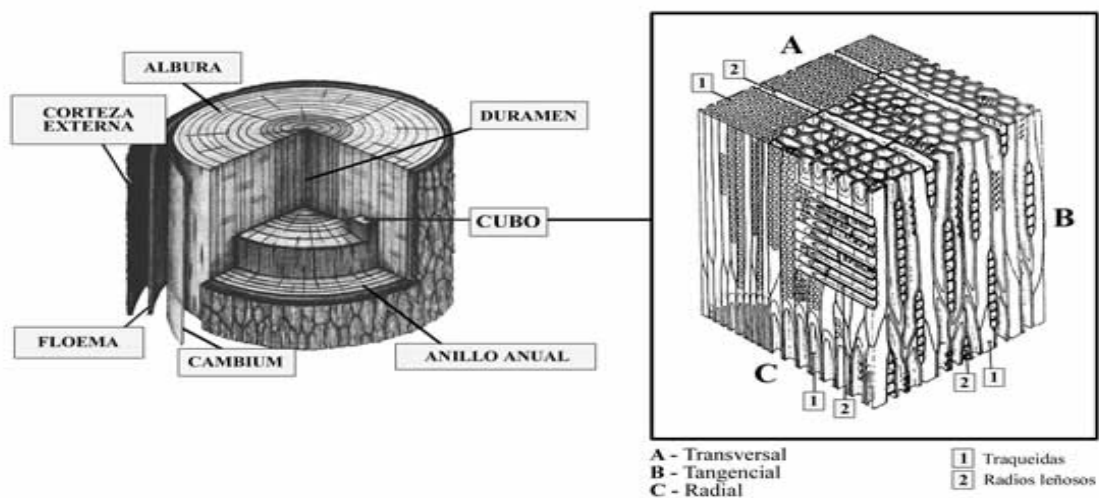
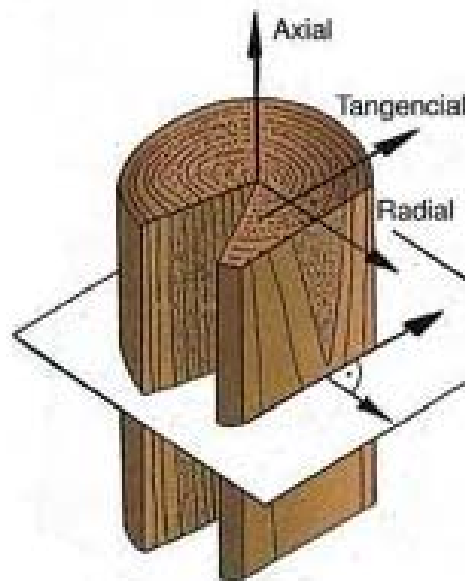


Figura 2. -Esquema de Estructura microscópica(fuente obtenida por internet)

-Estructura ultramicroscópica de la madera es la parte visible con 3000 aumentos. Se observa la composición de la madera debido a que está constituida íntegramente por células.

Tras el análisis de la estructura podemos clasificar la madera en coníferas (madera blandas) y frondosas (madera dura). Centrándonos en la estructura tubular de la madera y en su formación mediante sucesivas capas concéntricas, podemos decir que la madera es un material que no presenta las mismas propiedades físicas y mecánicas según todas las direcciones que pasan por un punto, es decir es un material anisótropo. Atendiendo a este carácter anisotrópico se consideran tres direcciones que son las indicadas en la figura 3.



*Figura 3. Direcciones de la madera según el corte. (Fuente internet)*

-Axial: paralela al eje del árbol.

-Radial: perpendicular al eje.

-Tangencial: perpendicular a axial y radial.

Por lo que cuando se hablan de las propiedades físicas o mecánicas debe especificarse la dirección de las fibras.

## **Propiedades Físicas maderas:**

Las **propiedades físicas** dependen de diversos factores como el crecimiento que ha tenido el árbol, la edad en que se ha talado, el contenido de humedad y la dirección de las fibras. Entre las propiedades físicas nos encontramos:

### *-Anisotropía:*

Las propiedades físicas y mecánicas de la Madera no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado. Podemos definir tres direcciones principales en que se definen y miden las propiedades de la madera, que son la axial, la radial y la tangencial, como se comentó anteriormente.

### *-El agua en la madera, esta se puede presentar de tres formas:*

- Agua de constitución o combinada: forma parte de la materia leñosa
- Agua de saturación o impregnación: se encuentra en las paredes higroscópicas de las células, esta agua es la que mantiene el equilibrio con el ambiente. El punto de saturación se alcanza cuando las paredes celulares se saturan de agua, en maderas coníferas como la pino su valor estará entre el 28% y 30%.
- Agua libre: que es la absorbida por vasos y traqueidas, influye en la densidad aparente.

Una vez talado el árbol, el agua libre desaparece con el tiempo, quedando el agua de saturación correspondiente a la humedad atmosférica. El agua de combinación no desaparece a no ser por la acción del fuego.

### *-Contenido de humedad de la madera*

Como la Madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodea a la Madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la Madera está secada al aire.

La humedad de la Madera varía entre límites muy amplios. En la Madera recién cortada oscila entre el 50 y 60%. Las variaciones de humedad hacen que la Madera se hinche o contraiga, variando su volumen, y, por consiguiente, su densidad.



La humedad de la madera se define como el porcentaje en peso, del agua retenida en la madera respecto a la madera anhidra (totalmente sin contenido de agua).

Por lo que como la humedad en la madera puede variar mucho, se ha estipulado un contenido del 12 % como medida internacional para efectuar ensayos pertinentes en todo caso.

Las normas de referencia son: UNE-EN 13183-1, UNE -EN 13183-2.

#### *-Higroscopicidad de la madera.*

La higroscopicidad es la propiedad de absorber y exhalar humedad. En la madera definiremos higroscopicidad a la variación del peso específico cuando la humedad varía en 1%.

#### *-Hinchazón y merma.*

Es la propiedad derivada del fenómeno de sorción y desorción. cuando la madera absorbe agua aumenta su volumen y se produce el hinchazón, pasa lo contrario cuando la madera cede agua, esta merma. Como ya hemos hablado antes de la anisotropía de la madera, en este caso también se ve afectada las variaciones de dimensiones de la madera dependiendo la dirección. En la dirección axial la variación es escasa mientras que en las direcciones radial y tangencial las variaciones de dimensiones aumentan mas, debemos decir que, en la dirección tangencial es donde mayor aumento puede producirse hasta el 18 %.

#### *-Densidad*

Depende como es lógico de su contenido de agua. Se puede hablar de una densidad absoluta y de una densidad aparente. La densidad absoluta viene determinada por la celulosa y sus derivados. Su valor oscila alrededor de 1550 kg/m<sup>3</sup>, apenas varía de unas maderas a otras. La densidad aparente viene determinada por los poros que tiene la madera, ya que dependiendo de si están más o menos carentes de agua crece o disminuye la densidad. Depende pues del grado de humedad, de la época de apeo, de la zona vegetal, etc. La madera es un material blando cuya dureza es proporcional al cuadrado de la densidad, decayendo en proporción inversa con el grado de humedad. Ambas densidades unidas dan la densidad real de la madera.

### *-Dureza*

La Dureza de la Madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavado, etc. Debido a que la madera es un material anisótropo e higroscópico la dureza es difícil de medir. En este caso se relaciona con la densidad el grado de dureza, a si pues cuanto mayor densidad mayor dureza tendrá la madera. Al estar relacionada con la densidad, la zona central de un tronco es la que posee mayor dureza, pues es la más compacta. Se podría decir también que cuanto más vieja y dura es, mayor resistencia opone la madera.

Las normas de referencia son: UNE 56-540-78.

### *-Propiedades térmicas*

Como todos los materiales, la Madera dilata con el calor y contrae al descender la temperatura, pero este efecto no suele notarse pues la elevación de temperatura lleva consigo una disminución de la humedad. Ya que la madera tiene poros y hace que sea un material mal conductor de calor, aunque si se aumenta el contenido de agua aumenta la conductividad. Por lo que es un buen aislante térmico cuando la madera está seca. También podemos decir que la conductividad térmica será mayor en dirección paralela a las fibras ya que hay menor presencia de poros.

La transmisión de calor dependerá de la humedad, del peso específico y de la especie. No obstante, se efectúa mejor la transmisión en la dirección paralela de las fibras que en las direcciones perpendiculares a ésta.

### *-Propiedades eléctricas*

La Madera seca es un buen aislante eléctrico, su resistividad decrece rápidamente si aumenta la humedad. Para un grado de humedad determinado la resistividad depende de la dirección (es menor en la dirección de las fibras), de la especie (es mayor en especies que contienen aceites y resinas) y del peso específico (crece al aumentar el mismo).

### *-Durabilidad.*

Esta propiedad depende de factores diversos, aunque el enemigo mayor sin duda de la durabilidad de la madera son los insectos.

*-Olor.*

Algunas Maderas producen un olor característico al cortarse. El olor puede ser más o menos intenso dependiendo de la localidad donde creció el árbol. Al igual que el color, el aroma de la Madera se debe a compuestos químicos almacenados principalmente en el duramen.

### **Propiedades Mecánicas de madera: Norma UNE –EN 384:2010.**

Las **propiedades mecánicas**, dependen fundamentalmente de la anatomía de la madera, recordamos que la madera es un material anisótropo, formado por un haz de tubos huecos con una estructura específicamente diseñada para resistir tensiones paralelas a la fibra. Ya que la madera como ser vivo, es decir, el árbol produce la estructura tubular para resistir la flexión producida por la acción del viento y la compresión por las acciones gravitatorias. Por lo que la dirección de las fibras de la madera como material es importante con respecto a la dirección del esfuerzo que vaya a soportar. Por lo que es importante diferenciar, las diferentes propiedades mecánicas en la dirección paralela y la dirección perpendicular de la fibra. Podemos decir que el comportamiento mecánico depende del grado de humedad y a su vez de la densidad de la madera.

Entre las propiedades mecánicas tenemos:

#### *-Resistencia a compresión*

Esta propiedad depende fundamentalmente de la humedad, se puede decir que a partir de un contenido del 30% la compresión permanece constante, mientras si disminuye el grado de humedad la resistencia a compresión aumenta. También tendremos en cuenta la densidad ya que depende de cada una de la especies de madera.

La compresión de la madera en las diferentes direcciones de la fibra no es igual. Basándonos en los estudios ya realizados, decimos que la compresión en la dirección paralela a la fibra es excesiva y va disminuyendo conforme nos alejamos de esa dirección. No podemos decir lo mismo en la compresión en dirección perpendicular de la fibra, ya que las fibras son huecas y se aplastan bajo la carga, y nos resulta una resistencia mínima.

Norma de referencia: UNE-EN 408:2010

#### *-Resistencia a tracción.*

La madera es muy indicada para trabajar a tracción, siempre que el esfuerzo actúe en dirección paralela a las fibras. Esta resistencia será

mínima cuando la dirección sea perpendicular a las fibras, debido a la escasez de fibras en dirección perpendicular al eje del árbol y la falta de trabazón transversal de las fibras longitudinales. Norma de referencia: UNE-EN 408:2010

#### *-Resistencia a flexión.*

En la madera la resistencia a flexión es elevada. Puede decirse que la madera no resiste nada al esfuerzo de flexión en dirección radial o tangencial. No ocurre lo mismo si está aplicado en la dirección perpendicular a las fibras.

Un elemento sometido a flexión se deforma, produciéndose un acortamiento de las fibras superiores y un alargamiento de las inferiores. Al proyectar un elemento de madera sometido a flexión no sólo ha de tenerse en cuenta que resista las cargas que sobre él actúan, es necesario evitar una deformación excesiva, que provoque un agrietamiento en el material de revestimiento o alguna incomodidad de cualquier otro tipo, bastaría con aumentar el canto de la pieza aumentando la rigidez. Norma de referencia: UNE-EN 408:2010

#### *-Cortante.*

En la madera dependiendo de la orientación de la fibra pueden darse diferentes tipos de tensiones:

Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. El fallo se produce por aplastamiento.

Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en dirección longitudinal.

Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre otras.

Norma de referencia: UNE-EN 408:2010

#### *-Modulo de elasticidad.*

En la madera, el modulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra adopta valores diferentes según se exponga a tracciones o compresiones. En la dirección perpendicular a la fibra se toma un único modulo de elasticidad y es 39 veces inferior al paralelo a las fibras.

Norma de referencia: UNE-EN 408:2010

*-Hendibilidad.*

Es la propiedad de separar la madera por cortes en sentido de sus fibras, paralelos al eje del tronco. Es más fácil según los radios medulares y cuando es más dura.

Una vez explicadas las propiedades y características de la madera, citaremos los distintos agentes destructores que la degradan.

### **Agentes destructores bióticos**

Lo componen organismos vivos (insectos xilófagos y hongos) que en la madera encuentran su lugar de vida y fuente de nutrición para su desarrollo, mediante la asimilación de los Hidratos de Carbono que posee la Celulosa y la Lignina que consumen.

#### **Insectos xilófagos:**

- Insectos Sociales
- Insectos de Ciclo Larvario: Cerambícidos, Anobidos o Carcomas, Líctidos o Polillas

#### **Hongos:**

- Pudrición azul
- Pudrición blanca o fibrosa
- Pudrición blanda
- Pudrición negra
- Pudrición parda o cúbica

### **Agentes destructores abióticos**

Son las causas de alteraciones producidas por los elementos de carácter natural-atmosférico y que son de índole físico-química. Se conocen como tales:

- Agentes atmosféricos
- Agentes mecánicos
- Agentes químicos
- Absorción de agua
- El fuego

Además de los agentes destructores también se tienen que tener en cuenta los diferentes defectos en la madera, los cuales se indican en la tabla 1.

**TABLA 1. Defectos en la madera**

DEFECTOS DE MADERA A TENER EN CUENTA
<b>Acebolladuras:</b> Son grietas entre los anillos de crecimiento que provocan la separación entre ellos de forma total o parcial
<b>Deformación :</b> Se trata de un defecto de secado
<b>Fendas:</b> Grietas longitudinales debidas a los bruscos cambios de temperatura
<b>Hendidura:</b> Grieta que recorre todo el espesor del tronco, desde el corazón hasta la corteza.
<b>Lagrimales:</b> Pudrición de una zona como producto de haber estado la savia en contacto con agentes atmosféricos
<b>Nudos:</b> Es una madera quebradiza formada por desviaciones de las fibras que en principio formarían una rama, pero que por circunstancias este crecimiento se ha interrumpido recubriéndose con madera nueva. Existen dos tipos, los vivos, que están producidos al cortar una rama y son de color claro, y los muertos, formados por tejidos sin vida que le han dado su coloración oscura característica, indicando que dicha zona estuvo viva

Estos factores se tienen que tener en cuenta cuando se estudia o examina cualquier tipo de madera, ya que son factores que pueden modificar las características y propiedades mecánicas en mayor o menor grado.

## **2.2-MADERA DE MOBILA**

Habiendo descrito las características y propiedades básicas de la madera en general, nos centraremos en la madera a estudiar, madera de pino mobila, como se le denomina en la zona de Valencia, debido a que esta madera, procedente del Sur de los Estados Unidos (entre Virginia y Texas), se embarcaba en el puerto de Mobile. En otras zonas de España también adoptan otro nombre como en Baleares y Canarias que es pino tea, y en la zona de Cataluña pino melis. En la práctica son pocos los que utilizan o conocen su nombre comercial piloto (pino amarillo del sur).

Desde hace muchos años la demanda de pino amarillo del sur, (mobila), es continua en el comercio y la industria. Se trata en verdad del nombre comercial para una mezcla de especies de pinos de características muy parecidas, provenientes de los estados del sudeste de Norteamérica, como hemos comentado anteriormente. En botánica podemos clasificar esas especies como: el *pinus palustris* (longleaf pine, o de hoja larga), *pinus taeda* (loblolly pine, o pino tea), *pinus elliottii* (slash pine) y *pinus echinata* (shortleaf pine, o de hoja corta).

Estas especies tienen una copa relativamente pequeña, lo que proporciona una gran longitud en el tronco de madera limpia. Actualmente, y debido a la intensificación de la producción y a una mejor silvicultura, la producción de madera de calidad se obtiene en ciclos más cortos (25 años), extrayéndose por tanto más madera de albura, aunque manteniendo la limpieza que caracteriza a esta madera.

Las principales producciones se encuentran en Georgia, Alabama, Louisiana, Arkansas y Carolina del Norte. En conjunto, superan los 35 millones de metros cúbicos anuales de producción. La mayor parte de ésta (y el 100% de la que va a ser exportada) se seca en hornos. Con ello se garantiza que esté exenta de organismo dañino alguno, así como una estabilidad dimensional y protección frente al azulado, al cual todas las maderas de coníferas son susceptibles. El pino amarillo del sur, es una de las especies más idóneas para el tratamiento a presión con protectores de madera, debido a la facilidad con que se impregna.

Procederemos a la descripción de la madera de mobila (pino amarillo del sur), fuente Fernando Perez Sanchez (Especies De Madera).

La madera de albura tiene un color que varía desde el blanco hasta el amarillo pálido o naranja claro. El duramen se diferencia bastante bien, ya que tiene un color que varía del amarillo anaranjado al marrón rojizo o marrón claro. Los anillos de crecimiento son visibles. La madera de verano forma bandas muy oscuras y la transición entre

la madera de primavera y verano es muy brusca y perfilada con un contraste llamativo. Los radios leñosos son muy finos, no visibles a simple vista, excepto cuando se incluyen en un canal resinífero transversal, formando un veteado en la superficie.

Las características estructurales del pino amarillo se encuentran entre los más altos de todas las maderas de coníferas. Sumamente resistente al desgaste, es ideal para estructuras que soportan mucho tráfico, como paseos de entablado, balcones, terrazas y pisos. Asimismo, es una de las coníferas que mejor retienen los clavos y dispositivos de unión; el secado aumenta grandemente su capacidad de retención de clavos.

Su fibra es recta, aunque se define como frecuentemente entrelazada para el pino taeda. El grano es grueso y basto.

Presenta números canales resiníferos, puede producir irritaciones en la piel. Tiene un fuerte olor a resina que permanece después de que se seca la madera.

### **Propiedades físicas madera de mobila:**

Densidad: 400-450-500 kg/m<sup>3</sup>

Contracción: medianamente nerviosa

Coefficiente de contracción: total (unitario)

-volumétrica 12% (-)

-tangencial: 7,4-7,7% (0.29 -0.33)

-radial: 4.6- 5.1 % (0.18-0.25)

Dureza: semidura

### **Propiedades mecánicas, madera de mobila:**

Madera libre de defectos:

-flexión estática: 74-105 N/mm<sup>2</sup>

-modulo elasticidad: 11.100-14500 N/mm<sup>2</sup>

-compresión axial: 41-58 N/mm<sup>2</sup>

-compresión perpendicular: 2,7-3,3 N/mm<sup>2</sup> (ASTM)

-Cortante: 7-12,5 N/mm<sup>2</sup>

-flexión dinámica: 6-7 J/cm<sup>2</sup>



CLASES RESISTENTES en la norma española no las podemos obtener ya que no registra esta especie de madera. Pero si se observa la norma europea EN 1912:2004, dependiendo del país y de la calidad de la madera de pino amarillo del sur (mobila), podemos decir que, puede la madera de pino amarillo del sur puede estar dentro de estas clases de resistencia C30-C22-C18-C16- C14. Según se observa en las tablas que se adjunta de la norma:

TABLAS 2. Norma EN 1912:2004

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase la nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C35	Alemania	S13	Pino Oregón	Alemania	54	
C30	Francia	ST-I	Picea y abeto	Francia	1, 22	
	Alemania, Austria y República Checa	S13 S13 S13 S13	Picea Pino Abeto Alerce	CNE de Europa CNE de Europa CNE de Europa CNE de Europa	22 47 1 15	
	Países Nórdicos	T3 T3 T3 T3	Pino (silvestre) Picea (blanca) Abeto Alerce	NNE de Europa NNE de Europa NNE de Europa NNE de Europa	47 22 1 15	
	EE.UU.	J&P Sel SLF Sel	Pino amarillo del Sur Pino amarillo del sur	EE.UU. EE.UU.	35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48	
	España	ME1	Pino Laricio	España	39	
	República de Eslovaquia	S0	Picea	República de Eslovaquia	22	

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C24	Alemania, Austria y República Checa	S10 S10 S10 S10	Picea Pino Abeto Alerce	CNE de Europa CNE de Europa CNE de Europa CNE de Europa	22 47 1 15	
	Países Nórdicos	T2 T2 T2 T2 T2 y mejor	Pino (silvestre) Picea (blanca) Abeto Alerce Picea de Sitka	NNE de Europa NNE de Europa NNE de Europa NNE de Europa Dinamarca y Noruega	47 22 1 15 28	
	España	ME1 ME1	Pino radiata Pino pinaster	España España	49 44	
	Canadá y EE.UU.	J&P Sel J&P Sel J&P Sel SLF Sel SLF Sel SLF Sel	Pino Oregón/Alerce Hemlock/Abeto S-P-F Pino Oregón/Alerce Hemlock/Abeto S-P-F	Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU.	18, 54 2, 4, 5, 7, 8, 62 3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45 18, 54 2, 4, 5, 7, 8, 62 3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45	
	Reino Unido	SS SS SS SS SS SS SS	Pino Paraná Pino silvestre Abeto Pino Oregón/Alerce Hemlock/Abeto S-P-F Pino Amarillo del Sur	Brasil CNE de Europa CNE de Europa Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. Canadá y EE.UU. EE.UU.	12 47 1, 22 18, 54 2, 4, 5, 7, 8, 62 3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45 35, 36, 43, 48	
		SS SS	Pino del Caribe Alerce	Caribe Reino Unido	33, 42 15, 16, 17	
	República de Eslovaquia	SI	Picea	República de Eslovaquia	22	

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase la nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C22	Alemania	LS10 y mejor	Chopo	Alemania	51	El grosor y anchura mínima es 70 mm
	España	MEG MEG	Pino Silvestre Pino Laricio	España España	47 39	
	Reino Unido	SS	Pino silvestre	Reino Unido	39, 47	
	EE.UU.	J&P Nº1 J&P Nº2 SLF Nº1 SLF Nº2	Pino amarillo del Sur Pino amarillo del Sur Pino amarillo del Sur Pino amarillo del Sur	EE.UU. EE.UU. EE.UU. EE.UU.	35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48	

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase la nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C18	Portugal	E	Pino pinaster	Portugal	44	
	España	ME2 ME2 ME2 ME2	Pino radiata Pino pinaster Pino laricio Pino silvestre	España España España España	49 44 39 47	
	Reino Unido	SS SS SS SS SS GS	Cedro Rojo del Oeste Picea de Sitka Pino Blanco del Oeste Pino Oregón Picea Británica Pino del Caribe	Canadá Canadá EE.UU. Reino Unido Reino Unido Caribe	58 28 3, 6, 23, 34, 37, 38, 45, 63 54 22, 28 33, 42	
	GS	Pino Amarillo del Sur	EE.UU.	35, 36, 43, 48		

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase la nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C16	EE.UU.	J&P Nº3 SLF Nº3 Stud	Pino Amarillo del Sur Pino Amarillo del Sur Pino Amarillo del Sur	EE.UU. EE.UU. EE.UU.	35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48 35, 36, 43, 48	
	República de Eslovaquia	SII	Picea	República de Eslovaquia	22	

Clase resistente	País que publica la norma de clasificación (véase la nota 1)	Calidad (véase la nota 4)	Especies Nombre comercial	Procedencia (véase la nota 2)	Identificación botánica (véase la tabla 3)	Observaciones
C14	Canadá y EE.UU.	LF Const	Pino Oregón/Alerce	Canadá y EE.UU.	18, 54	
		Stud	Pino Oregón Alerce	Canadá y EE.UU.	18, 54	
		LF Const	Hemlock/Abeto	Canadá y EE.UU.	2, 4, 5, 7, 8, 62	
		Stud	Hemlock/Abeto	Canadá y EE.UU.	2, 4, 5, 7, 8, 62	
		LF Const	S-P-F	Canadá y EE.UU.	3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45	
		Stud	S-P-F	Canadá y EE.UU.	3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45	
	EE.UU.	J&P Nº1	Pino Blanco del Oeste	EE.UU.	3, 6, 23, 34, 37, 38, 45, 63	
		J&P Nº2	Pino Blanco del Oeste	EE.UU.	3, 6, 23, 34, 37, 38, 45, 63	
		SLF Nº1	Pino Blanco del Oeste	EE.UU.	3, 6, 23, 34, 37, 38, 45, 63	
		SLF Nº2	Pino Blanco del Oeste	EE.UU.	3, 6, 23, 34, 37, 38, 45, 63	
LF Std	Pino Amarillo del Sur	EE.UU.	35, 36, 43, 48			

Como propiedad tecnológica podríamos decir que el aserrado es bastante fácil, aunque su elevado contenido de resina puede embotar las sierras y en este caso se debería adoptar las precauciones correspondientes. Las sierras con dientes de gran longitud reducen el efecto de la resina, por lo que son recomendables cuando aparezcan maderas con mucha resina.

Una curiosidad sobre el origen de la madera de mobla en España, lo hemos encontrado un artículo en la página web *mueblesdelucena.com*, que nos explica un poco el mercado del pino de amarillo del sur – pino mobla, procedente de EEUU. El artículo dice:

Los bosques americanos suministran materia prima para la industria española de transformación desde hace más de cien años. En origen, la actividad comenzó con el pino melis y el pino Oregón, con una imagen establecida de calidad indiscutible. Actualmente, las consideraciones del aspecto, así como la resistencia relativa de una pieza, son con frecuencia factores decisivos para la selección de la madera. La industria forestal de Estados Unidos ofrece al mercado español especies de calidad contrastada, aptas y competitivas para cualquier aplicación interior o exterior, así como una absoluta garantía suministro.

El sur y el oeste de Estados Unidos presentan posiblemente el mayor potencial para el crecimiento de los árboles de madera de coníferas y, por consiguiente, una capacidad de exportación mayor que la de cualquier otra región del mundo. Además de proveer a las necesidades internas, los productores de madera destinan una parte significativa de su producción a los mercados de exportación, de los que España es un destino preferente. El mercado español demanda madera de calidad, que sólo muy selectos productores en el mundo son capaces de suministrar de forma regular. Por esta razón, las maderas coníferas de EE.UU. han podido asegurar la calidad requerida. La madera americana se constituye así como una referencia de calidad en la industria de la madera y de la carpintería.

### 2.3 MUESTRAS DE LABORATORIO

A continuación y habiendo expuesto las generalidades de la madera y la madera de mobla nos centramos en las muestras o probetas que van a ser objeto de nuestro estudio.

Las muestras a utilizar son de madera de mobla, las diferentes caras de las probetas las hemos nombrado como, testa, cara y canto, como se observa en la figura 4.

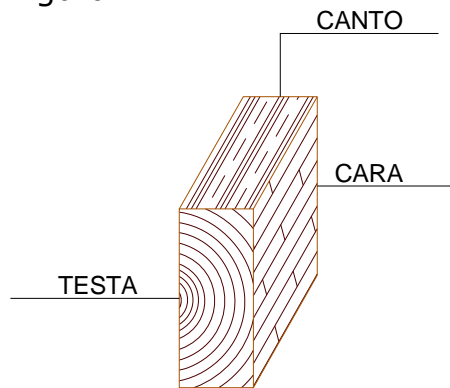


Figura 4. Caras de probetas.

Se utilizan 20 probetas numeradas del 1 al 20 (figura 5). Las dimensiones de las probetas son 25x25x10.5 cm (figura 6).



Figura 5. Probeta numerada

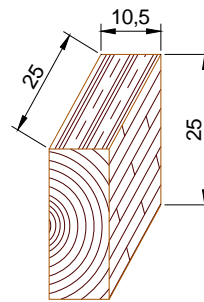


Figura 6. Dimensiones probetas en cm.

Las muestras disponen de un contenido de humedad del 11 %, el cual lo hemos obtenido según la norma UNE-EN 13183-1:2002, y una densidad igual a 470 kg/m<sup>3</sup> obtenida según la norma UNE56531:1977. Estos datos son importantes ya que las propiedades dieléctricas de la madera dependen de ellos. A continuación se muestra como se han realizado los cálculos del contenido de humedad y densidad.

Calculo de **contenido de humedad** según la norma UNE-EN 13183-1:2002, que establece el procedimiento operativo para determinar el contenido de humedad por el método de desecación hasta el estado anhidro. Según esta norma las muestras deben ser prismas cuadrangulares de sección recta de 2 mm de lado y altura paralela a la dirección longitudinal de las fibras. En primer lugar, la masa de las muestras se miden con una balanza de precisión de 0.01g y a continuación se secan con una estufa de circulación de aire cuya temperatura se pueda mantener a 103°C + 2°C. Las Muestras permanecen en la estufa donde se seca hasta alcanzar masa constante. Con los datos que hemos obtenido se realiza el cálculo.

MADERA	PROBETA	A (cm)	B (cm)	L (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA FINAL (kg)
Mobila	1	12	10,5	25	1639,44	1470,63

$$CH(\%) = \frac{1639.44 - 1470.63}{1470.63} \times 100$$

$$CH = 11 \%$$

Calculo de **densidad** según norma UNE56531:1977 que regula cómo realizar el ensayo

*La densidad ( $\rho$ ) es la relación entre la masa (M) y el volumen (V) de una madera a una humedad determinada (h):*

$$\rho = \frac{M \times H\%}{\text{Volumen} \times H\%}$$

$$\rho = 470 \text{ kg/m}^3$$

### **3. MÉTODO E INSTRUMENTOS DE ENSAYO CON TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.**

#### *3.1 GENERALIDADES DEL GEORRADAR*

##### Reseña histórica

El Georradar es una técnica que nace como aplicación al estudio del interior de la Tierra partiendo de los radares aéreos que se desarrollaron durante la Segunda Guerra Mundial para la detección de aviones y barcos. Un radar puede definirse, de forma sencilla, como un sistema que permite detectar y situar un objeto por medio de la emisión y la recepción de ondas electromagnéticas que se propagan en el medio en el cual está inmerso el objeto. Básicamente, esta técnica consiste en el análisis de las reflexiones de las ondas electromagnéticas que se producen cuando hay variaciones en la constante dieléctrica del objeto.

Partiendo de la detección de objetos en el aire se fue aplicando a otros medios más complejos en los que la onda se atenuaba más rápidamente, como por ejemplo en el hielo, para determinar el grosor del mismo, o el espesor de un glaciar (Austria 1929), y finalizó con ensayos para realizar este tipo de estudios en el subsuelo terrestre obteniéndose resultados buenos aunque sin alcanzar la penetración que se obtenía en el caso del hielo. El rápido desarrollo de la electrónica, de la informática, de las técnicas de detección y de amplificación de las señales electromagnéticas y del procesado de datos por ordenador ha mejorado visiblemente la resolución de las técnicas iniciales de radar.

La técnica se ha ido desarrollando y empleando desde los años cincuenta 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 50 m de profundidad).

Uno de los campos más habituales de aplicación es en ingeniería civil, por ejemplo: para la detección de roca base en terreno edificable, para la localización de armaduras en muros de hormigón y la búsqueda o cartografiado de tuberías o fugas de agua, la determinación de espesores y estados de firmes y muros, análisis de estados del subsuelo debajo de losas de hormigón -problemas de despegue, degradación, estados de pilares y pilas de los puentes, problemas de cimentación, etc. También se utiliza en estudios

geotécnicos y de control de calidad como por ejemplo: en el control de calidad de diferentes tratamientos realizados en el terreno, en el estudio del estado de túneles, cubriendo el material necesario para la reparación de obras civiles y análisis del terreno en busca de bolsas de arcilla, grava u oquedades. Se ha utilizado también en estudios ambientales, aplicándolo para localizar y ubicar vertederos.

El carácter no destructivo de esta técnica hace que en la actualidad se esté aplicando en el estudio de edificios históricos para detectar humedades en el subsuelo, determinar profundidades y espesores de zapatas de cimentación, encontrar estructuras o cavidades enterradas en el subsuelo, tales como criptas, enterramientos, etc., Como ejemplo se pueden consultar García et al. (2007), Ramírez et al. (2008) y Pérez et al. (2008).

Asimismo, en los últimos años se está aplicando para el estudio y caracterización de materiales de construcción (hormigón, obra de fábrica, etc.); así como en la inspección, diagnosis y estudio de las manifestaciones patológicas de los mismos como publican algunos autores como Maierhofer (2003), Porsani et al. (2006) y Benedetto y Pensa (2007).

### Fundamento del Georradar

La base teórica del georradar se sustenta en la teoría de campos electromagnéticos y en la óptica geométrica. Las ecuaciones básicas fueron formuladas por Maxwell en 1867 relacionando el campo eléctrico y magnético con sus fuentes. A partir de estas ecuaciones se puede determinar el comportamiento de una onda electromagnética durante su propagación por un medio determinado.

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

Además durante la propagación de una onda electromagnética por un medio se producen pérdidas de energía debido a diferentes causas. Esta disminución de la amplitud de la onda determina la profundidad máxima teórica de estudio que se puede alcanzar en cada caso. Otros efectos tales como una mala relación señal/ruido, problemas con los equipos o un tratamiento incorrecto (filtrados excesivos o inadecuados) harán que este valor sea en la práctica aún menor que el esperado. Por lo que para reducir dichas pérdidas y mejorar la reflexión de la onda, se puede colocar un reflector metálico.

Esquemáticamente, las mediciones se efectúan mediante la generación, por la antena emisora de una onda electromagnética con una frecuencia característica. Ésta se va propagando por el medio, hasta que alcanza una zona u objeto cuyas propiedades eléctricas son diferentes respecto a las circundantes o adyacentes, entonces, parte de la energía electromagnética se refleja hacia la superficie, mientras que el resto de energía continúa propagándose. La onda electromagnética reflejada se recibe a través de la antena receptora y se registra para su posterior tratamiento e interpretación. (Figura 7).

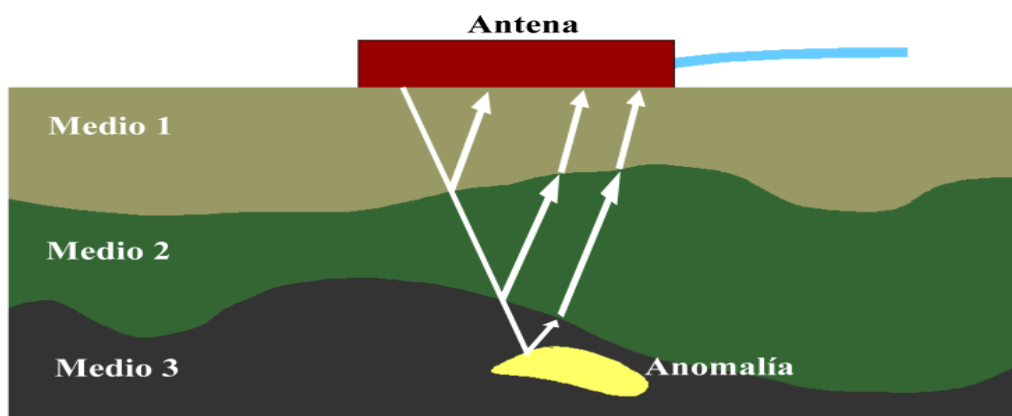


Figura 7. Esquema de propagación (Fuente Isabel Rodríguez Abad)

El registro que proporciona el georradar se denomina comúnmente radargrama (Figura 8). En ocasiones es posible dar una interpretación directa de éstos. Sin embargo, antes de llegar a una conclusión final, en muchas ocasiones, se requiere un largo proceso de interpretación. Para ello es necesario conocer los principales parámetros de un registro (radargrama) y calcular los parámetros que son necesarios para efectuar una correcta interpretación de los registros. Los parámetros que definen al radargrama se recogen en la cabecera del archivo de registro que contiene información sobre cómo se realiza la adquisición. Esta información incluye, entre otras cosas, el nombre del fichero, la fecha de registro y las fechas de posteriores modificaciones, el rango, la posición de inicio, el número de pulsos emitidos por segundo durante la adquisición de datos, el factor de superposición de trazas, la función de ganancia y los filtros que se han aplicado sobre el radargrama durante la adquisición o en posteriores tratamientos, etc.



El radargrama está formado por un elevado número de trazas de amplitud. En el eje horizontal se representan distancias sobre la superficie del medio por el que se desliza la antena, y en el eje vertical se representan los tiempos dobles (ida y vuelta) de propagación de las ondas reflejadas.

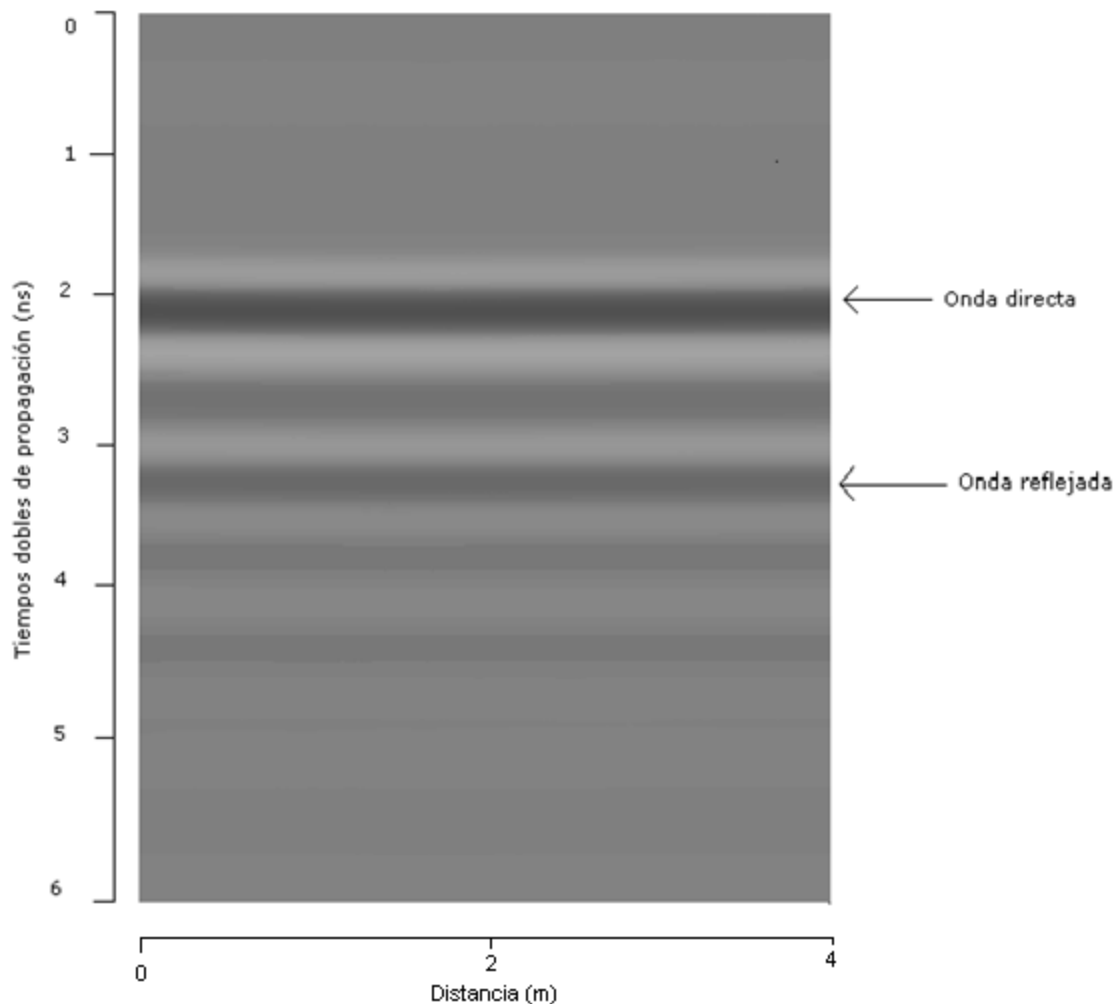


Figura 8. Radargrama

Por otro lado, las mediciones se pueden realizar de manera estática, colocando la antena en un punto y midiendo, o de manera dinámica, desplazando la antena a lo largo de la superficie a medir.

### 3.2 GEORRADAR SIR-3000

El equipo empleado pertenece a la empresa AIDICO, el cual ha sido cedido a la Universidad Politécnica de Valencia. Está fabricado por GSSI (Geophysical Survey Systems Inc.). El equipo funciona de la misma forma que cualquier otro sistema de radar, es decir, consiste en una antena emisora y receptora de 2 GHz de frecuencia central, un sistema de control de la radiación y una unidad de almacenamiento de registros con un software adecuado para el tratamiento de señales registradas, RADAN 6x. A estas dos últimas se les denomina unidad central.

#### Unidad central

La unidad central o unidad de control es donde se realiza la coordinación y control de las antenas, de los diversos accesorios que se pueden añadir al equipo básico y de la señal emitida. También coordina el almacenamiento de la señal en algún tipo de soporte (magnético, fotográfico, en papel) y, en algunos casos, permite realizar el tratamiento básico de las señales durante la adquisición de datos (figura 9).

La unidad central empleada es el modelo SIR-3000, que dispone de una CPU, un monitor a color VGA donde se pueden visualizar los datos, y un teclado para interacción con la CPU.

Esta unidad lleva implementado un programa informático que realiza el procesado básico de la señal e incorpora utilidades que permiten actuar sobre la señal emitida y sobre los registros que se adquieren: filtrados y modificación de la ganancia del registro, entre otros procesados. La unidad de control va conectada al monitor donde se puede seleccionar la forma de visualización del registro en campo, optando por un registro de trazas de amplitud o bien por una serie de escalas de colores o de distintos tonos de grises, donde cada tono engloba un intervalo de amplitudes de la onda registrada, tal y como se describe más adelante. También tiene la capacidad de visualizar imágenes en 3D, lo que facilita en muchos casos la lectura y comprensión de los datos.

La fuente de alimentación de la unidad central es de corriente continua y consiste, en una batería de 12 voltios.

Este equipo es un sistema ligero y pequeño, diseñado para el uso de un solo usuario, y a diferencia de otros modelos, es intercambiable y compatible con todas las antenas GSSI, lo que hace que sea una opción asequible y flexible para los usuarios que quieren aplicaciones múltiples.



*Figura 9. Unidad SIR 3000 de GSSI con equipo de visualización integrado. (www.geophysical.com)*

## Antena

La antena es una parte fundamental del equipo ya que es el elemento encargado tanto de emitir el pulso electromagnético al medio como de recibir la energía que regresa a la superficie tras haber sufrido una reflexión.

Una primera clasificación de las antenas se realiza en función de las características del campo radiado. Se diferencia de este modo entre antenas isotrópicas y antenas direccionales. Las primeras radian la energía en todas direcciones del espacio por igual y no tienen direcciones privilegiadas. Si se considera que el medio en el que la antena radia la energía es homogéneo e infinito (sin discontinuidades), el frente de ondas que se propaga es esférico. Estas antenas son llamadas ideales, ya que en la práctica es imposible conseguir una perfecta isotropía en la emisión. Las antenas direccionales son aquellas que tienen una dirección privilegiada de radiación y la emisión que produce no es homogénea para todas las direcciones, por lo que obtendremos resultados distintos según la dirección de medición. (Figura 10).

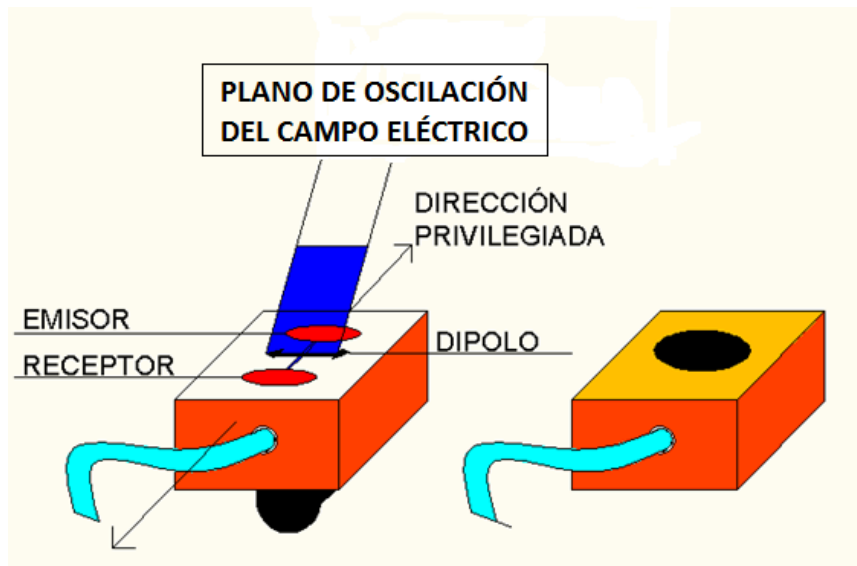


Figura 10.- Esquema del campo eléctrico en antena direccional.

Una segunda clasificación de las antenas es en función de la frecuencia central de su emisión. La longitud de onda ( $\lambda$ ) del pulso emitido depende de esta frecuencia ( $f$ ) y de la velocidad de la onda en el medio ( $v$ ).

$$\lambda = v / f$$

El georradar utiliza bandas de frecuencia situadas entre 3 GHz y los 10 MHz aproximadamente, es decir, que trabajan con las bandas de radiofrecuencias y de microondas. De esta forma la frecuencia central de una emisión es uno de los parámetros de las antenas más importantes, ya que determina la penetración de la señal emitida en el medio material a estudiar. La frecuencia central de la emisión depende del dipolo de la antena. Este parámetro limita tanto el alcance del método (rango) como su resolución.

Las emisiones a bajas frecuencias se atenúan en menor medida que las altas frecuencias, pudiendo alcanzar con las primeras profundidades mayores de estudio.

Por otro lado, debido a que tienen una longitud de onda mayor que las emisiones a más alta frecuencia, la resolución obtenida es menor.

Frecuencia <3 kHz	Longitud de onda >100 km	Denominación Frecuencia extremadamente baja
----------------------	-----------------------------	--

Una tercera clasificación de antenas de georradar se realiza dependiendo del número de dipolos implementados. Se distingue entre antenas monoestáticas y biestáticas.

Las antenas monoestáticas son a la vez emisoras y receptoras de la energía. Pueden diferenciarse dos tipos: antenas de conmutación y antenas de dos dipolos. Las primeras tienen una única espira que puede actuar como emisora y como receptora de energía. Las antenas de dos dipolos presentan, en el interior de la carcasa, dos dipolos separados. Uno de ellos funciona como emisor, mientras el otro es un receptor. La separación de las dos espiras es constante y éstas se desplazan juntas con una única carcasa que las cubre a ambas. Permiten realizar con facilidad perfiles, siendo utilizadas en trabajos que requieren mayor rapidez, un número elevado de perfiles o una estructura de malla para poder analizar el medio, es decir, agrupaciones de perfiles paralelos y cruzados.

Las antenas biestáticas se componen de dos módulos separados. Por un lado se tiene la antena emisora y por otro la antena receptora. La independencia entre emisora y receptora permite variar la distancia entre ambas.

Cada tipo de antena se escoge debidamente de acuerdo con las necesidades de su utilización.

En nuestro estudio, hemos utilizado una antena Palm, modelo 62000, compatible con el SIR-3000. (Figura 11).

Es una antena monoestática y direccional, cuya frecuencia central de emisión se centra en los 2GHz, como ya hemos comentado anteriormente, por lo que la longitud de onda es menor, y por lo tanto, se realizará a altas frecuencias, obteniendo resultados más precisos para nuestro estudio, ya que tiene la capacidad de llegar a zonas bien espaciadas que antes eran inaccesibles, tales como esquinas, contra paredes, etc. Esta antena, llega a profundidades de penetración ligeramente superiores a las dimensiones de las viguetas y además nos aporta la resolución suficiente como para identificar las distintas reflexiones por separado, siendo estos motivos los que principalmente justifican su elección.



Figura 11.- Antena de 2 GHz y. ([www.geophysical.com](http://www.geophysical.com))

Sus características principales son las siguientes:

Frecuencia central: 2000 MHz  
Rango profundidad: 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.

### Accesorios

A estos elementos básicos del equipo se les pueden añadir algunos accesorios para facilitar las tareas de adquisición de datos. Los accesorios con los que puede complementarse este equipo básico son diversos. Se pueden separar en dos grupos: los complementos para la visualización y almacenamiento de los registros y los accesorios

para situar los perfiles. Dentro de los accesorios para visualización se incluyen las impresoras, las pantallas de visualización, los programas informáticos y las unidades de registro de datos en soporte magnético (cinta o disco) u óptico. Y para situar los perfiles se suelen utilizar marcadores, que permiten introducir una marca en el registro cada vez que se presiona un pulsador. Esto permite introducir marcas para indicar el inicio y el final del perfil y para advertir sobre algún elemento especial dentro del perfil.

En el Anexo 1 podemos encontrar la Ficha Técnica del Georradar SIR-3000.

### 3.3 OTRAS TÉCNICAS USUALES

Existen en la actualidad varios métodos no destructivos de inspección para determinar el estado de una estructura de madera. A continuación se hace una breve exposición de alguna de las técnicas más comúnmente utilizadas.

Instrumentos que detectan y miden diversos aspectos como por ejemplo, el contenido de humedad en la madera, que se lleva a cabo con el "Xilohigrómetro de resistencia", que es un aspecto esencial, debido a que cuando la humedad de equilibrio se mantiene durante periodos prolongados por encima del 20% se favorece el desarrollo de hongos xilófagos, y también se producen cambios de volumen de las piezas, que influyen negativamente en las características mecánicas de la madera. Otro instrumento que permite detectar gradientes de humedad en una misma sección es el "Higrómetro", que consiste en la introducción de electrodos en la madera. Otra alternativa es el higrómetro capacitativo que funciona por contacto con la superficie, pero con menos capacidad de penetración. La precisión de estos equipos es suficiente para los valores medios de humedad de la madera (4-28 %).

Otro dispositivo muy utilizado para realizar ensayos no destructivos en la madera es el "resistógrafo". Este método se basa en la resistencia que la madera opone a la penetración a velocidad constante de una broca. El equipo mide la resistencia a la penetración de una broca de diámetro entre 1,5 y 3 mm cuyo agujero es tan pequeño que su efecto es inapreciable. La broca penetra hasta una profundidad de 40 cm a una velocidad constante por lo que se requiere aplicar una cantidad de fuerza variable según la zona que atraviese y son esas variaciones de fuerza a lo largo del tiempo las que se representan en una gráfica. La resolución del método es tan alta, que se pueden detectar variaciones de densidad incluso entre los anillos de crecimiento. Las medidas tomadas por el equipo se almacenan en un ordenador o se imprimen a medida que la broca penetra en el material. El método es de gran interés para el diagnóstico de estructuras de madera en las zonas de empotramiento que quedan ocultas a la inspección visual (falsos techos...) y no muestran síntomas de degradación. La interpretación de los datos registrados en la gráfica de la penetración del resistógrafo permite detectar zonas dañadas con galerías o pudriciones por la pérdida brusca de resistencia. Sin embargo el valor numérico medio de la gráfica completa en una sección no aporta diferencias significativas entre una zona dañada por hongos o insectos xilófagos y una zona sana.



El Extractor de tornillos sería también otra técnica casi no destructiva de ensayo, aunque no es muy conocido en nuestro país. El aparato registra la resistencia al arranque de un tornillo de 4 mm de diámetro y 18 mm de longitud, estando esta variable estrechamente relacionada con la densidad y el módulo de elasticidad de la madera en piezas de pequeñas dimensiones y libres de defectos. Sin embargo la escasa penetración del tornillo, apenas 2 cm, ofrecen una información muy localizada de la pieza y difícil de extrapolar a madera estructural y/o de grandes escuadrías. La resistencia al arranque de tornillos depende no sólo de las características intrínsecas del material que va a ser ensayado, sino también de aspectos relacionados con los aparatos de medida y con el procedimiento seguido. En este sentido, deben de fijarse previamente unos criterios que influyen en la resistencia al arranque de tornillos: diámetro del tornillo a utilizar, longitud de tornillo que debe introducirse, definición de las zonas donde se deben realizar las mediciones, evitando las zonas de nudos y de fendas, y número de extracciones que deben hacerse por muestra. Resulta de gran aplicación para aquellos casos en los que la madera no da indicios externos de su estado de degradación.

## 4. METODOLOGIA DE ENSAYOS Y TOMA DE DATOS

### 4.1 METODOLOGÍA DE ENSAYOS

En el laboratorio se realiza la medición de forma estática sobre probetas de madera de mobily se estudian los siguientes casos:

Caso 1. Cara paralela a la fibra. El campo eléctrico oscila en dirección paralela a la dirección de la fibra.

- 1.1 Colocando un reflector metálico en la cara opuesta a la cara en la que colocamos la antena.(Figura 12)

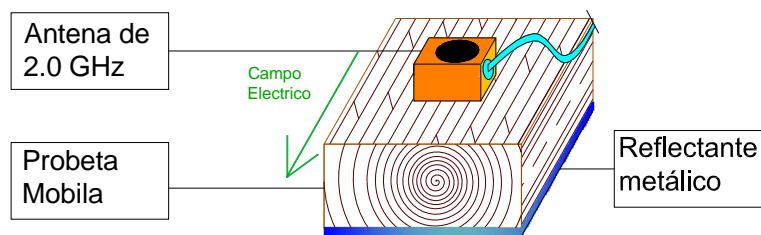


Figura 12.

- 1.2 Sin reflector metálico.

Caso 2. Cara perpendicular. El campo eléctrico oscila en dirección perpendicular a la fibra.

- 2.1 Colocando reflector metálico.(Figura 13)

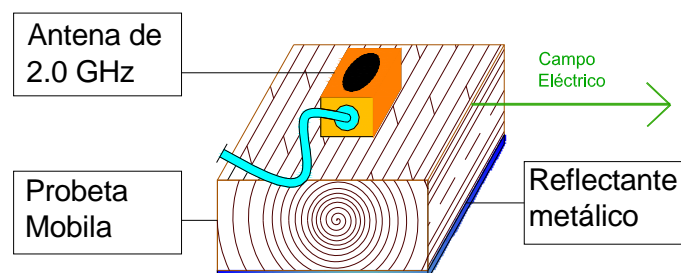


Figura 13.

- 2.2 Sin reflector metálico.

Caso 3. Testa. Colocando la antena sobre la testa de la probeta.

3.1 Colocando reflector metálico.(Figura 14).

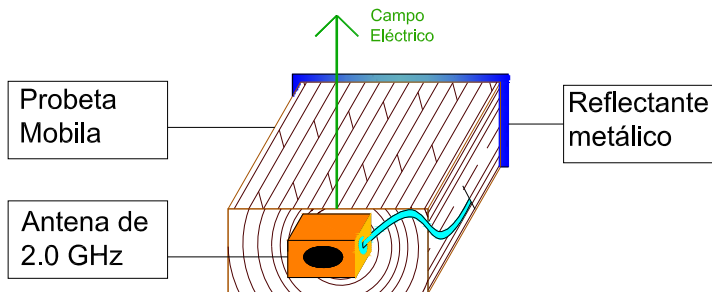


Figura 14.

3.2 Sin reflector metálico.

Caso 4. Canto. Colocando la antena sobre el canto.

4.1 Colocando reflector metálico. (Figura 15)

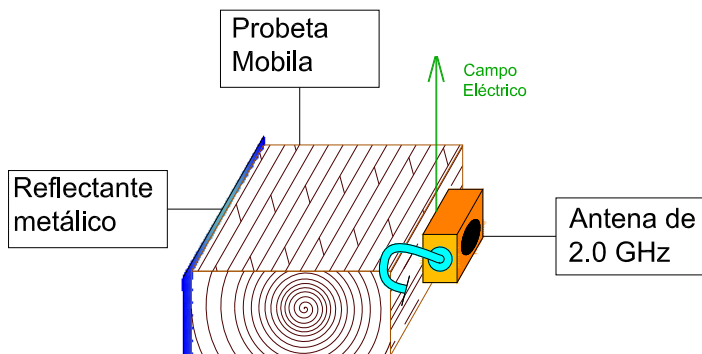


Figura 15.

4.2 Sin reflector metálico.

Procedimiento:

1. Previamente se cortaran muestras para medir el contenido de humedad y la densidad.
2. Mediciones previas y calibrado de la antena.
3. Ponemos la antena y medimos al aire, esta medición nos servirá para posteriormente normalizar las distintas amplitudes.
4. Colocación de las 20 probetas ordenadas del 1 al 20 sobre dos puntos de apoyo, para que haya cambio de medio y se produzca la reflexión.
5. Procedemos a colocar la antena en la primera probeta y a realizar la medición. Dicha medición queda guardada y registrada en el equipo. (Figura 16).
6. Después realizamos la medición colocando el reflector metálico. (Figura 17).
7. Realizaremos estos dos últimos pasos con el resto de las 20 probetas, y en los 4 casos expuestos.
8. Acabadas las mediciones, procederemos a la obtención de los datos guardados. A través del software Radan 6x, se obtienen los radargramas de cada registro.

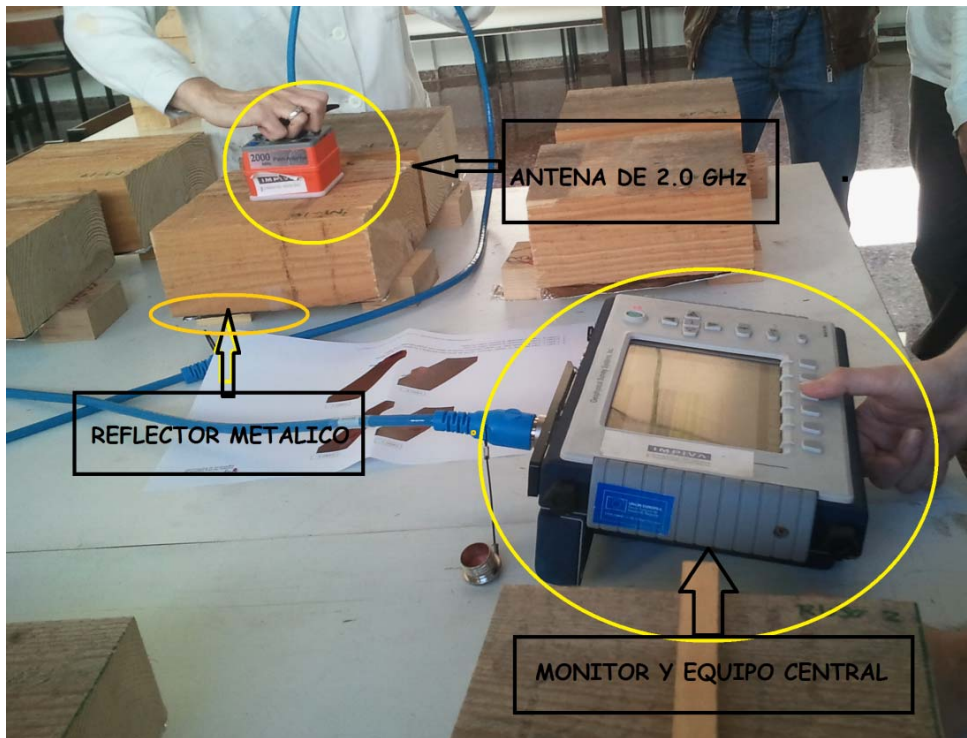


Figura 16. Se observa la antena midiendo en la probeta y el equipo donde se registra la medición.

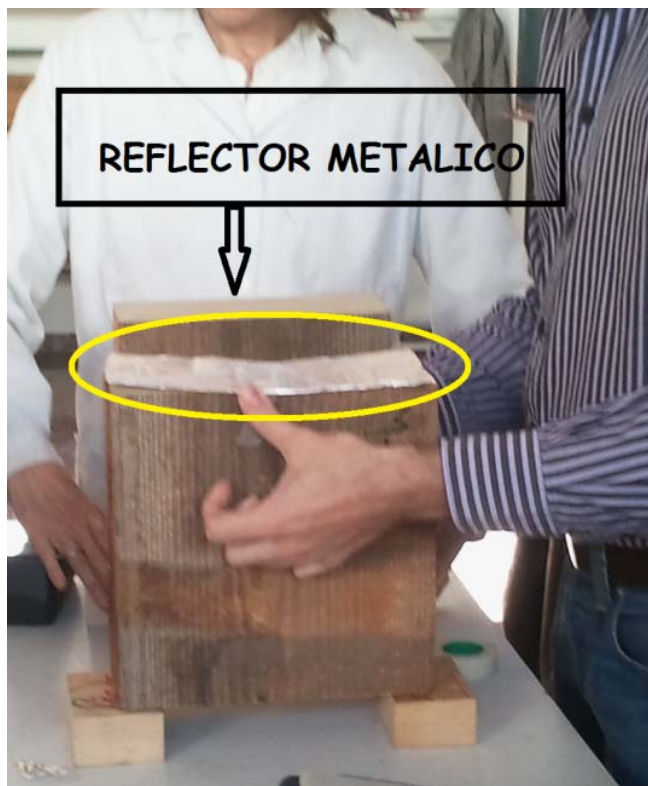
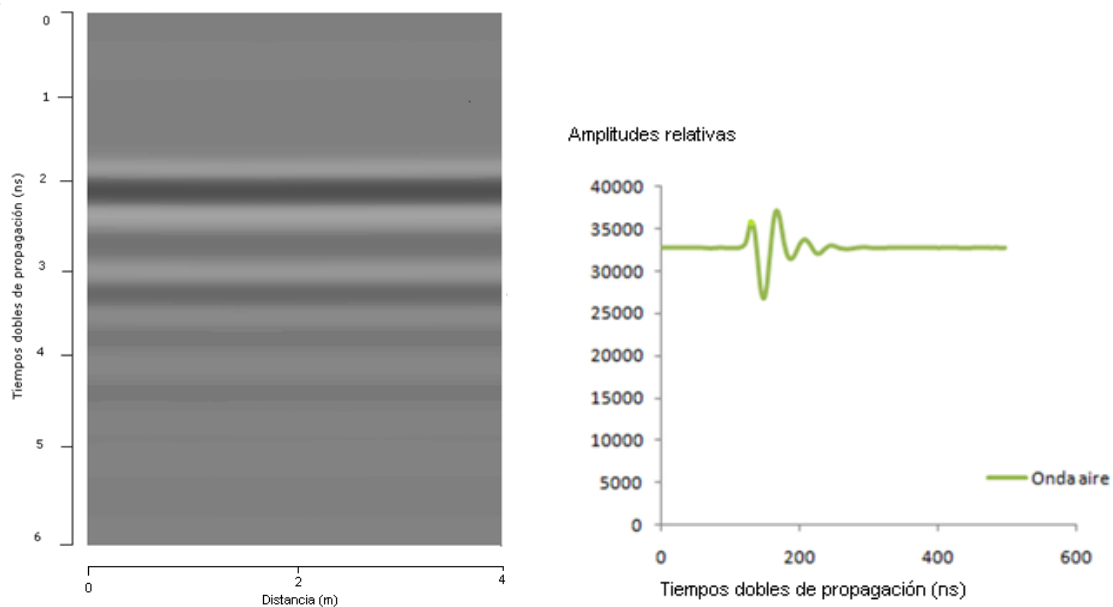


Figura 17. Momento de colocación reflector.

## EXTRACCION DE DATOS DE LAS MEDICIONES.

Seguidamente y tras los ensayos obtenemos los registros del Georradar, el radargrama (formado por trazas de amplitud). A partir del análisis de trazas del radargrama simuladas para los diferentes casos, se han determinado los parámetros que las caracterizan. Utilizando estos parámetros, los tiempos de propagación y la distancia hasta la reflexión, se han generado gráficas-radargrama (figura 18) que permiten estimar la velocidad de la onda electromagnética y la constante dieléctrica que estudiaremos en el apartado de cálculo.



*Figura 18. Radargrama y gráfica.*

Para el análisis de los radargramas hemos utilizado dos criterios, el primero ha sido para el caso 1 y caso 2, estos dos casos se pueden comparar porque el espesor es el mismo 10.5 cm.

El segundo criterio para el caso 3 y caso 4, estos casos también poseen el mismo espesor 25 cm.

A continuación exponemos los diferentes criterios y los datos obtenidos:

1. Criterio para el caso 1 y caso 2 - H=10.50 cm .

En este criterio vamos a tomar como tiempos de propagación los indicados en la figura 19, utilizamos los radargramas de los ensayos con y sin reflector para detectar mejor el cambio de tendencia.

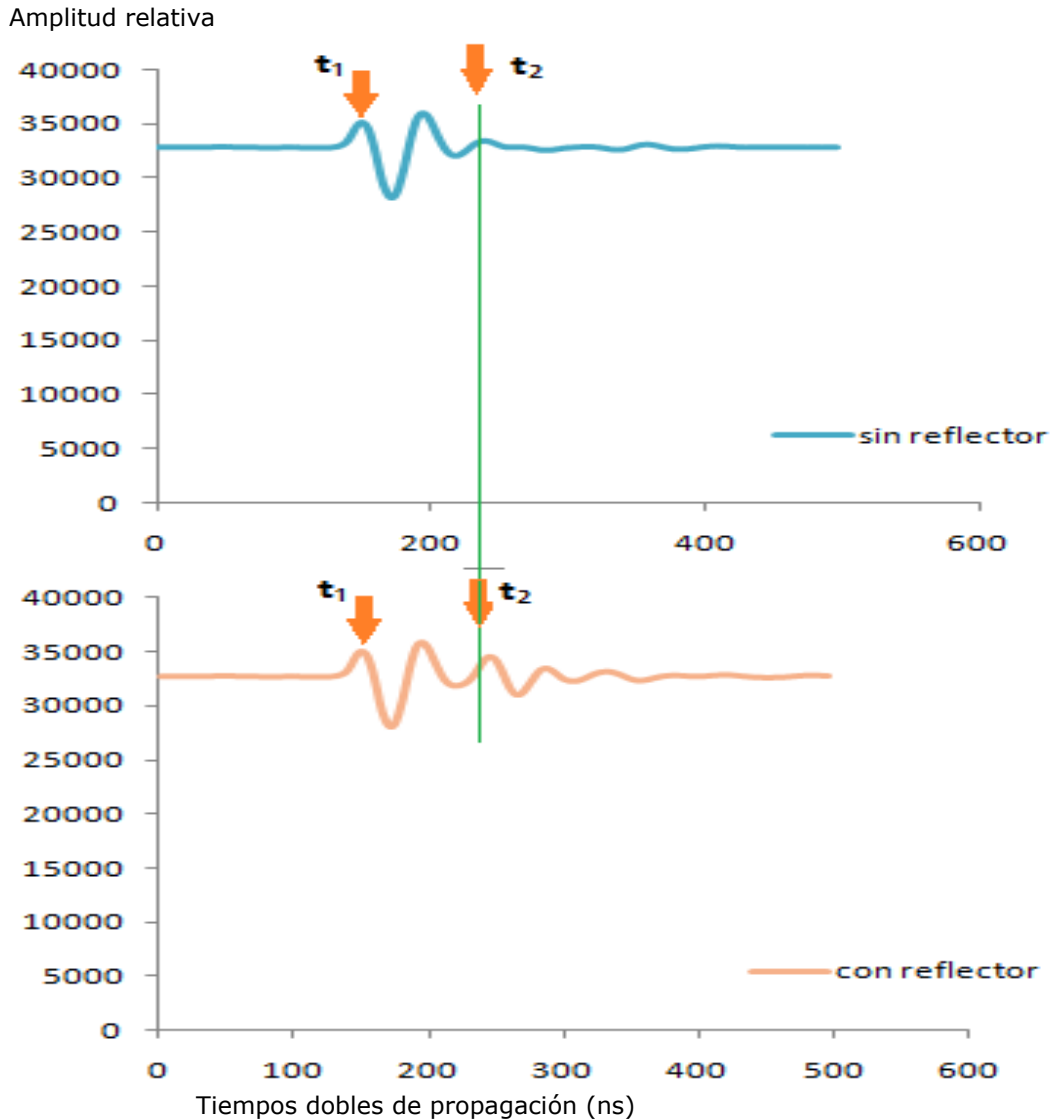


Figura 19. Gráfico radargrama caso 1 y 2, de toma de datos.

Donde el  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de la onda reflejada. Las amplitudes ( $A$ ) se corresponden con los tiempos, así que  $A_1$  va unida con  $t_1$  y  $A_2$  con  $t_2$ . Los datos obtenidos en las distintas probetas se adjuntan en las siguientes tablas:

### TABLAS 3

CASO1

Nº PROBETA	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
PROBETA 1	1,92	3,01	1802,00	559,00
PROBETA 2	1,94	3,01	1802,00	683,00
PROBETA 3	1,95	3,01	1802,00	362,00
PROBETA 4	1,94	3,01	1927,00	434,00
PROBETA 5	1,95	3,01	1927,00	559,00
PROBETA 6	1,95	3,00	1802,00	434,00
PROBETA 7	1,96	3,01	1802,00	559,00
PROBETA 8	1,95	3,00	1802,00	559,00
PROBETA 9	1,95	3,03	1802,00	559,00
PROBETA 10	1,95	3,03	1927,00	683,00
PROBETA 11	1,96	3,02	1802,00	434,00
PROBETA 12	1,95	3,03	1802,00	683,00
PROBETA 13	1,97	2,98	1927,00	559,00
PROBETA 14	1,97	2,98	1927,00	647,00
PROBETA 15	1,97	2,99	1927,00	654,00
PROBETA 16	1,99	3,00	1802,00	683,00
PROBETA 17	1,99	3,09	1802,00	559,00
PROBETA 18	1,99	3,09	2051,00	559,00
PROBETA 19	1,98	3,00	2051,00	559,00
PROBETA 20	1,98	3,11	1472,00	559,00

CASO2

Nº PROBETA	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
PROBETA 1	1,93	3,04	2300,00	1868,00
PROBETA 2	1,94	3,05	2300,00	1802,00
PROBETA 3	1,94	3,08	2300,00	1927,00
PROBETA 4	1,92	3,09	2051,00	1927,00
PROBETA 5	1,92	3,03	2300,00	2051,00
PROBETA 6	1,93	3,02	2300,00	1802,00
PROBETA 7	1,95	3,03	2300,00	2051,00
PROBETA 8	1,93	3,04	2300,00	1927,00
PROBETA 9	1,94	3,06	2051,00	1927,00
PROBETA 10	1,95	3,04	2051,00	2051,00
PROBETA 11	1,94	3,04	2175,00	1927,00
PROBETA 12	1,94	3,02	2051,00	2051,00
PROBETA 13	1,97	2,88	2051,00	1927,00
PROBETA 14	1,98	2,91	2051,00	2051,00
PROBETA 15	1,98	3,01	2051,00	2051,00
PROBETA 16	1,98	3,03	2051,00	1802,00
PROBETA 17	1,99	3,03	2051,00	1927,00
PROBETA 18	1,98	3,04	2051,00	2051,00
PROBETA 19	1,99	2,96	2300,00	2051,00
PROBETA 20	1,99	2,98	2300,00	1305,00



2. Criterio el caso 3 y caso 4 - H=25 cm.

En este criterio vamos a tomar como tiempos de propagación los indicados en la figura 20.

Amplitud relativa



Figura 20. Gráfico radargrama caso 1 y 2, de toma de datos.

Donde  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de segunda reflexión donde cambia de tendencia y el  $t_3$  el de la última reflexión. Las amplitudes ( $A$ ) se corresponden con los tiempos, así que  $A_1$  va unida con  $t_1$ , la  $A_2$  con  $t_2$  y  $A_3$  con  $t_3$ . Los datos obtenidos en las distintas probetas se adjuntan en las siguientes tablas:

## TABLAS 4.

### CASO 3

Nº PROBETA	t1	t2	t3	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
PROBETA 1	1,94	4,27	4,82	2051,00	184,00	559,00
PROBETA 2	1,95	4,46	4,97	2051,00	186,00	559,00
PROBETA 3	1,96	4,41	4,92	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 4	1,94	4,41	4,94	2051,00	186,00	559,00
PROBETA 5	1,95	4,32	4,87	2175,00	61,00	559,00
PROBETA 6	1,97	4,34	4,92	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 7	1,95	4,42	4,87	2051,00	186,00	559,00
PROBETA 8	1,95	4,39	4,87	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 9	1,95	4,48	4,93	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 10	1,96	4,48	4,94	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 11	1,94	4,39	4,88	2051,00	61,00	559,00
PROBETA 12	1,94	4,37	4,86	1927,00	61,00	559,00
PROBETA 13	1,97	4,23	4,80	1927,00	61,00	310,00
PROBETA 14	1,97	4,39	4,98	1802,00	186,00	559,00
PROBETA 15	1,95	4,34	4,91	1927,00	-63,00	559,00
PROBETA 16	1,97	4,43	4,90	1985,00	-186,00	559,00
PROBETA 17	1,96	4,32	4,93	1832,00	61,00	559,00
PROBETA 18	1,97	4,33	4,90	1832,00	61,00	559,00
PROBETA 19	1,97	4,34	4,83	1793,00	310,00	559,00
PROBETA 20	1,96	4,34	4,90	1553,00	61,00	559,00

### CASO 4

Nº PROBETA	t1	t2	t3	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
PROBETA 1	1,94	4,44	4,87	2300,00	-63,00	807,00
PROBETA 2	1,95	4,44	4,91	2300,00	61,00	559,00
PROBETA 3	1,96	4,47	4,93	2424,00	61,00	559,00
PROBETA 4	1,94	4,47	4,90	2300,00	186,00	559,00
PROBETA 5	1,94	4,38	4,85	2424,00	310,00	807,00
PROBETA 6	1,97	4,43	4,88	2300,00	61,00	807,00
PROBETA 7	1,94	4,36	4,87	2300,00	186,00	807,00
PROBETA 8	1,94	4,33	4,87	2300,00	186,00	807,00
PROBETA 9	1,95	4,39	4,89	2300,00	206,00	536,00
PROBETA 10	1,96	4,45	4,85	2424,00	61,00	713,00
PROBETA 11	1,95	4,44	4,86	2424,00	186,00	807,00
PROBETA 12	1,96	4,45	4,87	2300,00	61,00	807,00
PROBETA 13	1,98	4,37	4,88	2424,00	-63,00	807,00
PROBETA 14	1,97	4,38	4,89	2300,00	310,00	559,00
PROBETA 15	1,98	4,38	4,88	2300,00	310,00	807,00
PROBETA 16	1,97	4,44	4,90	2424,00	61,00	807,00
PROBETA 17	1,96	4,37	4,90	2221,00	186,00	559,00
PROBETA 18	1,97	4,43	4,95	2300,00	310,00	807,00
PROBETA 19	1,98	4,42	4,89	2424,00	310,00	559,00
PROBETA 20	1,98	4,46	4,90	2300,00	310,00	807,00

A su vez, también hemos analizado el radargrama de la onda al aire, que nos servirá para normalizar las amplitudes. Hemos obtenido  $t_0$  tiempo primera reflexión y su correspondiente amplitud  $A_0$ , los datos se muestran en la tabla 5. En la figura 21 también observamos el punto de medición de  $t_0$ .

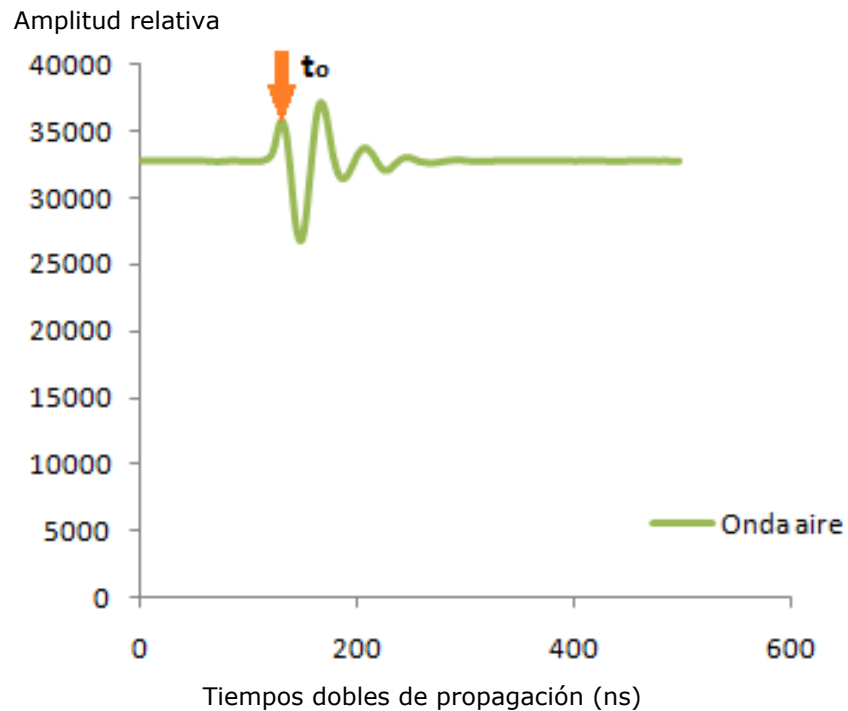


Figura 21. Gráfico radargrama de la onda tomada al aire.

TABLA 5

AIRE	$t_0$ (ns)	$A_0$
	1,98	2776

En el Anexo 2 podemos encontrar la tabla con la toma de datos realizada en el laboratorio.

## 5. CÁLCULO Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Nos centraremos en los cálculos, según los datos de registro del radargrama, que son los que realmente vamos a analizar. Por lo que, para hallar la equivalencia entre el tiempo doble de propagación (medidos en los radargramas), la constante dieléctrica y la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, es fundamental conocer la profundidad de un evento o de penetración ( $h$ ). Para ello, utilizamos las siguientes formulas:

$$h = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon}} \Delta t$$

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

Despejando las fórmulas nos sale la constante dieléctrica y de ahí ya obtenemos la velocidad, que son las dos incógnitas que necesitamos saber. Se adjuntan las tablas donde se han realizado los cálculos en cada uno de los casos expuestos anteriormente.

$$v = (2h/\Delta t)$$

$$\epsilon = (c/v)^2$$

Donde  $h$  es la distancia al reflector o espesor del medio que se desea obtener (profundidad),  $v$  la velocidad a la que se propaga la onda,  $c$  la velocidad de propagación en el vacío (30 cm/ns) y  $\epsilon$  constante dieléctrica del medio y  $\Delta t$  es la diferencia de tiempo registrada en el radargrama entre la llegada de la onda directa ( $t_1$ ) y la llegada de la reflejada ( $t_2$ ) en el reflector o la base del medio estudiado.

TABLA 6. Cálculos de velocidad y constante dieléctrica caso 1.

*Datos de inicio:  $h = 10.5 \text{ cm}$ ;  $c = 30 \text{ cm/ns}$*

Nº PROBETA	$t_1$	$t_2$	$\Delta t$	$v_1$	$\epsilon_1$
PROBETA 1	1,92	3,01	1,09	19,27	2,42
PROBETA 2	1,94	3,01	1,07	19,63	2,34
PROBETA 3	1,95	3,01	1,06	19,81	2,29
PROBETA 4	1,94	3,01	1,07	19,63	2,34
PROBETA 5	1,95	3,01	1,06	19,81	2,29
PROBETA 6	1,95	3,00	1,05	20,00	2,25
PROBETA 7	1,96	3,01	1,05	20,00	2,25
PROBETA 8	1,95	3,00	1,05	20,00	2,25
PROBETA 9	1,95	3,03	1,08	19,44	2,38
PROBETA 10	1,95	3,03	1,08	19,44	2,38
PROBETA 11	1,96	3,02	1,06	19,81	2,29
PROBETA 12	1,95	3,03	1,08	19,44	2,38
PROBETA 13	1,97	2,98	1,01	20,79	2,08
PROBETA 14	1,97	2,98	1,01	20,79	2,08
PROBETA 15	1,97	2,99	1,02	20,59	2,12
PROBETA 16	1,99	3,00	1,01	20,79	2,08
PROBETA 17	1,99	3,09	1,10	19,09	2,47
PROBETA 18	1,99	3,09	1,10	19,09	2,47
PROBETA 19	1,98	3,00	1,02	20,59	2,12
PROBETA 20	1,98	3,11	1,13	18,58	2,61

MEDIA	1,96	3,02	1,06	19,83	2,30
DES.V.TIPICA	0,02	0,03	0,03	0,61	0,14
C.V	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06

*Donde el  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de la última reflexión,  $v_1$  es la velocidad,  $\epsilon_1$  es la constante dieléctrica de este caso. Los tiempos se miden en nanosegundos y la velocidad en nanosegundos por centímetro.*

TABLA 7. Cálculos de velocidad y constante dieléctrica caso 2.

*Datos de inicio:  $h = 10.5 \text{ cm}$ ;  $c = 30 \text{ cm/ns}$*

Nº PROBETA	$t_1$	$t_2$	$\Delta t$	$v_2$	$\epsilon_2$
PROBETA 1	1,93	3,04	1,11	18,92	2,51
PROBETA 2	1,94	3,05	1,11	18,92	2,51
PROBETA 3	1,94	3,08	1,14	18,42	2,65
PROBETA 4	1,92	3,09	1,17	17,95	2,79
PROBETA 5	1,92	3,03	1,11	18,92	2,51
PROBETA 6	1,93	3,02	1,09	19,27	2,42
PROBETA 7	1,95	3,03	1,08	19,44	2,38
PROBETA 8	1,93	3,04	1,11	18,92	2,51
PROBETA 9	1,94	3,06	1,12	18,75	2,56
PROBETA 10	1,95	3,04	1,09	19,27	2,42
PROBETA 11	1,94	3,04	1,10	19,09	2,47
PROBETA 12	1,94	3,02	1,08	19,44	2,38
PROBETA 13	1,97	2,88	0,91	23,08	1,69
PROBETA 14	1,98	2,91	0,93	22,58	1,77
PROBETA 15	1,98	3,01	1,03	20,39	2,17
PROBETA 16	1,98	3,03	1,05	20,00	2,25
PROBETA 17	1,99	3,03	1,04	20,19	2,21
PROBETA 18	1,98	3,04	1,06	19,81	2,29
PROBETA 19	1,99	2,96	0,97	21,65	1,92
PROBETA 20	1,99	2,98	0,99	21,21	2,00

MEDIA	1,95	3,02	1,06	19,81	2,32
DESV.TIPICA	0,02	0,05	0,07	1,33	0,28
C.V	0,01	0,02	0,06	0,07	0,12

*Donde el  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de la última reflexión,  $v_2$  es la velocidad,  $\epsilon_2$  es la constante dieléctrica de este caso. Los tiempos se miden en nanosegundos y la velocidad en nanosegundos por centímetro.*

Obtenidos los cálculos, lo que hemos hecho ha sido analizarlos como vemos a continuación:

-En primer lugar hemos analizado el caso 1 y el caso 2. (Campo eléctrico oscila en paralelo y perpendicular a la fibra), para posteriormente compararlos entre sí.

Si colocamos en una misma gráfica (figura 22) las velocidades en el caso 1 (paralelo) y el caso 2 (perpendicular) se observa que la dispersión entre ambas es muy pequeña, lo que quiere decir que aproximadamente en los dos casos se puede considerar una velocidad constante, que en este caso, nos contradiría con lo que autores reconocidos han afirmado, ellos consideran que es mucho mayor en caso paralelo que en caso perpendicular.

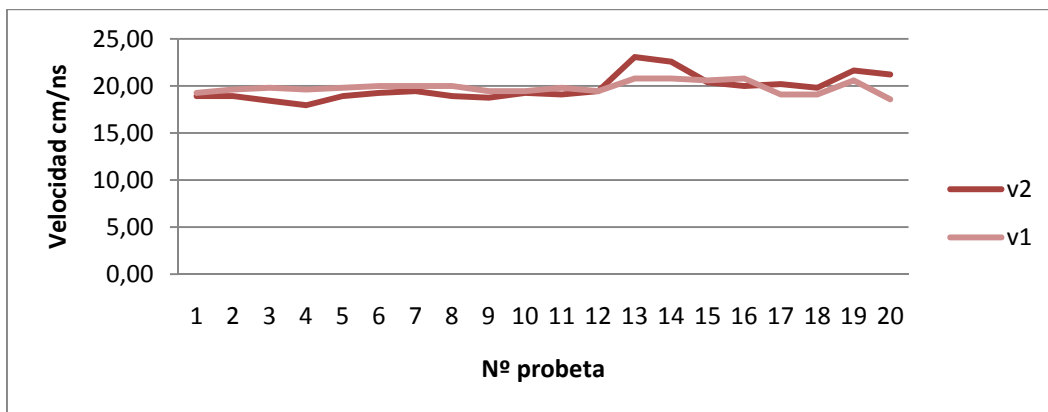


Figura 22. Grafico comparativo velocidad caso1 y caso 2.

Nos ocurre lo mismo cuando estudiamos la constante dieléctrica como se ve a continuación en la figura 23.

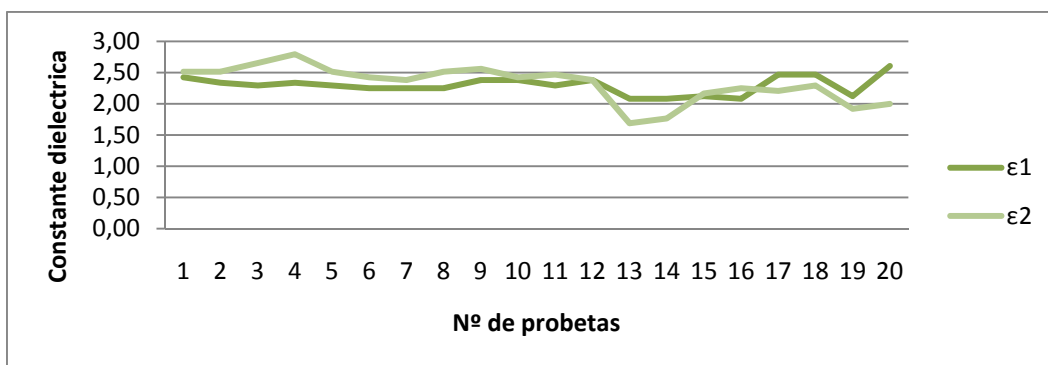


Figura 23. Grafico comparativo constante dieléctrica caso 1 y caso 2.

Realizando cálculos estadísticos y comparativos hemos llegado a la conclusión que la velocidad y la constante dieléctrica de estos casos se pueden considerar prácticamente iguales. Se adjunta la tabla donde hemos obtenido estos datos que relacionan las velocidades y constantes dieléctricas de caso 1 y caso 2. Tabla 8.

Tabla 8. COMPARACION CASO 1 (paralelo) Y CASO 2 (perpendicular)

Nº PROBETA	$v_1 / v_2$	$\epsilon_1 / \epsilon_2$
PROBETA 1	1,02	0,96
PROBETA 2	1,04	0,93
PROBETA 3	1,08	0,86
PROBETA 4	1,09	0,84
PROBETA 5	1,05	0,91
PROBETA 6	1,04	0,93
PROBETA 7	1,03	0,95
PROBETA 8	1,06	0,89
PROBETA 9	1,04	0,93
PROBETA 10	1,01	0,98
PROBETA 11	1,04	0,93
PROBETA 12	1,00	1,00
PROBETA 13	0,90	1,23
PROBETA 14	0,92	1,18
PROBETA 15	1,01	0,98
PROBETA 16	1,04	0,93
PROBETA 17	0,95	1,12
PROBETA 18	0,96	1,08
PROBETA 19	0,95	1,11
PROBETA 20	0,88	1,30

MEDIA	1,00	1,00
DESV.TÍPICA	0,06	0,12
C.V	0,06	0,12

Si observamos la tabla 10, descubrimos que al dividir las velocidades entre sí y realizando la media de estos resultados, el valor que resulta es 1, por lo que, como ya hemos comentado, significa que da lo mismo el sentido de la fibra paralelo o perpendicular, para calcular la velocidad y la constante dieléctrica, ya que, como observamos, la desviación típica se puede considerar pequeña.



Por otro lado, también estudiamos las amplitudes de la onda directa ya normalizadas en los casos 1 y 2. Adjuntamos las tablas 9 y 10 donde se observan los datos obtenidos con las medias, desviaciones típicas y el coeficiente de variación de cada uno de los casos.

TABLA 9.

CASO 1

Nº PROBETA	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	(A <sub>1</sub> /A <sub>0</sub> )1	(A <sub>2</sub> /A <sub>0</sub> )1
PROBETA 1	2776,00	1802,00	559,00	0,65	0,20
PROBETA 2	2776,00	1802,00	683,00	0,65	0,25
PROBETA 3	2776,00	1802,00	362,00	0,65	0,13
PROBETA 4	2776,00	1927,00	434,00	0,69	0,16
PROBETA 5	2776,00	1927,00	559,00	0,69	0,20
PROBETA 6	2776,00	1802,00	434,00	0,65	0,16
PROBETA 7	2776,00	1802,00	559,00	0,65	0,20
PROBETA 8	2776,00	1802,00	559,00	0,65	0,20
PROBETA 9	2776,00	1802,00	559,00	0,65	0,20
PROBETA 10	2776,00	1927,00	683,00	0,69	0,25
PROBETA 11	2776,00	1802,00	434,00	0,65	0,16
PROBETA 12	2776,00	1802,00	683,00	0,65	0,25
PROBETA 13	2776,00	1927,00	559,00	0,69	0,20
PROBETA 14	2776,00	1927,00	647,00	0,69	0,23
PROBETA 15	2776,00	1927,00	654,00	0,69	0,24
PROBETA 16	2776,00	1802,00	683,00	0,65	0,25
PROBETA 17	2776,00	1802,00	559,00	0,65	0,20
PROBETA 18	2776,00	2051,00	559,00	0,74	0,20
PROBETA 19	2776,00	2051,00	559,00	0,74	0,20
PROBETA 20	2776,00	1472,00	559,00	0,53	0,20

MEDIA		1847,90	564,35	0,67	0,20
DESV.TÍPICA		119,27	90,38	0,04	0,03
C.V		0,06	0,16	0,06	0,16

Como se puede observar en el caso 1, las desviaciones son mínimas, por lo que la dispersión entre los valores es pequeña.

TABLA 10.

CASO2

Nº PROBETA	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	(A <sub>1</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	(A <sub>2</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
PROBETA 1	2776,00	2300,00	1868,00	0,67	0,67
PROBETA 2	2776,00	2300,00	1802,00	0,65	0,65
PROBETA 3	2776,00	2300,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 4	2776,00	2051,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 5	2776,00	2300,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 6	2776,00	2300,00	1802,00	0,65	0,65
PROBETA 7	2776,00	2300,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 8	2776,00	2300,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 9	2776,00	2051,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 10	2776,00	2051,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 11	2776,00	2175,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 12	2776,00	2051,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 13	2776,00	2051,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 14	2776,00	2051,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 15	2776,00	2051,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 16	2776,00	2051,00	1802,00	0,65	0,65
PROBETA 17	2776,00	2051,00	1927,00	0,69	0,69
PROBETA 18	2776,00	2051,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 19	2776,00	2300,00	2051,00	0,74	0,74
PROBETA 20	2776,00	2300,00	1305,00	0,47	0,47
MEDIA		2169,25	1923,80	0,69	0,69
DESV.TIPICA		121,19	167,34	0,06	0,06
C.V		0,06	0,09	0,09	0,09

Como se puede observar en el caso 2, las desviaciones son mínimas, por lo que la dispersión entre los valores también es pequeña.

A continuación comparamos las desviaciones del caso 1 y caso 2, como se observa en las figuras 24 y 25.

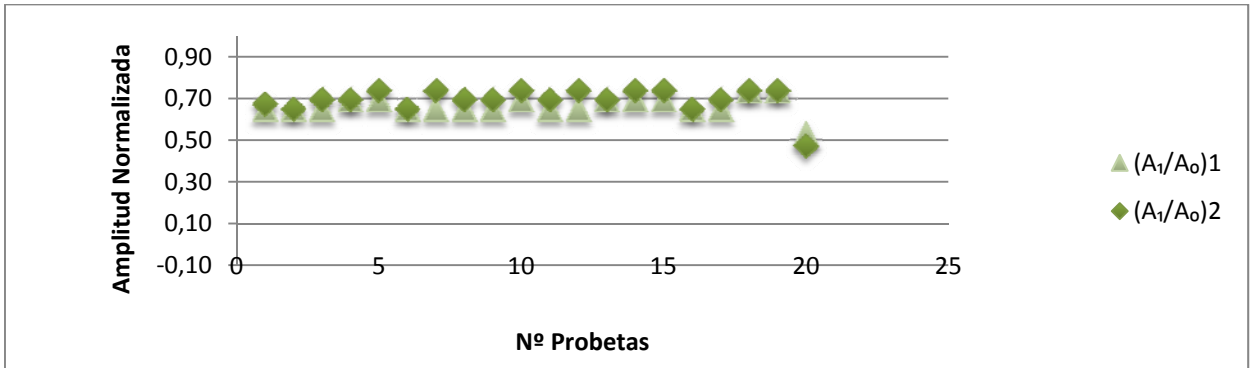


Figura 24. Dispersión Amplitud A<sub>1</sub> del caso 1 y caso 2

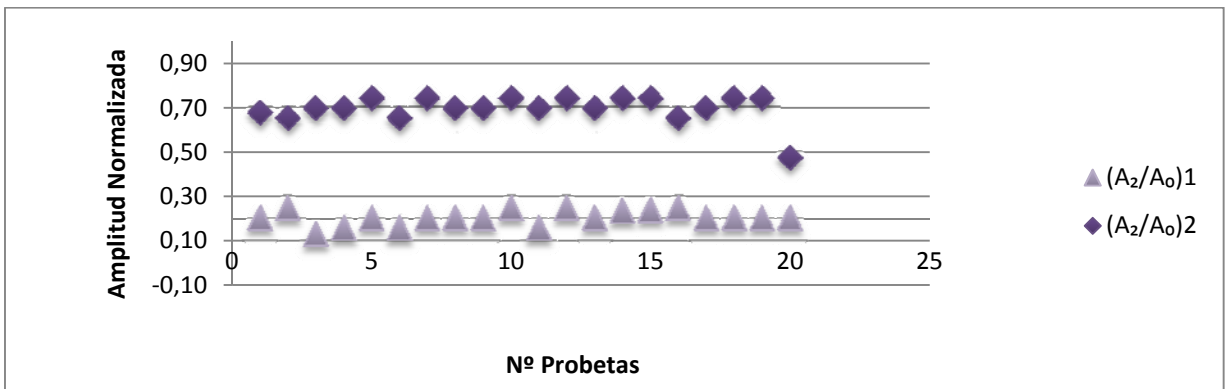


Figura 25. Dispersión Amplitud A<sub>2</sub> del caso 1 y caso 2

Como se observa en las figuras 24 donde se comparan las amplitudes en sentido paralelo (A1) y en sentido perpendicular (A2) de la primera reflexión, la dispersión es mínima, ya que prácticamente están en la misma constante. En cambio, si comparamos las amplitudes en la segunda reflexión (figura 25) no sucede lo mismo ya que hay un intervalo de dispersión notable.

-En segundo lugar hemos analizado el caso 3 y el caso 4.

TABLA 11. Cálculos de velocidad y constante dieléctrica caso 3.

Datos de inicio:  $h = 25 \text{ cm}$ ;  $c = 30 \text{ cm/ns}$

Nº PROBETA	t1	t2	t3	$\Delta t_{2-1}$	$\Delta t_{3-1}$	v3 <sub>1</sub>	v3 <sub>2</sub>	$\epsilon_{31}$	$\epsilon_{32}$
PROBETA 1	1,94	4,27	4,82	2,33	2,88	21,46	17,36	1,95	2,99
PROBETA 2	1,95	4,46	4,97	2,51	3,02	19,92	16,56	2,27	3,28
PROBETA 3	1,96	4,41	4,92	2,45	2,96	20,41	16,89	2,16	3,15
PROBETA 4	1,94	4,41	4,94	2,47	3,00	20,24	16,67	2,20	3,24
PROBETA 5	1,95	4,32	4,87	2,37	2,92	21,10	17,12	2,02	3,07
PROBETA 6	1,97	4,34	4,92	2,37	2,95	21,10	16,95	2,02	3,13
PROBETA 7	1,95	4,42	4,87	2,47	2,92	20,24	17,12	2,20	3,07
PROBETA 8	1,95	4,39	4,87	2,44	2,92	20,49	17,12	2,14	3,07
PROBETA 9	1,95	4,48	4,93	2,53	2,98	19,76	16,78	2,30	3,20
PROBETA 10	1,96	4,48	4,94	2,52	2,98	19,84	16,78	2,29	3,20
PROBETA 11	1,94	4,39	4,88	2,45	2,94	20,41	17,01	2,16	3,11
PROBETA 12	1,94	4,37	4,86	2,43	2,92	20,58	17,12	2,13	3,07
PROBETA 13	1,97	4,23	4,80	2,26	2,83	22,12	17,67	1,84	2,88
PROBETA 14	1,97	4,39	4,98	2,42	3,01	20,66	16,61	2,11	3,26
PROBETA 15	1,95	4,34	4,91	2,39	2,96	20,92	16,89	2,06	3,15
PROBETA 16	1,97	4,43	4,90	2,46	2,93	20,33	17,06	2,18	3,09
PROBETA 17	1,96	4,32	4,93	2,36	2,97	21,19	16,84	2,01	3,18
PROBETA 18	1,97	4,33	4,90	2,36	2,93	21,19	17,06	2,01	3,09
PROBETA 19	1,97	4,34	4,83	2,37	2,86	21,10	17,48	2,02	2,94
PROBETA 20	1,96	4,34	4,90	2,38	2,94	21,01	17,01	2,04	3,11
MEDIA	1,96	4,37	4,90	2,42	2,94	20,70	17,01	2,10	3,11
DESVIACION	0,01	0,06	0,05	0,07	0,05	0,58	0,27	0,12	0,10

Donde El  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de la segunda onda reflejada, el  $t_3$  el de la última reflexión,  $v1$  es la velocidad,  $\epsilon1$  es la constante dieléctrica de este caso. Los tiempos se miden en nanosegundos y la velocidad en nanosegundos por centímetro.

TABLA 12. Cálculos de velocidad y constante dieléctrica caso 4.

Datos de inicio:  $h = 25 \text{ cm}$ ;  $c = 30 \text{ cm/ns}$

Nº PROBETA	t1	t2	t3	$\Delta t_{2-1}$	$\Delta t_{3-1}$	v4 <sub>1</sub>	v4 <sub>2</sub>	$\epsilon_{41}$	$\epsilon_{42}$
PROBETA 1	1,94	4,44	4,87	2,50	2,93	20,00	17,06	2,25	3,09
PROBETA 2	1,95	4,44	4,91	2,49	2,96	20,08	16,89	2,23	3,15
PROBETA 3	1,96	4,47	4,93	2,51	2,97	19,92	16,84	2,27	3,18
PROBETA 4	1,94	4,47	4,90	2,53	2,96	19,76	16,89	2,30	3,15
PROBETA 5	1,94	4,38	4,85	2,44	2,91	20,49	17,18	2,14	3,05
PROBETA 6	1,97	4,43	4,88	2,46	2,91	20,33	17,18	2,18	3,05
PROBETA 7	1,94	4,36	4,87	2,42	2,93	20,66	17,06	2,11	3,09
PROBETA 8	1,94	4,33	4,87	2,39	2,93	20,92	17,06	2,06	3,09
PROBETA 9	1,95	4,39	4,89	2,44	2,94	20,49	17,01	2,14	3,11
PROBETA 10	1,96	4,45	4,85	2,49	2,89	20,08	17,30	2,23	3,01
PROBETA 11	1,95	4,44	4,86	2,49	2,91	20,08	17,18	2,23	3,05
PROBETA 12	1,96	4,45	4,87	2,49	2,91	20,08	17,18	2,23	3,05
PROBETA 13	1,98	4,37	4,88	2,39	2,90	20,92	17,24	2,06	3,03
PROBETA 14	1,97	4,38	4,89	2,41	2,92	20,75	17,12	2,09	3,07
PROBETA 15	1,98	4,38	4,88	2,40	2,90	20,83	17,24	2,07	3,03
PROBETA 16	1,97	4,44	4,90	2,47	2,93	20,24	17,06	2,20	3,09
PROBETA 17	1,96	4,37	4,90	2,41	2,94	20,75	17,01	2,09	3,11
PROBETA 18	1,97	4,43	4,95	2,46	2,98	20,33	16,78	2,18	3,20
PROBETA 19	1,98	4,42	4,89	2,44	2,91	20,49	17,18	2,14	3,05
PROBETA 20	1,98	4,46	4,90	2,48	2,92	20,16	17,12	2,21	3,07

Donde El  $t_1$  es el tiempo en la onda directa y el  $t_2$  es el tiempo de la segunda onda reflejada, el  $t_3$  el de la última reflexión,  $v1$  es la velocidad,  $\epsilon1$  es la constante dieléctrica de este caso. Los tiempos se miden en nanosegundos y la velocidad en nanosegundos por centímetro.

Obtenidos los cálculos, lo que hemos hecho ha sido analizarlos como vemos a continuación:

En la figura 24-a observamos las velocidades de estos dos casos, caso 3 (testa) y caso 4 (canto). También realizamos comparativo de constante dieléctrica como se observa en la figura 25-a.

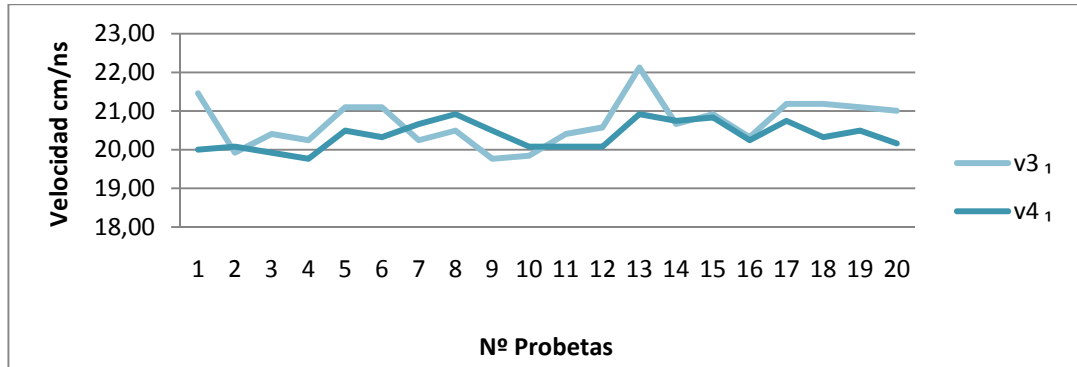


Figura 24-a. Grafico comparativo velocidad caso 3 y caso 4.

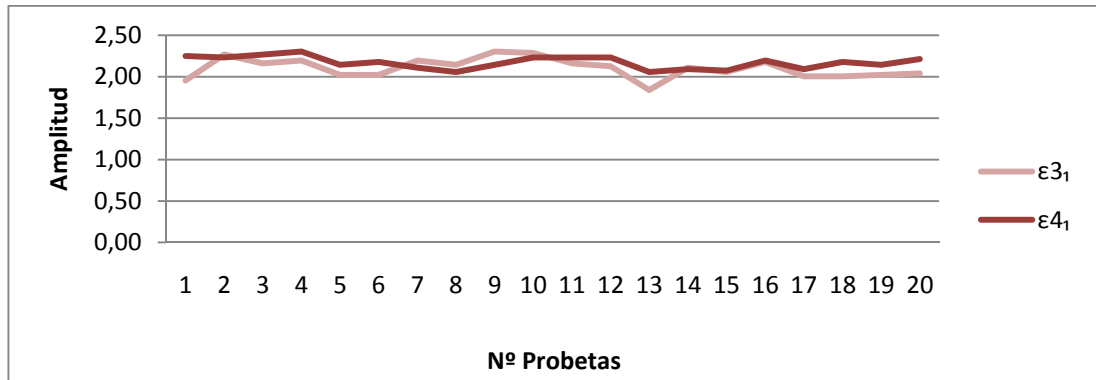


Figura 25-a. Grafico comparativo constante dielectrica caso 3 y caso 4.

Realizando cálculos estadísticos y comparativos hemos llegado a la conclusión que la velocidad y la constante dieléctrica de estos casos se pueden considerar prácticamente iguales. Se adjunta la tabla donde hemos obtenido estos datos (Tabla 13).

TABLA 13. COMPARATIVO CASO 3 (testa) Y CASO 4 (canto)

Nº PROBETA	$v_{3_1}/v_{4_1}$	$\epsilon_{3_1}/\epsilon_{4_1}$
PROBETA 1	1,07	0,87
PROBETA 2	0,99	1,02
PROBETA 3	1,02	0,95
PROBETA 4	1,02	0,95
PROBETA 5	1,03	0,94
PROBETA 6	1,04	0,93
PROBETA 7	0,98	1,04
PROBETA 8	0,98	1,04
PROBETA 9	0,96	1,08
PROBETA 10	0,99	1,02
PROBETA 11	1,02	0,97
PROBETA 12	1,02	0,95
PROBETA 13	1,06	0,89
PROBETA 14	1,00	1,01
PROBETA 15	1,00	0,99
PROBETA 16	1,00	0,99
PROBETA 17	1,02	0,96
PROBETA 18	1,04	0,92
PROBETA 19	1,03	0,94
PROBETA 20	1,04	0,92

MEDIA	1,02	0,97
DESVIACION	0,03	0,05
C.V	0,03	0,05

Si observamos la tabla 13, descubrimos que al dividir las velocidades entre sí y realizando la media de estos resultados, el valor que resulta es aproximadamente 1, esto, como ya hemos comentado, significa que da lo mismo el sentido de la fibra ya sea en testa o en canto, para calcular la velocidad y la constante dieléctrica, ya que como observamos la desviación típica se puede considerar pequeña.

En la tabla 14 se muestran amplitudes del caso 3.

TABLA 14.

C ASO 3

Nº PROBETA	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	(A <sub>1</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>	(A <sub>2</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>	(A <sub>3</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>
PROBETA 1	2776,00	2051,00	184,00	559,00	0,74	0,07	0,20
PROBETA 2	2776,00	2051,00	186,00	559,00	0,74	0,07	0,20
PROBETA 3	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 4	2776,00	2051,00	186,00	559,00	0,74	0,07	0,20
PROBETA 5	2776,00	2175,00	61,00	559,00	0,78	0,02	0,20
PROBETA 6	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 7	2776,00	2051,00	186,00	559,00	0,74	0,07	0,20
PROBETA 8	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 9	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 10	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 11	2776,00	2051,00	61,00	559,00	0,74	0,02	0,20
PROBETA 12	2776,00	1927,00	61,00	559,00	0,69	0,02	0,20
PROBETA 13	2776,00	1927,00	61,00	310,00	0,69	0,02	0,11
PROBETA 14	2776,00	1802,00	186,00	559,00	0,65	0,07	0,20
PROBETA 15	2776,00	1927,00	-63,00	559,00	0,69	-0,02	0,20
PROBETA 16	2776,00	1985,00	-186,00	559,00	0,72	-0,07	0,20
PROBETA 17	2776,00	1832,00	61,00	559,00	0,66	0,02	0,20
PROBETA 18	2776,00	1832,00	61,00	559,00	0,66	0,02	0,20
PROBETA 19	2776,00	1793,00	310,00	559,00	0,65	0,11	0,20
PROBETA 20	2776,00	1553,00	61,00	559,00	0,56	0,02	0,20
MEDIA		1963,15	86,05	546,55	0,71	0,03	0,20
DESV.TÍPICA		138,56	100,86	54,27	0,05	0,04	0,02
C.V		0,07	1,17	0,10	0,07	1,17	0,10

En la tabla 14 se observa que la dispersión entre los valores es pequeña.



En la tabla 15 se muestra el caso 4.

TABLA 15.

CASO 4

Nº PROBETA	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	(A <sub>1</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>4</sup>	(A <sub>2</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>4</sup>	(A <sub>3</sub> /A <sub>0</sub> ) <sup>4</sup>
PROBETA 1	2776,00	2300,00	-63,00	807,00	0,83	-0,02	0,29
PROBETA 2	2776,00	2300,00	61,00	559,00	0,83	0,02	0,20
PROBETA 3	2776,00	2424,00	61,00	559,00	0,87	0,02	0,20
PROBETA 4	2776,00	2300,00	186,00	559,00	0,83	0,07	0,20
PROBETA 5	2776,00	2424,00	310,00	807,00	0,87	0,11	0,29
PROBETA 6	2776,00	2300,00	61,00	807,00	0,83	0,02	0,29
PROBETA 7	2776,00	2300,00	186,00	807,00	0,83	0,07	0,29
PROBETA 8	2776,00	2300,00	186,00	807,00	0,83	0,07	0,29
PROBETA 9	2776,00	2300,00	206,00	536,00	0,83	0,07	0,19
PROBETA 10	2776,00	2424,00	61,00	713,00	0,87	0,02	0,26
PROBETA 11	2776,00	2424,00	186,00	807,00	0,87	0,07	0,29
PROBETA 12	2776,00	2300,00	61,00	807,00	0,83	0,02	0,29
PROBETA 13	2776,00	2424,00	-63,00	807,00	0,87	-0,02	0,29
PROBETA 14	2776,00	2300,00	310,00	559,00	0,83	0,11	0,20
PROBETA 15	2776,00	2300,00	310,00	807,00	0,83	0,11	0,29
PROBETA 16	2776,00	2424,00	61,00	807,00	0,87	0,02	0,29
PROBETA 17	2776,00	2221,00	186,00	559,00	0,80	0,07	0,20
PROBETA 18	2776,00	2300,00	310,00	807,00	0,83	0,11	0,29
PROBETA 19	2776,00	2424,00	310,00	559,00	0,87	0,11	0,20
PROBETA 20	2776,00	2300,00	310,00	807,00	0,83	0,11	0,29

MEDIA		2339,45	161,80	714,35	0,84	0,06	0,26
DESV.TÍPICA		64,32	122,21	118,24	0,02	0,04	0,04
C.V		0,03	0,76	0,17	0,03	0,76	0,17

Al igual que en los otros casos las dispersión es mínima.

A continuación comparamos las amplitudes del caso 3 y caso 4, como se observa en las figuras 26, 27 y 28.

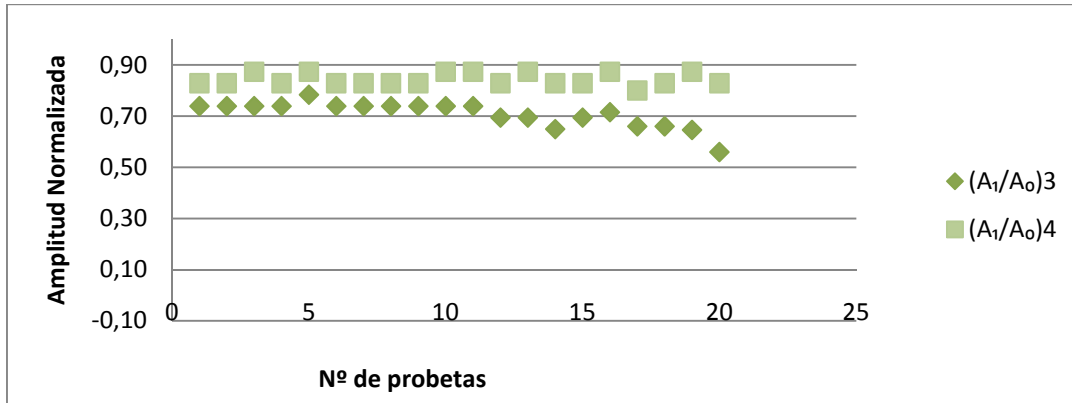


Figura 26. Dispersión Amplitud,  $A_1$  del caso 3 y caso 4.

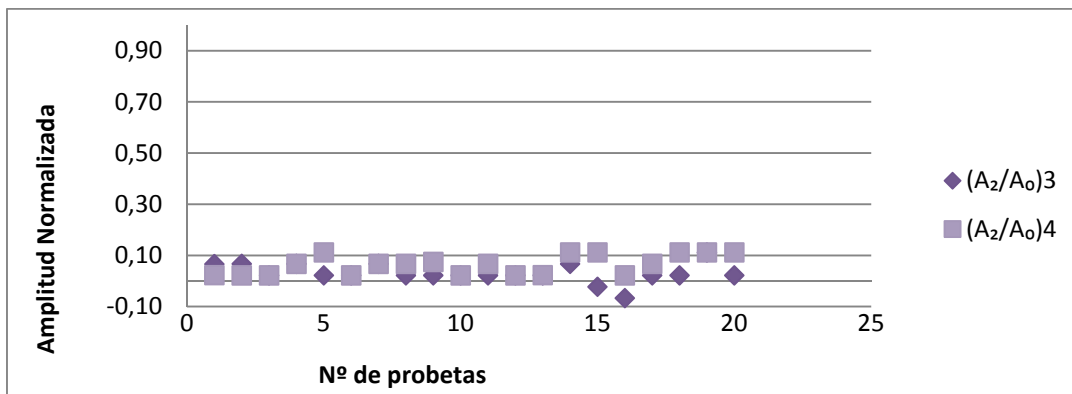


Figura 27. Dispersión Amplitud,  $A_2$  del caso 3 y caso 4.

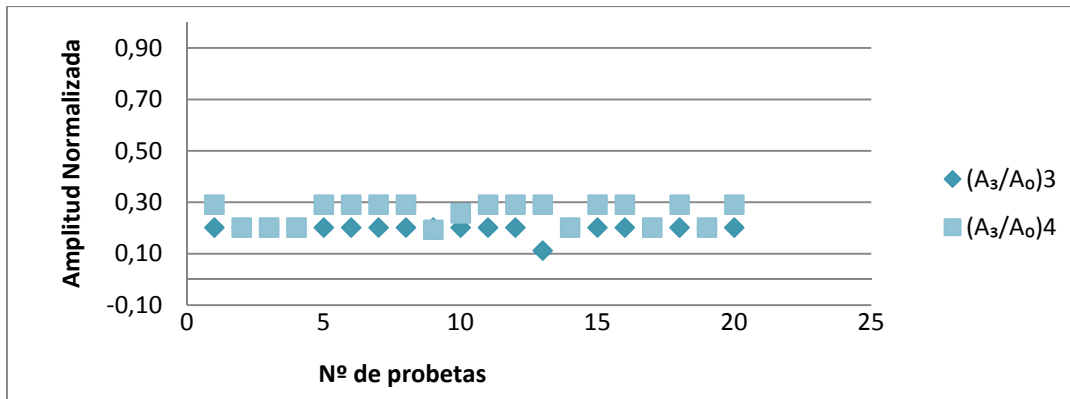


Figura 28. Dispersión Amplitud,  $A_3$  del caso 3 y caso 4.

Al comparar las amplitudes en canto y testa de cada una de las tres reflexiones, se observa, en cada una de ellas, que están en la misma constante, es decir, no hay dispersiones notables entre la amplitud medida en la testa y la medida en canto. Por lo que podemos decir que las amplitudes en testa y canto son prácticamente las mismas.

## 6. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN.

Llegados a este punto y visto como funciona el equipo Georradar con respecto a la madera de mobila, vamos a realizar un estudio de la adaptación de éste equipo en una vivienda con estructura de madera de mobila.

En primer lugar, lo que se debe realizar es un pequeño estudio sobre la vivienda. Se trata de una vivienda unifamiliar situada en la calle Padre Tarín, Nº 17 en el municipio de Godolleta, en Valencia. Consta de planta baja y planta primera (cambra). La planta baja tiene tres habitaciones, dos baños, salón-comedor y cocina. La planta primera es un espacio diáfano y un gallinero.

Es una construcción de finales de los años 20 y principio de los años 30 del siglo pasado.

Estructuralmente hablando, la describiremos con los criterios constructivos que se utilizaban en aquellos años, ya que no podemos acceder a la estructura en su mayor parte. La cimentación está basada en la realización de zanjas corridas en todo el perímetro de la vivienda y en zonas donde están situados los muros de carga, y la realización de pozos donde se sitúan los pilares. Las zanjas y pozos están supuestamente resueltos mediante relleno de piedras/bolos junto con algún tipo de aglomerante (como cal hidráulica) que se utilizaba en aquellos años. Suponemos pues, que la cimentación es una cimentación maciza, donde apoyaran la estructura compuesta por muros de carga y pilares macizos de piedra, en los cuales apoyan las vigas de madera y sobre estas, las correspondientes viguetas de madera. En el primer forjado el entrevigado está resuelto, supuestamente, ya que no es visible ni accesible, mediante bóvedas realizadas con ladrillo macizo y capa de compresión en la parte superior.

La cubierta está resuelta mediante forjado inclinado de vigas y viguetas de madera, y el entrevigado está resuelto con cañizo, donde apoya la cobertura de teja árabe.

Tras la descripción, lo que se debe hacer es una visita a la vivienda, realizando croquis oportunos y posteriores planos, y hacer una inspección visual donde determinaremos anomalías y así poder localizar que parte o partes de la estructura se le van a aplicar la técnica del Georradar.

Nosotras hemos realizado esa inspección visual del forjado de cubierta para determinar anomalías o puntos críticos y además hemos dibujado los planos del forjado de cubierta (figura 29), para marcar donde se pueden encontrar dichas anomalías.

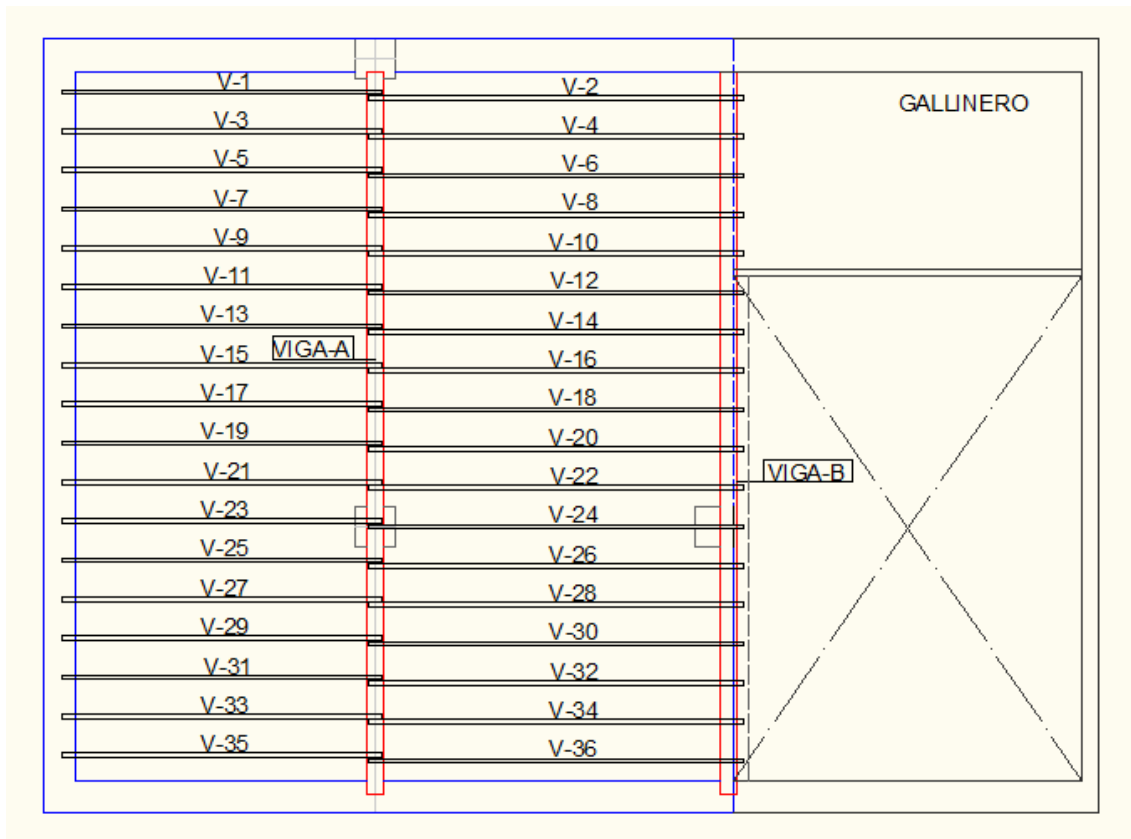


Figura 29. Plano de forjado de cubierta donde se observa las viguetas y las vigas A y B.

Dimensiones de las viguetas:

TIPO VIGUETAS	DIMENSIONES
V1- V3-V5- V7-V9-V11-V13-V15- V17-V19-v21-V23-V25-V27-V29- V31-V33-V35. (viguetas Tipo 1)	0.215m x 0.075m x 6.23 m
V2-V4-V6-V8-V10-V12-V14-V16- V18-V20-V22-V24-V26-V28-V30- V32-V34-V36. (viguetas Tipo 2)	0.215 x 0.075m x 5.40m

Dimensiones de vigas:

TIPO DE VIGA	DIMENSIONES
Tipo A	0.345 m x 0.25 m x 11.10m
Tipo B	0.345 m x 0.25 m x 11.10m

Una vez realizada la inspección, únicamente hemos detectado anomalías en una de las vigas, viga A, donde se pueden observar pudriciones (figura 30 y 31) producidas por hongos debido a la humedad causada por la lluvia.



Figura 30. Se observa el forjado de cubierta, la viga A con pudriciones y la viga B.

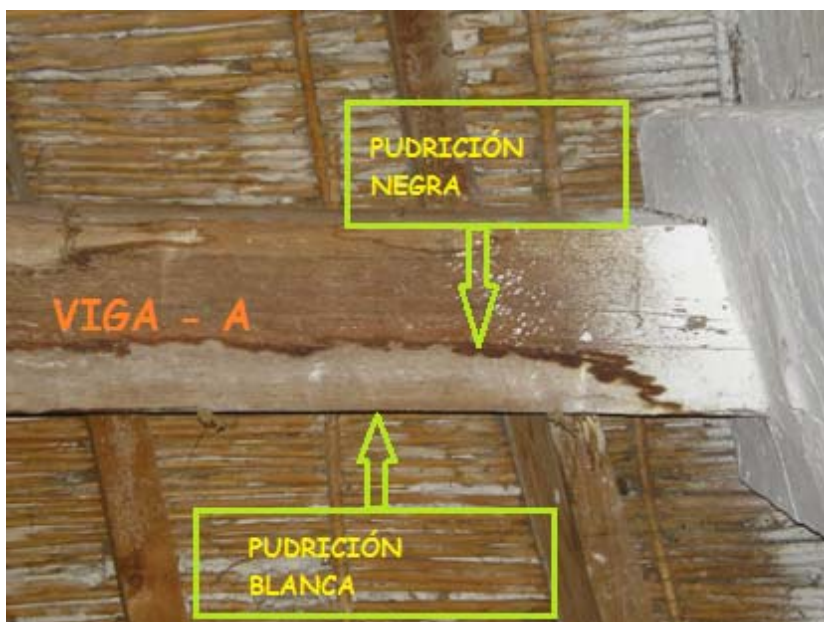


Figura 31. Se observa las pudriciones en la viga A.

A continuación se muestra una figura donde se observa la localización de las pudriciones en la viga A. Figura 32.

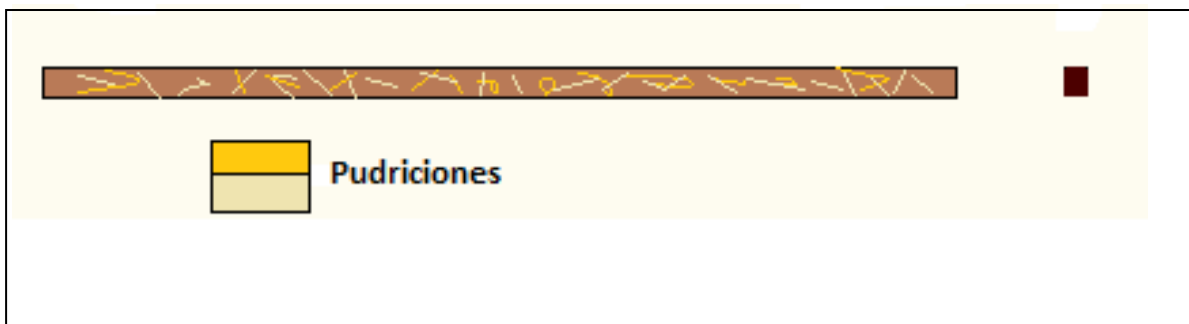


Figura 32. Localización de pudriciones en todas las caras de la viga A.

El segundo paso es el estudio de adaptación del equipo de Georradar en la viga A del forjado de cubierta, que, tras el análisis de los cálculos, hemos llegado a la conclusión de que en la madera de mobila el equipo del georradar que hemos utilizado no tiene la capacidad de registrar la anisotropía dieléctrica de dicha madera, por lo que para poder realizar mediciones no seguiremos un criterio basado en la dirección de las fibras, sino que optaremos por colocar la antena y el resto del equipo en el lugar más fácil y accesible para poder medir, y esto sería en la cara de la viga, como se observa en la figura 33.

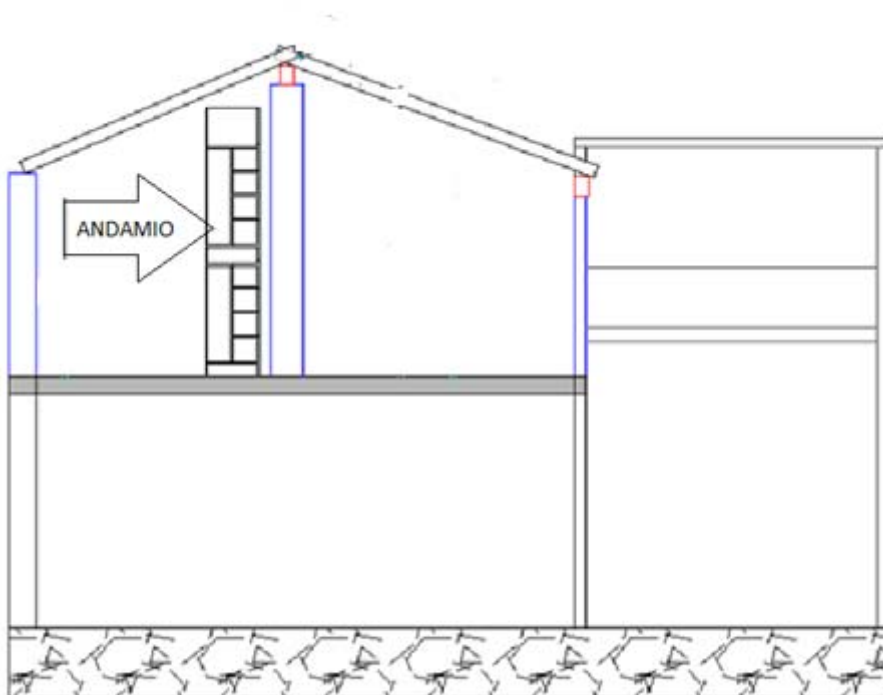


Figura 33. Se observa la cara de la viga A donde se colocaría el equipo.

En este caso práctico los ensayos se realizarían de forma dinámica, es decir moviendo la antena por toda la longitud de la viga, que dividiremos en varios tramos, por comodidad. También se podrían realizar ensayos puntuales en las zonas donde se observase alguna reflexión que nos llamara la atención.

Nos centraremos ahora en el procedimiento a seguir y en los medios auxiliares que nos harían falta para poder realizar la adaptación completa del equipo:

1. Se necesitaría un andamio para poder acceder a la viga A , ya que la viga esta a una altura de 5 m. Se podría utilizar un andamio de 2,50 m de longitud, y dos tramos de 1,90 m de altura cada uno, y colocaremos la plataforma de trabajo a la altura necesaria para poder realizar de la mejor manera posible la medición. Se desplazaría dicho andamio a medida que se midiera cada tramo, así no haría falta colocar un andamio corrido de 11,10 m a lo largo de toda la viga, ya que el montaje sería más costoso. (figura 34 y 35).



*Figura 34. Sección de vivienda y colocación andamio.*



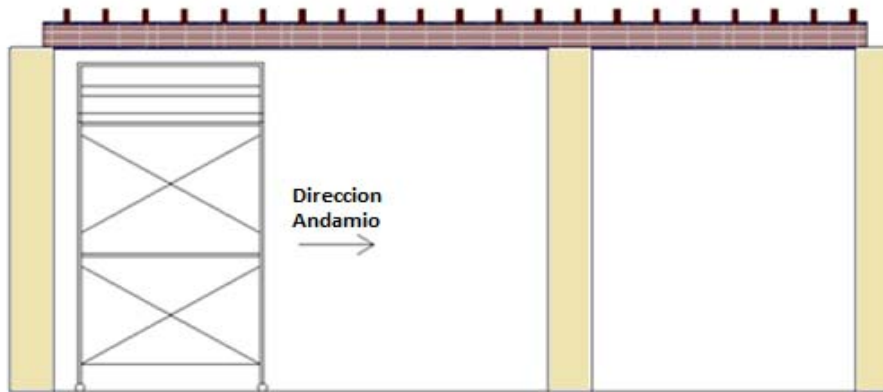


Figura 35. Alzado planta indicando la dirección de andamio.

2. Una vez colocado el andamio, se procedería a preparar la viga A donde se van a realizar los ensayos, marcando las divisiones de los tramos, una línea céntrica en la viga que sería por donde debería pasar la antena y colocando un reflector metálico en la cara opuesta donde se vayan a realizar los ensayos (Figura 36).

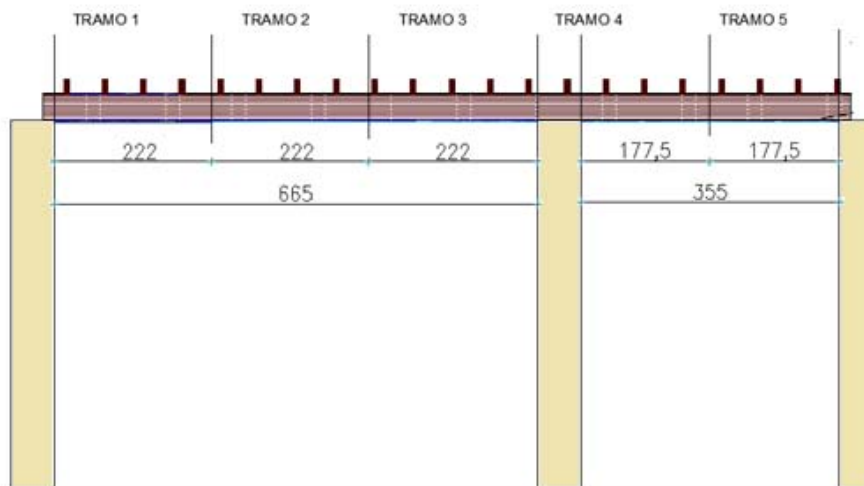


Figura 36. Se indican los diferentes tramos .

3. A continuación, se empezaría a preparar el equipo el Georradar, como se ha hecho en el laboratorio. Aunque con una excepción, ya que ahora se trataría de ensayos dinámicos, por lo que se debe registrar la longitud que se va a recorrer, utilizando un marcador, puesto que cuando se analizan los radargramas de ensayos dinámicos, se identifica a qué distancia y dónde se localiza cualquier anomalía.
4. Una vez acabados los ensayos dinámicos, en los puntos donde se registrase alguna anomalía, se podrían realizar ensayos estáticos, como los realizados en laboratorio, para poder así determinar mejor el tipo de anomalía. Por otro lado, para obtener un trabajo de mayor profundidad, sería conveniente también utilizar otra técnica como la del Resistografo. Esta técnica no la hemos estudiado con profundidad, aunque hemos observado su funcionamiento. El Resistografo obtiene buenas predicciones de la densidad en madera libre de defecto y, además, presenta una aplicación práctica sobre piezas estructurales de un edificio con resultados aceptables. Este buen resultado reforzaría la necesidad de utilizar todo el conjunto de las técnicas aquí expuestas para un diagnóstico adecuado.

Realizados los ensayos y expuesto el diagnóstico de las posibles anomalías, se decidirá la forma y grado de intervención, para su tratamiento, en el caso de que fuera necesario.

En el Anexo 3. Se pueden observar los planos a escala.

## 7. CONCLUSIONES Y VALORACIONES

El proyecto ha logrado cumplir los objetivos básicos que se habían propuesto, respetando las especificaciones planteadas.

Como decíamos al comienzo de este documento, los principales objetivos de este proyecto han sido dos: Estudiar la madera mobila en el laboratorio mediante el Georradar para conocer sus características desde el punto de vista dieléctrico en las diferentes direcciones de la fibra, y realizar un estudio de adaptación del equipo a un caso práctico, una vivienda con estructura de dicha madera.

Con el proyecto, y tras el análisis de los resultados, hemos descubierto que el equipo del Georradar SIR-3000 con la antena de emisión de ondas con frecuencia de 2GHz no es capaz de registrar la anisotropía dieléctrica de la madera de mobila, que es sin duda una de las características más importantes. Este hecho no quiere decir que la madera no sea anisótropa, puesto que sí que lo es, ya que otros autores reconocidos han realizado estudios donde se comprueba que la madera tiene una respuesta dieléctrica diferente para las distintas direcciones de radiación respecto a la fibra.

Ante esto, nos preguntamos si habíamos realizado incorrectamente la medición o los cálculos, ya que al compararlos con otros compañeros que habían realizado el mismo estudio pero con otro tipo de madera, no les ocurría este hecho. Ellos obtenían resultados diferentes en cualquiera que fuese dirección de la fibra en el ensayo y obtenían registros de la anisotropía dieléctrica de ese tipo de madera.

Al revisar cálculos y mediciones, y ver que todo estaba correcto, llegamos a la conclusión de que, el no detectar la anisotropía podría ser debido a la estructura microscópica de la madera de mobila, ya que según estudios reconocidos, los elementos que componen la estructura microscópica van relacionados con la componente dieléctrica e influyen en ella.

Dicho esto, desconocemos si utilizando otro equipo de georradar o una antena con una frecuencia distinta a la utilizada, podríamos registrar esa anisotropía dieléctrica que no detectamos, y por lo tanto, creemos que sería un buen tema de continuación a nuestro estudio.

Llegados a este punto, como uno de nuestros objetivos era el estudio de aplicación de esta técnica a un caso práctico, es decir, donde situar la antena para medir y registrar los datos en la estructura de la vivienda propuesta, llegamos a la conclusión de que nos sería indiferente la posición de la antena en cualquiera que fuese la dirección de las fibras, ya que se obtienen resultados prácticamente

iguales, y por consiguiente, la situaremos en el lugar de mejor acceso, mayor facilidad de trabajo y que ocasione menor costo económico, como anteriormente mencionado.

Por último, queremos concluir resaltando unos de los aspectos más importantes de este proyecto, que ha sido el aprendizaje que hemos adquirido a lo largo de la su realización y la aplicación de técnicas que desconocíamos hasta ahora, que nos ha servido para comprender mejor el comportamiento anisótropo de la madera.

## 8. BIBLIOGRAFIA Y NORMATIVA DE APLICACIÓN.

### - Libros:

- MADERA ESTRUCTURAL. Ediciones Aenor (Normativa).
  - TECNOLOGIA DE LA MADERA. Santiago Vignote Peña y Fº Javier Jimenez Peris.
  - MIL MADERAS. Manuel Soler.
  - ESPECIES DE MADERAS. Ediciones AITIM.
- 
- Tesis de Dª Isabel Rodríguez Abad (*Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera. Año 2010*).
  - Página web SIR-3000, ([www.geophysical.com](http://www.geophysical.com)).
  - Página web [www.aitemin.es/ei\\_georadar.html](http://www.aitemin.es/ei_georadar.html)

## **9. ANEXOS**

**ANEXO 1.** Ficha técnica del Georradar SIR-3000.

**ANEXO 2.** Tablas de datos tomados en laboratorio.

**ANEXO 3.** Planos de vivienda de aplicación práctica:

- Plano cerramientos.
- Plano forjado cubierta.
- Plano sección vertical.
- Plano colocación andamio.
- Plano división en tramos de la viga a estudio.
- Andamio utilizado para la aplicación.

## ANEXO 1.

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO SIR-3000

#### TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Sistema de	
Antenas	Compatible con todas las antenas GSSI
Número de canales	1 (uno)
Almacenamiento de datos	Memoria interna: 2 GB Tarjeta de memoria flash Compact Flash puerto: Acepta la memoria estándar de la industria CF de hasta 2 GB (el usuario siempre)
Mostrar	Mejora 8.4: TFT, resolución 800x600, 64K colores
Modos de visualización	LineScan, O-Scope, 3D
Adquisición de Datos	
Formato de datos	RADAN (DZT)
Escanear Ejemplos Tarifa	220 lecturas / seg a 256 muestras de análisis, de 16 bits 120 lecturas / seg a 512 muestras
Intervalo de exploración	Seleccionable por el usuario
Número de muestras por exploración	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Modos de funcionamiento	correr libre, la rueda de la encuesta, el modo de punto de
Intervalo de tiempo	0-8,000 nanosegundos a gran escala, seleccionable por el usuario Ganancia: manual o automático, 1.5 puntos de ganancia (de -20 a +80 dB)
Filtros	Vertical: de paso bajo y paso alto IIR y FIR Horizontal: apilable, Eliminación de fondo
Idiomas	
	Inglés, francés, italiano, alemán, español, japonés, chino
De funcionamiento	
Temperatura de funcionamiento	-10 ° C a 40 ° C ambiente
Cargador Requisitos de energía	15 V DC, 4 amperios
Batería	10,8 V DC, en la residencia
Velocidad de transmisión	Hasta 100 KHz
Entrada / Salida	
Puertos disponibles	Entrada de antena Entrada de corriente continua Serie RS232 (puerto del GPS) De memoria Compact Flash USB esclavo maestro
Mecánica	
Dimensiones	31.5 (L) x 22 (W) x 10.5 (H) cm 12,4 "x 8.7" x 4.1 "
Peso	4,1 kg (9 libras) incluyendo la batería
Medio Ambiente	Resistente al agua

## ANEXO 2.



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería de Edificación

### Programación de las medidas con georradar

Este apartado está pendiente por concretar las fechas para que los alumnos por lo menos puedan asistir cuando se están realizando las mediciones y así conocer el equipo. Para poder desarrollar los PFG de los alumnos se ha realizado la preparación de las muestras, incluyendo su caracterización física siguiendo la normativa. Contamos con las siguientes probetas:

Madera	Dimensiones	Nº probetas
Pino radiata	25 x 25 x 7.5 cm	20
Pino Ruso	22 x 22 x 7.5 cm	20
Mobila	25 x 25 10.5 cm	20
Haya	Variable x 8 cm	15

Se considera que las características óptimas de las mediciones **ESTÁTICAS** de 200 scans mínimo a realizar con cada una antena de 2GHz son las siguientes:

- Range Gain (dB)=(0,0) sin función de ganancia
- 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= 80
- Bits/sample=16
- Samples/scan= 512
- Rango= 6 ns
- Position= -0.5 ns
- Posición del equipo SIR3000: Balance: -14.23/ Superficie:14.63

Como en los proyectos principalmente se va a evaluar la anisotropía de la madera las mediciones se deberían realizar en 4 posiciones distintas, que denominaremos:

- CASO 1: Cara Paralela: El campo eléctrico oscila en dirección paralela a la dirección de la fibra
- CASO 2: Cara Perpendicular: El campo eléctrico oscila en dirección perpendicular a la fibra
- CASO 3: Testa: Colocando la antena sobre la testa
- CASO 4: Canto: Colocando la antena sobre el canto

A continuación se detalla de forma gráfica cada uno de las 4 posiciones de la antena respecto a la probeta. Además dado el espesor de las mismas es necesario realizar todas las mediciones con un reflector metálico bajo la muestra y sin él, para por medio del cambio de polaridad distinguir los solapes en los tiempos de llegada.





FICHA Nº 3

FECHA: 8/4/11

FRECUENCIA ANTENA: 2 GHz

TIPO MADERA: MOBILA

DIRECTORIO DE ALMACENAMIENTO: 814/11

OBSERVACIONES:

PROBETA	Número de archivo							
	Sin colocar reflector metálico				Colocando reflector metálico			
	CASO				CASO			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12		/	/	/	/			
13	17	25	41	33	1	9	49	57
14	18	26	42	34	2	10	50	58
15	19	27	43	35	3	11	51	59
16	20	28	44	36	4	12	52	60
17	21	29	45	37	5	13	53	61
18	22	30	46	38	6	14	54	62
19	23	31	47	39	7	15	55	63
20	24	32	48	40	8	16	56	64



## FICHA Nº 2

FECHA: 07/04/2011

FRECUENCIA ANTENA: 2 GHz

TIPO MADERA: MOBILA

DIRECTORIO DE ALMACENAMIENTO: 07-04-2011

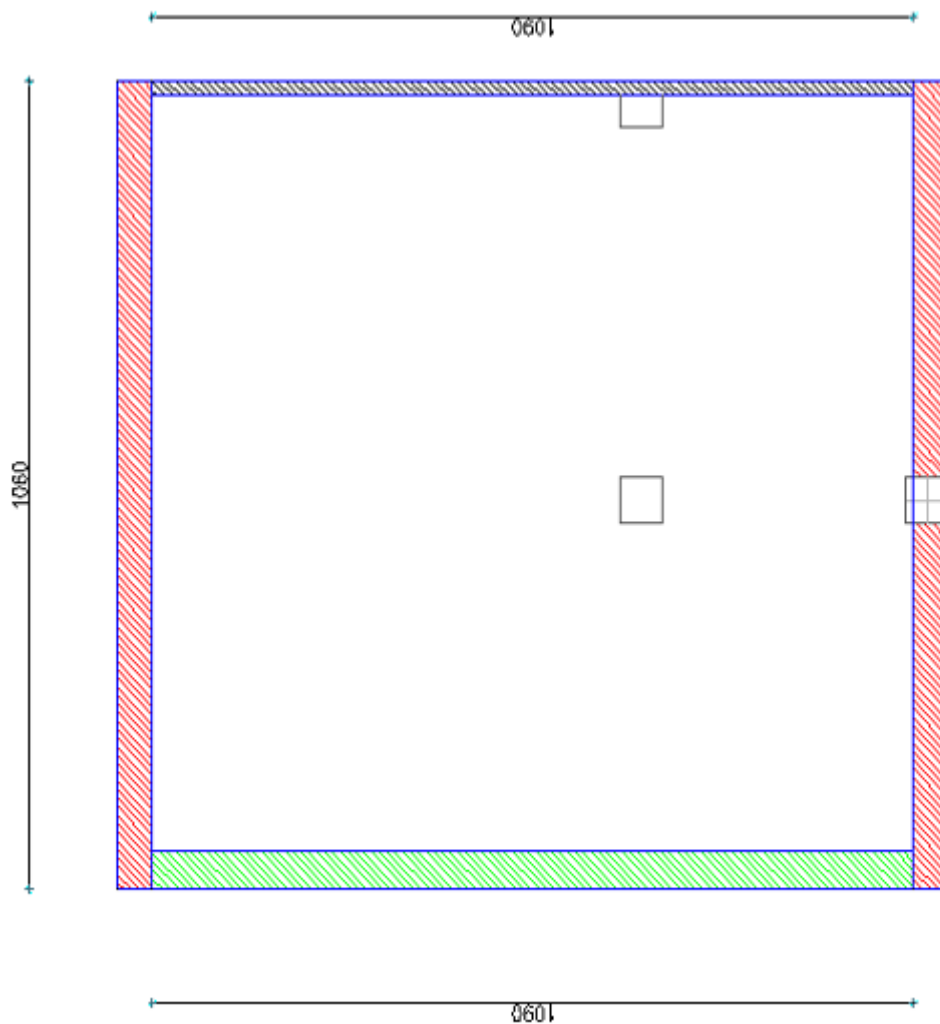
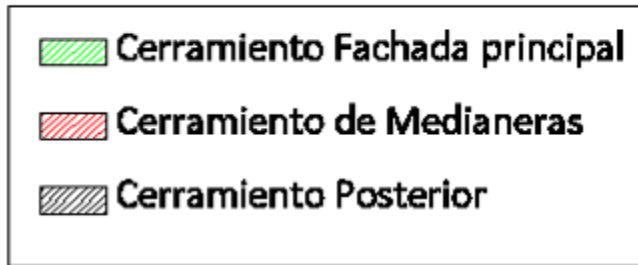
**OBSERVACIONES:**

Los archivos 72, 73, 74 y 75 son sólo de 3 probetas 8,9,10 pero no sabemos cuáles son las correctas

PROBETA	Número de archivo							
	Sin colocar reflector metálico				Colocando reflector metálico			
	CASO				CASO			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	53	41	78	65	29	17	90	102
2	54	42	79	66	30	18	91	103
3	55	43	80	67	31	19	92	104
4	56	44	71	68	32	20	93	105
5	57	45	82	69	33	21	94	106
6	58	46	83	70	34	22	95	107
7	59	47	84	71	35	23	96	107
8	60	48	85	72	36	24	97	109
9	61	49	86	73	37	25	98	110
10	62	50	87	74+75	38	26	99	111
11	63	51	88	76	39	27	100	112
12	64	52	89	77	40	28	101	113
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

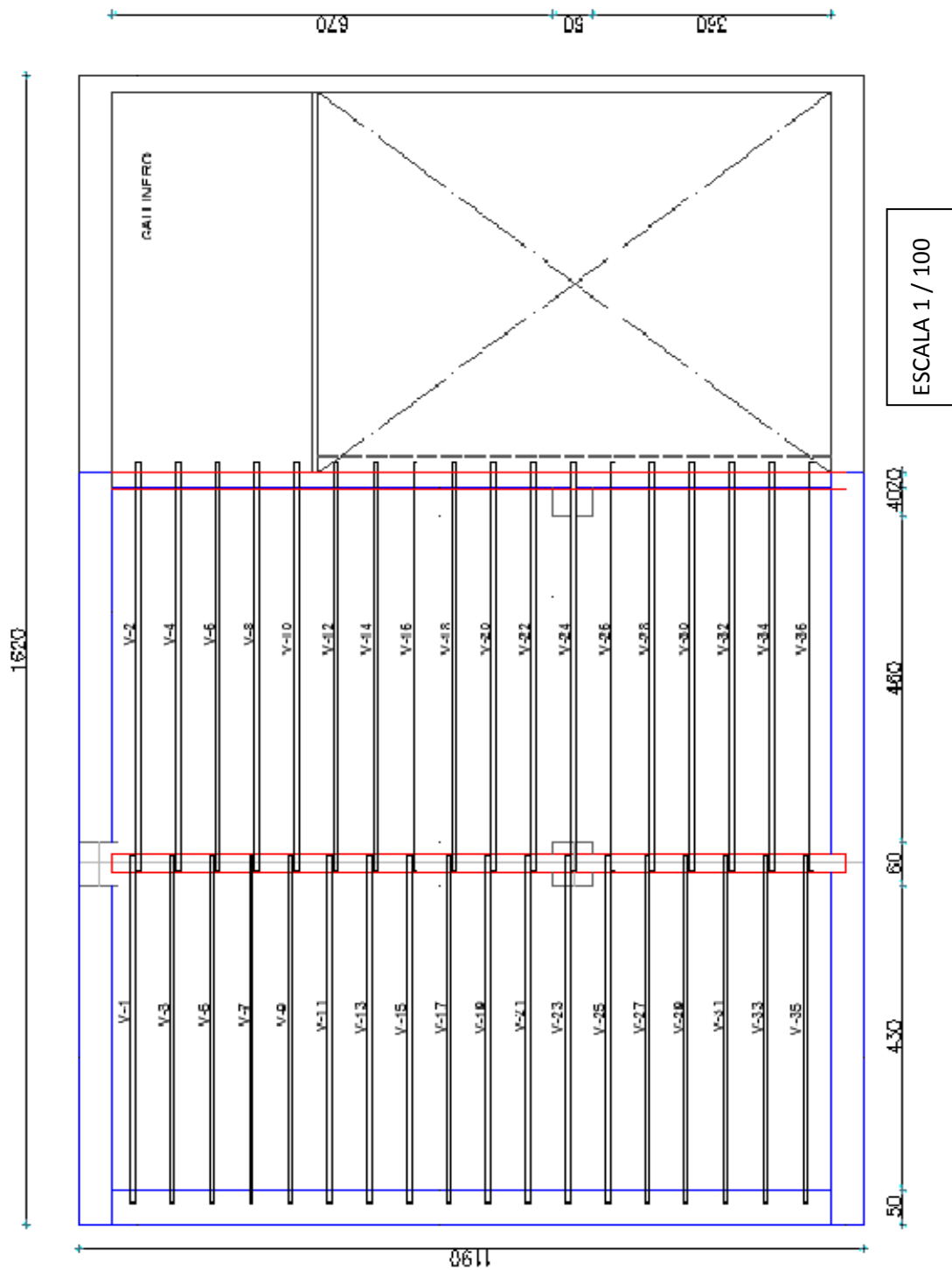
### ANEXO 3

-Plano cerramientos.

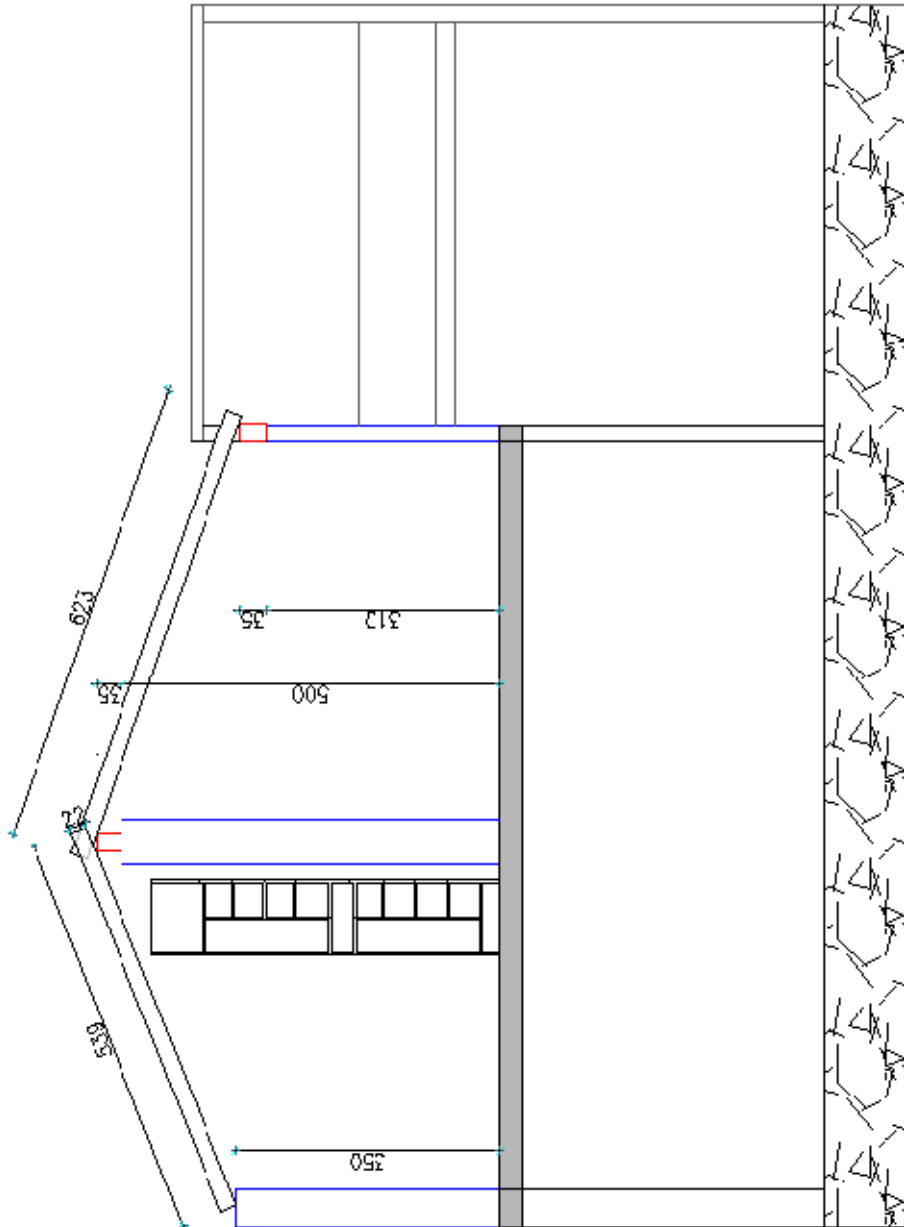


ESCALA 1 / 100

**-Plano forjado de cubierta**

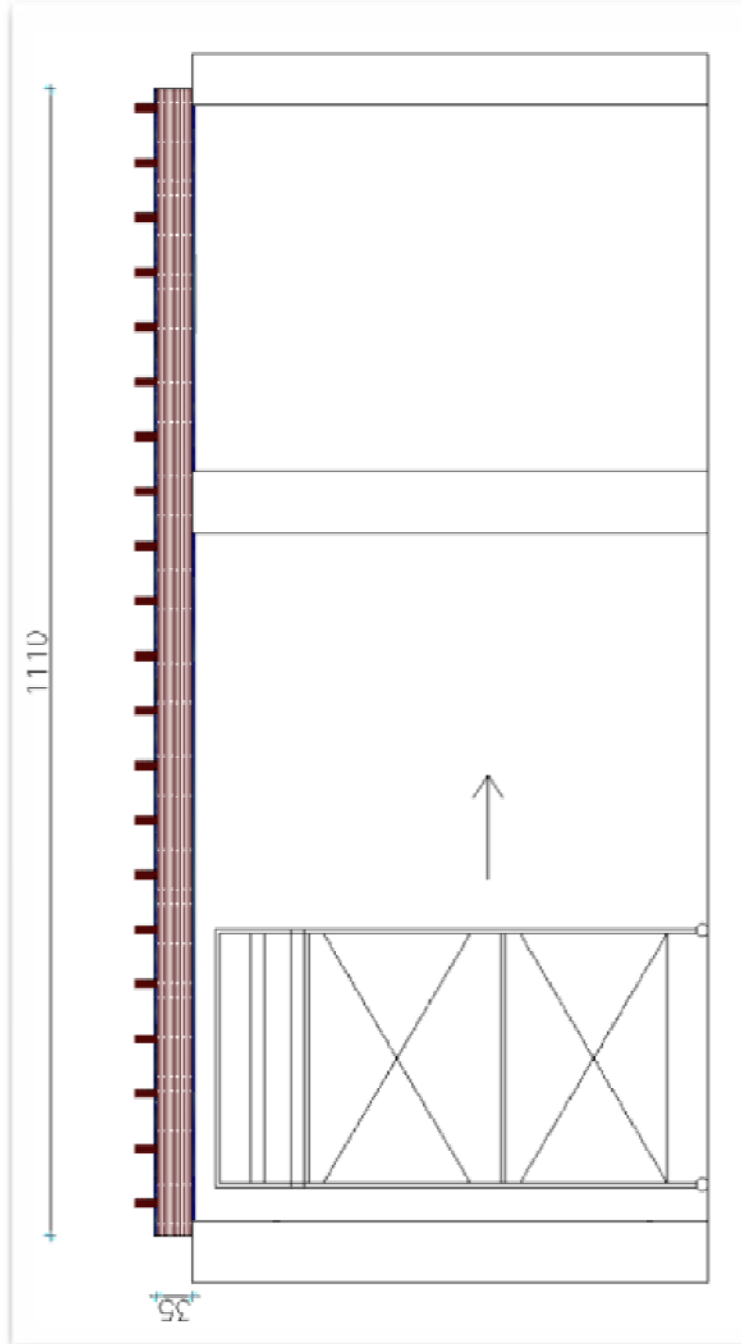


**-Plano sección vertical.**



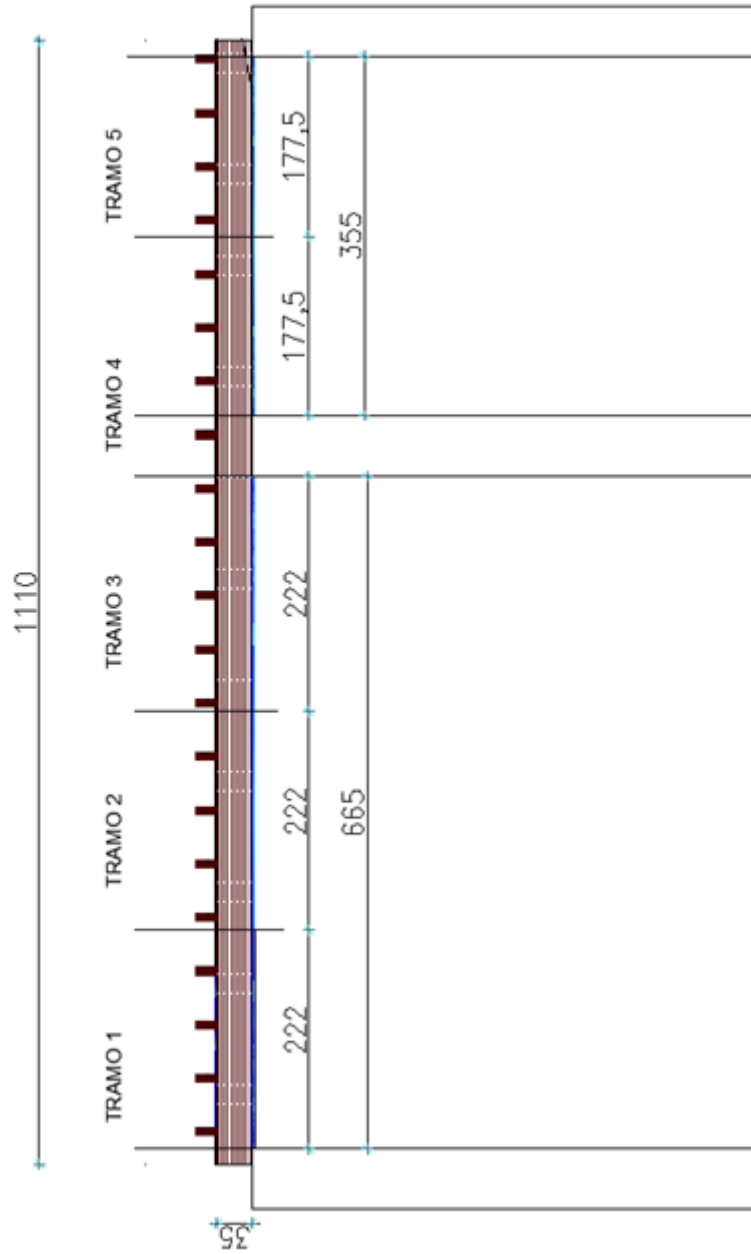
ESCALA 1 / 100

**-Plano colocación andamio.**



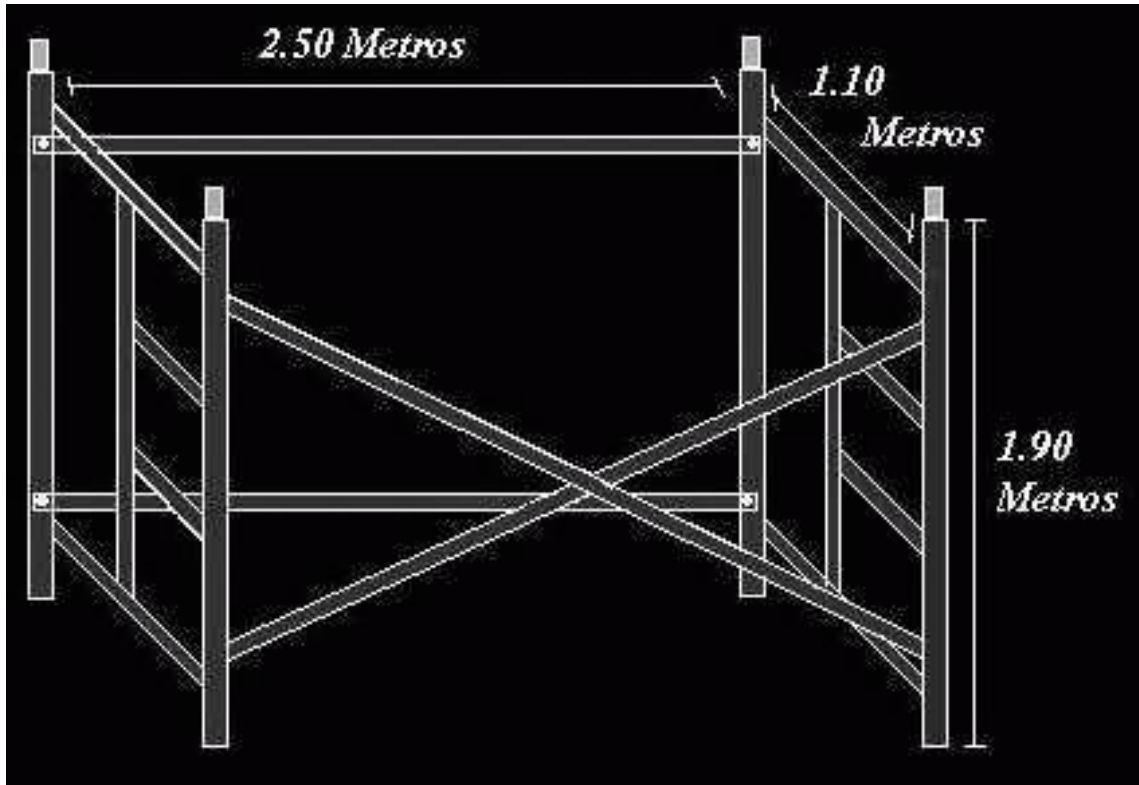
ESCALA 1 / 75

-Plano división tramos de viga.



ESCALA 1 / 75

TIPO DE ANDAMIO A COLOCAR



SIN ESCALA