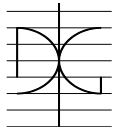



# APLICACIÓN DE LA TÉCNICA NO DESTRUCTIVA DEL GEORRADAR PARA EVALUAR LA ABSORCIÓN DE AGUA EN HORMIGÓN ENDURECIDO

Por:

Alberto Fernández Castilla

Septiembre de 2015

Autor / Author: ALBERTO FERNÁNDEZ CASTILLA		Fecha / Date: Septiembre de 2015	
Título / Title APLICACIÓN DE LA TÉCNICA NO DESTRUCTIVA DEL GEORRADAR PARA EVALUAR LA ABSORCIÓN DE AGUA EN HORMIGÓN ENDURECIDO			
Directores del trabajo / Supervisores: Pedro Serna Ros Isabel Rodríguez Abad		Código / Code: CST	Nº páginas/ pages: 172
Departamento / Departament: INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL			
Universidad / University: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
Palabras clave / Keywords: Hormigón, Absorción de agua, Georradar, Ensayo no destructivo, Durabilidad			
Código Unesco: 3305.05 Tecnología del hormigón 3312.08 Propiedades de los materiales 3312.12 Ensayo de materiales			



## Agradecimientos

A mis directores Pedro Serna Ros e Isabel Rodríguez Abad por la ayuda recibida durante el desarrollo del presente trabajo, junto con mi responsable de la Beca de colaboración Rosa María Martínez Sala, por su dedicación y entrega que fueron muy relevantes para desarrollar este proyecto.

A mis amigos del Master Vicent, Marta, Eduardo, Arismendy, Santiago, Geo, Henry, Gaby, Elvis y Mao, por su motivación, apoyo y sobre todo por la gran experiencia.



## Resumen

Este trabajo ha buscado analizar la capacidad del ensayo no destructivo del Georradar como herramienta de detección del avance del frente de penetración de agua en el hormigón endurecido. En este proceso se ha fabricado una serie de 24 probetas de hormigón en masa, tratadas y analizadas de forma controlada mientras se sumergían en agua y se realizaban mediciones con el Georradar a intervalos periódicos. Tras la inmersión y posterior toma de datos con el Georradar se procedió a pesar las probetas para obtener su contenido de humedad y a romperlas para realizar mediciones reales de profundidad de penetración de agua.

El método para analizar los datos obtenidos en las mediciones del Georradar ha sido mediante el estudio de la variación de la velocidad entre intervalos de pares de máximos de las ondas electromagnéticas, comparando las variaciones de las probetas en seco y las probetas tras la inmersión en agua.

En referencia a los resultados de los análisis con la variación de la velocidad de propagación de onda hay que destacar los muy buenos resultados obtenidos, donde la capacidad para predecir el avance del frente de agua o el contenido de humedad es muy alta.

Estas correlaciones obtenidas entre las variaciones de velocidad de onda son muy prometedoras dentro del campo de estudio del uso de Georradar, para la detección del frente de avance de penetración de agua, ya que se han obtenido valores de  $R^2$  de casi 0'99, en función de los máximos elegidos para el estudio.

Tras la realización de este Trabajo de Fin de Máster se puede concluir que se ha podido identificar claramente el avance del frente de penetración de agua analizando la variación de la velocidad de las ondas electromagnéticas, obtenidas mediante la técnica del Georradar. Hay que destacar la gran ventaja que supone el empleo del Georradar como sistema para realizar ensayos no destructivos, puesto que tanto el dispositivo de registro empleado como el procesamiento de los registros es muy sencillo (desplazamiento de la antena por una de las caras) y a pesar de ello los resultados son muy prometedores.

Los resultados de este estudio con el Georradar tienen un gran potencial y su desarrollo con otros métodos puede proporcionar excelentes resultados.



## Resum

Aquest treball ha buscat l'anàlisi de la capacitat de l'assaig no destructiu del georràdar com a ferramenta de detecció de l'avanç del front de penetració d'aigua en el formigó endurit. En aquest procés s'ha fabricat una sèrie de 24 provetes de formigó en massa, tractades i analitzades de manera controlada mentre es submergien en aigua i es realitzaven mesuraments amb el georràdar a intervals periòdics. Després de la immersió i posterior presa de dades amb el georràdar es va procedir a pesar les provetes per obtenir el seu contingut d'humitat i trencar-les per realitzar mesuraments reals de profunditat de penetració d'aigua.

El mètode emprat per l'anàlisi de les dades obtingudes en els mesuraments del georràdar ha sigut mitjançant l'estudi de la variació de la velocitat entre intervals de pars de màxims de les ones electromagnètiques, comparant les variacions de les provetes en sec i les provetes després de la immersió en aigua.

En referència als resultats de les anàlisis amb la variació de la velocitat de propagació d'ona cal destacar que els resultats obtinguts són molt bons, en els quals la capacitat per a predir l'avanç del front d'aigua o el contingut d'humitat és molt alta.

Aquestes correlacions obtingudes entre les variacions de velocitat d'ona són molt prometedores en el camp d'estudi de l'ús del georràdar per a la detecció de front d'avanç de penetració d'aigua, ja que s'han obtingut valors d'  $R^2$  de quasi 0'99, en funció dels màxims triats per a l'estudi.

Després de la realització d'aquest Treball de Fi de Màster podem concloure que s'ha pogut identificar clarament l'avanç del front de penetració d'aigua analitzant la variació de la velocitat de les ones electromagnètiques, obtingudes mitjançant la tècnica del georràdar. Cal destacar el gran avantatge que suposa emprar el georràdar com a sistema per a realitzar assajos no destructius, ja que tant el dispositiu d'enregistrament emprat com el processament dels registres són molt senzills (desplaçament de l'antena per una de les cares) i, malgrat això, els resultats són molt prometedors.

Els resultats d'aquest estudi amb el georràdar tenen un gran potencial i el seu desenvolupament conjuntament amb altres mètodes pot proporcionar excel·lents resultats





## Summary

This work has sought to analyze the capacity of the non-destructive testing of the GPR as a tool for detection of the penetration of water front advance in the hardened concrete. In this process, a series of 24 test samples of concrete has been made, treated and tested in a controlled method while they were immersed in water and measurements with the GPR were conducted at regular intervals. After immersion and subsequent data capture with the GPR, the specimens were weighted to obtain its moisture content and then broken to make real measurement of the depth of the penetration of water.

The method for analyzing data from GPR measurements was by studying the speed variation between maximum intervals pairs of electromagnetic waves, comparing variations between dry specimens and the specimens after immersion in water.

In reference to the results of the analysis with the variation of the speed of wave propagation the good results obtained should be taken into account, where the ability to predict the progress of the waterfront or the moisture content is very high.

These correlations obtained between wave velocity variations are very promising in the field of study of the use of GPR for the detection of the progress of the penetration of waterfront, since values of  $R^2$  of almost 0.99 have been obtained, depending on the maximum selected for the study.

After the completion of this Master's Thesis, it can be concluded that it has been possible to clearly identify the progress of the waterfront penetration by analyzing the variations of the velocity of electromagnetic waves, obtained by the technique of GPR. It is worth mentioning the great advantage that the use of the GPR as a non-destructive system implies, since both the register acquiring system used and the processing of the registers is very simple, and despite that the results are very promising.

The results of this study with the Geo radar have a great potential and the development with other methods can provide excellent results.



<b>1.- Introducción</b>	<b>3</b>
1.1.- Objetivos	5
1.2.- Análisis del problema	6
1.3.- Contenido del TFM	8
<b>2.- Estado del arte</b>	<b>9</b>
<b>3.- Introducción a la técnica del GPR</b>	<b>17</b>
3.1.- Fundamento de las propiedades de las ondas electromagnéticas	19
3.2.- Características de propagación de ondas electromagnéticas	22
3.3.- Instrumentos y métodos de adquisición de registros	25
3.3.1.- Componentes del equipo de georradar	25
3.3.2.- Métodos de adquisición de registros	27
3.4.- Tratamiento e interpretación de registros	28
3.4.1.- Parámetros de un registro. Información en la cabecera de una traza	28
3.4.2.- Registros de amplitudes	31
3.4.3.- Resolución	32
3.4.4.- Parámetros necesarios para la interpretación de radargramas	33
<b>4.- Programa experimental y Metodología</b>	<b>35</b>
4.1.- Metodología	35
4.1.1.- Material a estudio: Fabricación y preparación de las probetas	36
4.2.- Estudio preliminar de inmersión en agua	45
4.3.- Equipo de georradar empleado	48
4.4.- Procedimiento de adquisición de registros con el georradar	49
<b>5.- Resultados</b>	<b>53</b>
5.1.- Contenido de agua libre y profundidad de avance del frente de agua	53
5.2.- Pre-procesado de los registros de georradar	58
5.3.- Efecto del aumento del contenido de agua en los registros de georradar	61
5.4.- Cálculo de velocidades de propagación y nivel de energía de las ondas	63
5.4.1.- Tiempos y velocidades de propagación	63
5.4.2.- Amplitudes y atenuaciones o nivel de energía de las ondas	64
<b>6.- Interpretación de resultados</b>	<b>66</b>
6.1.- Análisis de la variación de velocidades de propagación	66
6.2.- Análisis de la variación de atenuaciones	73
<b>7.- Conclusiones y futuras líneas de trabajo</b>	<b>80</b>
<b>8.- Referencias</b>	<b>82</b>
<b>9.- Anejos</b>	<b>88</b>
9.1.- Anejo 1: Artículo del congreso 8th IWAGPR 2015, Florencia (Italia)	88

<b>9.2.- Anejo 2: Profundidades reales de penetración de agua</b>	<b>93</b>
<b>9.3.- Anejo 3: Listado de velocidades de propagación en cm/s</b>	<b>117</b>
<b>9.4.- Anejo 4: Listado de atenuaciones</b>	<b>141</b>
<b>9.5.- Anejo 5: Algoritmos de cálculo</b>	<b>165</b>
9.5.1.- Algoritmo de cálculo de los tiempos de propagación	165
9.5.2.- Algoritmo de cálculo de velocidades de propagación	166
9.5.3.- Algoritmo de cálculo de amplitudes	167
9.5.4.- Algoritmo de cálculo de niveles de energía	169
<b>9.6.- Anexo 6: Figuras</b>	<b>170</b>
<b>9.7.- Anexo 7: Tablas</b>	<b>172</b>

## 1.- Introducción

Parte del trabajo presentado en este Trabajo Final de Master se presentó en el congreso “8th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar – IWAGPR 2015”, que se celebró en Florencia (Italia) del 7 al 10 de Julio de 2015, tras ser aceptado bajo una revisión ciega por pares. La ponencia de título “Study of the waterfront advance in hardened concrete by means of energy level increment analysis” tiene por autores a Rosa Martínez Sala, Isabel Rodríguez Abad, Juan Mené Aparicio y Alberto Fernández Castilla. La publicación que se deriva de la participación en el congreso se adjunta en el “9.1.- Anejo 1: Artículo del congreso”. La publicación de dicho artículo se realiza por la editorial americana IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), no estando todavía disponible su ISBN en la fecha de publicación del presente TFM.

Este TFM se ha desarrollado dentro de un grupo de trabajo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación especializado en la aplicación de técnicas no destructivas en el estudio de materiales de construcción; y como continuación del trabajo realizado como becario del Proyecto “2013/12/00009 Evaluación de parámetros relacionados con la durabilidad del hormigón por medio de técnicas no destructivas (Georradar)”, de la Universitat Politècnica de València.

El hormigón es un material utilizado desde la antigüedad en la construcción y prácticamente utilizado en todas las construcciones de hoy en día. Es un material poroso, a través de cuya red de poros penetran hacia el interior los gases y el agua cargada de sustancias agresivas disueltas. En consecuencia, la durabilidad de las estructuras de hormigón armado va a depender fundamentalmente de la estructura porosa y fisuración del material, así como del contenido de humedad del hormigón. Uno de los principales fenómenos que afectan a la durabilidad del hormigón armado es la corrosión. La principal causa de su aparición es el contacto de las armaduras del refuerzo con el agua y los cloruros. En hormigones de baja calidad o expuestos a ambientes agresivos, con el tiempo, a través de la capa de hormigón que protege el acero, van penetrando los cloruros que pueden dar lugar a que se produzca la corrosión y posteriormente la degradación o pérdida de la integridad estructural. Con el objetivo de estimar la resistencia del hormigón a dicho deterioro se han desarrollado diversos indicadores de durabilidad. No obstante, la mayoría de ellos implican una gran inversión de tiempo y lo que es más importante, la necesidad de toma de muestras para realizar ensayos destructivos.

La técnica del ensayo no destructivo del georradar está basada en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas y está ampliamente utilizada en aplicaciones geofísicas (Parasnis, 1986). Actualmente, esta técnica se está introduciendo en el mundo de la ingeniería civil y la construcción para el estudio no destructivo de estructuras de hormigón (Malhotra & Carino, 2004) y estructuras de madera (Rodríguez Abad, 2010). Las técnicas basadas en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, son técnicas no destructivas muy sensibles a las propiedades del hormigón y por tanto, los parámetros obtenidos con ellas pueden ser empleados como indicadores indirectos de la durabilidad del hormigón. En concreto, esta técnica es sensible a la presencia de agua y cloruros, y por tanto se podrían emplear para estimar el estado en el que se encuentra la cobertura de hormigón del refuerzo de acero.

A pesar de que existen algunos estudios que hacen referencia a la aplicación de las técnicas electromagnéticas al estudio del hormigón, son escasos los de carácter experimental que, con el objetivo de analizar los indicadores de durabilidad del hormigón, detallen las condiciones del comportamiento de este material bajo un campo electromagnético a diferentes frecuencias de radiación con equipos de georradar comerciales. De hecho, existen algunas lagunas sobre la naturaleza exacta de las relaciones entre las variaciones de los parámetros de las ondas electromagnéticas y los indicadores de durabilidad del hormigón.

Es por ello que el presente trabajo se orienta al estudio de la capacidad de la técnica no destructiva del georradar para detectar el avance de un frente de agua conforme va penetrando hacia el interior de la masa de hormigón endurecido.

Para el desarrollo de este estudio fue necesaria la fabricación de una serie de probetas de hormigón, controlándolas en todo su proceso, las cuales fueron introducidas en agua durante un tiempo determinado, incrementándose en cada una, para analizarlas posteriormente mediante georradar para tratar de relacionar la variación que se produce en las ondas electromagnéticas conforme se incrementa la penetración de agua.

## 1.1.- Objetivos

El objetivo de este estudio es analizar y mejorar la capacidad de la técnica del georradar en la estimación de la penetrabilidad del agua y la localización del frente de avance de la misma (profundidad de penetración) en la cobertura de hormigón que protege las armaduras del hormigón armado.

El objetivo fundamental del proyecto se concreta en los siguientes objetivos particulares:

1. Profundizar en el conocimiento de la técnica del georradar por medio del diseño de un programa experimental completo.
2. Implementar y automatizar, tanto el registro como el procesado de los datos registrados con georradar, por medio de algoritmos específicos de trabajo.
3. Analizar los parámetros de las ondas electromagnéticas que proporcionarán información más realista sobre el avance y localización del frente de agua, como son las velocidades de propagación y las amplitudes de onda.
4. Calcular los parámetros dieléctricos característicos (velocidad de propagación y niveles de energía) y analizar cuáles de ellos son los más adecuados para el caso de estudio.
5. Estudiar cuales son las mejores correlaciones que definen el comportamiento de los parámetros dieléctricos característicos y el frente de avance del agua.

## 1.2.- Análisis del problema

La durabilidad de las estructuras de hormigón es un parámetro que define la habilidad de las estructuras para mantenerse en servicio sin presentar un deterioro significativo (Schiessel, 1988). En los últimos años los estudios de durabilidad del hormigón han sufrido un auge significativo (Mehta, 1997) (Neville, 2001), ya que una gran cantidad de estructuras de hormigón construidas a lo largo del siglo XX están presentando signos de deterioro prematuros.

De forma tradicional, la durabilidad del hormigón se ha estudiado relacionándolo con la resistencia a compresión (relaciones A/C, contenidos mínimos de cemento, etc.), y con las buenas prácticas que generan fraguados y acabados correctos. Sin embargo, se ha demostrado que una alta resistencia a compresión no da lugar siempre a un hormigón durable, ya que su durabilidad también está en función de las propiedades de transporte de agentes agresivos en el interior del hormigón. Debido a todo ello, actualmente, se tiende a evaluar la durabilidad del hormigón mediante la utilización de modelos cuantitativos predictivos (General Guidelines for Durability Design and Redesign, 2000), que relacionan la degradación como consecuencia de la exposición ambiental y las características del material. Esto implica el desarrollo de modelos probabilísticos de degradación fiables (FIB Model Code for Service Life Design, 2006), que empleen indicadores de durabilidad adecuados como input del sistema y que permitan estimar la vida en servicio del material o estructura.

Otro aspecto fundamental en el estudio de la durabilidad del hormigón es la puesta en práctica de métodos o técnicas que permitan conocer el estado de la estructura o material mientras se encuentra en servicio, con el fin de evaluar en tiempo real la necesidad de intervenciones de mantenimiento. Las intervenciones llevadas a cabo en el inicio del deterioro de las estructuras incrementan significativamente el tiempo de vida de las mismas, reduciendo los costes a largo plazo.

Los principales mecanismos de deterioro asociados con problemas de durabilidad en estructuras de hormigón son la corrosión de las armaduras, la reacción álcali de los áridos, los ataques sulfáticos y la acción de hielo-deshielo. De todos ellos, la corrosión de las armaduras es el que da lugar a mayores daños y pérdidas de integridad estructural (General Guidelines for Durability Design and Redesign, 2000). Dada la importancia de la corrosión como parámetro que afecta de forma determinante en la durabilidad del hormigón, existen numerosos estudios sobre los mecanismos de transporte que facilitan la corrosión. Esto ha dado lugar al desarrollo de los llamados indicadores de durabilidad con el objetivo de predecir y monitorizar el inicio de la corrosión (Alexander, et al., 1999) (Schiessel, 2005).



En concreto, el inicio y propagación de la corrosión están directamente relacionados con la facilidad con la que los fluidos y los iones se mueven por la matriz de hormigón. Es por esto que analizar la penetrabilidad de fluidos en el hormigón es de máxima importancia cuando se realizan estudios sobre la durabilidad (Otieno, et al., 2010).

Una alternativa a los costosos y destructivos ensayos que actualmente existen para determinar la penetrabilidad de los agentes agresivos son las técnicas no destructivas, y en especial las electromagnéticas, debido a que las propiedades dieléctricas varían dependiendo del contenido de agua, del contenido de cloruros y de la porosidad. Las respuestas electromagnéticas son normalmente rápidas y sencillas de obtener y lo más importante es que se pueden emplear tanto en laboratorio como in situ. Siendo esta última característica de especial interés a la hora de conocer el estado de las estructuras que actualmente se encuentran en servicio.

### 1.3.- Contenido del TFM

Para finalizar esta introducción se presenta una breve síntesis de los temas que se tratan en cada uno de los capítulos en los que se ha dividido este Trabajo Fin de Master.

En el **capítulo 1** se ha introducido el problema a estudio, definiéndose los objetivos del mismo. En el **capítulo 2** se detalla el Estado del Arte sobre el estado actual de las investigaciones de la aplicación de la técnica no destructiva del georradar al análisis y diagnóstico del estado del hormigón. En el **capítulo 3** se describe la técnica no destructiva del georradar, explicando los fundamentos físicos de su funcionamiento. En el **capítulo 4** se describe el programa experimental: el material a estudio, la normativa existente y el tipo de ensayo requerido por ésta, la fabricación de las probetas y las pruebas de adquisición de datos con el georradar. En el **capítulo 5** se tratan los resultados obtenidos tras las pruebas con el georradar, siendo estos resultados interpretados en el **capítulo 6**. En el **capítulo 7** se detallan las principales conclusiones obtenidas y las nuevas líneas de trabajo donde se podría seguir a partir de éste estudio. En el **capítulo 8** se detallan alfabéticamente las referencias bibliográficas, finalizando el TFM con el **capítulo 9**, donde se encuentran los anejos.

## 2.- Estado del arte

La técnica del georradar como técnica de inspección se lleva aplicando con éxito durante décadas en numerosos elementos del campo de la Ingeniería Civil o de la Arqueología. Pero es desde hace relativamente poco tiempo que se viene usando en el campo de la Edificación.

El método del georradar presenta una potencialidad muy elevada por distintos motivos. El primero y más importante de ellos es que se trata de una técnica absolutamente no destructiva, siendo, además, un sistema que es perfectamente aplicable “in situ”. Una vez procesados los registros mediante software podemos conocer con exactitud milimétrica la posición de las zonas con defectos, con humedad, etc.

Otra de las grandes ventajas de la utilización de esta técnica es que arroja una serie de datos que nos permite crear una “imagen tridimensional” de la estructura interna de las piezas analizadas y, por tanto, conocer el grado de funcionalidad de las mismas o de parte de ellas, sin la necesidad de abrir catas adyacentes, etc. Lo que la convierte en una técnica “ideal” para el estudio, análisis y evaluación de cualquier construcción arquitectónica.

El carácter no destructivo de esta técnica hace que se esté aplicando con éxito en numerosas actuaciones en Patrimonio Histórico, detectando humedades en el subsuelo, profundidades y espesores de zapatas de cimentación, cavidades, criptas o grutas, enterramientos, etc. (Gracia, et al., 2000), (Pérez, 2001), (Ranalli, et al., 2004), (García, et al., 2004), (García, et al., 2007), (Ramírez, et al., 2008), (Pérez, et al., 2008), (Capuz Lafarga, et al., 2011).

Asimismo, en los últimos años se ha estado aplicando en 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 (Luadi, et al., 2003), (Maierhofer, 2003), (Porsani, et al., 2006), (Benedetto & Pensa, 2007). Existen también numerosos estudios realizados con georradar cuyo objetivo es analizar la variación del contenido de humedad de diferentes medios como suelos (Laurens, et al., 2005), de materiales como el hormigón (Huisman, et al., 2003), (Zagoskin, et al., 2006) y de muros de obra de fábrica ( (Maierhofer, et al., 1998)). Un ejemplo interesante que analiza la capacidad de esta técnica (Maierhofer & Leipold, 2001) fue el trabajo desarrollado en el que estiman la cantidad de humedad de un muro de albañilería por medio de las ondas electromagnéticas. Incluso algunos autores (Sbartai, et al., 2006a), (Sbartai, et al., 2006b), (Klysz, et al., 2007), (Viriyanont, et al., 2008) han desarrollado protocolos para el estudio de la variación del contenido de humedad en muestras de hormigón a lo largo de su proceso de curado.

Son también interesantes e innovadores los resultados obtenidos sobre la potencialidad de la aplicación del georradar a diversos aspectos de la inspección, clasificación y caracterización de la madera estructural. Estos resultados se muestran en los artículos presentados en diferentes congresos nacionales e internacionales con resultados muy prometedores (Rodríguez Abad, et al., 2009a), (Rodríguez Abad, et al., 2009b), (Capuz-Ladró, et al., 2007), (Rodríguez Abad, et al., 2007a), (Rodríguez Abad, et al., 2007b), .

Además es interesante destacar el trabajo realizado durante los últimos años con respecto al análisis de los parámetros de onda para caracterizar propiedades de la madera estructural como el contenido de humedad o la anisotropía que se han presentado en diversos congresos internacionales (Rodríguez Abad, et al., 2011a), (Martínez-Sala, et al., 2012a); y en revistas indexadas en el JCR (Rodríguez Abad, et al., 2010), (Rodríguez Abad, et al., 2011b), (Martínez Sala, et al., 2012b).

Destacan también experimentos recientes que caracterizan el sistema de poros de aire/agua del hormigón curado utilizando el georradar (Lai & Tsang, 2008); y estudios sobre algunos indicadores relacionados con la durabilidad, en particular el agua del hormigón y el contenido de cloruro (Villain, et al., 2010).

Teniendo en cuenta la gran sensibilidad de los parámetros electromagnéticos con respecto al contenido de humedad del hormigón, como muestran los trabajos de Villain, el georradar puede ser una técnica muy adecuada para la identificación de las variaciones del contenido de humedad en las probetas de hormigón (Soutsos, et al., 2001), (Dérobert, et al., 2008), (Lai & Tsang, 2009). Se han presentado trabajos muy recientes sobre esta aplicación del georradar en diversos congresos internacionales (Martínez Sala, et al., 2013a), (Martínez Sala, et al., 2013b), (Tapia, et al., 2013), (Rodríguez Abad, et al., 2014), (Fuente, et al., 2014).

De entre todos los trabajos recientes que analizan el potencial que tiene la técnica del georradar en el estudio del hormigón y en particular en el análisis de su durabilidad, destacan los trabajos que a continuación se detallan y que han servido de base para el presente TFM. :

- Conocer las propiedades dieléctricas del hormigón es fundamental a la hora de interpretar los registros adquiridos por el georradar. La necesidad de información fiable para identificar posibles variaciones de las propiedades dieléctricas de diferentes mezclas de hormigón y sus condiciones in situ llevó a crear un programa experimental sistemático en el laboratorio, bajo la protección de la Comisión Europea. Algunos resultados clave de

este trabajo fueron presentados (Soutsos, et al., 2001) con implicaciones prácticas relacionadas con sondeos de campo de hormigón estructural.

En este estudio se llegó a importantes conclusiones, como por ejemplo que la permitividad relativa y la conductividad se reducen con la disminución del contenido de humedad libre. Sus resultados proveen una amplia base de datos de la permitividad relativa y la conductividad eléctrica de las mezclas de hormigón, encontradas con alta probabilidad en la práctica. Los resultados de una única frecuencia han permitido realizar con éxito comparaciones de los efectos de los constituyentes de la mezcla y de las condiciones de humedad sobre muestras de hormigón.

- En un artículo (Bungey, 2004) se hacía una revisión de equipamientos, procedimientos, aplicaciones, análisis, interpretación y presentación de resultados en la aplicación del georradar en el hormigón.
- Se estudió la influencia de la humedad del hormigón al emplear el georradar, para así mejorar la eficiencia de la técnica y ofrecer aplicaciones innovadoras como herramientas de evaluación no destructiva para estructuras de ingeniería civil (Laurens, et al., 2002). La presencia de agua en el hormigón lleva a modificaciones de sus propiedades electromagnéticas y, por tanto, a efectos específicos sobre las características de las ondas electromagnéticas. En particular, el trabajo se enfocó en las variaciones de amplitud durante los procesos que consumen agua libre (hidratación, secado). Los registros de georradar se tomaron en muestras de laboratorio usando una antena de 1'5 GHz de frecuencia central. Se observó un aumento en la amplitud de las señales propagándose a través de las muestras durante la hidratación y el secado. Los radargramas registrados durante los ensayos mostraron que la humedad del hormigón influía mucho en la onda directa que se propagaba por la superficie de las muestras. Además, las medidas higrométricas del hormigón que se llevaban a cabo al mismo tiempo proporcionaban información cuantitativa del efecto de la reducción de humedad en las señales del georradar.

Se estudiaron la onda directa, radiada directamente de la antena emisora a la antena receptora; y la onda reflejada. Pese a una diferencia de magnitud, ambas señales presentaron un comportamiento similar cuando la humedad relativa decreció. Se obtuvo información cuantitativa sobre la relación entre la variación de la amplitud de la señal de georradar y la evolución de la humedad relativa en el hormigón. Esta cuantificación

mostró la sensibilidad de las dos ondas estudiadas incluso para bajas variaciones de la humedad interna del hormigón. Fue especialmente interesante observar que el análisis de la amplitud de la onda directa podía ser útil para caracterizar las condiciones de humedad de la superficie cercana del hormigón.

- Se siguió la línea de trabajo anteriormente descrita, estudiando el efecto de la humedad del hormigón sobre la propagación de las ondas del georradar (Laurens, et al., 2005). Se prestó especial atención a la amplitud, velocidad y espectro de frecuencia de las señales registradas. Se comprobó que el comportamiento de la onda directa se veía muy afectado por el grado de saturación de las muestras de hormigón, demostrando que era muy útil para caracterizar la cobertura del hormigón, con la ventaja de que no depende de la presencia de un reflector.
- Se evaluó el potencial de la onda directa registrada por el georradar, para la caracterización in situ del hormigón (Sbartai, et al., 2006). Se estudió cómo la atenuación era el parámetro electromagnético más sensible a la humedad y los contenidos de cloruro mediante ensayos sobre bloques de hormigón con diferentes porosidades, contenidos de agua y de niveles de contaminación de cloruros. Se llegó a correlaciones muy satisfactorias entre las atenuaciones de las ondas directa y reflejada, lo que indicó que ambas ondas proporcionan información similar respecto al estado físico del hormigón. Esta correlación fue confirmada mediante comparación de mapas de atenuación de onda directa con mapas de atenuación de reflexión. Por lo tanto, mediante el análisis de la onda directa, se debía poder detectar, de un modo rápido, contrastes físicos en estructuras de hormigón y, consecuentemente, identificar probables áreas patológicas.
- El contenido de humedad del hormigón es un parámetro crítico para la mayoría de patologías fisicoquímicas, tales como la corrosión del refuerzo de acero, reacción alcalino-agregados, y ciclos de congelación y descongelado. Por tanto, la detección de humedad es importante para el diagnóstico de estructuras de hormigón en estados tempranos de deterioro. Se llevó a cabo un estudio para evaluar el efecto del grado de saturación, la relación agua-cemento ( $a/c$ ), y el contenido volumétrico de agua en la variación de la amplitud de las ondas directa y reflejada del georradar (Sbartai, et al., 2006b). Se evaluaron cuatro hormigones con  $a/c$  de 0'5, 0'6, 0'7 y 0'78. Las mediciones con georradar se llevaron a cabo en 72 muestras saturadas en diferente grado. Los resultados del ensayo

muestran que un aumento del grado de saturación lleva a una disminución importante en la amplitud de las ondas directa y reflejada. Se encontró una buena correlación entre la amplitud de las ondas directa y reflejada por cada grado de saturación. Esto sugiere que las amplitudes de onda directa y reflejada proporcionan información similar en cuanto a la humedad del hormigón. Independientemente de la relación  $a/c$  y la profundidad de reflexión, se pudo establecer una relación empírica entre la amplitud de la señal de la onda directa y el contenido volumétrico de agua, lo cual da información para estimar la humedad del hormigón.

- Se estudió la influencia de algunas propiedades físicas del hormigón en las características de la onda directa del georradar (Laurens, et al., 2007). Los resultados experimentales obtenidos en muestras de hormigón en laboratorio destacaron relaciones entre las características de la onda directa y el grado de saturación porosa y/o la resistividad del hormigón. Estas relaciones claramente demuestran la amplitud de la onda directa para la caracterización del hormigón.
- El georradar se utiliza extensamente para detectar y localizar refuerzos de acero en hormigón. Sin embargo, hay muchos factores que se deben considerar si hay que hacer medidas de profundidad precisas. El conocimiento del tiempo cero de referencia y la velocidad de propagación de las ondas de georradar es esencial. Se presentaron resultados experimentales sobre el efecto de las propiedades físicas del hormigón en el tiempo cero y la velocidad de propagación de las ondas directa y reflejada (Viriyametant, et al., 2008). Los experimentos de laboratorio se llevaron a cabo sobre bloques de hormigón reforzado e implicaron varias porosidades, contenidos de agua y profundidades de barras de acero reforzado. Los resultados de esta investigación pusieron de manifiesto claramente que la onda directa, que se emite lateralmente, se propaga a la misma velocidad que las ondas reflejadas. La implicación de tal resultado es que la posición en el tiempo de la onda directa no es constante y se ve afectada por la porosidad del hormigón y el contenido en agua. Por tanto, en casos donde la onda directa se usa como la referencia de tiempo, este estudio proponía mejorar las medidas de retraso aplicando una corrección de retraso correspondiente al viaje en el tiempo de la onda directa y teniendo en cuenta la compensación emisor-receptor y la velocidad de propagación de las ondas de georradar en el hormigón.

- Un gran número de patologías de hormigón armado o pretensado requieren la presencia de agua para llevarse a cabo. En este contexto, la cuantificación del contenido de agua es una fase importante para el diagnóstico del hormigón. La propagación de ondas electromagnéticas se controla mediante sus propiedades electromagnéticas, principalmente influidas por la presencia de agua en el caso de hormigón. Se propuso utilizar la onda directa del georradar para determinar la humedad de la capa superficial del hormigón (Klysz, et al., 2007). Se utilizó la técnica de medida de refracción reflexión del ángulo amplio (WARF) para obtener la velocidad de la onda directa. Se mostró que la velocidad no depende de la frecuencia entre 200 MHz y 1'2 GHz en las condiciones del ensayo. Utilizando dos hormigones diferentes parcialmente saturados, se mostró que hay una relación lineal, independiente del hormigón, entre el contenido en volumen de agua y la velocidad de propagación de la onda directa por una parte y su atenuación por otra.
- Se evaluó el contenido de humedad en la capa superficial del hormigón mediante dos técnicas no destructivas, el georradar y una aproximación más original basada en la medida capacitiva (Dérobert, et al., 2008). Siguiendo un modelo numérico por etapas para la técnica capacitiva, los dos métodos fueron exitosamente comparados durante una campaña experimental llevada a cabo sobre varias muestras de ensayo.
- Con el fin de usar técnicas no destructivas para el ensayo de estructuras de hormigón armado, es importante mostrar su habilidad de medir las características de la capa superficial de hormigón relacionadas con la durabilidad, en particular los contenidos de agua y de cloruros en el hormigón. Con este propósito, se llevaron a cabo ensayos (Villain, et al., 2010) con dos métodos electromagnéticos (georradar y sondas capacitivas) y un método de impacto de eco en bloques de hormigón de diferentes mezclas. La porosidad del hormigón estuvo entre 12'5 y 18'0%. Las medidas se llevaron a cabo con 5 diferentes contenidos de agua. También se ensayó una estructura real in situ. Los resultados de las técnicas no destructivas se compararon con indicadores del hormigón tales como la porosidad y el contenido de agua, así como contenido de cloruros. Las comparaciones mostraron la complementariedad de los métodos para desarrollar un diagnóstico pertinente de las estructuras de hormigón.



Teniendo en cuenta estos precedentes, se lleva a cabo el siguiente estudio sobre la capacidad de la técnica de georradar para determinar, de forma no destructiva, la penetración de agua en el hormigón endurecido.



### 3.- Introducción a la técnica del GPR

Comúnmente llamado georradar, el radar de penetración terrestre (Ground Penetrating Radar) 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 y que se reflejan en éste.

A partir de la detección de objetos en el aire se fue aplicando a otros medios más complejos en los que la onda se atenúa más rápidamente (hielo) 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, de amplificación de las señales electromagnéticas y del procesado de datos por ordenador ha mejorado visiblemente la capacidad de las técnicas iniciales de radar.

Posteriormente, el desarrollo de sistemas de georradar cada vez más complejos y precisos ha permitido que este tipo de estudios no sólo se puedan aplicar al subsuelo terrestre sino que también puedan ser utilizados sobre estructuras como firmes de carretera, muros o puentes. Estas aplicaciones presentan un campo de estudio interesante ya que no existen otros métodos de prospección geofísica que tengan una resolución adecuada para realizarlos con éxito.

La técnica de georradar 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. En la actualidad se aplica en áreas muy diversas: ingeniería civil, geología, recursos naturales, hidrología, estudios del medio ambiente, arqueología, patrimonio histórico y artístico.

Uno de los caminos 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, la búsqueda o cartografiado de tuberías, la determinación de espesores y estados de firmes y muros, la realización de análisis de estados del subsuelo debajo de losas de hormigón, etc. También se utiliza en estudios geotécnicos y de control de calidad como por ejemplo en los tratamientos realizados en el terreno, en el estudio 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.

Ha sido también de aplicación en estudios ambientales, utilizándose 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, etc. Como ejemplos se pueden consultar (García, et al., 2007) (Ramírez, et al., 2008) (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 la inspección, diagnóstico y estudio de las manifestaciones patológicas de los mismos, como publican algunos autores (Maierhofer, et al., 1998).

### 3.1.- Fundamento de las propiedades de las ondas electromagnéticas

James Clerk Maxwell con sus ecuaciones sobre electromagnetismo enuncia las bases teóricas de todos los fenómenos electromagnéticos. Las consecuencias de las ecuaciones de Maxwell son enormes y muy impresionantes para la historia de la física. El formalismo de Maxwell predice la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio a la velocidad de la luz. Esta predicción fue confirmada experimentalmente por Heinrich Hertz, quien generó y detectó ondas electromagnéticas. Este descubrimiento ha llevado a muchos sistemas prácticos que actualmente nos parecen cotidianos, como la radio, la televisión y el radar.

En un nivel conceptual, Maxwell unificó los temas de la luz y el electromagnetismo desarrollando la idea de que la luz es una forma de radiación electromagnética. Las ondas electromagnéticas son generadas por cargas eléctricas oscilantes. Las ondas radiadas están compuestas por campos eléctrico y magnético, los cuales forman ángulos rectos entre sí y también ángulos rectos con la dirección de la propagación de la onda (Figura 1).

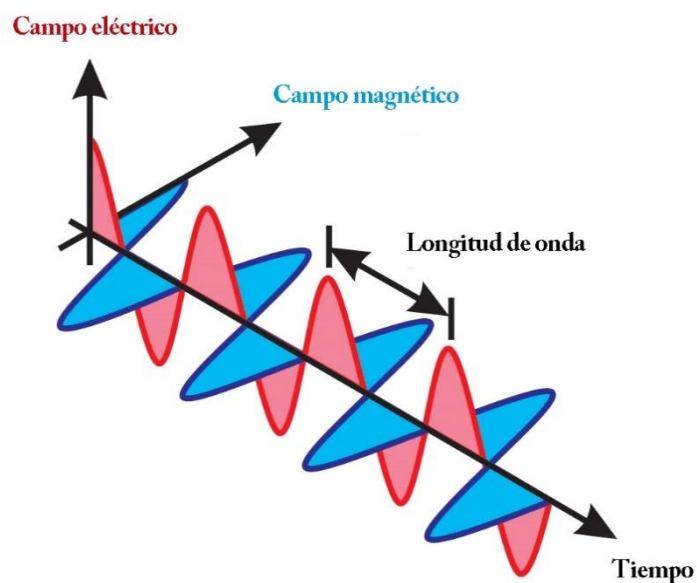


Figura 1. Esquema de propagación de una onda electromagnética

La componentes del campo eléctrico  $E$  se miden en N/C (Newton/Coulomb) y las del campo magnético  $B$  en Weber/m<sup>2</sup> (wb/m<sup>2</sup>) o teslas (T).

La teoría de Maxwell demostró que las amplitudes de campo eléctrico y magnético en una onda electromagnética se relacionan por medio de  $E=cB$ , donde  $E$  es la componente del campo eléctrico,  $B$  la componente del campo magnético y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío. Ahora bien,

la velocidad de una onda electromagnética dependerá de las propiedades dieléctricas del medio. De esta forma la velocidad de las ondas en el vacío  $c$  dependerán de:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío ( $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$  Wb/Am, donde A son amperios) y  $\epsilon_0$  la permeabilidad dieléctrica del vacío ( $\epsilon_0 = 8,85418 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/N m<sup>2</sup>). Al sustituir estos valores encontramos que  $c = 2,99792 \times 10^8$  m/s. Puesto que esta velocidad es precisamente la velocidad de la luz en el espacio vacío se comprueba como la luz es una onda electromagnética.

A largas distancias de la fuente de las ondas, las amplitudes del campo eléctrico y magnético disminuyen con la distancia ( $r$ ), en proporción a  $1/r$ . Las ondas radiadas pueden detectarse a grandes distancias desde las cargas oscilantes. Además, las ondas electromagnéticas conducen energía y momento y, en consecuencia, ejercen presión sobre una superficie.

Las ondas electromagnéticas cubren un amplio intervalo de frecuencias. Por ejemplo, las ondas de radio (frecuencias de aproximadamente  $10^7$  Hz) son ondas electromagnéticas producidas por corrientes oscilantes en una antena de transmisión de una torre de radio. Las ondas luminosas son una forma de radiación electromagnética de alta frecuencia (alrededor de  $10^{14}$  Hz) producidas por electrones dentro de sistemas atómicos.

Puesto que todas las ondas electromagnéticas viajan a través del vacío con una velocidad  $c$ , su frecuencia ( $f$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ), están relacionadas por la expresión:

$$c = f \cdot \lambda \quad \text{Ecuación 2}$$

Con esta ecuación podemos deducir que una onda de radio de 5MHz de frecuencia tiene una longitud de onda de:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^6} = 60 \text{ m} \quad \text{Ecuación 3}$$

Las ondas electromagnéticas se ordenan según su longitud de onda o frecuencia, constituyendo el denominado espectro electromagnético (Tabla 1). No hay un punto de división claro entre un tipo de onda y el siguiente. En la tabla se asemeja el tamaño de las ondas con objetos de tamaño conocido.

*Tabla 1. Espectro electromagnético*

Tipo de radiación	Radio	Microondas	Infrarrojo	Visible	Ultravioleta	Rayos X	Rayos gamma
Longitud de onda (m)	$10^3$	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-10}$	$10^{-12}$
Escala aproximada de la onda	Edificios	Humanos	Punta de aguja	Protozoos	Moléculas	Átomos	Núcleo atómico
Frecuencia (Hz)	$10^4$	$10^8$	$10^{12}$	$10^{15}$	$10^{16}$	$10^{18}$	$10^{20}$

### 3.2.- Características de propagación de ondas electromagnéticas

Los parámetros que influyen en la velocidad 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 último 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.

La energía que finalmente capta la antena receptora en superficie es menor que la energía emitida en un principio, a consecuencia de: la dispersión geométrica del frente de ondas, la absorción de la energía, la dispersión de la energía en elementos del orden de la longitud de onda y de las pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada una de las interfaces electromagnéticas que atraviese la onda.

#### *Dispersión geométrica del frente de ondas*

La emisión de las ondas de georradar se produce en forma de un haz de energía aproximadamente cónico, con sección elíptica. La mayor parte de la energía radiada queda comprendida dentro de la zona definida por el ángulo de radiación, que en muchas de las antenas utilizadas actualmente es de 45°. Esto quiere decir que la antena radia la mayor parte de la energía en un haz cónico cuyo ángulo mayor (en la dirección de desplazamiento de la antena) es de unos 90°. En este caso o en el caso de poder considerar el dipolo emisor como puntual, si se considera además que el medio por el que se propaga la energía es homogéneo y no absorbente, la reducción de energía es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida.

#### *Conductividad de un medio ( $\sigma$ )*

Proporciona una medida de la respuesta de sus cargas en presencia de un campo eléctrico externo, es decir, de la capacidad de un material de conducir corriente eléctrica.



### Permitividad dieléctrica absoluta ( $\epsilon_{abs}$ )

Es una constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado ( $E$ ) y el vector desplazamiento eléctrico ( $D$ ). Asimismo, la permitividad absoluta ( $\epsilon_{abs}$ ), cuyas unidades son  $F/m$  (donde  $F$  son faradios), se define como el producto entre una permitividad relativa del material ( $\epsilon_r$ ), que es una constante adimensional y la permitividad dieléctrica del vacío ( $\epsilon_0 = 8'854 \cdot 10^{-12} F/m$ ).

$$\epsilon_{abs} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad \text{Ecuación 4}$$

La permitividad dieléctrica relativa del material ( $\epsilon_r$ ) es una constante que da una medida de la capacidad de polarización de un material en presencia de un campo eléctrico, que normalmente se define como constante dieléctrica ( $\epsilon$ ). Para la mayoría de los materiales que se pueden encontrar al realizar una prospección electromagnética, los valores de  $\epsilon$  se encuentran entre 1 (la del aire) y 81 (la del agua a 20°C).

### Permeabilidad magnética ( $\mu$ )

Relaciona la inducción magnética con la intensidad del campo magnético.

### Velocidad de propagación de la onda ( $v$ )

La velocidad de propagación de una onda electromagnética dependerá de los parámetros de conductividad del medio, permitividad dieléctrica absoluta y permeabilidad magnética. Ahora bien, cuando los medios son dieléctricos o poco conductores, como es en la mayoría de materiales que se estudian, el término asociado con la conductividad ( $\sigma$ ) es tan pequeño que se tiende a cero. Si además el medio es no magnético, como es en la mayoría de los casos, la permeabilidad magnética ( $\mu$ ) tiende a la unidad. De esta forma, la ecuación se simplifica significativamente, quedando la expresión que comúnmente se puede emplear para la obtención de la velocidad de propagación como:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad \text{Ecuación 5}$$

El tiempo transcurrido desde que se emite la onda hasta recibirla tras reflejarse en una interfase es conocido, ya que se puede ver en las señales obtenidas mediante el equipo de georradar. Por tanto, puede calcularse la profundidad a la que se encuentra una interfase ( $h$ ) a través de la expresión:

$$h = v \frac{\Delta t}{2} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$h = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \Delta t \quad \text{Ecuación 7}$$

donde  $\Delta t$  es el tiempo que tarda la señal en recorrer el espesor del medio, reflejarse en la interfase y ser recibido por el receptor.

### 3.3.- Instrumentos y métodos de adquisición de registros

Un equipo de georradar básico consta de una unidad de control central, una o varias antenas conectadas a ella y un sistema de grabación o impresión de datos. La unidad de control funciona gracias a un programa informático implementado que controla la emisión, la recepción y el registro de la energía.

#### 3.3.1.- Componentes del equipo de georradar

##### *Unidad central*

La unidad central o unidad de control de un georradar 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 y, en algunos casos, permite realizar el tratamiento básico de las señales durante la adquisición de datos.

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 modificaciones de la ganancia del registro, entre otros procesados. La unidad de control suele ir conectada a un monitor para visualizar la señal que se está adquiriendo. 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.

##### *Antenas*

Las antenas son la parte fundamental del equipo ya que son los elementos encargados tanto de emitir el pulso electromagnético al medio, como de recibir la energía que regresa a la superficie tras haber sufrido una reflexión. Éstas pueden ser de campo radiado, las cuales emiten la energía en todas las direcciones del espacio y sin direcciones privilegiadas, o antenas direccionales, que tienen una dirección privilegiada de radiación.

Otra forma de clasificar 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 ( $v$ ).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Ecuación 8}$$

Cada tipo de antena se escoge de acuerdo a las necesidades de su uso. Existen antenas con una frecuencia central de 3 kHz capaces de penetrar a grandes profundidades, hasta antenas de más de 300 GHz, con una longitud de onda de 1mm, capaces de detectar objetos de muy reducido tamaño. 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 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.

#### *Accesorios y equipos complementarios*

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

Asimismo, para efectuar el estudio se pueden utilizar equipos complementarios que simplifican el trabajo y que permiten mayor precisión en la interpretación final de los datos. Estos equipos no se conectan a la unidad central, pero son útiles tanto durante los trabajos de campo como durante el procesado posterior de los registros.

### 3.3.2.- Métodos de adquisición de registros

Las adquisiciones de datos sobre superficie pueden ser mediante perfiles o puntuales. Cada método se ha de seleccionar en función del problema que se debe estudiar y los resultados que se desean.

Para efectuar un perfil se desplaza la antena a lo largo de una línea, emitiendo un elevado número de pulsos por segundo (se puede emitir entre 1 y 1000 pulsos por segundo). Esto permite que la adquisición de datos, aunque sea en realidad puntual, se pueda considerar continua por la cantidad de trazas que se tienen en todo el perfil, dependiendo siempre de la velocidad de desplazamiento de la antena. Este desplazamiento debe realizarse a una velocidad lo más constante posible.

La adquisición de datos de forma puntual se realiza situando la antena en un punto dado del área de estudio. En dicho punto y sin efectuar ningún desplazamiento de las antenas, se realiza la emisión de energía y la adquisición de datos. De esta forma se dispone de información del interior del medio situado en la vertical del punto donde se ubica la antena.

### 3.4.- Tratamiento e interpretación de registros

El registro que proporciona el georradar se denomina comúnmente radargrama. 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.

#### 3.4.1.- Parámetros de un registro. Información en la cabecera de una traza

Los parámetros que definen al radargrama se recogen en la cabecera del archivo de registro. Todos los registros contienen una cabecera de texto con información sobre cómo se realiza la adquisición. Esta información incluye entre otras informaciones el nombre del fichero, la fecha de registro y las fechas de posteriores modificaciones, el rango, la posición del 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.

##### *Rango de un registro*

El rango de un registro ( $R$ ) define su longitud temporal, es decir, la máxima coordenada vertical que se alcanza en el radargrama. Las reflexiones alcanzadas por la antena en tiempos dobles de propagación superiores al rango no quedan registradas. El tiempo límite de la ventana se selecciona de tal forma que el registro de la anomalía que se busca quede incluido. Conviene, sin embargo, que este parámetro sea lo suficientemente grande para que una velocidad más baja de la esperada para el medio no impida detectar los elementos anómalos que se desean localizar. El ajuste de  $R$  requiere, por tanto, un conocimiento preliminar acerca de la posible profundidad máxima de estudio y acerca de la velocidad aproximada a la que se propaga la onda electromagnética por el medio.

##### *Posición inicial de la señal*

Este parámetro ( $P$ ) permite seleccionar el tiempo de inicio de la ventana temporal. El tiempo final de la mencionada ventana viene determinado por la suma del tiempo de inicio y del rango del registro. Se trata de un parámetro que debe ajustarse antes de empezar la adquisición de datos. Conviene hacerlo situando la antena sobre el medio para asegurar que la primera reflexión recibida queda dentro de la ventana temporal. Esta primera señal suele ser la onda directa entre el emisor

y el receptor o la superposición entre la onda directa y la reflexión en la superficie del medio. La posición de esta ventana puede modificarse variando la posición de inicio del registro.

#### *Puntos por traza*

Este parámetro determina el muestreo de cada traza (señal recibida), es decir, los puntos utilizados para su representación. Es posible seleccionar cualquier muestreo, pero usualmente se utilizan los valores de 128, 256, 512, 1024 ó 2048 puntos por traza (Conyers & Goodman, 1997). Si se considera un muestreo de 512 puntos por traza (el valor más utilizado), y se tiene un rango de 256 ns, quiere decir que para reconstruir la traza, se tienen dos puntos por cada ns de tiempo doble de propagación. Normalmente, para obtener una buena representación de la traza, cuanto mayor sea la ventana temporal de registro (rango), más elevado tiene que ser el número de puntos de muestreo. Aunque siempre debe considerarse la resolución que se desea obtener y el tamaño de los registros que se graban. Además, conviene asegurar que el muestreo permite detectar aquellos eventos de interés, registrando los puntos necesarios para poder dibujar correctamente la traza.

#### *Velocidad de transmisión y de registro*

El número de pulsos por segundo que puede transmitir y registrar un georradar son dos parámetros que se pueden ajustar antes o durante la adquisición de datos, de acuerdo con las necesidades del estudio. Aunque los equipos de georradar habituales pueden transmitir más de 25.000 pulsos por segundo (Conyers & Goodman, 1997), la tecnología actual no permite estas velocidades de registro. El equipo de georradar no puede registrar cada una de las trazas individuales reflejadas a partir de cada pulso transmitido a causa de la alta velocidad de propagación. Para solventar este problema, los equipos efectúan un muestreo de la señal obteniendo información de varios pulsos emitidos para reconstruir una única traza.

Una vez seleccionada la velocidad de transmisión de pulsos al medio, se puede estimar la velocidad de registro teniendo en cuenta el muestreo deseado. Si se pretende que cada traza recibida se reconstruya a partir de 512 puntos y la velocidad de transmisión es de 50 kHz, el número máximo de trazas registradas cada segundo resulta ser de 97 scans/s, valor obtenido efectuando el cociente entre la velocidad de transmisión y el número de puntos de muestreo.

A partir de esta velocidad de registro máxima se selecciona la velocidad de registro que se utilizará en el estudio. Para ello, se ha de tener en cuenta la resolución horizontal que se pretende alcanzar (el número mínimo de trazas que ha de contener el evento producido por la reflexión de la energía en el elemento de menor tamaño) y la velocidad a la que se desplaza la antena sobre la

superficie del medio. Los valores más elevados de la velocidad de registro se utilizan únicamente en el caso de que la velocidad de desplazamiento de la antena sea muy elevada o si se necesita una resolución horizontal extremadamente alta para identificar las reflexiones en elementos del medio.

### *Superposición de trazas*

Durante o posteriormente a la adquisición de datos se puede realizar una suma (o superposición) de trazas adyacentes. El número de trazas superpuestas es un parámetro a determinar en función del estudio. La superposición de varias trazas hace que los efectos debidos a fenómenos aleatorios se reduzcan, mientras que los efectos ocasionados por fenómenos deterministas (eventos observados en varias trazas adyacentes para un mismo tiempo de propagación) queden realzados y, por lo tanto, definidos con mayor claridad en el radargrama.

Usa superposición de trazas excesiva, sobre todo en una zona donde se producen eventos hiperbólicos puede disminuir sus amplitudes hasta un nivel en que no se puedan distinguir, obteniendo un radargrama característico de un medio continuo. Normalmente no es posible efectuar una superposición de más de 3 a 6 trazas para poder obtener una imagen del medio que pueda considerarse continua (Maijala, 1992).

### *Ganancia*

La ganancia consiste en amplificar la señal que se recibe. Este procesado puede realizarse durante la adquisición de datos o durante el procesado posterior. El objetivo que se busca al aplicarla es el de disminuir los efectos de atenuación que se producen. Para ello, se aumenta la amplitud de las reflexiones procedentes de tiempos de propagación mayores.

Cuando se aplican ganancias, hay que tener en cuenta que se amplifica toda la señal recibida, aunque se trate de ruido. Una ganancia excesiva, para tiempos de propagación grandes en los que la señal tiene una amplitud similar a la del ruido, puede amplificar el ruido electrónico del aparato y del cableado o emisiones de las mismas frecuencias que se estén registrando, dando lugar a registros confusos. En general, cuando se efectúa la adquisición de datos, la ganancia se selecciona mediante el modo automático o bien se escoge la amplificación más conveniente observando una traza visualizada en el monitor del georradar. Al analizar los registros que se han obtenido aplicando algún tipo de ganancia, hay que tener en cuenta que las amplitudes quedan modificadas.



### 3.4.2.- Registros de amplitudes

Un 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 quedan representados los tiempos dobles de propagación de las ondas reflejadas en las anomalías internas a dicho medio.

El número de trazas de un radargrama depende de la longitud del registro, de la velocidad a la que se haya deslizado la antena a lo largo del perfil, del número de pulsos por segundo emitidos por la antena, del muestreo seleccionado y de la velocidad de registro del georradar.

Cada una de las trazas que forman parte del radargrama es un registro de amplitudes debidas a las reflexiones producidas en el interior del medio. El conjunto de trazas permite el seguimiento de estas amplitudes a lo largo del desplazamiento, representando a los reflectores que las han producido. Los incrementos de amplitud que se producen en las trazas son debidos al aporte de energía proveniente de las reflexiones ocasionadas durante la propagación de la señal por el medio. Los registros son, por lo tanto, de amplitudes y de tiempos de propagación.

La representación de las trazas registradas se puede presentar como un registro de amplitudes, similar a los registros de sismica de reflexión o mediante una representación con escala de colores. Con este tipo de representación se consiguen efectos visuales que pueden clarificar los resultados (Figura 2). Para poder realizarla se selecciona una escala que relaciona intervalos de amplitudes con una escala de colores que pueden seleccionarse. Esta escala puede ser lineal, exponencial, potencial o se puede definir según los intereses del estudio. Cada uno de estos intervalos o rangos de amplitudes queda asociado a un color, de acuerdo con la escala seleccionada.



*Figura 2. Representación por colores de un registro de georradar*

### 3.4.3.- Resolución

Se define como resolución la capacidad de las antenas de georradar para distinguir elementos diferentes en el medio, ya sea en profundidad (resolución vertical) o elementos cercanos en un mismo plano paralelo a la superficie (resolución horizontal).

#### *Resolución vertical*

La resolución vertical de una antena viene dada por su capacidad para diferenciar dos señales cercanas en el tiempo, es decir, separar las reflexiones producidas por dos discontinuidades electromagnéticas consecutivas en el tiempo de propagación.

La antena de georradar está diseñada para que se cumpla la relación entre el ancho de banda ( $B$ ) y la frecuencia central ( $f_c$ ):

$$B \cong f_c = \frac{1}{T} = 1'6 \text{ GHz} \quad \text{Ecuación 9}$$

siendo  $T$  la duración del pulso y  $f_c$  la frecuencia central de emisión. El principal requerimiento de una buena antena es un ancho de banda considerable, lo cual se refleja en una mayor capacidad de resolución del equipo.

Una medida de la resolución vertical es el espesor mínimo que puede tener una capa intermedia para que sea claramente detectada. Teniendo en cuenta que para que el georradar sea capaz de resolver la capa intermedia con nitidez de espesor ( $e_{medio}$ ) es necesario que en el momento en que la reflexión de la base alcanza en su camino de vuelta la cara superior, se haya reflejado la totalidad de la señal primera. La resolución vertical ( $R_v$ ) se podrá expresar según la siguiente relación:

$$R_v = e_{medio} \geq \frac{v \cdot T}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde  $v$  es la velocidad de propagación de las ondas en el medio,  $T$  la duración de la señal o pulso y  $\lambda$  la longitud de onda de la señal en el medio estudiado.

#### *Resolución horizontal*

Se define como resolución horizontal la capacidad del georradar para diferenciar dos elementos adyacentes en la dirección de desplazamiento de la antena. Esta resolución dependerá de una serie de factores como son la velocidad de desplazamiento de la antena sobre la superficie, el número

de pulsos que se emiten por unidad de longitud, la geometría del haz emitido, la sección eficaz del reflector y de la profundidad a la que se localiza.

El georradar emite impulsos cortos con una frecuencia fija, que se agrupan en ondas de barrido dando lugar a un número de trazas registradas por segundo. En función de la velocidad de la antena, el número de trazas por metro (densidad) será mayor o menor.

#### 3.4.4.- Parámetros necesarios para la interpretación de radargramas

Para hallar la equivalencia entre el tiempo doble de propagación (medidos en los radargramas) y la profundidad de un evento o de penetración ( $h$ ) es fundamental conocer constante dieléctrica o la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas:

$$h = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon}} \Delta t \quad \text{Ecuación 11}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad \text{Ecuación 12}$$

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),  $\epsilon$  la permitividad dieléctrica efectiva del medio y  $\Delta t$  la diferencia de tiempo registrada en el radargrama entre la onda directa entre emisor y receptor ( $t_1$ ) y la reflejada ( $t_2$ ) en el reflector o la base del medio estudiado.



## 4.- Programa experimental y Metodología

### 4.1.- Metodología

De forma previa a conocer la capacidad de la técnica del georradar para detectar la huella que deja el agua al ser inyectada a presión, es necesario comprobar que esta técnica permite evaluar el avance de un frente de agua por el interior del hormigón. Es por ello que el programa experimental diseñado en este trabajo se centra en una simulación de los de los ensayos de inmersión parcial en agua a presión atmosférica UNE-EN ISO 15148 y UNE 83982, a partir del cual se realizarán una serie de registros con georradar para después intentar detectar el avance y evolución de la penetración del frente de agua-

El programa experimental comprende distintos pasos:

1. Fabricación de las probetas, donde se fabrican y preparan para el proceso de adquisición de datos con georradar.
2. Estudios preliminares de inmersión en agua, para evaluar el correcto comportamiento del hormigón en concepto de absorción de agua.
3. Preparación del equipo de georradar, con la calibración de las probetas en seco y el montaje de los recipientes de agua donde se introducirán.
4. Proceso de adquisición de datos con el georradar, donde se realiza la toma de registros en los puntos designados de cada probeta para después realizar la rotura y marcar el frente de agua.

#### 4.1.1.- Material a estudio: Fabricación y preparación de las probetas

Para la llevar a cabo del estudio se fabricaron un total de 24 probetas de hormigón en masa con un tamaño de 200 x 200 x 120 mm (ancho, largo, alto). Para su fabricación se ha empleado cemento CEM I 42'5 R/SR y una relación de agua-cemento de 0'65.

Para la fabricación de estas probetas se prepararon moldes específicos con paneles de madera unidos mediante tornillería (Figura 3), con acabado interior de melanina, por lo que 5 de las 6 caras de la probeta tendrán un acabado liso de por sí, alisando la cara superior con una espátula metálica.

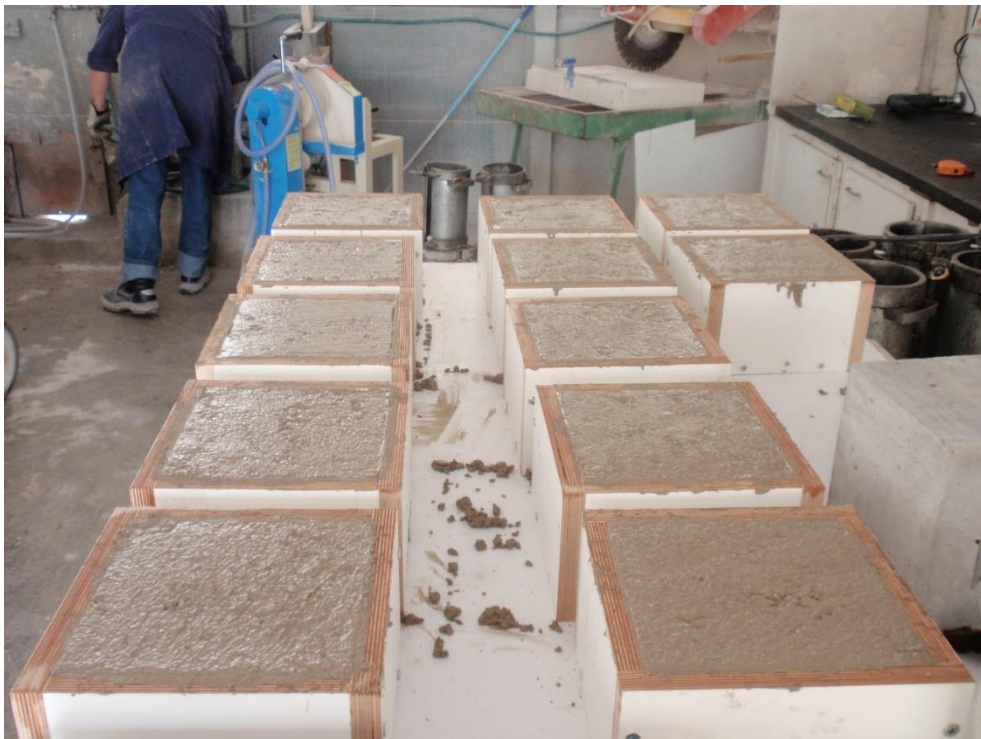


*Figura 3. Moldes para la fabricación de las probetas*

El proceso de fabricación de las probetas sigue las indicaciones de preparación y llenado de moldes, compactado del hormigón, nivelación y curado del hormigón de la norma *UNE-EN 122390-2 Ensayos de hormigón endurecido, Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia* (Figura 4 y Figura 5).



*Figura 4. Vibrado del hormigón*



*Figura 5. Fabricación de las probetas*

El tamaño de probeta, 200 x 200 x 120 mm, fue elegido para tratar de evitar el efecto borde (reflexiones directas de las ondas que viajen por el contorno de la probeta) durante el proceso

de adquisición de datos con el georradar y tener suficiente resolución vertical para poder identificar las reflexiones en las interfaces por separado.

La antena a emplear es de 2 GHz con un tamaño físico de 90 x 90 mm, por lo que la distribución de puntos de adquisición de datos se han distribuido de tal forma que el borde quede lo más alejado posible de la antena. Por tanto, se han utilizado los 50 x 50 mm centrales de la probeta, con un total de 9 puntos de medida formando una retícula con puntos separados 25 mm.

Tras su fabricación, las probetas se cubren con un film plástico para evitar la evaporación de agua, manteniéndose así durante 2 días (Figura 6). A continuación se desmoldan y se introducen en una cámara de curado húmedo durante 28 días con el fin de estabilizar el fenómeno de hidratación y permitir la correcta hidratación del cemento según la normativa vigente que regula la fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia *UNE EN 12390-2* (Figura 7).



*Figura 6. Cubrición de las probetas con film plástico durante 2 días*



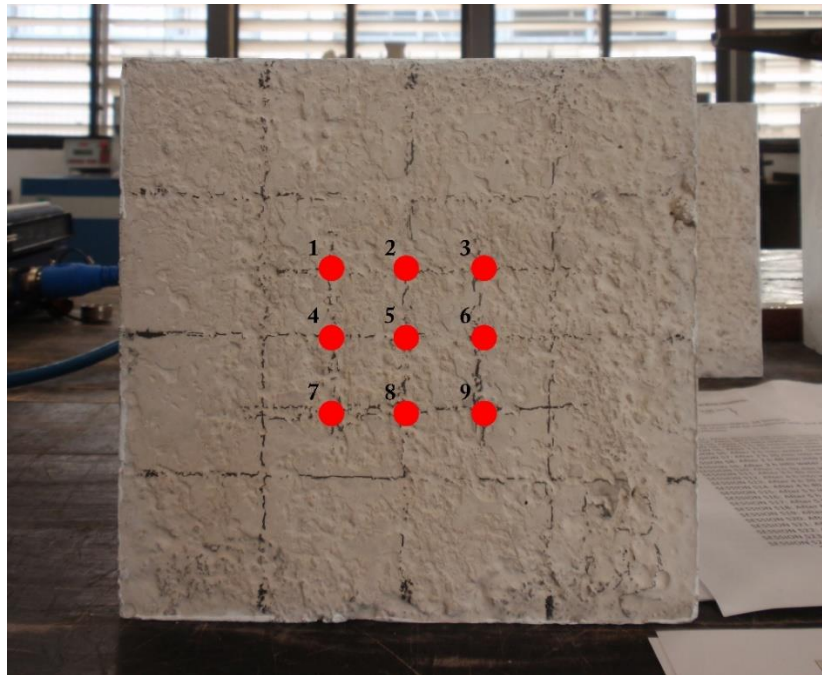


*Figura 7. Desmoldado de las probetas*

Después de sacar las probetas de la cámara de curado húmedo se dibuja en ambas caras de la probeta la cuadrícula de medición con los 9 puntos que se emplearán para la adquisición de datos con el georradar. Se trata de una cuadrícula de 50 x 50 mm, siendo el centro de ésta el punto 5, los vértices del cuadrado los puntos 1, 3, 7 y 9, y las mediatrices de los lados los puntos 2, 4, 6 y 8 (Figura 8 y Figura 9). El punto 5 corresponde al centro geométrico de la cara de la probeta.



*Figura 8. Dibujo de cuadrícula de referencia para mediciones con Georradar*



*Figura 9. Cuadrícula de 50 x 50 mm de referencia para medición de Georradar*

Unas semanas antes de las pruebas de adquisición de datos mediante el georradar se inicia el proceso de secado de las probetas (Figura 10). Para ello se introducen las probetas en un horno a 105°C para secarlas. Se comprueba la masa regularmente hasta que la pérdida de masa sea menor

al 0'1%. Este proceso de secado no se indica en ninguna norma, sino que se realiza para facilitar la posterior absorción de agua. Dada la infraestructura disponible en el laboratorio, es necesario realizar el secado por tandas de probetas (Figura 11) y una vez secas se envuelven en film plástico para evitar la absorción de humedad del ambiente hasta el día de adquisición de registros. El proceso de secado se realiza en 3 tandas de 8 probetas cada una.



*Figura 10. Horno de secado de las probetas*



*Figura 11. Tanda de secado de 8 probetas*

En las Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Figura 12, Figura 13, Figura 14 se puede observar la evolución de la masa de las 24 probetas, en las 3 tandas de secado. Se realizaron sucesivas pesadas durante el proceso de secado, hasta que la diferencia de masa entre dos pesadas sucesivas fuese del rango del 0'5%.

Tabla 2: Evolución de la masa de las probetas. 1ª tanda de secado

Probeta	edad de la probeta								
	90 días peso (g)	92 días peso (g) dif %	93 días peso (g) dif %	94 días peso (g) dif %	97 días peso (g) dif %				
1	11385	11092 2,57	11010 0,74	10958 0,47	10903 0,50				
2	11293	11003 2,57	10920 0,75	10869 0,47	10810 0,54				
3	11388	11099 2,54	11019 0,72	10959 0,54	10902 0,52				
4	11243	10955 2,56	10878 0,70	10819 0,54	10760 0,55				
5	11309	11020 2,56	10930 0,82	10879 0,47	10821 0,53				
6	11388	11096 2,56	11006 0,81	10950 0,51	10895 0,50				
7	11374	11091 2,49	11007 0,76	10952 0,50	10889 0,58				
8	11310	11026 2,51	10939 0,79	10885 0,49	10824 0,56				

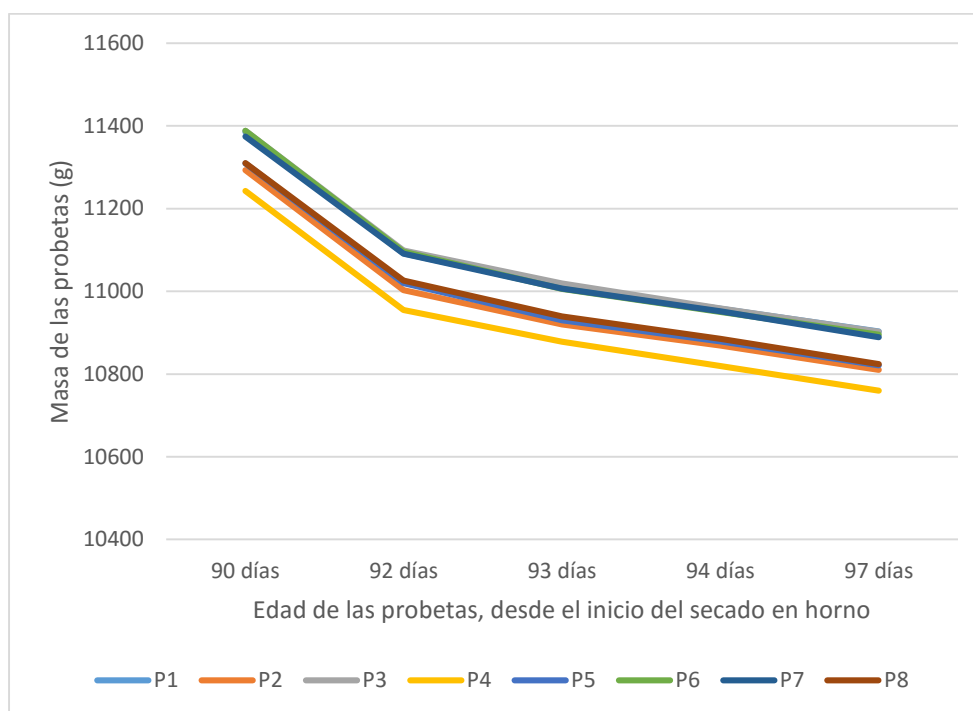


Figura 12: Evolución de la masa de las probetas. 1ª tanda de secado

Tras la primera tanda de secado, en la que se realizó la medición de la masa tras 48 h, 72 h, 96 h y 168 h de secado, se consideró más apropiado realizar las mediciones a las 144 h y 168 h, ya que con un tiempo menor de secado no se conseguía la diferencia de masa para considerar las probetas como secas.

Tabla 3: Evolución de la masa de las probetas. 2ª tanda de secado

Probeta	edad de la probeta				
	97 días peso (g)	103 días peso (g) dif %		104 días peso (g) dif %	
9	11332	10789	4,79	10785	0,04
10	11253	10725	4,69	10722	0,03
11	11368	10829	4,74	10826	0,03
12	11254	10720	4,74	10714	0,06
14	11254	10720	4,74	10716	0,04
15	11174	10640	4,78	10636	0,04
16	11222	10677	4,86	10673	0,04
17	11264	10732	4,72	10729	0,03

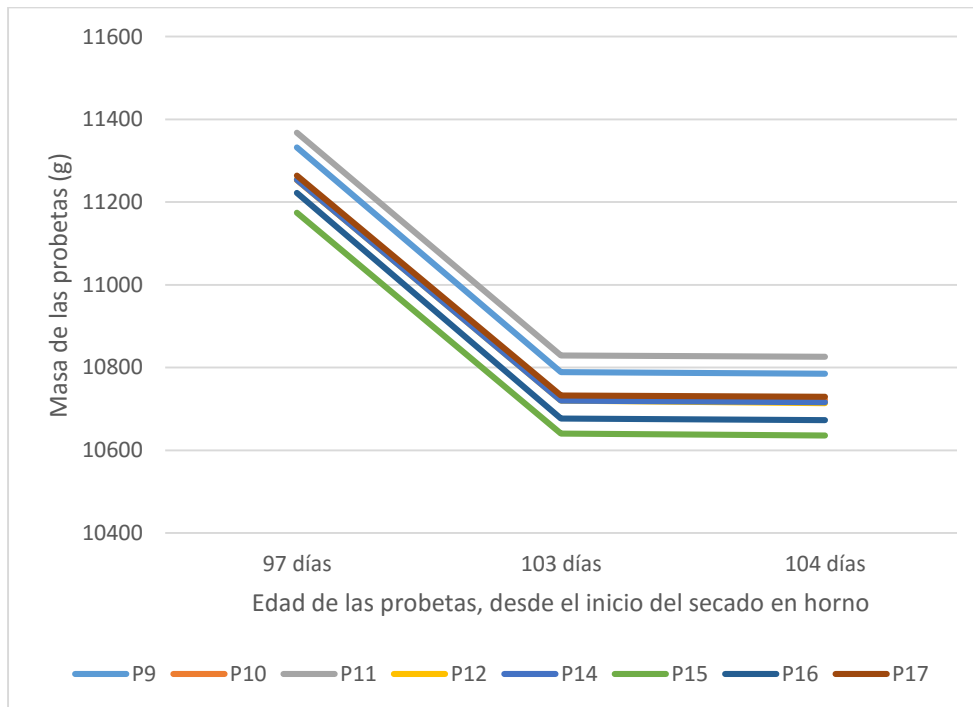


Figura 13: Evolución de la masa de las probetas. 2ª tanda de secado

Tabla 4: Evolución de la masa de las probetas. 3ª tanda de secado

Probeta	edad de la probeta				
	104 días peso (g)	110 días peso (g) dif %		111 días peso (g) dif %	
13	11275	10741	4,74	10739	0,02
18	11250	10715	4,76	10713	0,02
19	11139	10598	4,86	10595	0,03
20	11239	10690	4,88	10689	0,01
21	11320	10780	4,77	10777	0,03
22	11154	10627	4,72	10625	0,02
23	11201	10655	4,87	10652	0,03
24	11165	10638	4,72	10635	0,03

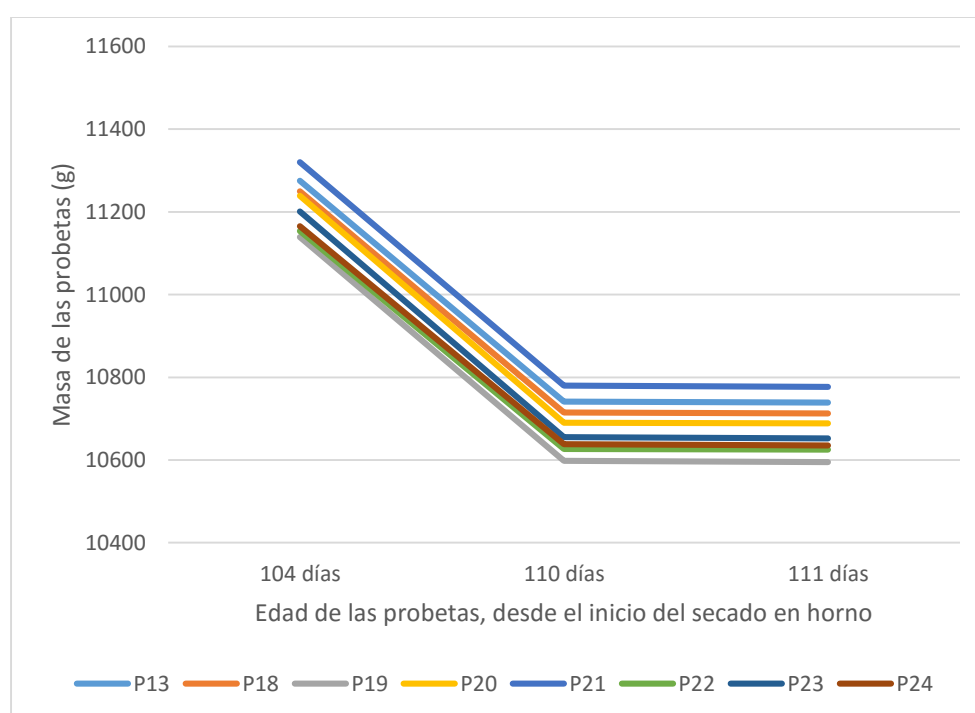


Figura 14: Evolución de la masa de las probetas. 3ª tanda de secado

Finalmente, dos días antes de la prueba de adquisición de datos con el georradar se pintaron las 4 caras laterales de la probeta con pintura plástica impermeabilizante, siguiendo las instrucciones de la norma UNE-EN ISO 15148. Esta norma especifica que para la preparación de las probetas de ensayo los lados de la probeta sólida se deben sellar con un sellante estanco al vapor y al agua. El sellante no debe reaccionar químicamente con ella ni penetrar significativamente en los poros del producto, dejando la cara inferior (cara de inmersión) y la cara superior sin pintar.

## 4.2.- Estudio preliminar de inmersión en agua

Uno de los ensayos previos al ensayo definitivo consistió en una simulación a pequeña escala utilizando dos de las probetas fabricadas en exceso, para comprobar que el hormigón fabricado respondía adecuadamente a la absorción de agua.

Este ensayo está basado en las normas:

- UNE-EN ISO 15148 Comportamiento higrotérmico de los materiales y productos de edificación. Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial.
- UNE 83982 Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund.

El ensayo consiste en sumergir parcialmente a presión atmosférica las probetas en una cubeta con agua, de forma que el agua cubra 20 mm de altura de las probetas. Aunque las normas especifican 5 mm, en este caso por tratarse de una prueba preliminar para comprobar la capacidad de absorción del hormigón fabricado, se fuerza el experimento con la columna de agua de 20 mm para favorecer la absorción. Cada 20 minutos se sacan las probetas, se seca el exceso de agua con una esponja y se pesan con una balanza con precisión 0'1 gramos. A continuación, se vuelven a sumergir otros 20 minutos, realizándose en total 24 pesadas además de la pesada inicial en seco, estableciéndose una duración total del ensayo de 8 horas (Figura 15).



*Figura 15. Inmersión de las probetas de prueba*

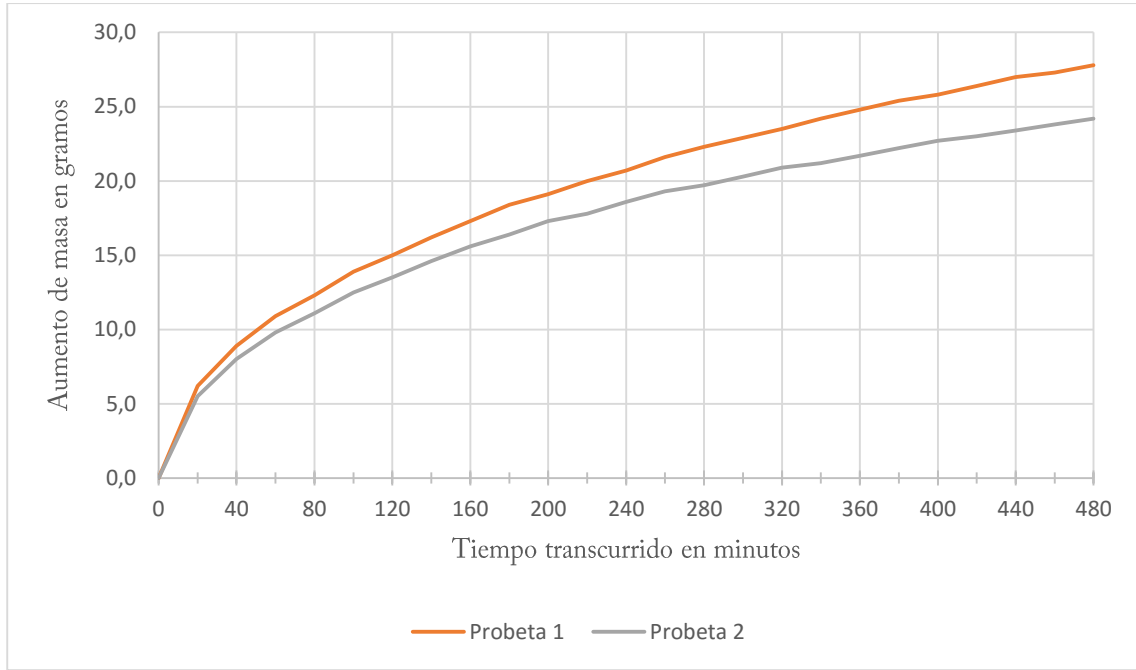
Los valores de masa para las dos probetas estudiadas en el ensayo preliminar se detallan en la Tabla 5.

*Tabla 5. Incremento de masa por inmersión en las probetas de prueba*

Nº de pesada	Tiempo transcurrido (minutos)	Probeta 1		Probeta 2	
		Masa (g)	Incremento de masa (g)	Masa (g)	Incremento de masa (g)
0	0	1546,0	0,0	1470,4	0,0
1	20	1552,2	6,2	1475,9	5,5
2	40	1554,9	8,9	1478,4	8,0
3	60	1556,9	10,9	1480,2	9,8
4	80	1558,3	12,3	1481,5	11,1
5	100	1559,9	13,9	1482,9	12,5
6	120	1561,0	15,0	1483,9	13,5
7	140	1562,2	16,2	1485,0	14,6
8	160	1563,3	17,3	1486,0	15,6
9	180	1564,4	18,4	1486,8	16,4
10	200	1565,1	19,1	1487,7	17,3
11	220	1566,0	20,0	1488,2	17,8
12	240	1566,7	20,7	1489,0	18,6
13	260	1567,6	21,6	1489,7	19,3
14	280	1568,3	22,3	1490,1	19,7
15	300	1568,9	22,9	1490,7	20,3
16	320	1569,5	23,5	1491,3	20,9
17	340	1570,2	24,2	1491,6	21,2
18	360	1570,8	24,8	1492,1	21,7
19	380	1571,4	25,4	1492,6	22,2
20	400	1571,8	25,8	1493,1	22,7
21	420	1572,4	26,4	1493,4	23,0
22	440	1573,0	27,0	1493,8	23,4
23	460	1573,3	27,3	1494,2	23,8
24	480	1573,8	27,8	1494,6	24,2

Tal y como se puede observar en la Figura 16, se comprueba que las probetas responden correctamente a la absorción de agua y se procede a los preparativos de las 24 probetas para el ensayo.





*Figura 16. Incremento de masa por absorción de agua en las probetas de prueba*

### 4.3.- Equipo de georradar empleado

El equipo utilizado para la adquisición de registros en este trabajo fin de master es el modelo SIR-3000 (Figura 17) de la marca Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI). Dispone de una memoria interna de 256 Mb para almacenamiento de información, con opción de usar una tarjeta CF de hasta 1 GB; procesador de 32 bits Intel StrongArm RISC a 206 Mhz; pantalla de 8'4" TFT de resolución 800 x 600 a color con 64000 colores.

Este equipo fue suministrado por el “Laboratorio de Diagnóstico Estructural” del “Instituto Tecnológico de la Construcción”, AIDICO; junto con una antena de frecuencia 2 GHz montada con un odómetro (Figura 18). Se ha empleado el método de punto estático para la adquisición de datos con georradar, utilizando 512 puntos por traza.



*Figura 17. Equipo de GPR modelo SIR-3000*



*Figura 18. Antena de 2GHz montada con odómetro*

#### 4.4.- Procedimiento de adquisición de registros con el georradar

Se inicia el proceso de adquisición de datos con el montaje del equipo de georradar, se sitúa la antena emitiendo al aire, ya que será necesario este registro para normalizar las amplitudes durante el procesamiento posterior de registros.

El siguiente paso es la preparación del dispositivo para realizar las mediciones con el georradar. Para ello se prepara una base plana y estable, con una capa de material altamente reflectante. Se utiliza un tablero de madera con acabado de melanina sobre la mesa de trabajo, colocando encima de éste una capa de papel de aluminio para obtener una clara reflexión (Figura 19).



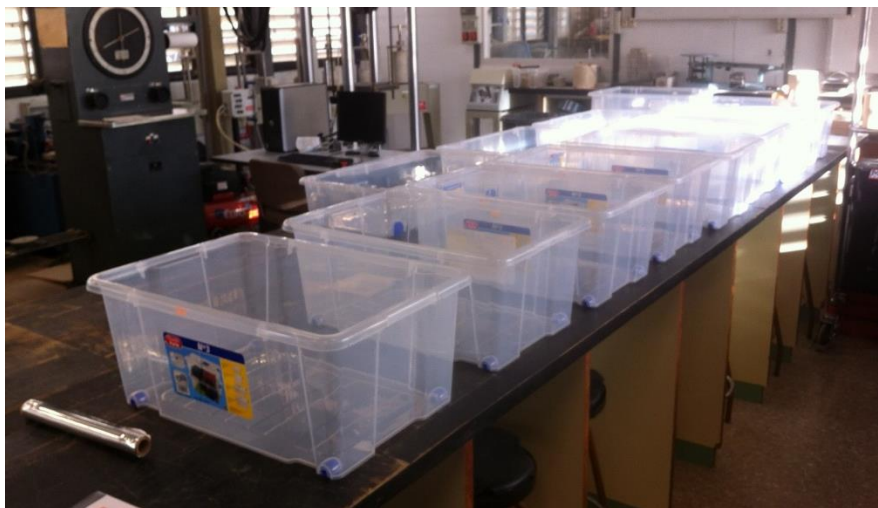
*Figura 19. Colocación de la probeta sobre papel de aluminio para la medición*

Se continúa con la medición de la masa de todas las probetas en seco (Figura 20) y se inicia la medición de todas las probetas mediante el georradar a modo de calibración, de manera que se disponga de un radargrama antes y después del proceso de sumergir las probetas en agua.

El objetivo de todo este proceso es valorar como se ha producido el avance del agua en cada probeta. Se continúa el proceso de adquisición de datos con el montaje de las cubetas de plástico (Figura 21), donde se introducen las probetas para sumergirlas en agua. Previamente a sumergir las 24 probetas, se marca en su perímetro una línea a 30 mm de su cara inferior, que deberán quedar cubiertos por agua durante todo el ensayo.



*Figura 20. Medición de la masa en seco de las probetas previamente a la inmersión*



*Figura 21. Cubetas de plástico para la inmersión de probetas*

Se sitúan las probetas en las cubetas utilizando separadores de 5 mm entre en fondo de la cubeta y la probeta, con tal de facilitar la absorción de agua. Posteriormente a colocar las probetas en el interior de las cubetas se procede a su llenado de agua, controlando que, conforme transcurre el ensayo, la altura de agua se mantenga sobre la marca, realizando aportaciones de agua continuamente; y se pone en marcha un temporizador a 20 minutos (Figura 22).



*Figura 22. Inmersión de las probetas*

Tras los primeros 20 minutos se saca la probeta número 1, reiniciando el temporizador, y se seca el exceso de agua, se mide la masa en la balanza y se toman 9 registros mediante el georradar en cada cara (cara no sumergida y cara sumergida). Es importante destacar que siempre se utilizó el mismo patrón en el proceso de medición de los puntos, midiendo de izquierda a derecha en la cara no sumergida y de derecha a izquierda en la cara sumergida.

Una vez tomados los registros con el equipo de georradar se procede a la rotura a flexión de la probeta (Figura 23). Se realizan 3 roturas en total para obtener 4 porciones de la probeta, y se nombran como Izquierda/Derecha – Inferior/Superior (Figura 24). Inmediatamente después de la rotura se marca el frente de penetración de agua en las 4 porciones mediante un rotulador permanente antes de que seque (Figura 25).



*Figura 23. Rotura a flexión de las probetas*



*Figura 24. Rotura según 2 ejes para obtener los perfiles de penetración*



*Figura 25. Delimitación del frente real de penetración de agua*

Se continúa con el proceso, repitiéndose cada 20 minutos hasta completar las 24 probetas.

## 5.- Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la determinación del contenido de agua libre y la profundidad de avance del frente del agua, junto con los resultados del procesado de los registros de georradar.

### 5.1.- Contenido de agua libre y profundidad de avance del frente de agua

El contenido de agua libre se puede calcular analizando la diferencia entre la masa en seco y la masa tras el periodo de inmersión en agua. El coeficiente de absorción ( $C_A$ ) se determina según la ecuación:

$$C_A (\%) = \frac{M_{inmersión} - M_{seca}}{M_{seca}} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

donde  $M_{seca}$  es la masa seca previa a la inmersión y  $M_{inmersión}$  es la masa de cada probeta tras su inmersión.

Después del proceso de adquisición de registros mediante el georradar se realiza una medición del frente de agua mediante la huella marcada en las caras de la probeta tras su rotura. Esta medición se realiza acotando la profundidad de la huella cada 2'5cm de probeta, obteniendo en total 9 medidas por cada una de las 4 caras de rotura, obteniendo 36 medidas de la huella de agua .

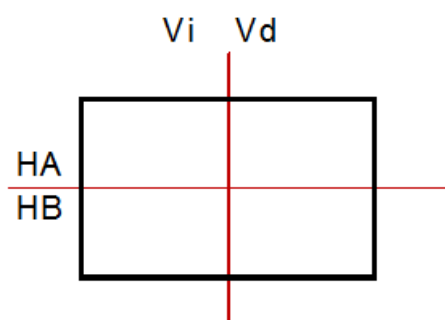


Figura 26. Ejes de rotura (rojo) dando lugar a 4 caras de medición de huella de agua

Emparejando 2 de estas 4 secciones de probeta podemos representar 2 frentes de agua, según un eje vertical y según uno horizontal. A su vez, cada uno de estos frentes está medido en las dos caras de rotura de probeta según ese eje. Por tanto, para cada probeta se han representado

4 gráficas de penetración de agua (Figura 26): Según un eje vertical, a su izquierda (Vi) y derecha (Vd); y según un eje horizontal, arriba (HA y abajo (HB)).

Para cada una de las probetas se elabora una ficha en la que se detalla la información del avance del frente de agua. En la Figura 27 se muestra un ejemplo de una de las fichas elaboradas, correspondiente a la probeta 18. El resto de fichas se encuentra en el apartado “9.2.- Anejo 2: Profundidades reales de penetración de agua”.

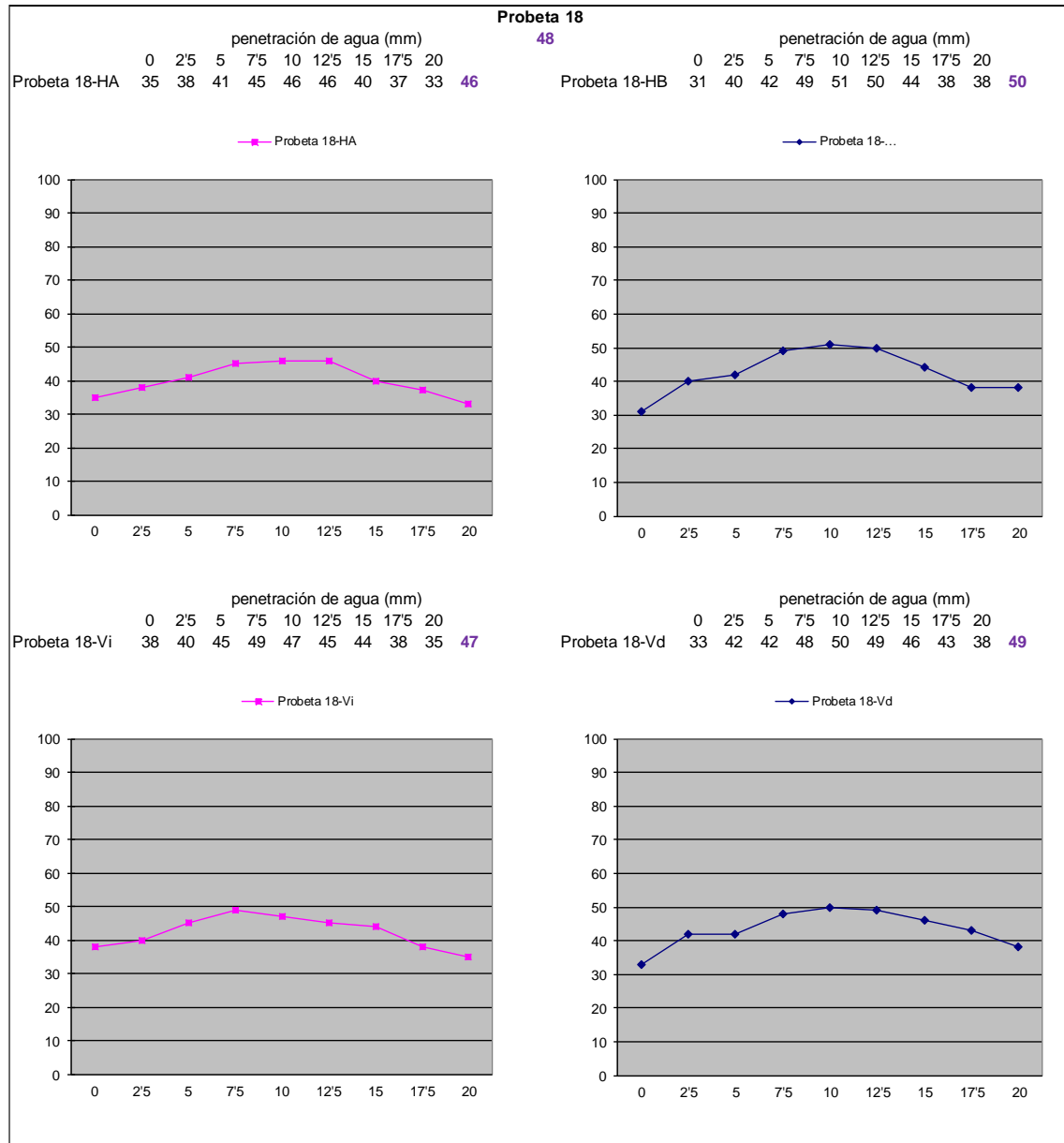


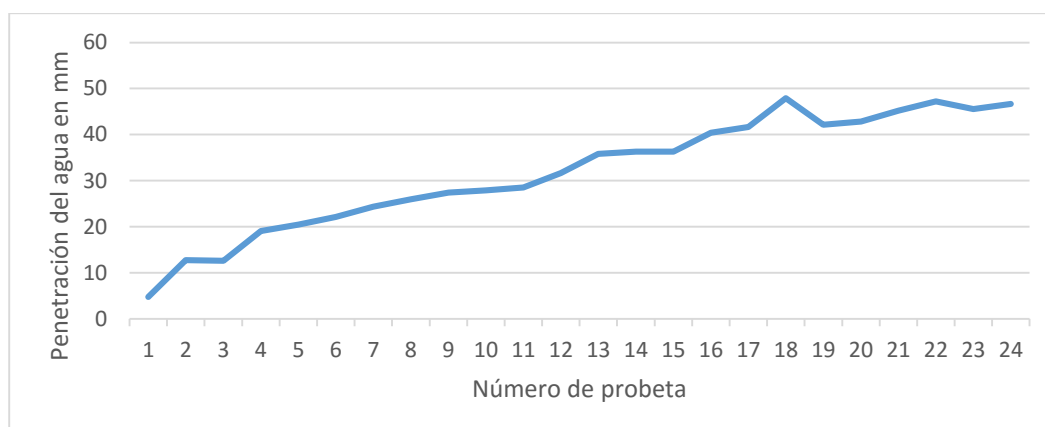
Figura 27. Avance del frente de agua en cada una de las caras de rotura

En esta ficha se muestran los perfiles de las 2 secciones, para ambas caras de rotura, acotando la profundidad de la huella de avance de agua cada 25 mm. En rojo se muestra el promedio de los 50 mm centrales de cada perfil, que corresponden a la zona de medidas de



georradar, y debajo del número de la probeta la media de estos 4 promedios, como valor representativo de la profundidad de agua para esa probeta.

En la Figura 28 se muestra una gráfica con la tendencia al incremento de penetración de agua considerados para cada probeta. Se puede observar claramente cómo va incrementándose la profundidad de la huella de agua conforme se incrementa el tiempo de inmersión.



*Figura 28. Incremento de la profundidad de penetración con el aumento del tiempo*

En la Tabla 6 se muestra para cada probeta el tiempo de inmersión, el coeficiente de absorción y el valor promedio de la profundidad de huella de agua tras la rotura. Estos valores son los empleados para comprobar si la técnica de georradar es capaz de aportar información sobre el avance del frente de agua.

Finalmente, en la Figura 29 se representan de forma gráfica los valores promedio de penetración y absorción obtenidos según el tiempo de inmersión de cada probeta, con una clara tendencia ascendente.

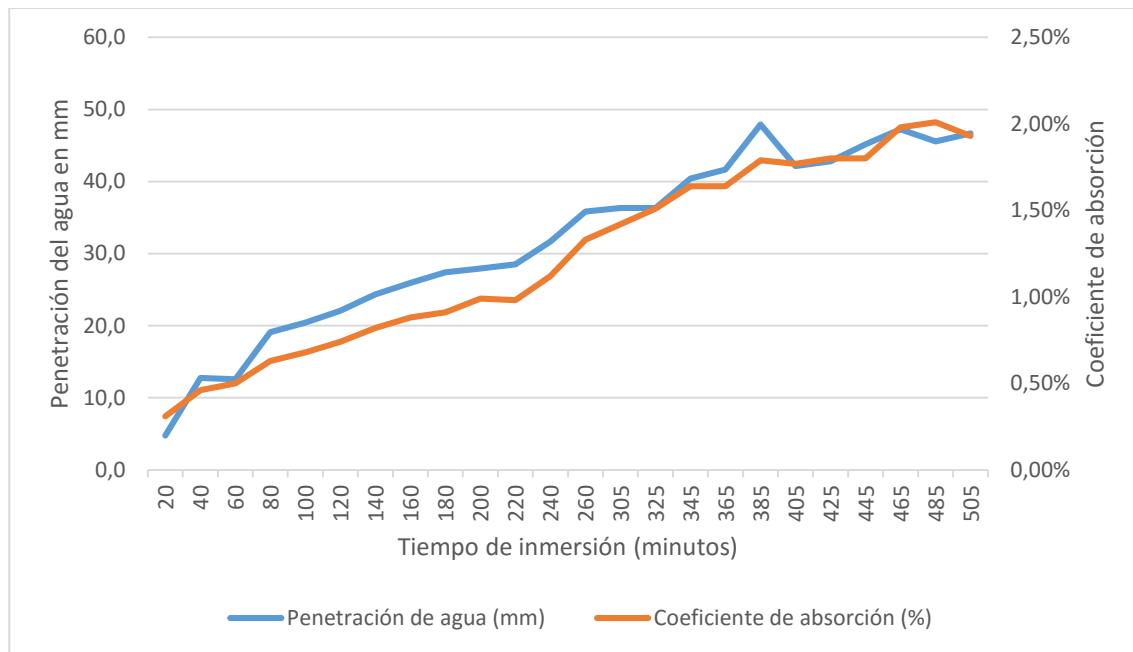


Figura 29. Profundidad de penetración y absorción de agua en función del tiempo

Tabla 6. Promedio de penetración de agua y coeficiente de absorción de cada probeta

PROBETA	Tiempo de inmersión (minutos)	Promedio de penetración (mm)	Coefficiente de absorción
1	20	4,8	0,31%
2	40	12,8	0,46%
3	60	12,6	0,50%
4	80	19,1	0,63%
5	100	20,4	0,68%
6	120	22,1	0,74%
7	140	24,3	0,82%
8	160	25,9	0,88%
9	180	27,4	0,91%
10	200	27,9	0,99%
11	220	28,5	0,98%
12	240	31,7	1,12%
13	260	35,8	1,33%
14	305	36,3	1,42%
15	325	36,3	1,51%
16	345	40,4	1,64%
17	365	41,7	1,64%
18	385	47,9	1,79%
19	405	42,2	1,77%
20	425	42,8	1,80%
21	445	45,2	1,80%
22	465	47,3	1,98%
23	485	45,6	2,01%
24	505	46,7	1,93%



## 5.2.- Pre-procesado de los registros de georradar

Para evaluar la capacidad del ensayo no destructivo con el georradar es necesario estudiar la variación de la velocidad entre intervalos de pares de máximos (D1, D2, D3, R1, R2, R3) y la amplitud de onda en dichos puntos. Teniendo en cuenta que se realizaron mediciones con el georradar en 9 puntos de cada cara de las probetas, previa y posteriormente a su inmersión, se dispone de un total de 864 mediciones en las que se debe identificar dichos máximos, así como tomar los valores correspondientes a su tiempo de propagación y su amplitud.

Para procesar los registros de georradar, la empresa distribuidora del equipo suministra también el software para ello. No obstante, el programa RADAN-NT de GSSI no proporciona las herramientas suficientemente precisas de procesado y almacenamiento de registros.

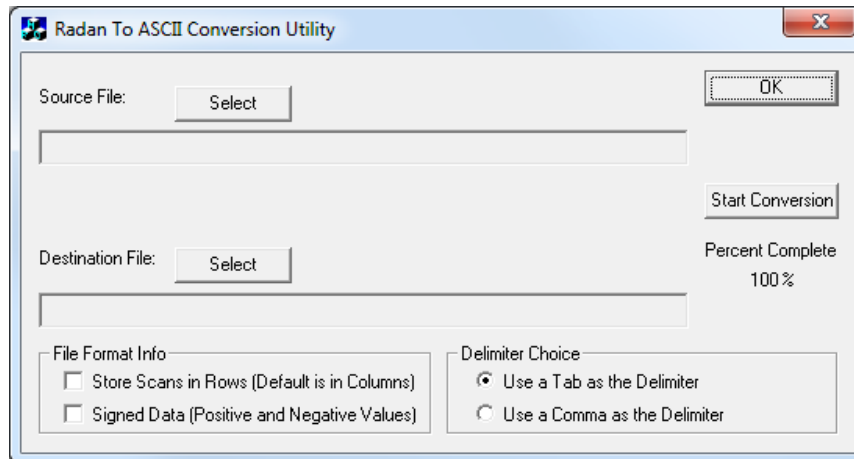
Recopilar esta información de las trazas manualmente supone una gran carga de trabajo, por lo que se hizo imperativo el desarrollo de algoritmos de trabajo que automatizasen dicha tarea. En la Figura 30 se muestra a modo de ejemplo una traza típica registrada durante la sesión de ensayos.



*Figura 30. Traza típica registrada por el GPR*

Se realiza un pre-procesado de registros que consiste en una transformación de formato de archivo Radan a ASCII, para aplicar sobre éstos últimos los algoritmos desarrollados en Excel/VBA, y poder interpretar los datos registrados por la antena de georradar y proporcionar los resultados necesarios sobre tiempos de propagación, velocidades de propagación, amplitudes y niveles de energía.

El primer paso a realizar es, una vez volcados en el ordenador los datos obtenidos en las mediciones con el georradar, utilizar el programa Radan to ASCII Conversion Utility versión 1.3 de GSSI (Figura 31) para convertir los archivos “.DZT”, que son los almacenados por la Unidad SIR 3000 de GSSI, en archivos ASCII con formato “.TXT” y poder realizar las mediciones de las trazas.



*Figura 31. Programa “Radan To ASCII”*

Este tipo de archivo ASCII con formato “.TXT” se abre con Microsoft Excel y se toma la banda central (columna central de datos) correspondiente al momento intermedio de emisión de la antena. Con esta banda central se obtiene la gráfica de la traza registrada, realizando este proceso para los 9 puntos de cada cara de la probeta, para sus estados seco (medidas a modo de calibración) y húmedo (después de la inmersión), obteniendo 36 gráficas.

En total se obtiene un total de 36 gráficas para cada una de las 24 probetas, siendo en total 864 radargramas. Una vez se dispone de estos archivos de EXCEL, se está en disposición de trabajar con los algoritmos desarrollados en Visual Basic (VBA) para obtener los parámetros de onda que se van a analizar y valorar en este trabajo.

Todos los radargramas siguen un mismo patrón:

1. Línea continua: Propagación por el aire.
2. Primera perturbación, correspondiente a la reflexión directa de la onda.
3. Línea sensiblemente horizontal: Propagación por el interior del medio.
4. Segunda perturbación: Corresponde a la onda reflejada en la base de la muestra como consecuencia de la interfase entre el homigón y el reflector metálico.

La primera perturbación, llamada onda directa, es la onda emitida por la antena que se refleja directamente sobre la superficie de la probeta, recibiendo esta reflexión la primera debido al corto trayecto que debe recorrer. La segunda perturbación, llamada onda reflejada, corresponde a la onda que se refleja tras atravesar toda la probeta. Se puede apreciar la diferencia de recorrido que efectúa cada onda en la Figura 32.

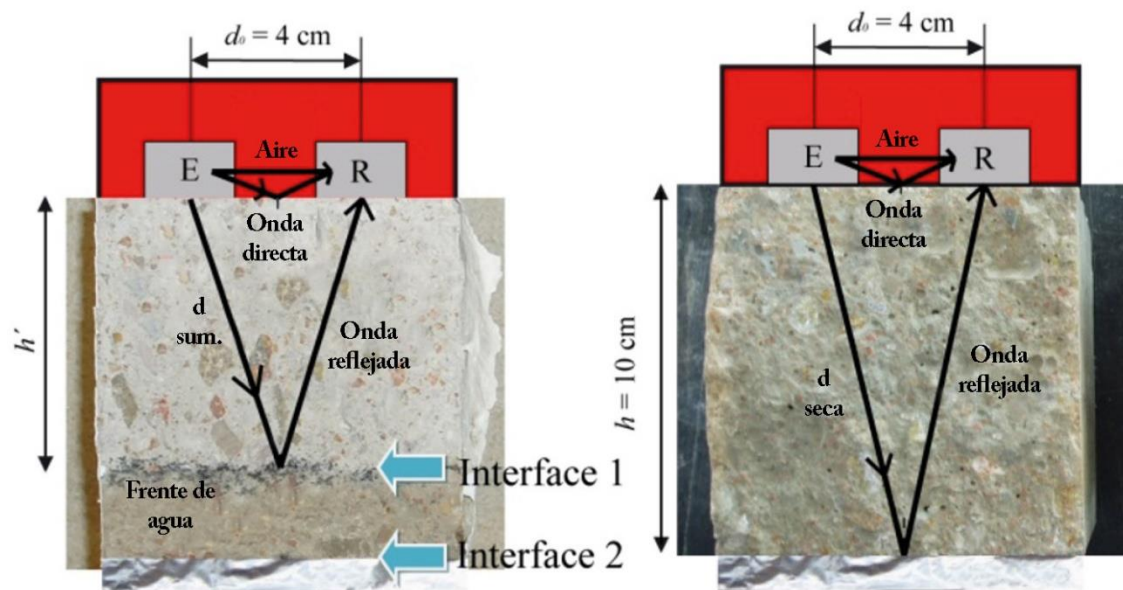


Figura 32. Esquema de onda directa y reflejada. Izquierda húmeda; Derecha seca

Una vez identificada la onda directa y la reflejada, se identifican los tres puntos característicos de la onda, denominados D1, D2 y D3 para la onda directa; y R1, R2 y R3 para la onda reflejada (Figura 33), a través de los cuales se estudian las velocidades y amplitudes en el apartado “6.- Interpretación de resultados”.

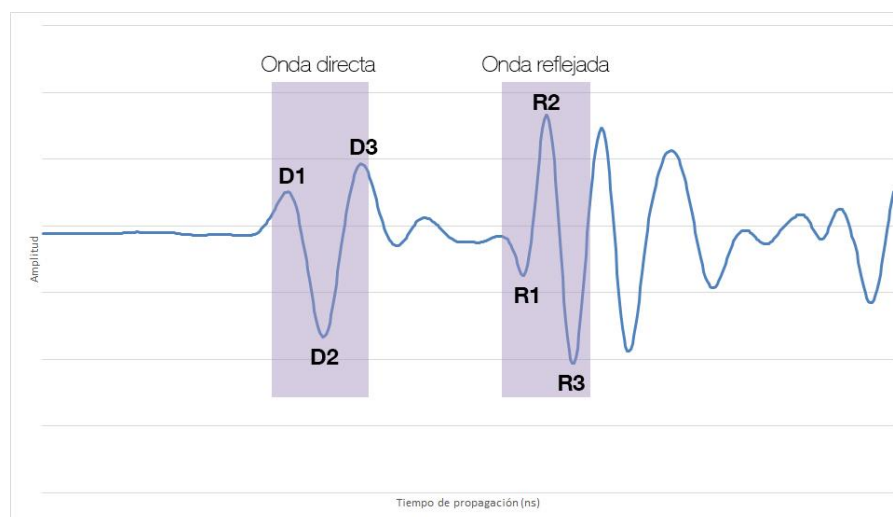


Figura 33. Puntos característicos de la onda de GPR reflejada

### 5.3.- Efecto del aumento del contenido de agua en los registros de georradar

En este apartado se detallan los efectos que produce un aumento del contenido de agua libre en el hormigón sobre los parámetros de propagación de las ondas.

En un principio y de forma teórica, se espera que conforme aumente el contenido de humedad, aumentando la penetración del frente del agua, se produzcan los siguientes efectos en las señales del georradar:

1. En primer lugar, la onda reflejada se recibirá más tarde, es decir, aumentan los tiempos de propagación. Esto es debido a que como el agua tiene una constante dieléctrica mayor, el hormigón endurecido se polariza más y por tanto dificulta la propagación de la señal. Esto dará lugar a un aumento de los tiempos de llegada de la onda reflejada y por tanto una disminución de las velocidades de propagación.
2. Asimismo, la onda reflejada se verá más atenuada, es decir, la amplitud deberá ir disminuyendo conforme avance el frente del agua. Esto es debido a que al contener más agua libre, el medio se polariza más y es mayor la energía que es absorbida por el medio. Como consecuencia, será menor la energía recibida y por tanto su amplitud.
3. Por último, es lógico no apreciar ningún cambio significativo en la onda directa conforme avanza el frente del agua para las medidas tomadas en la cara seca de la probeta, ya que esta onda estará viajando y siendo reflejada en una zona seca del material. No obstante, como las mediciones se han realizado colocando la antena sobre la cara húmeda, la onda directa también se va a ver afectada.

En este estudio, respecto a las velocidades de propagación, se ha observado el efecto del aumento del contenido de agua al evidenciarse claramente el retraso de las ondas. En la Figura 34 se observa de igual manera el retraso de la onda directa al realizar en este caso la medición desde la cara sumergida de la probeta.

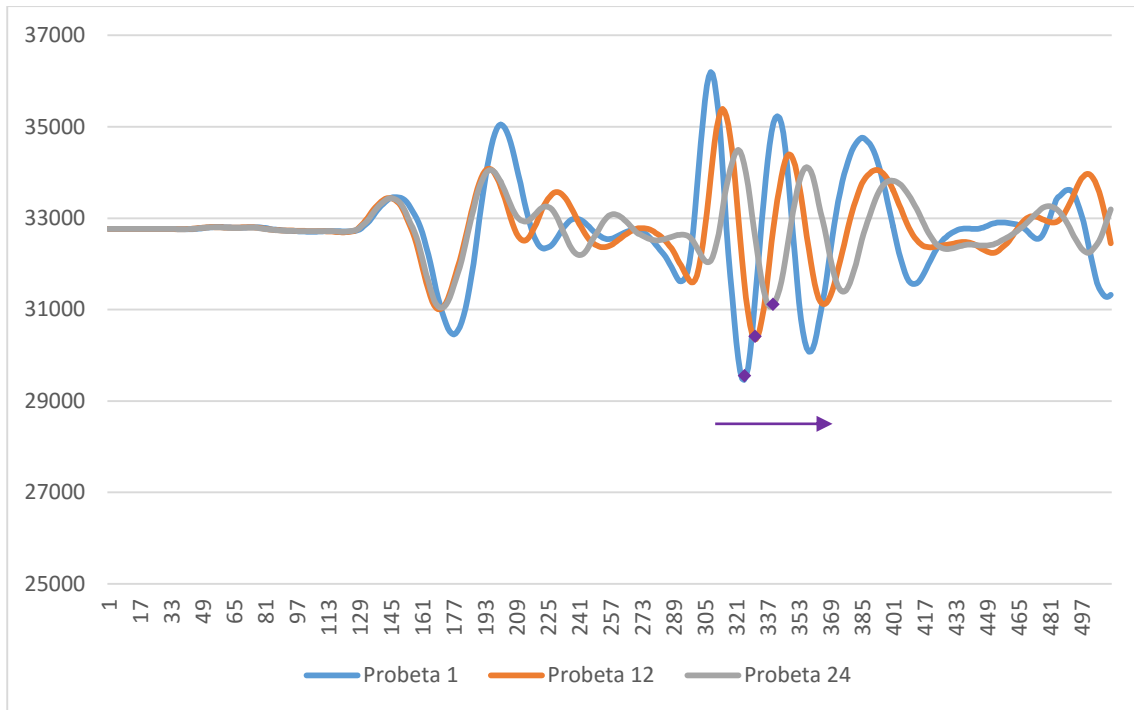


Figura 34. Retraso de la onda Directa (Medición colocando la antena sobre la cara sumergida)

Además, como era de esperar, al realizar la medición desde la cara no sumergida de la probeta la onda directa permanece prácticamente estable durante todo el proceso de medición con georradar.



## 5.4.- Cálculo de velocidades de propagación y nivel de energía de las ondas

### 5.4.1.-Tiempos y velocidades de propagación

Como apuntan algunos autores (Yelf & Yelf, 2006) y (Martínez-Sala, et al., 2012a) es complicado establecer cuál de los máximos y mínimos que componen una onda es el que se debe elegir como representativo del tiempo de llegada inicial de la onda, y hay diversos criterios que se pueden establecer.

En el caso de la onda directa, puesto que se trata de una superposición de la onda en el aire y la onda directa, es muy complicado establecer cuál es el máximo que indica la llegada de la segunda. En cuanto a la onda reflejada, al ser la onda que viaja por el interior del medio y en su trayectoria sufre atenuación y el efecto del medio propiamente, es también muy complicado estimar cuál es el máximo representativo de su llegada.

Es por ello que en este trabajo se considera más apropiado calcular todas las velocidades con todos los intervalos posibles de tiempos de llegada de las ondas. Para esto, en primer lugar se analizan todas las combinaciones posibles de intervalos de diferencia de llegada entre la onda directa y la reflejada. Como se indica en la Figura 33, en la onda directa se identifican 3 máximos (D1, D2 y D3) al igual que en la reflejada (R1, R2 y R3). De esta forma, se calculan todos los intervalos posibles entre estos máximos y para cada intervalo se promedian los valores obtenidos en los nueve puntos de registro de georradar tomados en cada cara, mediante la expresión:

$$v = \frac{2 \cdot d}{\Delta t_D^R} = \frac{\left( 2 \cdot \sqrt{b^2 + \frac{d_0^2}{2}} \right)}{\Delta t_D^R} \quad \text{Ecuación 14}$$

siendo  $d$  la semidistancia que recorre la onda reflejada,  $d_0$  la distancia entre emisor y receptor (4 cm) y  $b$  el espesor del medio (12cm).

El cálculo de la velocidad se efectúa a través de un algoritmo programado en VBA en Excel. Parte del desarrollo del algoritmo y su adecuación al presente estudio se realizó en este trabajo. El primer algoritmo utilizado determina el tiempo transcurrido hasta cada uno de los máximos a utilizar, tanto de onda directa como reflejada (D1, D2, D3, R1, R2 y R3). Para la detección de estos máximos se acotan dos intervalos (para directa y reflejada) donde se buscan 3 máximos en cada uno, extrayéndose el tiempo para cada máximo. Estos intervalos se acotan manualmente para cada probeta, ya que la onda va retrasándose conforme se va incrementando la cantidad de agua absorbida.

Una vez determinados los tiempos entre pares de máximos, a través de la ecuación del cálculo de la velocidad. En el apartado "9.3.- Anejo 3: Listado de velocidades de propagación en cm/s" se detallan los valores de velocidad obtenidos para las 24 probetas en estado seco y húmedo.

#### 5.4.2.- Amplitudes y atenuaciones o nivel de energía de las ondas

Tras aplicar el algoritmo para el cálculo de los incrementos de tiempo y aplicar la fórmula para el cálculo de la velocidad de onda, se aplican otro algoritmo. Éste realiza la misma tarea que en el caso de los tiempos, pero extrayendo el valor de la amplitud en cada uno de los 6 máximos determinados previamente. Seguidamente se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del valor de la atenuación o también llamado nivel de energía:

$$\alpha = 20 \cdot \log \left( \frac{A_i}{A_0} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

donde  $A_i$  es la amplitud registrada y  $A_0$  es la amplitud del primer máximo positivo cuando se realiza una emisión al aire.

Finalmente los valores de niveles de energía obtenidos para cada uno de los 9 puntos por cara, para los casos de probeta húmeda y seca, se adjuntan en el apartado "9.4.- Anejo 4: Listado de atenuaciones".

Para más información sobre el procedimiento de cálculo empleado se pueden consultar los algoritmos utilizados, adjuntos en el apartado "9.5.- Anejo 5: Algoritmos de cálculo".



## 6.- Interpretación de resultados

En este apartado se desarrolla la explicación de los resultados obtenidos, intentando establecer el patrón de comportamiento y estableciendo una correlación de los resultados obtenidos por medio de la técnica de georradar con la profundidad de avance del frente de agua.

### 6.1.- Análisis de la variación de velocidades de propagación

Se calculan, para cada probeta, las diferencias de velocidades obtenidas cuando estaban secas y las obtenidas tras la inmersión, por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta v \left( \frac{cm}{ms} \right) = v_i - v_s \quad \text{Ecuación 16}$$

donde  $v_i$  es la velocidad de propagación en una probeta tras la inmersión y  $v_s$  la velocidad previa a la inmersión. En el apartado “9.3.- Anejo 3: Listado de velocidades de propagación en cm/s” se incluyen los valores incrementales obtenidos para cada probeta y punto de medición.

En la Tabla 7 se muestran los valores promedio por probeta de los incrementos de velocidades calculados tomando cada una de las distintas posibilidades de máximos a estudio. Es decir, el procedimiento de cálculo es el siguiente: La variación de velocidad se halla calculando la resta entre el valor de la velocidad para cada punto de la probeta en húmedo menos el valor de la velocidad para cada punto de la probeta en seco, para cada uno de los intervalos entre los puntos de la onda a estudio ( $R1-D1$ ,  $R1-D2$ ,  $R1-D3$ ,  $R2-D1$ ,  $R2-D2$ ,  $R2-D3$ ,  $R3-D1$ ,  $R3-D2$ ,  $R3-D3$ ).

A continuación en la Figura 35 se puede observar como independientemente del criterio elegido, es decir, qué máximos se han empleado, se observa que a medida que se va incrementando el tiempo de inmersión en agua se va reduciendo la velocidad de propagación de la onda.

Se considera muy interesante poder saber el grado de correlación entre la variación de las velocidades de propagación de las ondas y la profundidad de la huella de agua medida tras la rotura de las probetas. Para ello se han calculado los valores promedio de las velocidades y profundidades de huella para cada probeta. Los valores promedio de cada probeta de la velocidad de propagación son los mostrados en la Tabla 7 y los promedios por probeta de la huella de agua en la Tabla 6.

Se muestra en la Figura 36, Figura 37 y Figura 38 las gráficas correspondientes a los diferentes intervalos, representando por una nube de puntos los valores promedios y una línea polinómica de ajuste a dichos valores, junto con la ecuación y el  $R^2$  correspondiente en cada caso.

Tabla 7. Valores promedio de la variación de la velocidad de propagación en cm/ns

	PROMEDIO INCREMENTO VELOCIDADES HÚMEDA-SECA								
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,06	0,25	0,47	-0,08	0,15	0,29	-0,12	0,04	0,11
P2	-0,44	0,41	0,86	-0,42	0,25	0,53	-0,39	0,12	0,29
P3	-0,42	0,23	1,07	-0,41	0,09	0,67	-0,31	0,10	0,54
P4	-0,69	-0,62	2,00	-0,62	-0,56	1,36	-0,59	-0,56	0,82
P5	-0,74	-0,79	-2,23	-0,62	-0,65	-1,75	-0,50	-0,51	-1,32
P6	-0,72	-0,64	-1,18	-0,62	-0,55	-0,97	-0,51	-0,45	-0,74
P7	-0,74	-0,70	-1,36	-0,65	-0,61	-1,11	-0,61	-0,58	-0,97
P8	-0,86	-0,82	-1,50	-0,77	-0,74	-1,27	-0,68	-0,65	-1,05
P9	-0,95	-0,92	-1,50	-0,83	-0,78	-1,21	-0,73	-0,70	-1,03
P10	-0,96	-0,95	-1,38	-0,85	-0,83	-1,16	-0,74	-0,72	-0,96
P11	-0,92	-0,90	-1,32	-0,82	-0,80	-1,13	-0,73	-0,71	-0,96
P12	-1,10	-1,03	-1,28	-0,96	-0,90	-1,08	-0,86	-0,82	-0,96
P13	-1,28	-1,25	-1,15	-1,15	-1,12	-1,05	-0,94	-0,89	-0,80
P14	-1,31	-1,43	-1,42	-1,15	-1,23	-1,21	-0,84	-0,83	-0,72
P15	-1,39	-1,46	-1,35	-1,21	-1,26	-1,15	-0,98	-0,98	-0,85
P16	-1,53	-1,69	-1,71	-1,39	-1,52	-1,55	-1,06	-1,11	-1,04
P17	-1,52	-1,70	-1,74	-1,32	-1,44	-1,44	-1,02	-1,06	-0,97
P18	-1,66	-1,96	-2,39	-1,50	-1,74	-2,07	-1,05	-1,14	-1,24
P19	-1,57	-1,78	-1,89	-1,39	-1,55	-1,62	-1,08	-1,15	-1,11
P20	-1,61	-1,80	-2,10	-1,44	-1,59	-1,82	-1,07	-1,11	-1,17
P21	-1,64	-1,85	-2,19	-1,44	-1,60	-1,85	-1,05	-1,09	-1,14
P22	-1,72	-1,96	-2,29	-1,54	-1,73	-1,98	-1,09	-1,15	-1,18
P23	-1,67	-1,90	-2,18	-1,48	-1,66	-1,87	-1,09	-1,15	-1,17
P24	-1,66	-1,85	-2,34	-1,49	-1,65	-2,03	-1,09	-1,13	-1,28

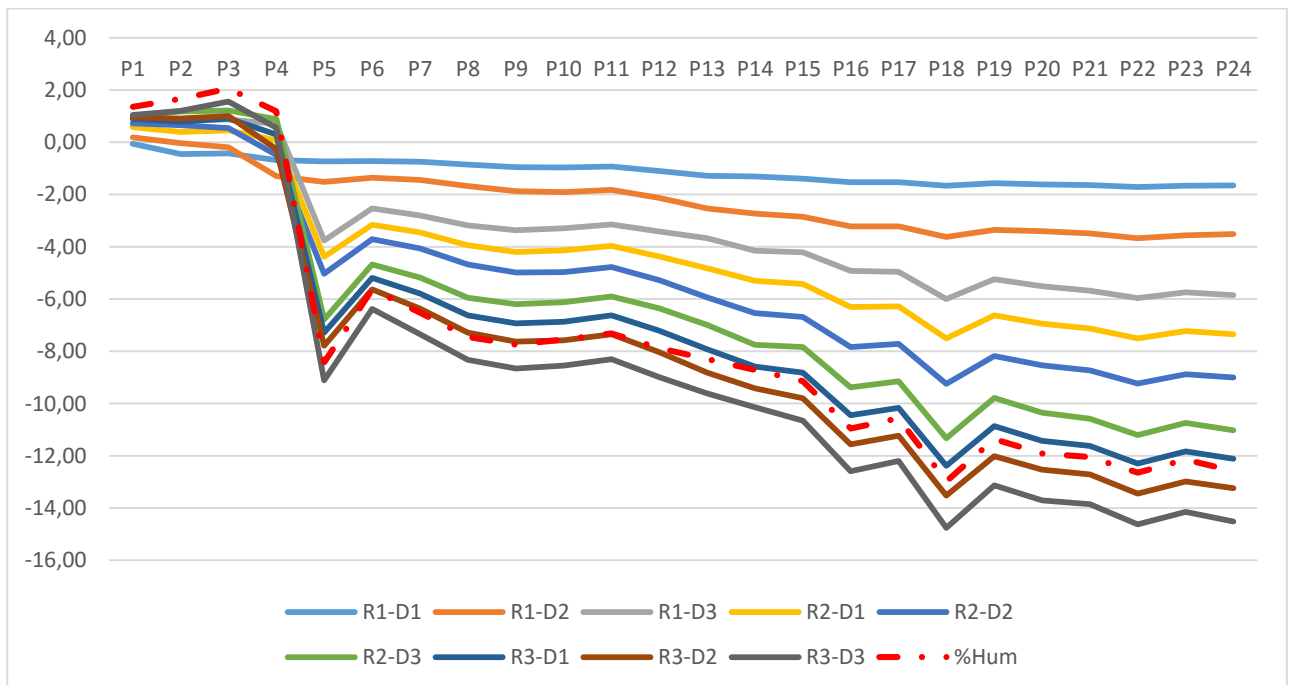


Figura 35. Evolución del valor promedio de la variación de velocidad de propagación

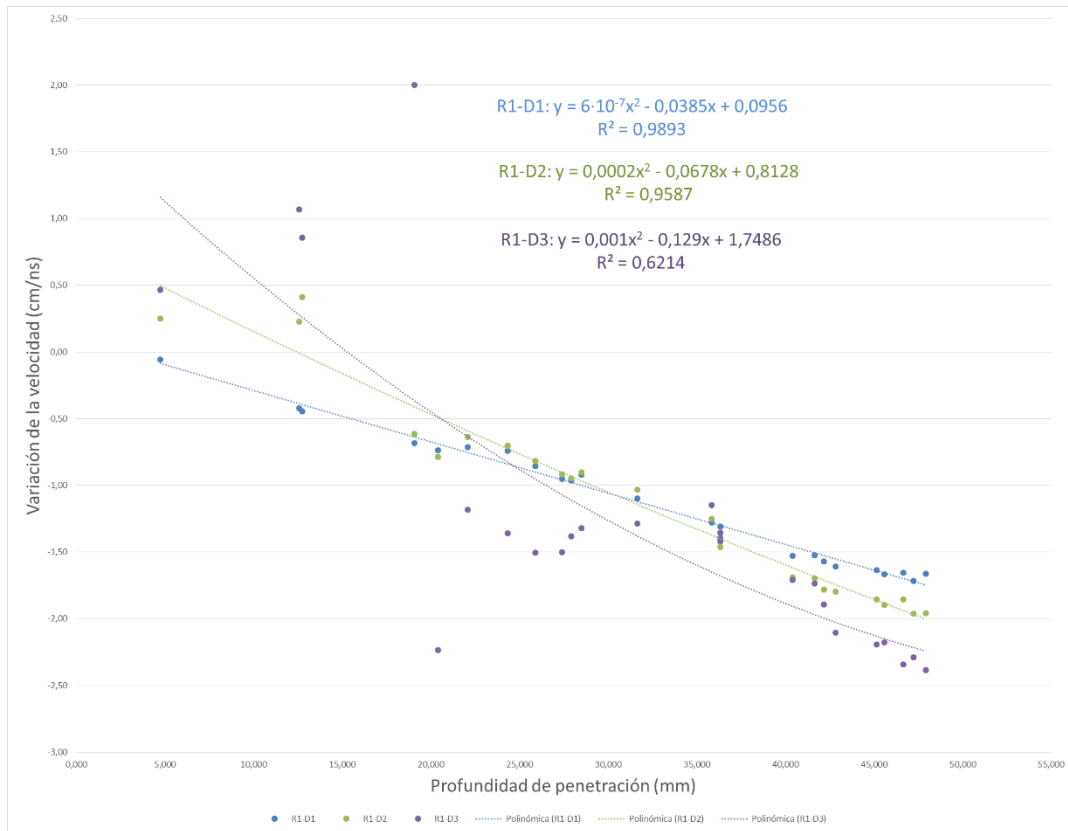


Figura 36. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R1 a D1, D2, D3

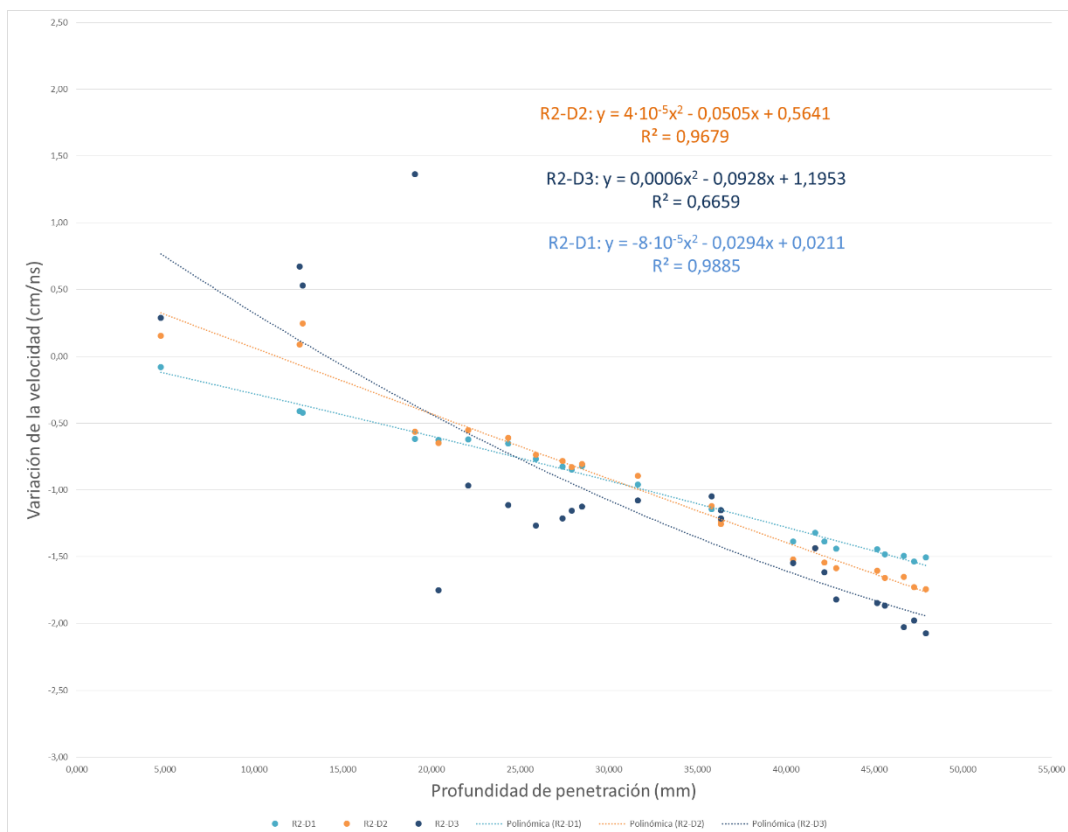


Figura 37. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R2 a D1, D2, D3

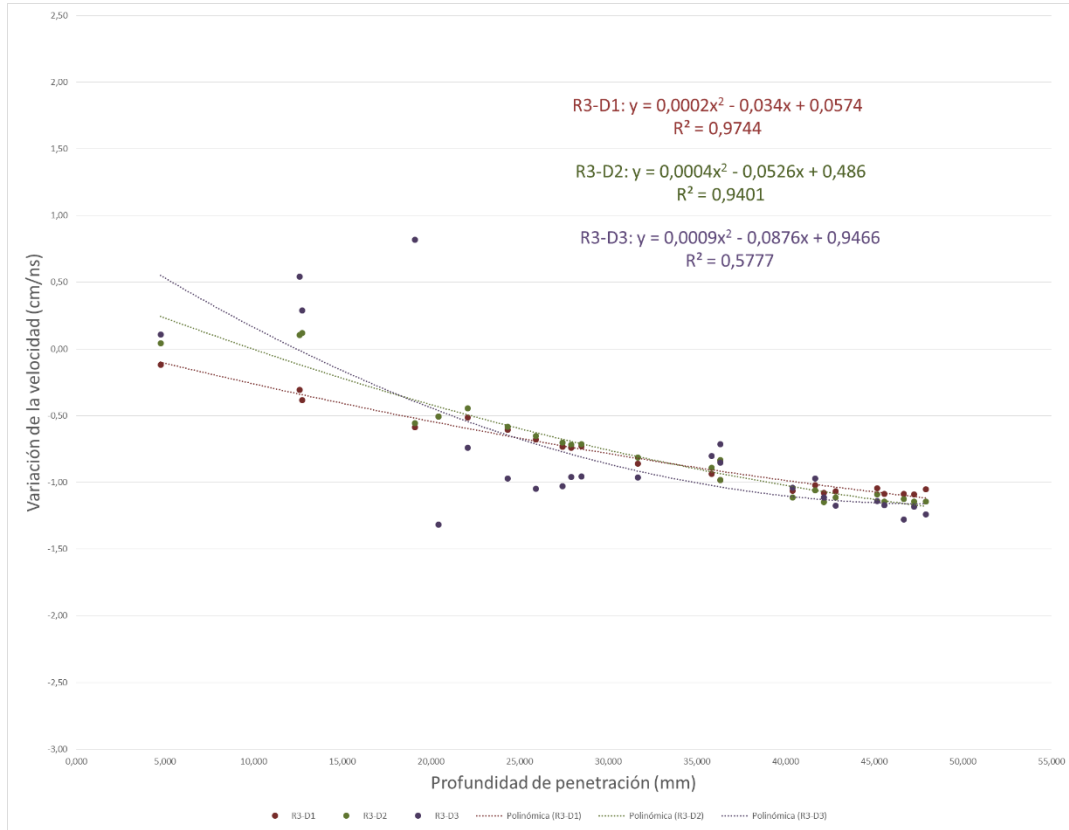


Figura 38. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R3 a D1, D2, D3

Se ha analizado también la correlación entre la velocidad de propagación de las ondas y el contenido de humedad de las probetas. De forma análoga al paso anterior, se muestra en Figura 39, Figura 40 y Figura 41 las gráficas para esta correlación.

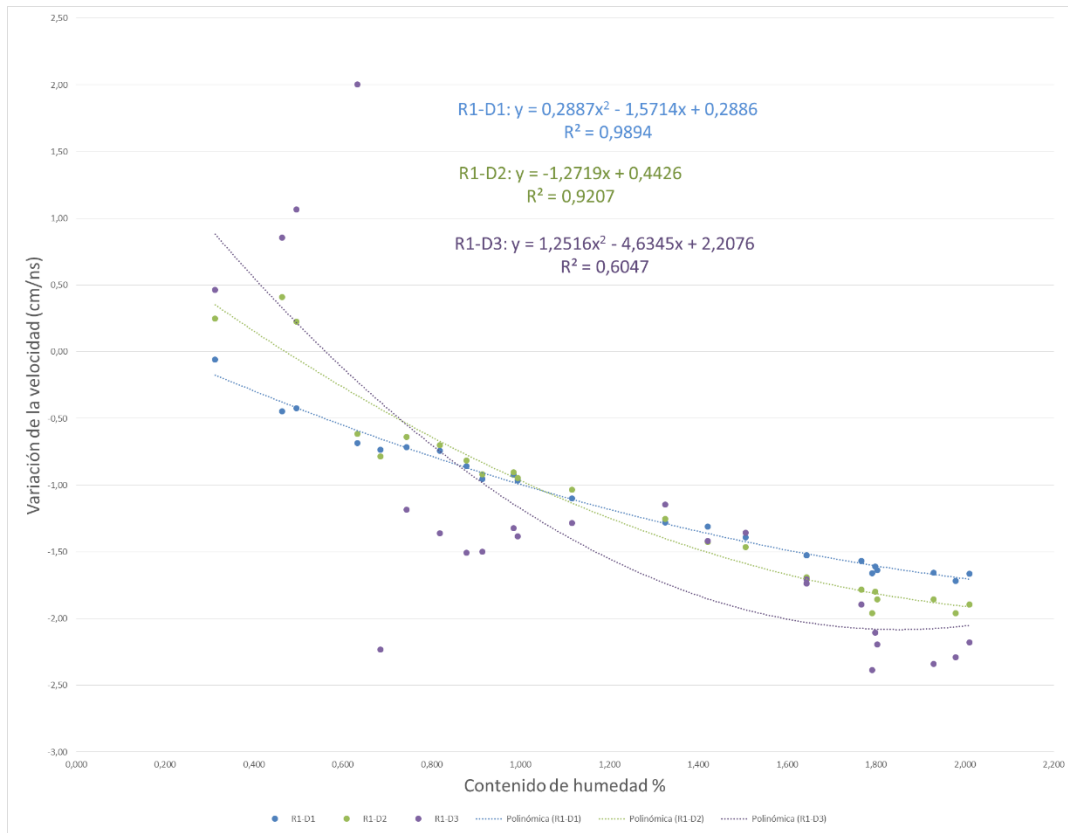


Figura 39. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R1 a D1,D2,D3

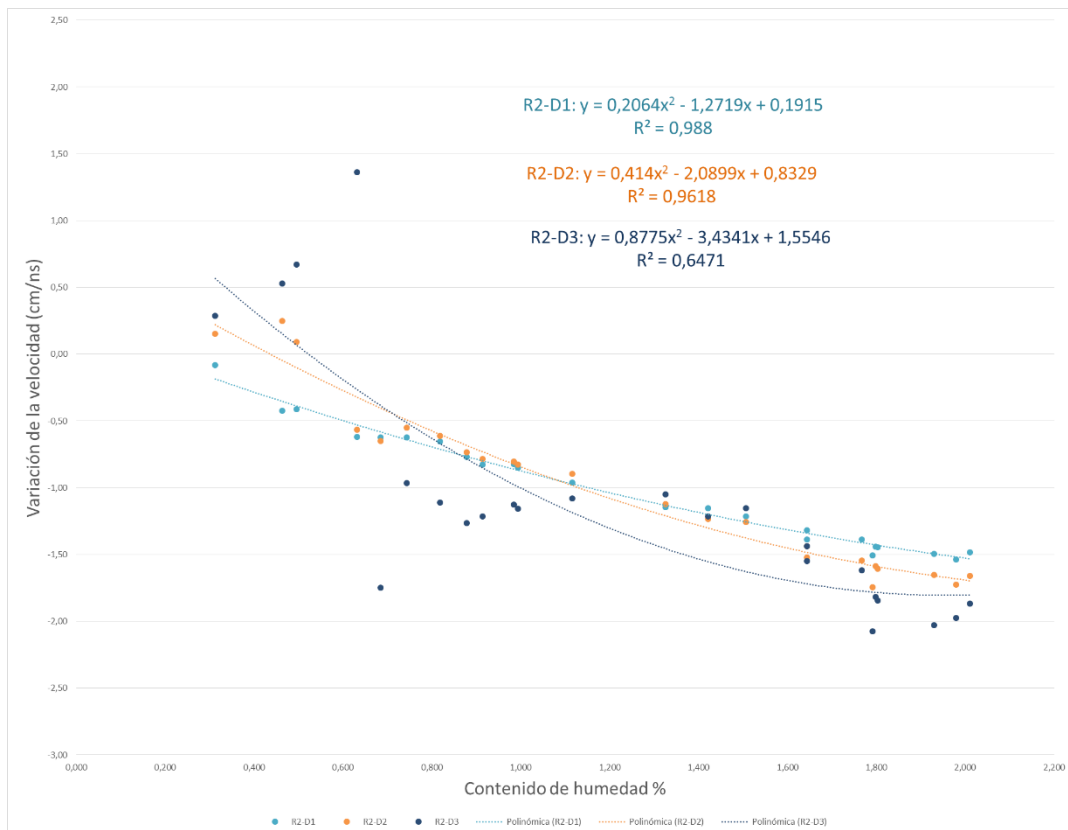


Figura 40. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R2 a D1,D2,D3



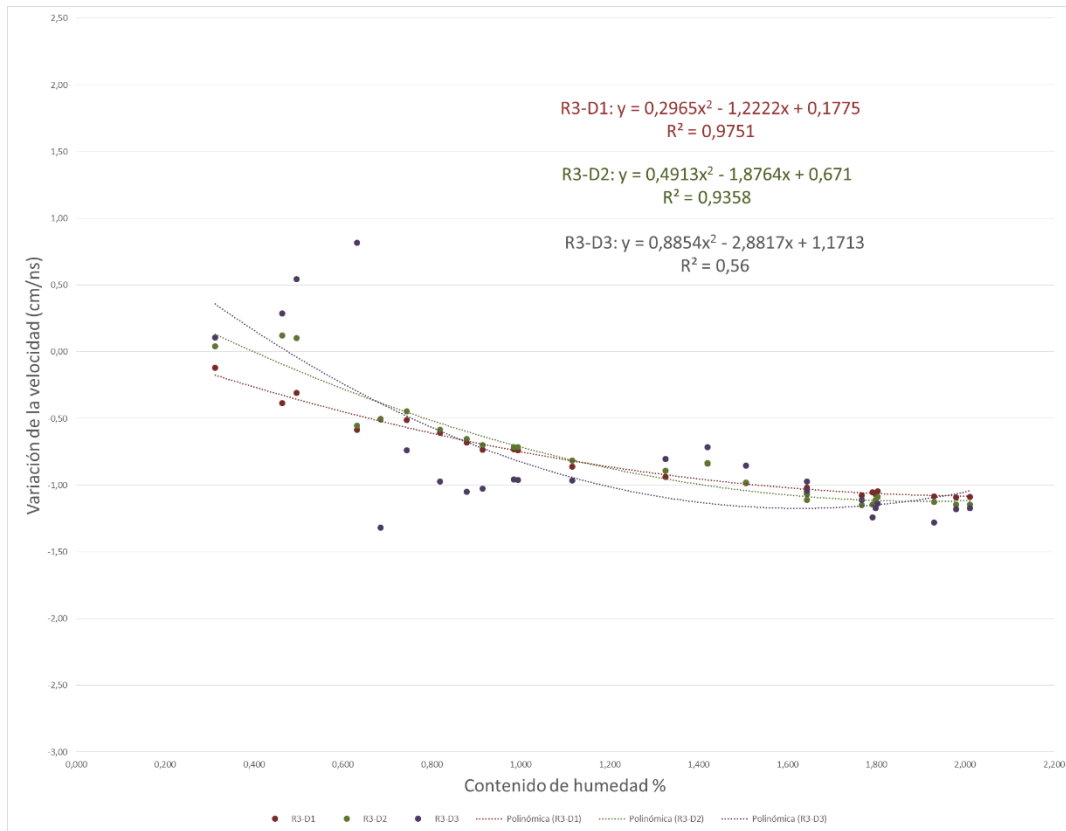


Figura 41. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R3 a D1, D2, D3

Como se puede observar en las gráficas, la mejor correlación en ambos casos se da para el intervalo de medición *R1-D1*. Para el caso de la variación de la velocidad respecto a la profundidad de penetración (Figura 42) se obtiene para la ecuación  $y = 6^{-7}x^2 - 0'0385x + 0'0956$  un valor de  $R^2=0'9893$ , siendo un coeficiente de correlación muy elevado.

Para el caso de la variación de la velocidad respecto al contenido de humedad (Figura 43) se obtiene para la ecuación  $y = 0'2887x^2 - 1'5714x + 0'2886$  un valor de  $R^2=0'9894$ , siendo un coeficiente de correlación muy elevado, y ligeramente superior al caso anterior.

Los resultados son muy interesantes, puesto que se han obtenido coeficientes de correlación muy elevados, con valores de  $R^2$  muy próximos a la unidad tanto analizando los datos respecto a la profundidad de penetración de agua (mm) como respecto al contenido de humedad (%) de la probeta.

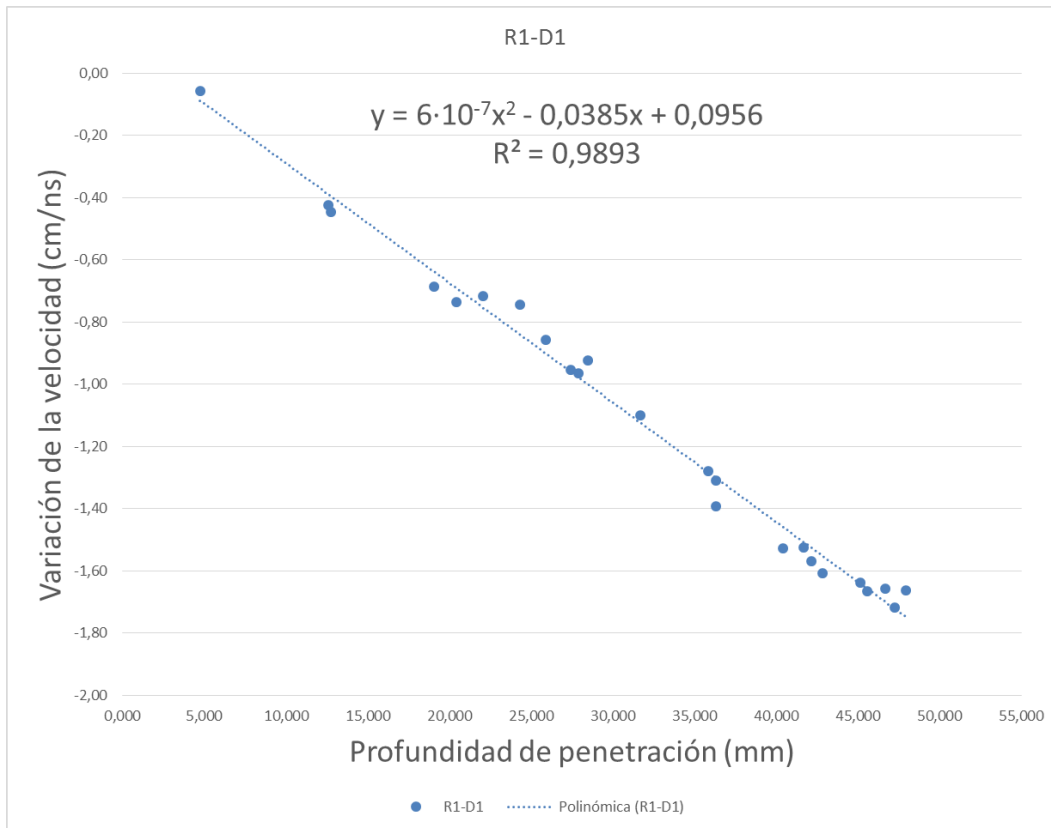


Figura 42. Variación de velocidad (ns) respecto penetración de agua (mm) para R1-D1

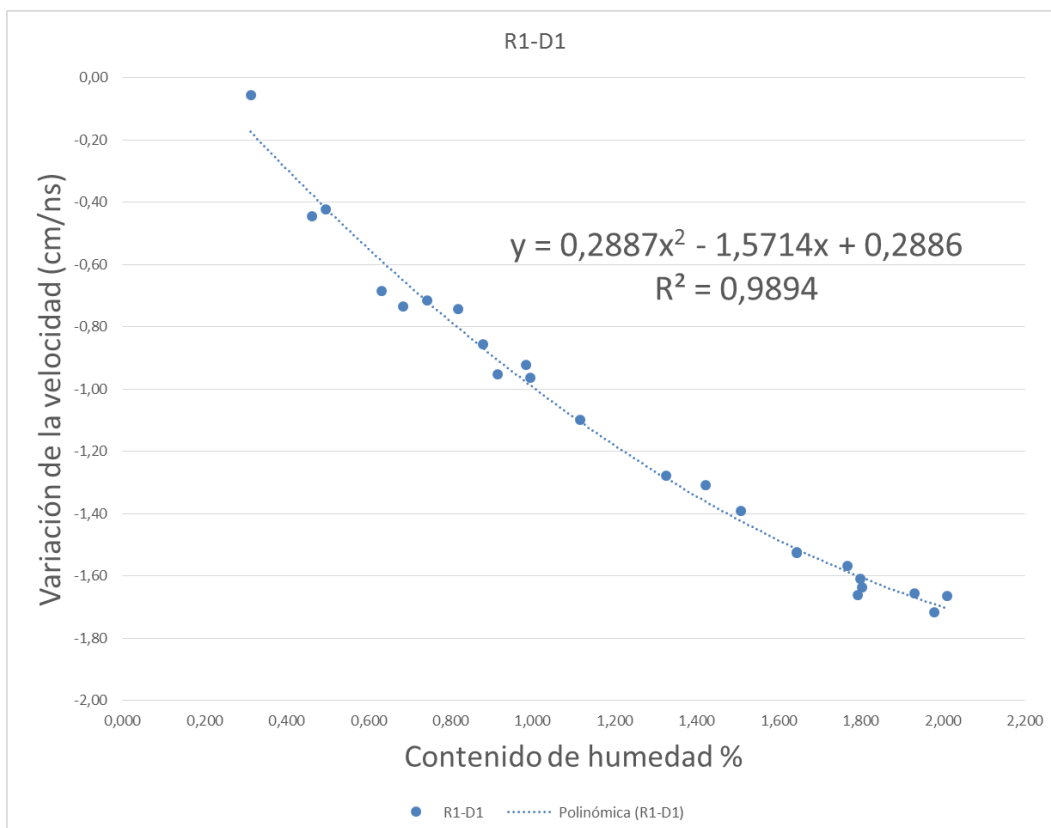


Figura 43. Variación de velocidad (ns) respecto al contenido de humedad (%) para R1-D1

## 6.2.- Análisis de la variación de atenuaciones

El cálculo para el análisis de la variación de las atenuaciones se ha efectuado de forma similar al de la variación de velocidad, pero en vez de analizar un intervalo se ha medido en el radargrama el valor de amplitud de cada uno de los máximos de onda ( $D1, D2, D3, R1, R2, R3$ ) para cada punto en estudio y para cada probeta. Posteriormente se ha comparado el registro de la probeta en seco con el registro de la probeta tras la inmersión.

Se ha estudiado el incremento que se produce en el nivel de energía recibida entre la probeta seca ( $\alpha_s$ ) y tras la inmersión ( $\alpha_i$ ). El parámetro finalmente evaluado para cada máximo se ha calculado por medio de la ecuación:

$$\Delta\alpha = \alpha_i - \alpha_s \quad \text{Ecuación 17}$$

donde  $\alpha_i$  es el valor del nivel de energía de la probeta tras la inmersión en agua y  $\alpha_s$  es el valor del nivel de energía de la probeta seca. Los valores obtenidos de este incremento para cada probeta y punto se detallan en el apartado “9.4.- Anejo 4: Listado de atenuaciones”. En la Tabla 8 se presentan los valores promedio.

En la Figura 44 se representa para las 24 probetas el valor promedio del incremento de atenuaciones. En las primeras probetas, debido a que el frente de penetración de agua y el límite de la probeta están muy cercanos, no se ve muy afectado el nivel de energía.

Tabla 8. Valores promedio de la diferencia de atenuaciones Húmeda-Seca

	Promedio Atenuaciones Húmeda-Seca					
	D1	D2	D3	R1	R2	R3
P1	-8,04	-1,04	4,77	-3,60	-2,65	-3,21
P2	-10,86	-6,81	2,50	-2,96	-2,65	-3,23
P3	-10,54	-9,08	-0,01	-1,04	-2,59	-5,21
P4	-10,95	-13,03	-5,27	-2,77	-3,25	-3,62
P5	-10,80	-11,79	-40,70	-5,18	-5,00	-5,66
P6	-11,64	-11,06	-40,50	-3,77	-4,70	-5,59
P7	-11,39	-10,43	-34,46	-4,51	-4,45	-3,77
P8	-10,88	-9,92	-20,94	-5,64	-4,38	-3,55
P9	-10,18	-9,89	-13,16	-6,02	-4,53	-3,55
P10	-12,21	-9,98	-9,88	-5,62	-5,35	-6,13
P11	-11,63	-10,59	-10,40	-5,85	-5,63	-5,43
P12	-12,02	-10,23	-7,14	-4,96	-5,31	-5,35
P13	-12,74	-10,55	-7,47	-4,94	-7,43	-9,21
P14	-12,10	-11,09	-9,74	-7,05	-8,13	-11,99
P15	-11,44	-11,67	-9,55	-8,32	-8,31	-9,93
P16	-12,37	-11,51	-12,49	-8,76	-8,83	-9,96
P17	-12,59	-11,35	-11,58	-10,12	-9,45	-11,44
P18	-11,94	-11,43	-13,64	-9,71	-9,36	-14,17
P19	-11,57	-12,17	-12,84	-9,99	-10,36	-12,04
P20	-11,82	-11,51	-12,44	-9,97	-10,04	-11,52
P21	-10,71	-11,09	-10,74	-10,79	-9,93	-12,93
P22	-11,52	-11,68	-11,59	-12,53	-11,08	-17,36
P23	-12,38	-11,07	-11,21	-14,08	-12,50	-16,51
P24	-11,63	-10,28	-9,64	-13,09	-11,62	-15,44

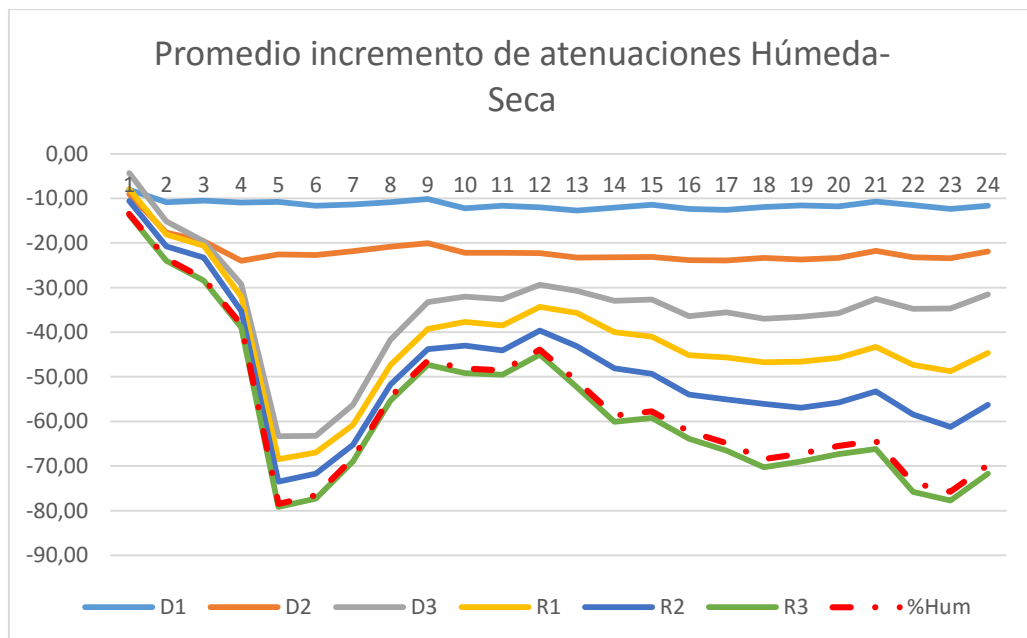


Figura 44. Evolución del valor promedio de la variación de atenuación

De igual manera que con el análisis de las velocidades de propagación, se ha buscado saber el grado de correlación entre la variación de las atenuaciones de las ondas y la profundidad de la huella de agua medida tras la rotura de las probetas. Para ello se han calculado los valores promedio de las atenuaciones y profundidades de huella para cada probeta. Los valores promedio de cada probeta de la atenuación son los mostrados en la Tabla 8 y los promedios por probeta de la huella de agua en la Tabla 6.

Se muestra en la Figura 45 y Figura 46 las gráficas correspondientes a los diferentes intervalos, representando por una nube de puntos los valores promedios y una línea polinómica de ajuste a dichos valores, junto con la ecuación y el  $R^2$  correspondiente en cada caso.

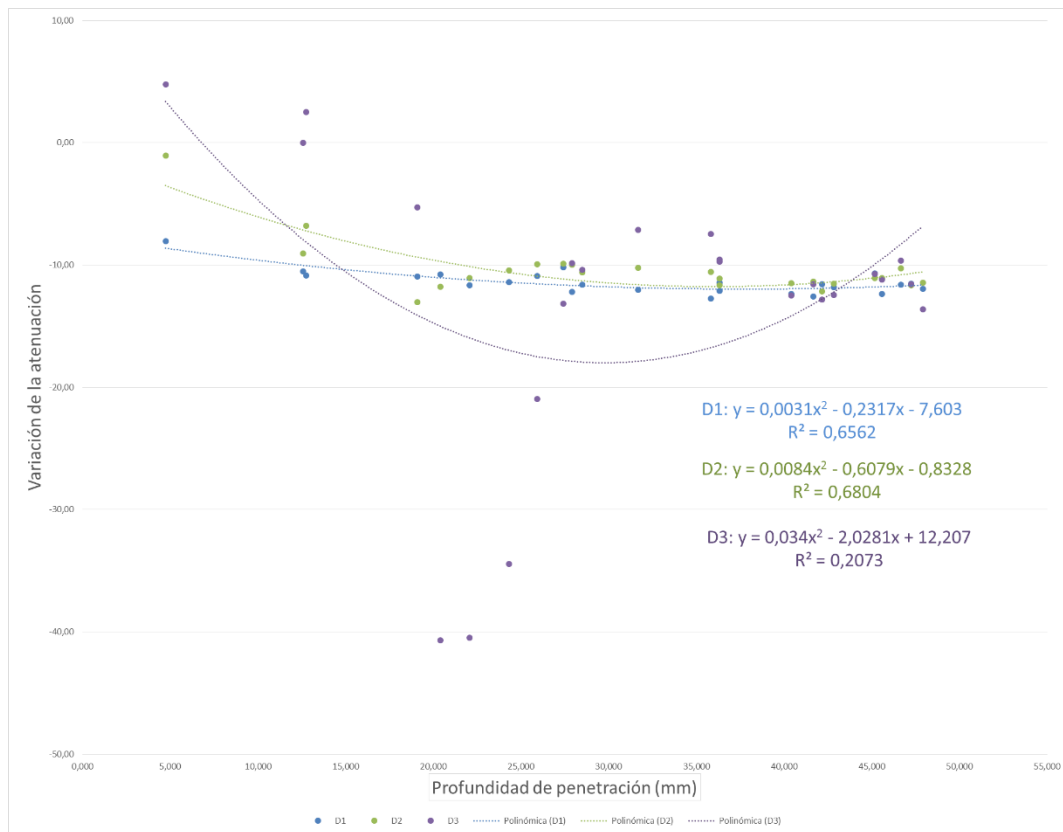


Figura 45. Análisis de las atenuaciones respecto a la profundidad de penetración (mm). D1, D2, D3

El comportamiento de esta señal puede resultar algo errático, pero esto es debido a que al colocar la antena sobre la superficie que se ha sumergido ocurre un fenómeno: el solape entre dos señales. Por una parte está la onda directa y por otro la reflexión en la interfase del hormigón húmedo con el seco. En este contexto y al producirse a una distancia menor de la resolución vertical, no es posible definir un patrón de comportamiento.

No obstante, sí se puede, por medio del estudio de las atenuaciones de las ondas reflejadas, obtener información significativa del avance del frente del agua, tal y como indican los altos coeficientes de correlación (Figura 46).

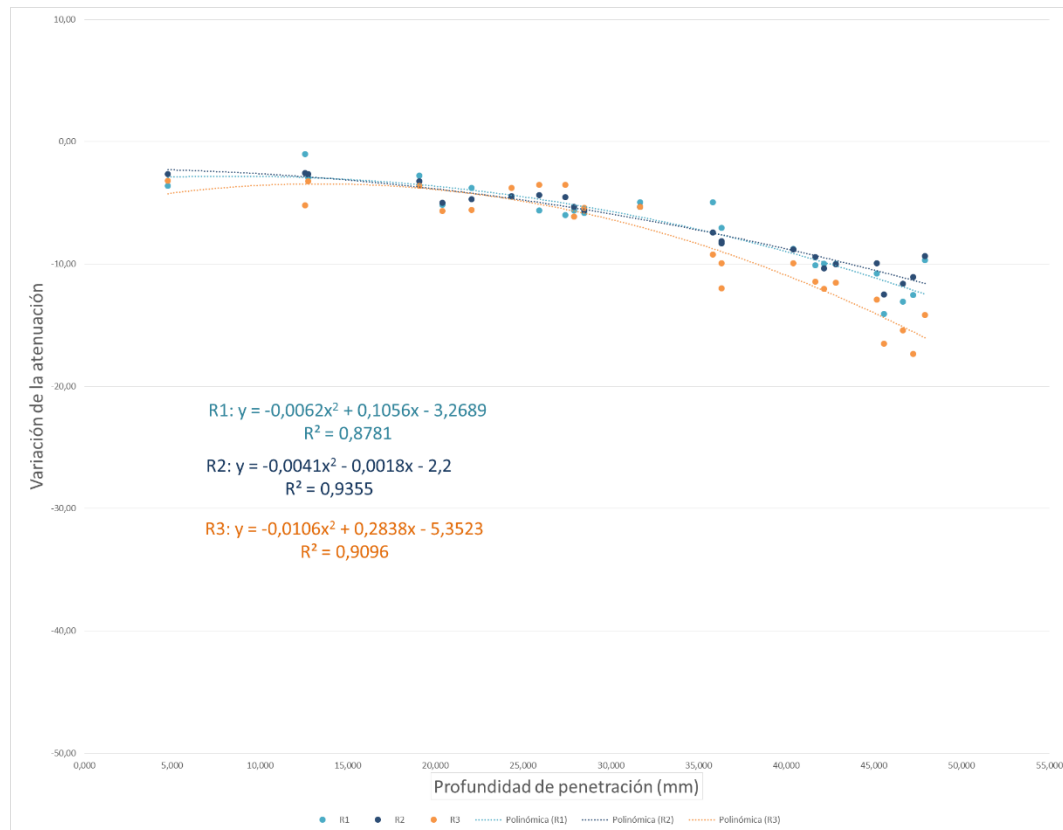


Figura 46. Análisis de las atenuaciones respecto a la profundidad de penetración (mm). R1, R2, R3

Se ha analizado también la correlación entre la atenuación de las ondas y el contenido de humedad de las probetas. De forma análoga al paso anterior, se muestra en la Figura 47 y Figura 48 las gráficas para esta correlación.

Como se puede observar en las gráficas, la mejor correlación en ambos casos se da para el máximo R2. Para el caso de la variación de la atenuación respecto a la profundidad de penetración (Figura 49) se obtiene para la ecuación  $y = -0'0041x^2 - 0'0018x - 2'2$  un valor de  $R^2=0'9355$ , siendo un coeficiente de correlación elevado.

Para el caso de la variación de la velocidad respecto al contenido de humedad (Figura 50) se obtiene para la ecuación  $y = -1'2838x^2 - 2'5294x - 1'5328$  un valor de  $R^2=0'9762$ , siendo un coeficiente de correlación muy elevado.

Al igual que en el análisis de la variación de las velocidades, los resultados son muy interesantes, puesto que se han obtenido coeficientes de correlación elevados, con valores de  $R^2$  superiores a 0,9 tanto analizando los datos respecto a la profundidad de penetración de agua (mm) como respecto al contenido de humedad (%) de la probeta.

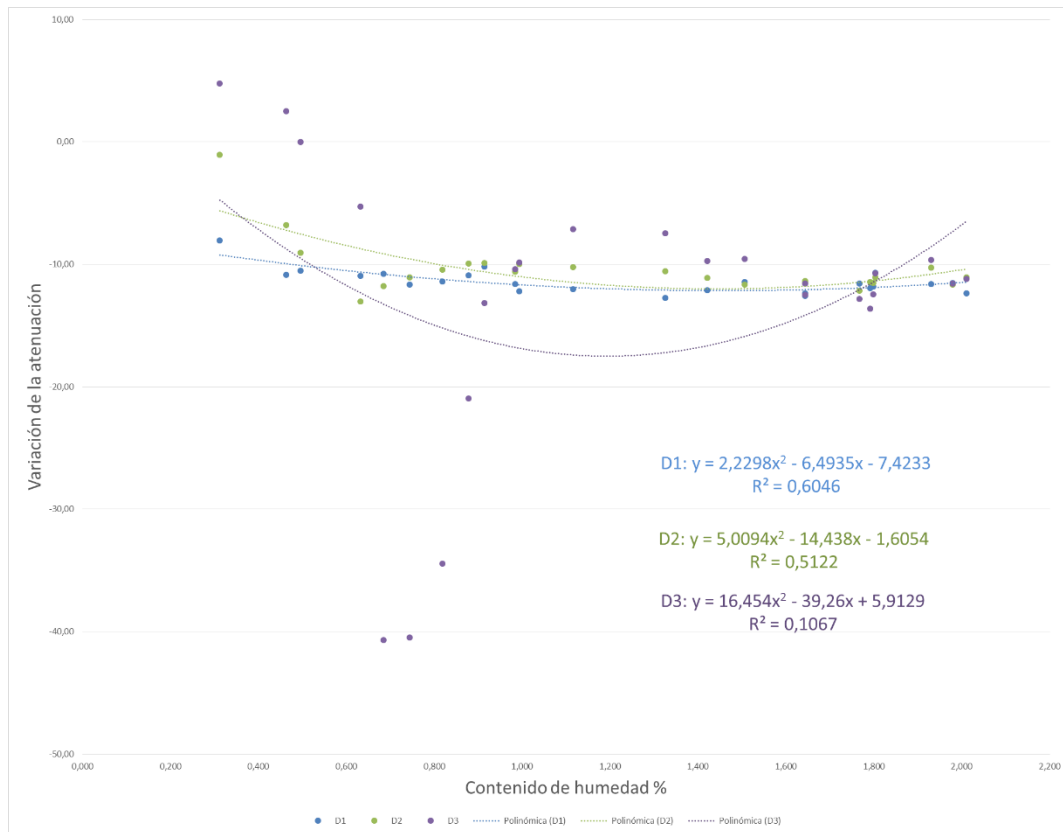


Figura 47. Análisis de las atenuaciones respecto al contenido de humedad (%). D1, D2, D3

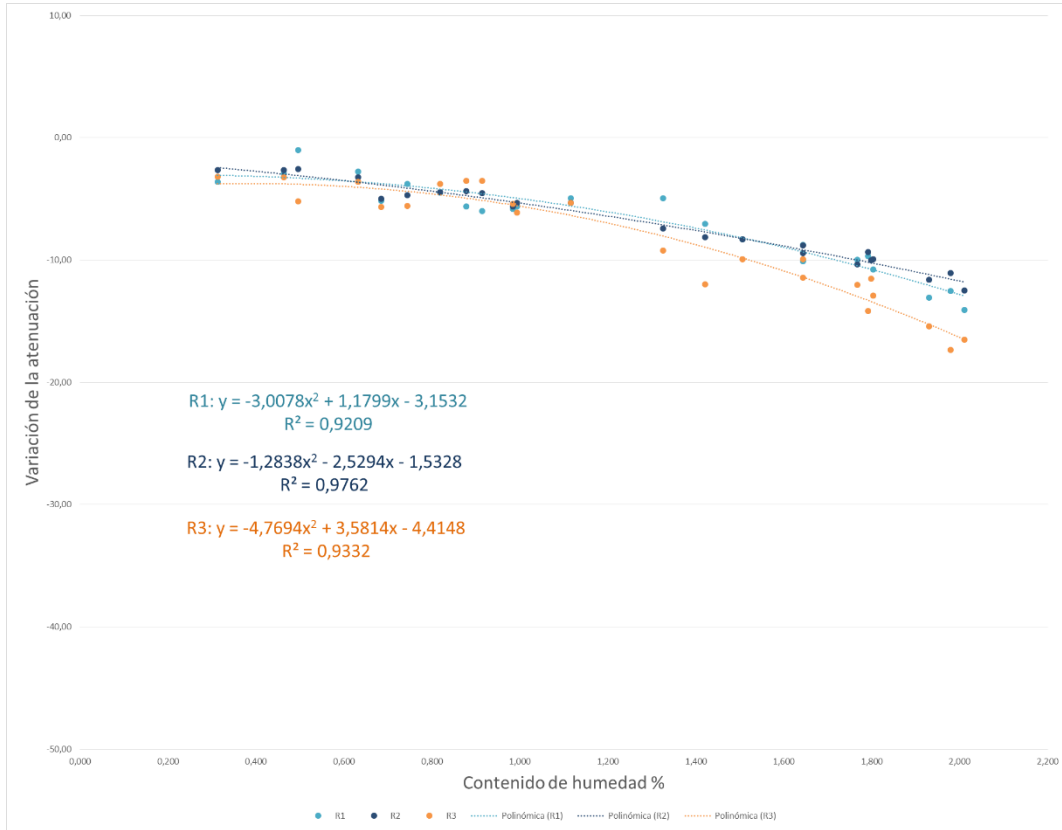


Figura 48. Análisis de las atenuaciones respecto al contenido de humedad (%). R1, R2, R3

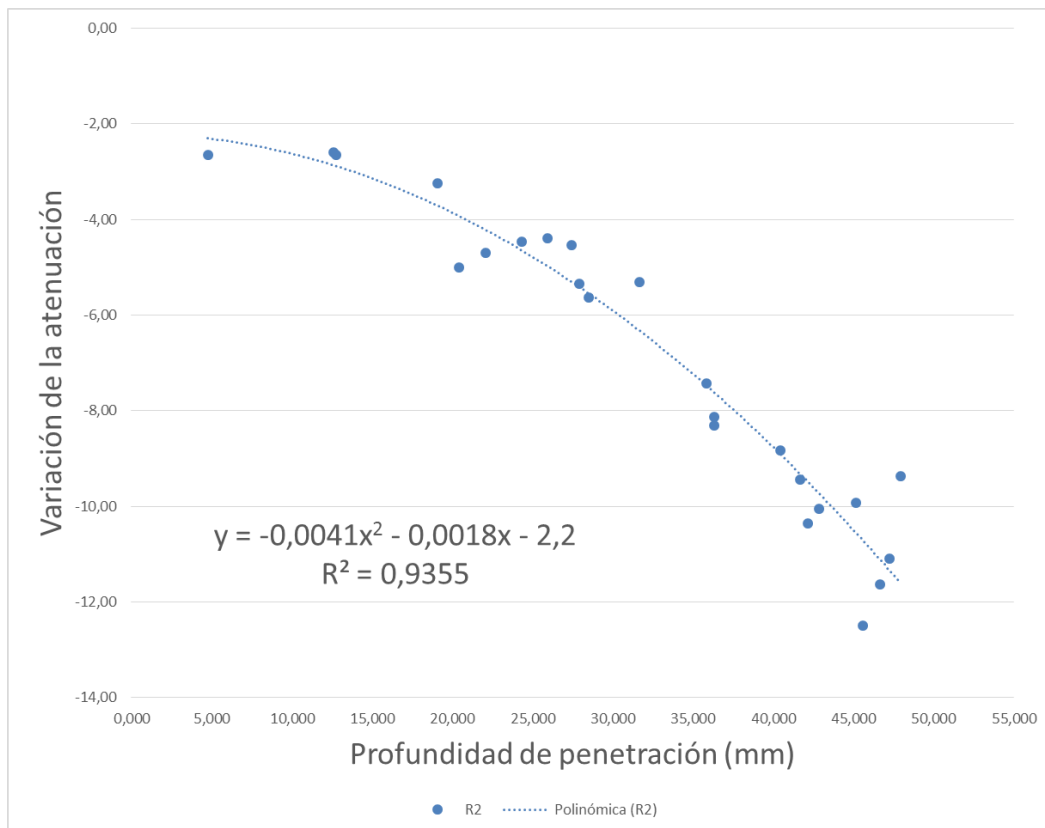


Figura 49. Variación de atenuación respecto a la penetración de agua (mm) para R2



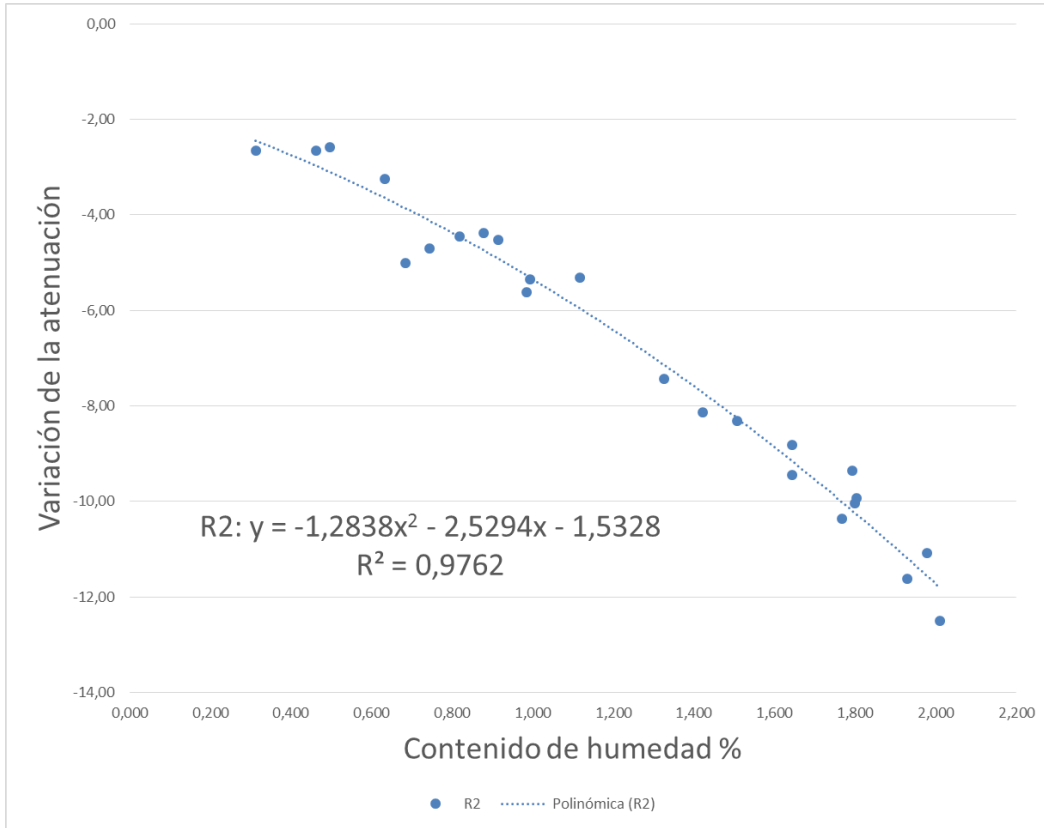


Figura 50. Variación de atenuación respecto al contenido de humedad (%) para R2

## 7.- Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El estudio llevado a cabo para este trabajo me ha permitido comprobar la utilidad del análisis de dos parámetros de onda, obtenidos a partir de los registros adquiridos con el equipo del georradar, a la hora de estudiar la absorción de agua en el hormigón endurecido y la penetración de agua. Se trata de los tiempos dobles de propagación, a partir de los cuales se obtiene la velocidad de propagación y la constante dieléctrica; y las amplitudes, a partir de las que se obtiene el nivel de energía de las ondas emitidas por el georradar.

En referencia a los resultados de los análisis con la variación de la velocidad de propagación de onda hay que destacar los muy buenos resultados obtenidos, donde la capacidad para predecir el avance del frente de agua o el contenido de humedad es muy alta. Estas correlaciones obtenidas entre las variaciones de velocidad de onda son muy prometedoras dentro del campo de estudio del uso de Georradar, para la detección del frente de avance de penetración de agua o del contenido de humedad, ya que se han obtenido valores de  $R^2$  de casi 0'99 en ambos casos, en función de los máximos elegidos para el estudio.

Asimismo, analizando las atenuaciones de onda se han obtenido unos buenos resultados, con valores de  $R^2$  de casi 0'98 en las correlaciones para predecir en contenido de humedad, o de valores de  $R^2$  de casi 0'94 para predecir la profundidad de penetración.

Tras la realización de este Trabajo de Fin de Máster se puede concluir que se ha podido identificar claramente el avance del frente de penetración de agua analizando la variación de la velocidad de las ondas electromagnéticas o la atenuación de éstas, obtenidas mediante la técnica del Georradar.

A la luz de los resultados obtenidos en este estudio, la principal conclusión es el gran potencial que tiene el Georradar como sistema realizar ensayos no destructivos para evaluar la absorción de agua en el hormigón endurecido, puesto que tanto el dispositivo de registro empleado como el procesamiento de los registros es muy sencillo (desplazamiento de la antena por una de las caras) y a pesar de ello los resultados son muy prometedores.

No obstante, sería interesante mejorar, implementar y automatizar parte del proceso; así como desarrollar el software específico que permitiera agilizar el proceso.

Los resultados de este estudio con el Georradar tienen un gran potencial y su desarrollo con otros métodos puede proporcionar excelentes resultados. Esta técnica no destructiva tiene, a

mi juicio, un futuro prometedor. No obstante, puesto que nos encontramos al inicio de la investigación se proponen las siguientes futuras líneas de trabajo:

- Realización de estudios en los que el tiempo de inmersión en agua fuesen mayores.
- Realizar las mediciones con Georradar utilizando antenas de diferente frecuencia para comprobar la mejor resolución.
- Utilizar diferentes calidades y tipos de hormigón.
- Realizar experimentos con hormigón en servicio.

## 8.- Referencias

- Alexander, Machkechnie, J. R. & Ballim, Y., 1999. Guide to the use of durability indexes for achieving durability in concrete structures. *Technical report, Research Monograph 2, Department of Civil Engineering, University Of Cape Town.*
- Benedetto, A. & Pensa, S., 2007. Indirect diagnosis of pavement structural damages using surface GPR reflection techniques. *Journal of Applied Geophysics*, 62(2), pp. 107-123.
- Bungey, J. H., 2004. Sub-surface radar testing of concrete: a review. *Construction and building Materials*, Issue 18, pp. 1-8.
- Capuz Lafarga, L. y otros, 2011. Evaluación de la madera estructural para la rehabilitación de las Naves Cros (Valencia, España), por medio de diferentes técnicas no destructivas. *1er Congreso Ibero-Latinoamericano de la madera en construcción.*
- Capuz-Ladró, R. y otros, 2007. Comparación de técnicas no destructivas en la caracterización de vigas de madera estructural de diferentes especies. *Actas del I Jornada Nacional de Investigación en Edificación, Madrid, España.*
- Conyers, L. & Goodman, D., 1997. *Ground-Penetrating Radar. An Introduction for Archeologists.* s.l.:AltaMira Press.
- Dérobot, X., Iaquina, J., Klysz, G. & Balayssac, J. P., 2008. Uso of capacitive and GPR techniques for the non-destructive evaluation of cover concrete. *NDT & E International*, Issue 41, pp. 44-52.
- FIB Model Code for Service Life Design, 2006. s.l., s.n.
- Fuente, J. y otros, 2014. Evaluación no destructiva de estructuras de hormigón armado mediante la integración de radar del subsuelo y tomografía ultrasónica. *RAHABEND Patología de la construcción, tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio, Santander, España.*
- García, F. y otros, 2007. GPR Technique as a tool for cultural heritage restoration: San Miguel de los Reyes Hieronymite Monastery, 16th century (Valencia, Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 8(1), pp. 87-92.
- García, F., Ramírez, M., Ballester, M. & Benlloch, J., 2004. Study of the archaeological structures of the subsurface in churches of the Society of Jesus, city of Valencia (Spain), derived from the

GPR technique. *Actas del 10th International Conference on Ground Penetrating Radar, Delft, Holanda.*

General Guidelines for Durability Design and Redesign, 2000. *The European Union - Brite EuRam III.* s.l., DuraCrete: Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures.

Gracia, V. P. y otros, 2000. GPR survey to confirm the location of ancient structures under the Valencian Cathedral (Spain). *Journal of Applied Geophysics*, 43(167-174), pp. 2-4.

Huisman, J., Snepvangers, J., Bouten, W. & Heuvelink, G., 2003. Monitoring temporal development of spatial soil water content variation: comparison of ground penetrating radar and time domain reflectometry. *Vadose Zone Journal*, Volumen 2, pp. 519-529.

Klysz, G., J.P., B. & Laurens, S., 2007. Spectral analysis of radar surface waves for non-destructive evaluation of cover concrete. *NDT & E International*, Volumen 37, pp. 221-227.

Kropp & Alexander, 2007. Non-Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of Concrete Cover Chapter 2: Transport Mechanisms and Reference Tests, RILEM Report 040.. *RILEM TC 189-NEC: State of the Art Report*, pp. 13-34.

Lai, W. & Tsang, W. F., 2008. Characterization of pore systems of air/water-cured concrete using ground penetrating radar (GPR) through continuous water injection. *Construction and Building Materials*, Issue 22, pp. 250-256.

Lai, W. & Tsang, W. F., 2009. Characterization of concrete properties from dielectric properties using ground penetrating radar. *Cement and Concrete Research*, Issue 39, pp. 687-695.

Laurens, S. y otros, 2002. Influence of concrete relative humidity on the amplitude of Ground-Penetrating Radar (GPR) signal. *Materials and Structures*, 35(May), pp. 198-203.

Laurens, S. y otros, 2005. Non-destructive evaluation of concrete moisture by GPR experimental study and direct modeling. *Materials and Structures*, 38(283), pp. 827-832.

Laurens, S., El Barrak, M., Balayssac, J. P. & Rhazi, J., 2007. Aptitude of the near-field direct wave of ground-coupled radar antennas for the characterisation of the covercrete. *Construction and Buildings Materials*, Issue 21, pp. 2070-2077.

Luadi, M., Zanzi, L. & Binda, L., 2003. Acquisition and processing requirements for high quality 3D reconstruction from GPR investigations. *Actas del International Symposium of Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Berlín, Alemania.*

- Maierhofer, C., 2003. Nondestructive evaluation of concrete infrastructure with ground penetrating radar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(3), pp. 287-297.
- Maierhofer, C. & Leipold, S., 2001. Radar investigation of masonry structures. *NDT & E International*, Volumen 34, pp. 139-147.
- Maierhofer, C., Leipold, S. & Wiggerhauser, H., 1998. Investigations of the influence of moisture and salt content on the dielectric properties of brick materials using radar. *Actas del Tth International Conference on Ground Penetrating Radar, Kansas, EEUU*.
- Maijala, P., 1992. Application of some seismic data processing methods to ground penetrating radar. *Actas del 4th International Conference on Ground Penetrating Radar. Rovaniemi, Finlandia*.
- Malhotra & Carino, N., 2004. *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. s.l.:CRC Press.
- Martínez Sala, R., Rodríguez Abad, I. & del Val, I., 2013a. Effect of penetration under pressure in hardened concrete on GPR signals. *7th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, Nantes, France*.
- Martínez Sala, R., Rodríguez Abad, I. & del Val, I., 2013b. Seguimiento de la evolución del curado del hormigón por medio de la técnica no destructiva del georradar. *International Conference on Construction Research. Housing: past, present and future, Madrid, Spain*.
- Martínez Sala, R., Rodríguez Abad, I., Díez Barra, R. & Capuz Lladró, R., 2012b. Assesment of the dielectric anisotropy in timber using the nondestructive GPR technique. *Construction & Building Materials*, Issue 38, pp. 903-9011.
- Martínez-Sala, R., Rodríguez-Abad, I. & Tapia, J., 2012a. Analisis of the reflected wave arrival position in timber specimens emitted by GPR with an antenna of 1'6GHz.. *Actas del 2nd International Conference on Construction and Building Research (Valencia, Spain)*.
- Mehta, 1997. Durability - critical issues for the future. *Concrete International*, pp. 27-33.
- Neville, A., 2001. Maintenance and durability of structures. *Concrete International*, pp. 52-56.
- Nilson, y otros, 1996. Chloride penetration into concrete, State-of-the-art, transport processes, corrosion initiation, test methods and prediction models. *The Report, HETEK, Road Directorate, Copenhagen*, Issue 53.
- Otieno, Alexandre, M. & Beushausen, H., 2010. Transport mechanism in concrete, Corrosion of Steel in concrete, Assesment of corrosion.

- Parasnis, D., 1986. *Principles of Applied Geophysics*. London: Chapman & Hall.
- Pérez, V., 2001. *Radar del subsuelo. Evaluación en arqueología y en patrimonio histórico-artístico*. s.l.:Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña, España..
- Pérez, V., García, F. & Rodríguez-Abad, I., 2008. GPR evaluation of the damage found in the reinforced concrete base of a block of flats: A case of study. *NDT & E International*, 41(5), pp. 341-353.
- Porsani, J. L., Sauck, W. A. & Junior, A. O. S., 2006. GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: A case study from southern Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, 58(3), pp. 177-187.
- Ramírez, M. y otros, 2008. Ground penetrating radar survey for subfloor mapping and analysis of structural damage in the Sagrado Corazón de Jesus church, Spain. *Archaeological Prospection*, 15(4), pp. 285-292.
- Ranalli, D., Scozzafava, M. & Tallini, M., 2004. Ground penetrating radar investigatios for the restoration of historic buildings: the case study of the Collemaggio Basilica (L'Aquila, Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), pp. 91-99.
- Rodríguez Abad, I., 2010. *Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera estructural. Tesis doctoral*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Rodríguez Abad, I., Martínez Sala, R., Capuz Lladró, R. & García García, F., 2009a. Analysis of dielectric anisotropy in Pinos pinaster Ait by the GPR technique. *Actas del 5th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, Granada, España*.
- Rodríguez Abad, I. y otros, 2009b. Application f the Non-Destructive Ground Penetrating Radar (GPR) Technique to the Restoration Works of a Timber Structure. *Actas del I Congreso Internacional de Investigación en Edificación, Madrid, España*.
- Rodríguez Abad, I., Martínez Sala, R., Capuz Lladró, R. & García García, F., 2010. Non-destructive methodologies for the evaluation of moisture content in sawn timber structures: Ground penetrating radar and Ultrasound technique. *Near Surface Geophysics*, Volumen 8, pp. 475-486.

- Rodríguez Abad, I. y otros, 2011a. Nondestructive characterization of Maritime Pine sawn timber dielectric anisotropy by means of GPR. *International Workshop on Ground-penetrating radar, Aachen, Germany*.
- Rodríguez Abad, I. y otros, 2011b. Assesment of the variation of the moisture content in the Pinus pinaster ait using the non destructive GPR technique. *Materiales de Construcción*, 61(301), pp. 143-156.
- Rodríguez Abad, I. y otros, 2007a. Use of Ground Penetrating Radar Technique for Structural Timbe Grading-Comparison analysis of grading methods. *Actas del 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Near Surface Geophysics, Estambul, Turquia..*
- Rodríguez Abad, I. y otros, 2007b. Estudio del contenido de humedad de vigas de madera de distintas especies por medio de la técnica no destructiva del georradar. *Actas del IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería, Albacete, España*.
- Rodríguez Abad, I., Martínez Sala, R. & Mené Aparicio, J., 2014. Water penetrability in hardened concrete by GPR. *15th International Conference on Ground Penetrating Radar, Brussels, Belgium*.
- Sbarzai, Z. y otros, 2006a. Ability of the direct wave of radar ground-coupled antenna for NDT of concrete structures. *NDT & E International*, 39(5), pp. 400-407.
- Sbarzai, Z. y otros, 2006. Ability of the direct wave of radar ground-coupled antenna for NDT of concrete structures. *NDT & E International*, 39(5), pp. 400-407.
- Sbarzai, Z. y otros, 2006b. Effect of concrete moisture on radar signal amplitude. *ACI Materials Journal*, 103(6), pp. 419-426.
- Schiessel, 2005. New approach to service life design of concrete structures. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, p. 6.
- Schiessel, P., 1988. *Corrosion of steel in concrete, report of RILEM report Technical Committee 60-CSC*. London: Chapman & Hall.
- Soutsos, M. N. y otros, 2001. Dielectric properties of concrete and their influence on radar testing. *NDT & E International*, Volumen 34, pp. 419-425.
- Tapia, J., Martínez Sala, R. & Rodríguez Abad, I., 2013. Can we detect internal moisture content in hardened concrete with infrared camera?. *International Congress on Materials and Structural Stability, Rabat, Morocco*.



UNE 83982, s.f. Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund..

UNE EN 12390, s.f. Ensayos de hormigón endurecido.

UNE EN ISO 15148, s.f. Comportamiento higrotérmico de los materiales y productos de edificación. Determinación del coeficiente de basorción de agua por inmersión parcial..

Villain, G., Derobert, X., Sbartai, M. & Balayssac, J. P., 2010. Evaluation of concrete water content and other durability indicators by electromagnetic measurements. *Proceedings of the 13th International Conference on Ground Penetrating Radar, Lecce, Italia*.

Viriyametanont, K. y otros, 2008. Radar survey of concrete elements: Effect of concrete properties on propagation velocity and time zero. *NDT & E International*, 41(3), pp. 198-207.

Yelf, R. & Yelf, D., 2006. Where is the True Time Zero?.. *Electromagnetic Phenomena*, Volumen 7, pp. 158-163.

Zagoskin, V. y otros, 2006. Dielectric properties of moist soils. *Actas del 11th International Conference on Gorund Penetrating Radar, Ohio, EEUU*.

## 9.- Anejos

### 9.1.- Anejo 1: Artículo del congreso 8th IWAGPR 2015, Florencia (Italia)

Parte del trabajo presentado en este Trabajo Final de Master se presentó en el congreso “8th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar – IWAGPR 2015”, que se celebró en Florencia (Italia) del 7 al 10 de Julio de 2015, tras ser aceptado bajo una revisión ciega por pares. La ponencia de título “Study of the waterfront advance in hardened concrete by means of energy level increment analysis” tiene por autores a Rosa Martínez Sala, Isabel Rodríguez Abad, Juan Mené Aparicio y Alberto Fernández Castilla. La publicación que se deriva de la participación en el congreso se adjunta a continuación. La publicación de dicho artículo se realiza por la editorial americana IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), no estando todavía disponible su ISBN en la fecha de entrega del presente TFM.

# Study of the waterfront advance in hardened concrete by means of energy level increment analysis

Martínez-Sala R., Rodríguez-Abad I., Mené-Aparicio J., Fernández Castilla A.  
Universitat Politècnica de València  
Camino de Vera s/n, Valencia  
Valencia, 46022, Spain  
e-mail: isrodab@upvnet.upv.es

**Abstract**—The durability of concrete structures depends mainly on the ease with which the water and aggressive chemical agents dissolved therein penetrate it. Moreover, the electromagnetic waves emitted by Ground-penetrating radar (GPR) are very sensitive to the water content of the medium through which they propagate. For all this, the present experimental study analyzed the sensitivity of GPR to assess the location of the waterfront in concrete by means of the comparison of the energy level increments with the absorption coefficient. For this purpose samples of concrete were fabricated and after curing were introduced into water for different time intervals. The results showed that depending on the placement of the antenna regarding the location of the waterfront the agreement varied considerably. Best agreements were found when the antenna was placed in the same surface that was immersed into water and the reflected waves were analyzed.

**Keywords**—Water absorption coefficient; energy levels, concrete; wave parameters

## I. INTRODUCTION

Concrete is a porous material and this causes that through the pores network aggressive substances dissolved in water can penetrate inwards. Consequently, the durability of reinforced concrete structures depends mainly on the pore structure and the level of cracking, so as on its water content. Therefore, the analysis of water penetration in concrete is critical when durability studies are performed [1].

Currently, expensive and time consuming tests to determine the penetration of aggressive agents are employed. Besides, most of them are based on extracting samples. In this context, the nondestructive technique of Ground-penetrating radar (GPR) plays a special role, since this technique is based on the study of variation of dielectric properties that takes place as a consequence of the introduction of the aggressive agents into concrete. In addition, the great advantage of this methodology is that it can be applied in the lab and more importantly, when the structure is in service.

In the last years, its application in the field of study of the concrete is providing very promising and interesting results [2-3]. Particular interest regarding this topic have the studies presented by [4-6], since they analyzed the water content in concrete by means of the analysis of electromagnetic wave

parameters; others studies focusses on characterizing the pore system of hardened concrete [7]; or in determining the concrete volumetric water content [8]; and even the relationship between wave parameters recorded by GPR with some indicators related to the durability, in particular, water and chloride [9].

For all these reasons, this research focuses on the analysis of the capability of the GPR non-destructive technique for evaluating water penetration into concrete, through the analysis of the variation of the energy levels while the waterfront advances into the hardened concrete. For this purpose, concrete samples were manufactured (W/C = 0,65), and then immersed in water for a certain time. Each sample was removed from water at a specific time interval to perform GPR measurements. GPR data were collected in two steps. Firstly, the antenna was placed on the opposite surface that was immersed in water and the acquisition was performed. Subsequently, recordings were acquired by placing the antenna on the immersed surface. This measurement procedure was developed in order to analyze which of the two displays offered more reliable data regarding the waterfront advance.

## II. EXPERIMENTAL PROGRAM

### A. Samples preparation

Experiments were conducted on ordinary concrete samples made with water/cement ratio of 0,65, which mixtures proportions and characteristics are summarized in Table I.

TABLE I. MIXTURE PROPORTIONS AND CHARACTERISTICS

W/C ratio	CEM I 52,5 R/SR (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )
0,65	298,0	193,7	659,9
Round aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength at 28 days (MPa)	Additive Sika Viscocrete 3425 (kg/m <sup>3</sup> )	
1225,5	47,9	1,8	

24 concrete samples of dimensions 0,20 x 0,20 x 0,12 m<sup>3</sup> without reinforcing bars were fabricated. The samples were

cured by immersion in a wet chamber for a period of 28 days, in accordance with the standard [10]. After that they were left to conduct the curing process to atmospheric ambient up to 90 days. With this age the samples were introduced in a kiln (105° C) to dry them completely. When the mass difference between the samples were less than the 0,1 % the samples were considered to be dry. Subsequently, the samples were taken out of the kiln and in all surfaces sealing paint was applied, except for the one that would be in contact with water and the opposite. Finally, samples were immersed into 3 cm of water (Figure 1a).

After GPR measurements were performed, all specimens were broken in two parts and the correct positions of the waterfronts were marked and measured. By means of the visual inspection, it could be observed that the distribution consisted of a saturated zone and a drier zone (Figure 1b).

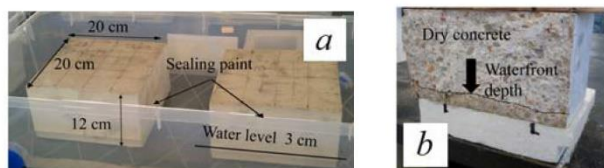


Fig. 1. (a) Concrete samples immersed into 3 cm of water; (b) Waterfront marked in the sample after performing the GPR measurement

### B. GPR acquisition

GPR measurements were carried out using a SIR-3000 system with a 2 GHz ground coupled antenna (GSSI). The GPR measurements consisted in recording 400 static traces by placing the antenna on the opposite face to the one immersed into water and subsequently placing the antenna on the surface immersed in water. In every sample, in 9 different points GPR measurements were acquired ( $P_1, P_2, \dots, P_9$ ) in each surface. The offset distance between measuring points was 5 cm. To enhance the reflected waveforms, a metallic reflector plate was placed beneath all the samples (Figure 2). No gain function was applied so as to leave the amplitude values unaltered and to perform the readings directly with the raw data.

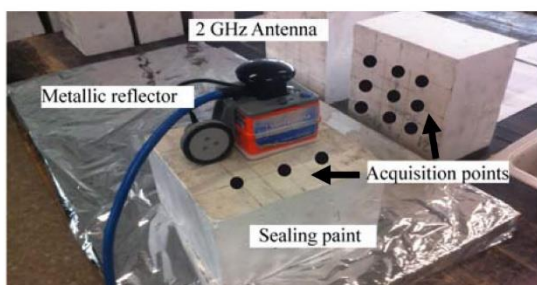


Fig. 2. Display of GPR acquisition

The assays were concerned with the variations occurring in received energy levels, therefore amplitudes had to be read in the traces, when concrete samples were at two free water content stages: after drying and after being immersed into water for a period of time. Firstly, the survey was conducted by measuring peak amplitudes of the direct and reflected

waves, before introducing the samples into water (dry session). Secondly, GPR measurements were recorded in different time intervals. Every 20 minutes a sample was taken out of the water and the GPR measurements were carried out, to analyze the same peaks than in the dry session. Right after that, the samples were broken and the real waterfront advance was identified and measured.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. Free water absorption parameters

The free water content has a decisive influence on the dielectric properties of concrete. Therefore, changes in wave parameters will occur as a result of the advance of the waterfront and might provide reliable information, both qualitatively and quantitatively, about how this water penetration occurs. The first step to calibrate the goodness of the methodology was to calculate the free water absorption parameters.

Firstly, the free water absorption coefficient ( $C_A$ ), was calculated as follows:

$$C_A(\%) = \frac{M_{im} - M_d}{M_d} \cdot 100 \quad (1)$$

where,  $M_d$  was the dry mass of the sample and  $M_{im}$  was the mass after the immersion into water. The final  $C_A$  for every sample is detailed in Table II, so as the immersion time required ( $T_{im}$ ). Secondly, after breaking the sample, the waterfront advance ( $W_f$ ) was measured in both sides of the broken sample (Figure 1b). The final value employed to correlate with the GPR data was the  $C_A$ , since through the visual inspection the identification of the waterfront was complex due to the quick evaporation of the water and the heterogeneity of the surface.

TABLE II. FREE WATER ABSORPTION PARAMETERS

Sample	$T_{im}$ (min)	$W_f$ (cm)	$C_A$ (%)	Sample	$T_{im}$ (min)	$W_f$ (cm)	$C_A$ (%)
1	20	0,52	0,31	13	260	3,58	1,33
2	40	1,27	0,46	14	305	3,56	1,42
3	60	1,21	0,50	15	325	3,65	1,51
4	80	1,88	0,63	16	345	3,94	1,64
5	100	1,97	0,68	17	365	4,09	1,64
6	120	2,14	0,74	18	385	4,60	1,79
7	140	2,36	0,82	19	405	4,22	1,77
8	160	2,56	0,88	20	425	4,17	1,80
9	180	2,71	0,91	21	445	4,42	1,80
10	200	2,72	0,99	22	465	4,66	1,98
11	220	2,80	0,98	23	485	4,56	2,01
12	240	3,11	1,12	24	505	4,66	1,93

### B. Effect of water immersion on energy levels

GPR signals were processed and analyzed using RADAN NT software (GSSI). As it has been published in former studies [11], in the acquired signal two different parts can be differentiated, that are named direct ( $D$ ) and reflected ( $R$ ) wave. As it is indicated in Figure 3 the direct and reflected

waves consist of different peaks, maximums and minimums ( $D1, D2 \dots R2, R3$ ).

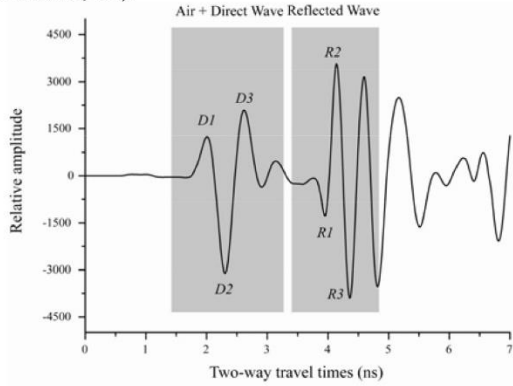


Fig. 3. Typical signal recorded with the 2 GHz antenna on a concrete slab, where the peaks of the direct and reflected waves are identified.

The first step was to record the peak amplitudes of each wave ( $D1, D2, D3, R1, R2$  and  $R3$ ) for each measurement point and, then the values obtained for each sample and surface were averaged. Finally, the energy level (dB) received from each peak was calculated by the following equation:

$$\alpha = 20 \cdot \log\left(\frac{A_i}{A_0}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{A_i}{3038}\right) \quad (2)$$

where  $A_i$  is the amplitude recorded for each peak and  $A_0$  is the amplitude of the first positive peak of the direct wave emitting in the air, taking this as a stable reference. Finally, the increment occurred in the level of energy received from the dry sample ( $\alpha_d$ ) and after immersion ( $\alpha_{im}$ ) was calculated:

$$\Delta\alpha = \alpha_{im} - \alpha_d \quad (3)$$

### C. Effect of waterfront advance on direct waves energy levels

As it was expected, when the antenna was placed in the opposite surface to immersion the direct wave was not affected by the increase of free water content, since the wave travelled by the part of the concrete in which the water had not arrived. The energy level increment was found to be -0.16, 0.08 and 0.08 dB for  $D1, D2$  and  $D3$ , with a standard deviation of 0.26, 0.24 and 0.19 dB, respectively.

However, the presence of free water in concrete leads to a significant variation of the direct wave when the samples were immersed in water and the antenna was placed on this surface. After immersion, the peaks of the direct wave were delayed and in addition their amplitudes were smaller. They presented an interesting behavior that it must be highlighted. As it can be observed in Figure 4a, regarding peaks  $D1$  and  $D2$ , after 40 minutes of immersion, the energy level increment remained almost stable, since the average value was found to be -11.41 and -10.97 with a standard deviation of 0.68 and 0.87 respectively, regardless the immersion time. In relation to peak  $D3$ , it is important to point out all the information that this peak provided, since it is clearly affected by the free water

absorption. In this case, this peak is overlapped with the reflection of the interface between wet and dry concrete for a certain time of immersion. But as the waterfront advances towards the center of the sample this overlap is offset towards the center of the sample and therefore the energy levels increment tended to remain stable after 180 minutes of immersion. This behavior was not observed in peaks  $D1$  and  $D2$ , leading as to consider that peak  $D3$  is the main peak of the direct wave and that it should be the one considered as the reference when velocity increments are to be calculated.

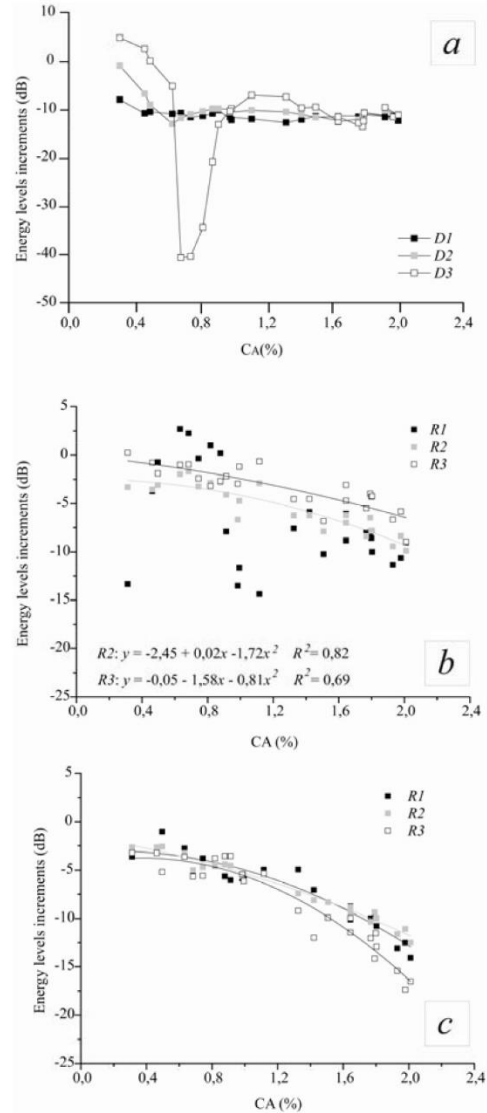


Fig. 4. (a) Energy level increments of the direct wave when the antenna was placed in the same surface that was immersed into water; (b) Energy level increments of the reflected wave when the antenna was placed on the opposite surface to immersion and in the same surface that was immersed (c).

D. Effect of waterfront advance on reflected waves energy levels

Regarding the reflected waves after immersion, in both acquisition procedures, this wave was altered due to the presence of water. In both cases arrival times were delayed and the amplitude peaks were smaller as a consequence of two phenomena. On one side, it is due to the water absorption itself that occurred when the waves travelled through the wet part of the samples. The free water led to an increase in the polarization mechanism, which produces a decrease of the recorded electromagnetic energy. But on the other side, it is because of the loss of energy as a consequence of the reflection in the interface between dry and wet concrete. Therefore, it arrived less energy for the next reflection at the bottom of the sample.

As it can be observed in Figure 4b, the peak R2 and R3 of the reflected wave recorded when the antenna was placed on the opposite surface to immersion show a pattern, the bigger is the absorption coefficient the smaller are the values of these peaks. Nevertheless, no curves were found to fit the data with enough reliability. Besides, it was observed that due to the overlap of the reflection of the interface of dry and wet concrete, peak R1 presented an erratic behavior.

But when the antenna was located on the same surface that was immersed in water, a good agreement was found between the different peaks and the absorption coefficient. In particular, peak R2 presented the best fitting with a determination coefficient of  $R^2 = 0,97$  (Table III).

TABLE III. EQUATIONS OF THE ADJUSTMENTS BETWEEN ENERGY LEVELS (DB) AND ABSORPTION COEFFICIENT ( $C_A$  (%))

PEAK	2 <sup>nd</sup> Order Polynomial Fit $y(x) = a + bx + cx^2$						
	a		b		c		$R^2$
	Value	$\sigma^*$	Value	$\sigma^*$	Value	$\sigma^*$	
R1	-3,16	1,27	1,19	2,39	-3,01	0,97	0,91
R2	-1,54	0,62	-2,52	1,15	-1,28	0,47	0,97
R3	-4,41	1,53	3,58	2,87	-4,77	1,17	0,93

$\sigma^*$  standard deviation

IV. CONCLUSIONS

The results of the experimental study presented in this paper are a proof of the great capability of the GPR technique, using a 2 GHz antenna, to carry out onsite nondestructive testing of the water penetration in hardened concrete.

In particular, it was found that the parameters studied in this analysis, energy levels increment of the propagation waves, described with great approximation the variation of the absorption coefficient that suffered concrete samples after immersion in water, depending on the records acquisition procedure. This result was confirmed by the poor correlations found when the antenna was located in the opposite surface to immersion, unlike the high correlation coefficients when the antenna was placed in the immersed surface, in particular the

ones related with the reflected wave. However, further research will be needed with a larger number of samples, of dimensions and different water / cements ratios to check the generality of these results.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the financial support for the laboratory work provided by the Universitat Politècnica de València (Spain) under the PAID-06-12 research plan through a project entitled: “Análisis de la durabilidad del hormigón por medio de la técnica no destructiva del georradar”. The authors thank the Laboratorio de Materiales de Construcción of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de la Universitat Politècnica de València technical team for the valuable collaboration.

REFERENCES

[1] Otieno, M.B., Alexander, M.G. and Beushausen, H. D. (2010) Corrosion in cracked and uncracked concrete – influence of crack width, concrete quality and crack reopening. *Magazine of Concrete Research* 62(6): 393–404.

[2] Martínez-Sala, R., Rodríguez-Abad, I. and Del Val, I. (2013). Effect of penetration of water under pressure in hardened concrete on GPR signals. *Proceedings of the International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)*, Nantes, France.

[3] Martínez-Sala, R., Rodríguez-Abad, I. and Mené, J. (2013). Concrete curing monitoring by means of the non-destructive GPR technique. *Proceedings of the Jornadas Internacionales de Investigación en Construcción*, Madrid, Spain.

[4] Laurens, S., Balayssac, J.P., Rhazi, J., Klysz, G. and Arliguie, G. (2005) Non-destructive evaluation of concrete moisture by GPR: experimental study and direct modeling. *Materials and Structures*, 38 (283): 827-832.

[5] Sbartai, Z.M., Laurens, S., Balayssac, J.P., Arliguie, G. and Ballivy, G. (2006). Ability of the direct wave of radar ground-coupled antenna for NDT of concrete structures. *NDT&E International*, 39 (5): 400-407.

[6] Sbartai, Z.M., Laurens, S., Balayssac, J.P., Ballivy, G. and Arliguie, G. (2006) Effect of concrete moisture on radar signal amplitude. *ACI Materials Journal* 103 (6):419- 426.

[7] Lai, W.L. and Tsang, W.F. (2008) Characterization of pore systems of air/water-cured concrete using ground penetrating radar (GPR) through continuous water injection. *Construction and Building Materials*, 22: 250-256.

[8] Klysz G. and Balayssac J.P. (2007) Determination of volumetric water content of concrete using ground-penetrating radar. *Cement and Concrete Research*, 37: 1164-1171.

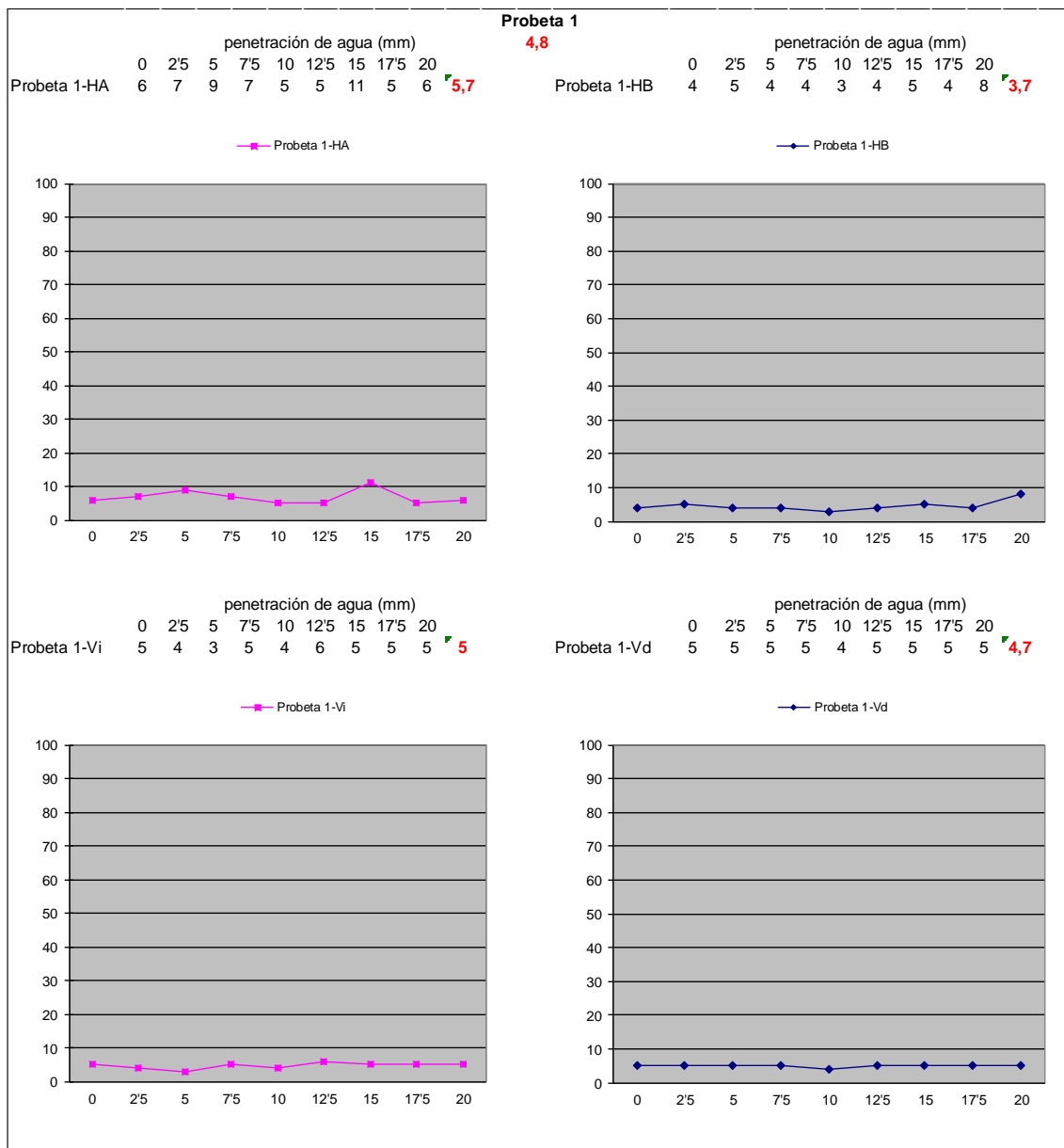
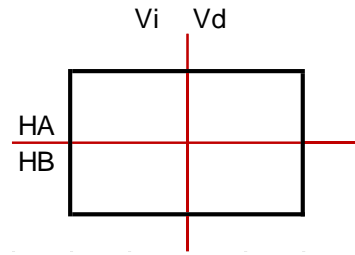
[9] Villain, G., Derobert, X., Sbartai, M. and Balayssac, J.P. (2010). Evaluation of concrete water content and other durability indicators by electromagnetic measurements. *Proceedings of the 13th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Lecce, Italy.

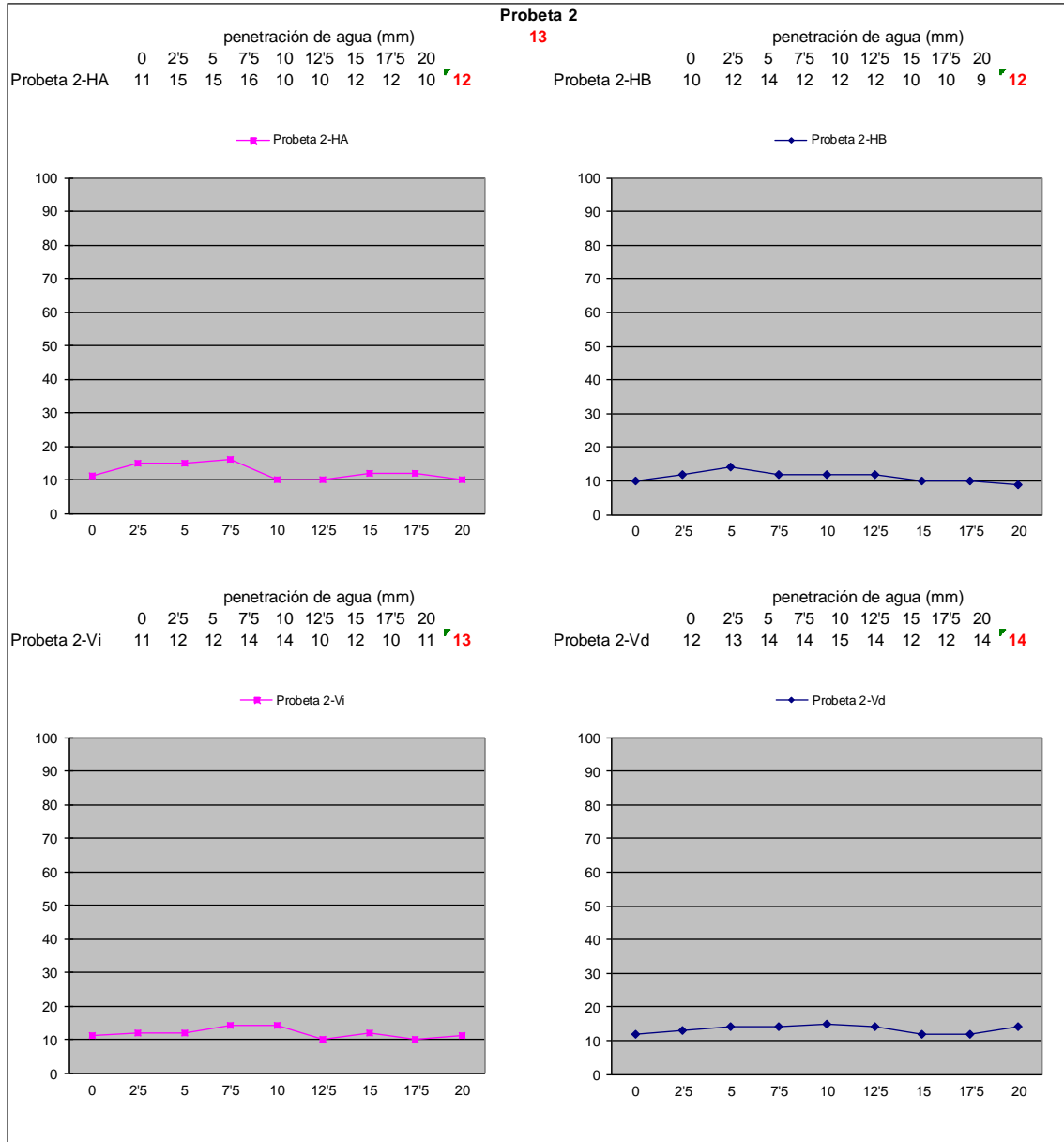
[10] UNE-EN 12390-2:2009, Testing hardened concrete. Part 2: Making and curing specimens for strength test.

[11] Rodríguez-Abad, I., Martínez-Sala, R., Mené J., Klysz, G. (2014) Water penetrability in hardened concrete by GPR. *Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Brussels, Belgium.

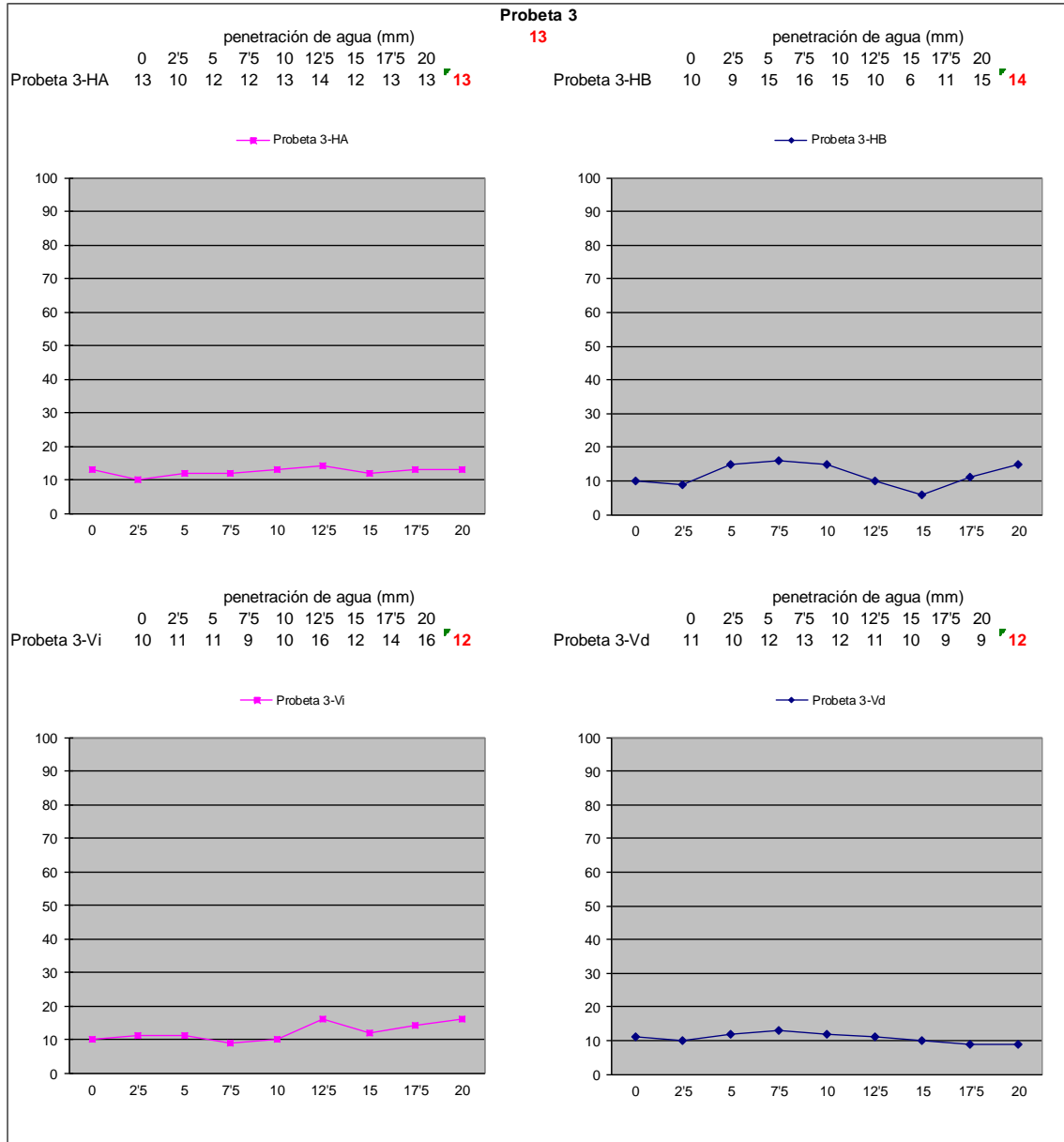
## 9.2.- Anejo 2: Profundidades reales de penetración de agua

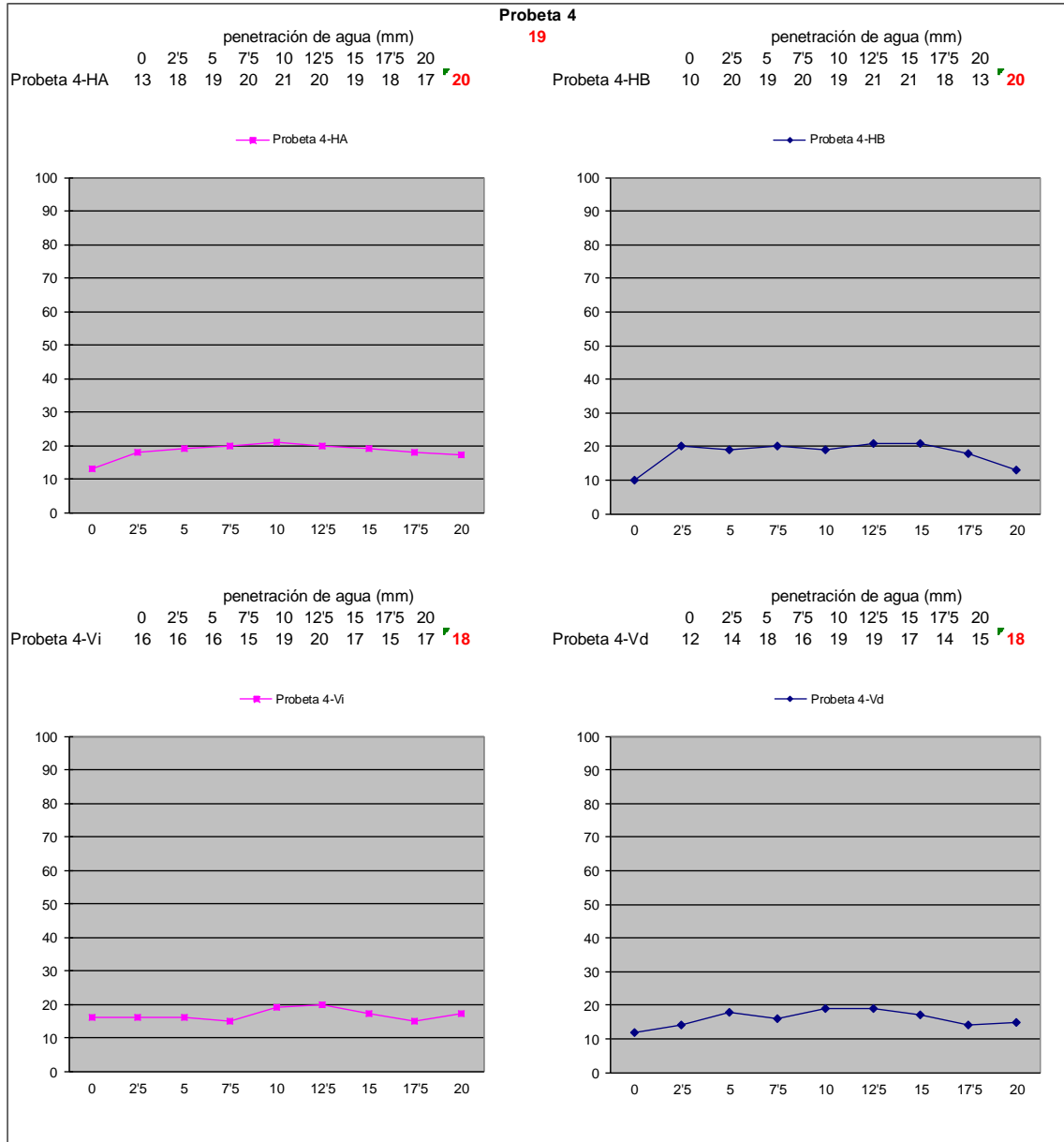
Esquema de la probeta (vista superior) con los perfiles de penetración de agua medidos según un eje vertical y uno horizontal, a cada lado del plano de rotura. Para cada perfil se indica en rojo la media de los puntos que se miden con el georradar (7'5, 10 y 12'5 cm). Con estos 4 valores se indica bajo el nombre de la probeta el valor medio representativo de la profundidad de penetración.

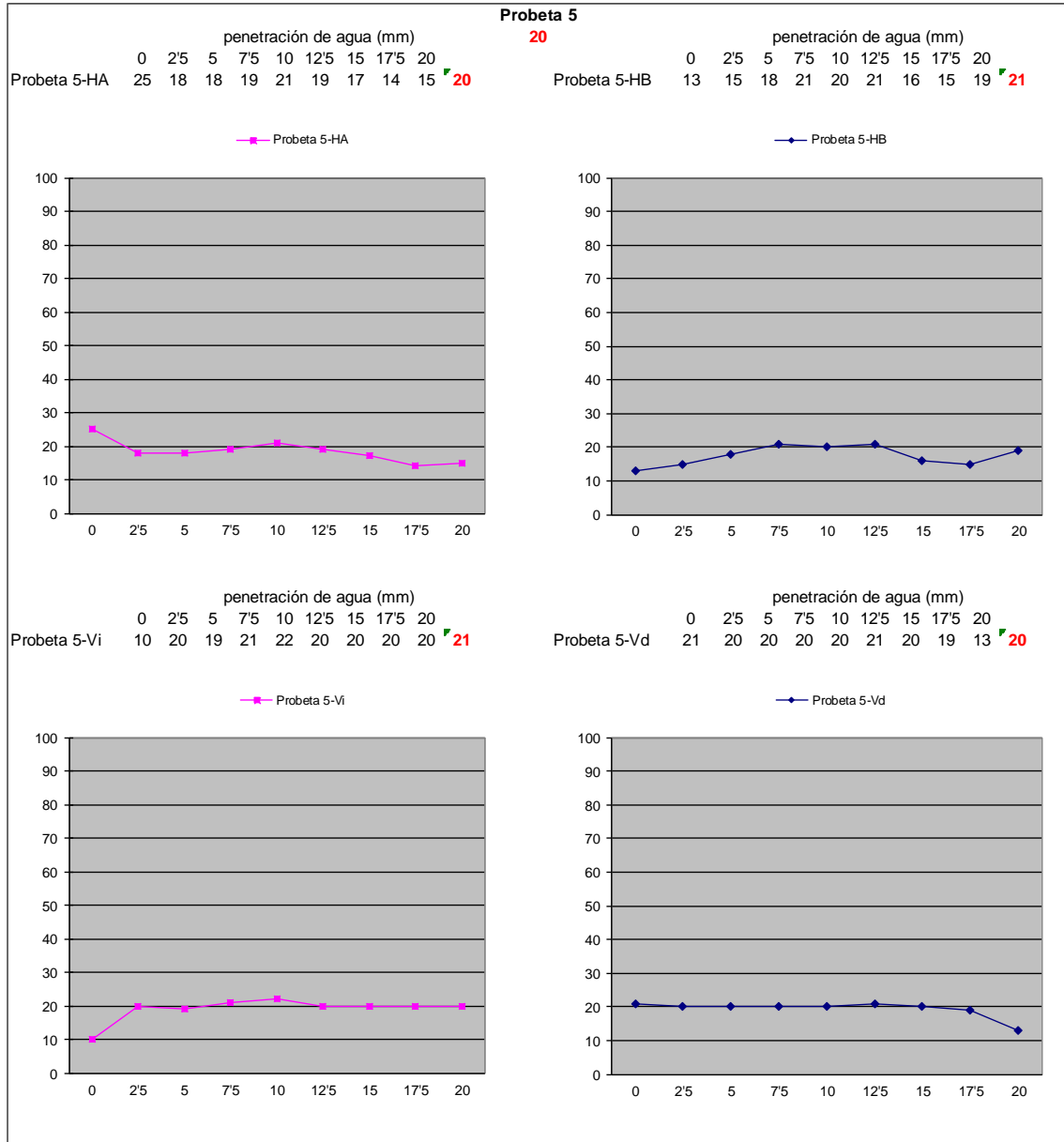


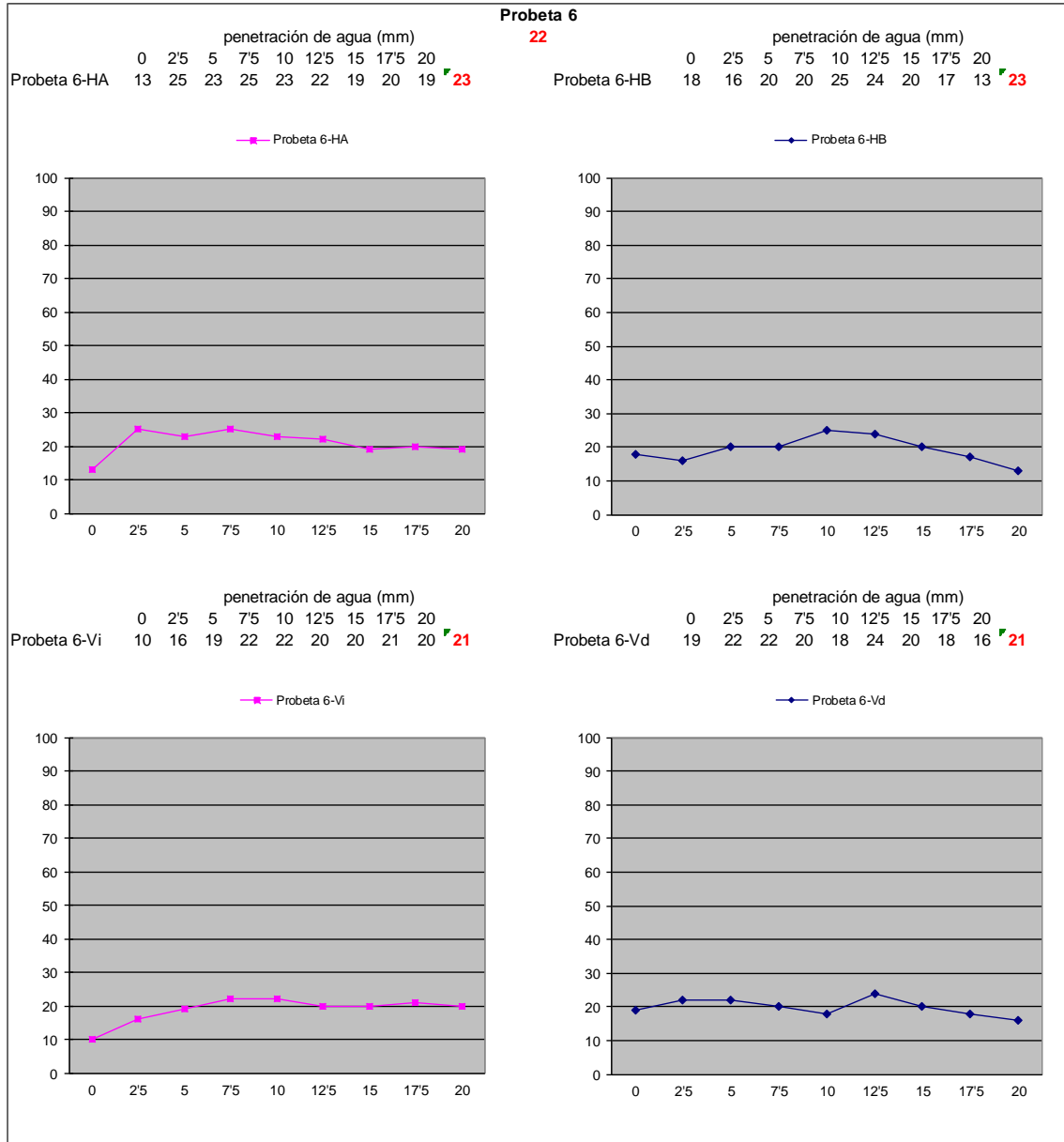


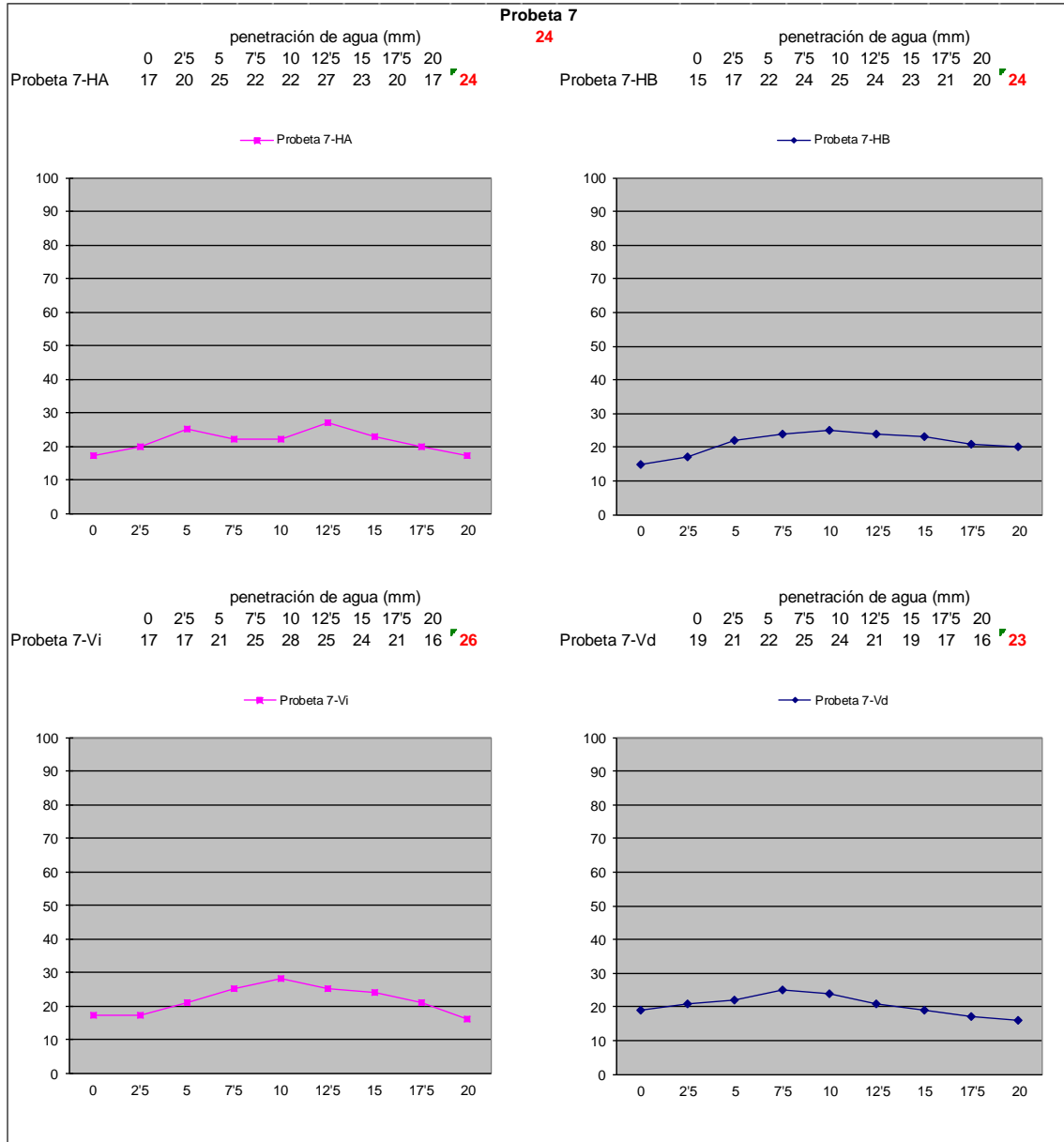


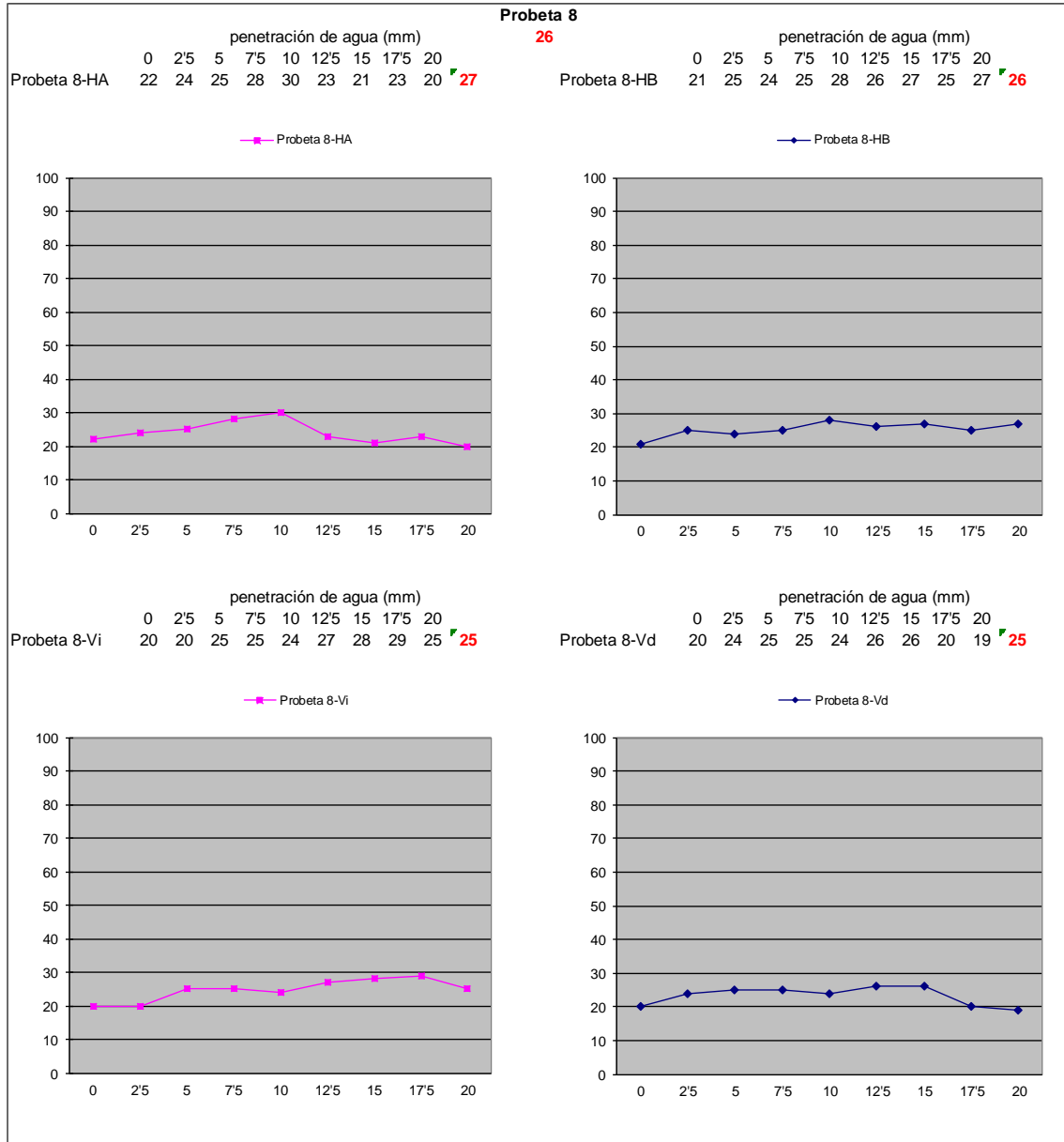


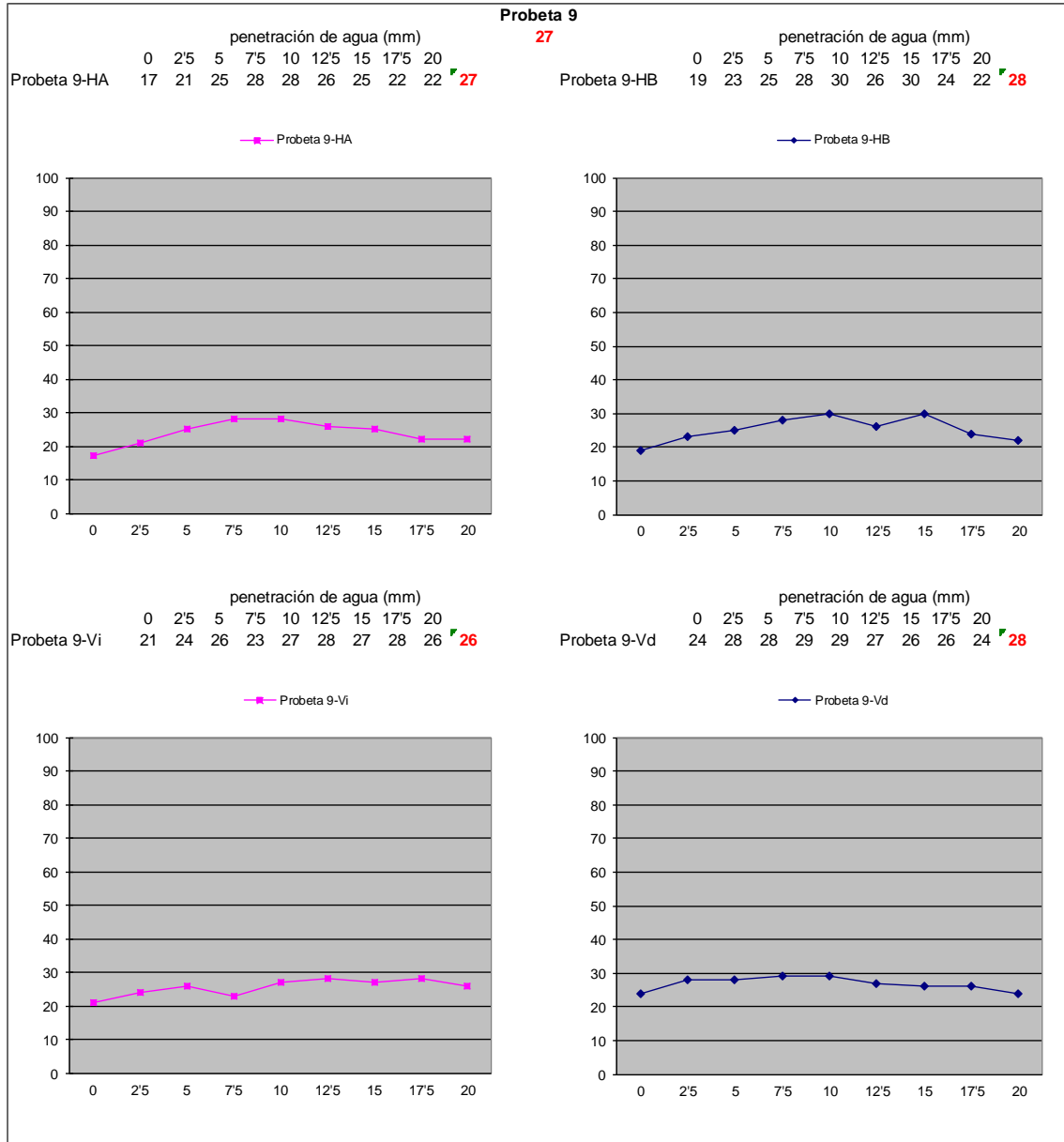


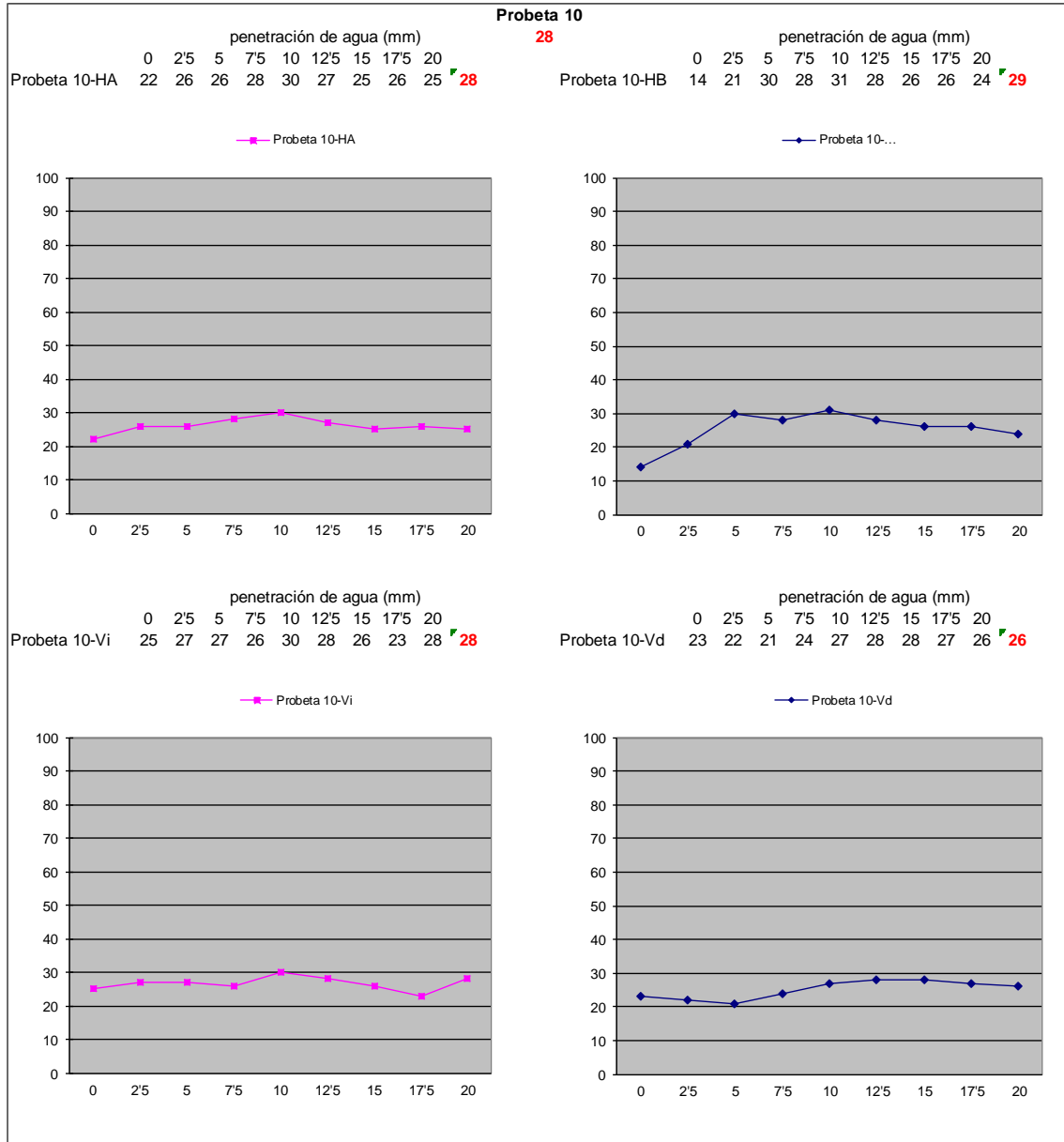




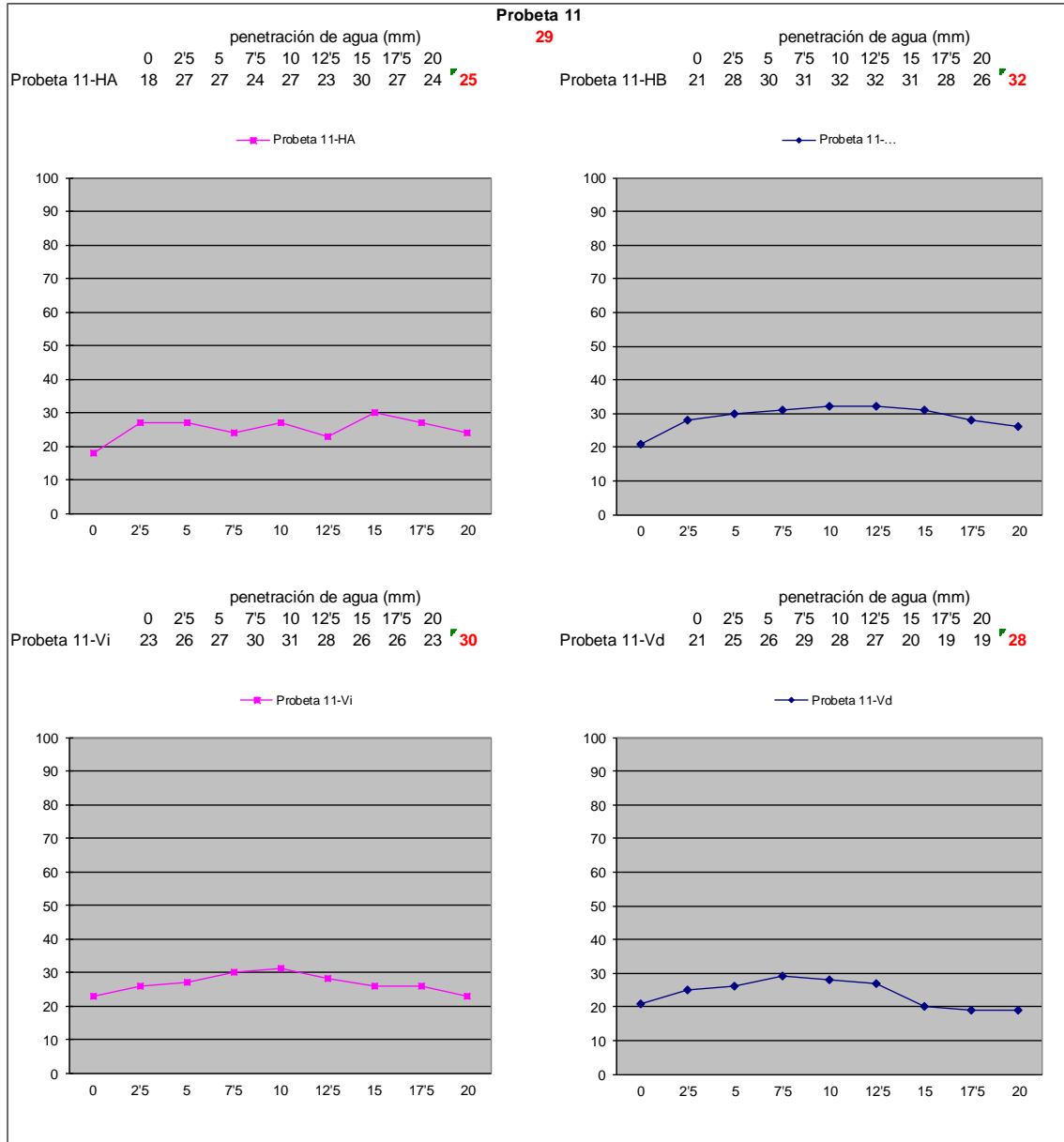






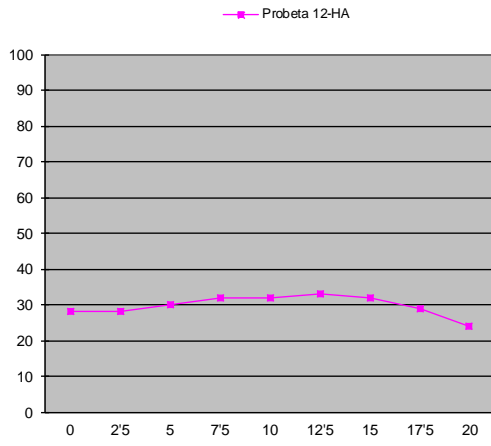




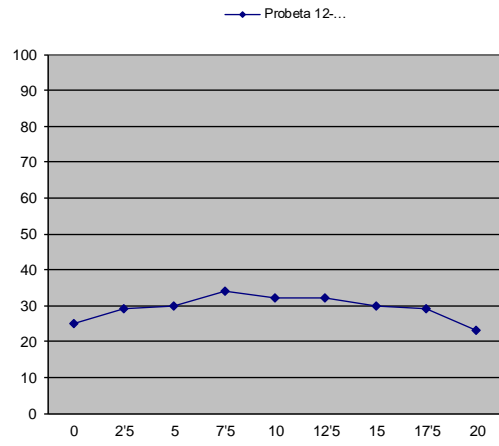


**Probeta 12**  
**32**

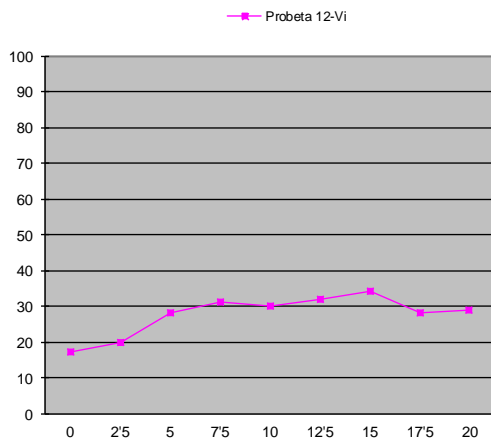
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 12-HA	28	28	30	32	32	33	32	29	24



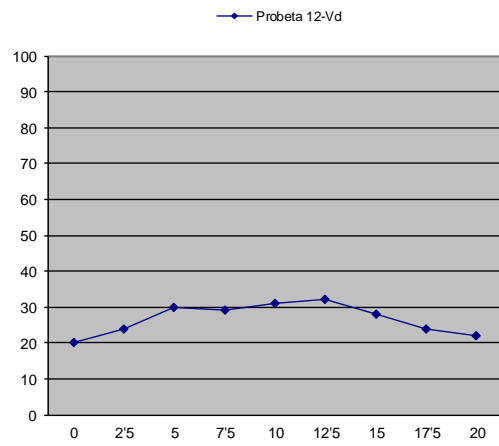
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 12-HB	25	29	30	34	32	32	30	29	23

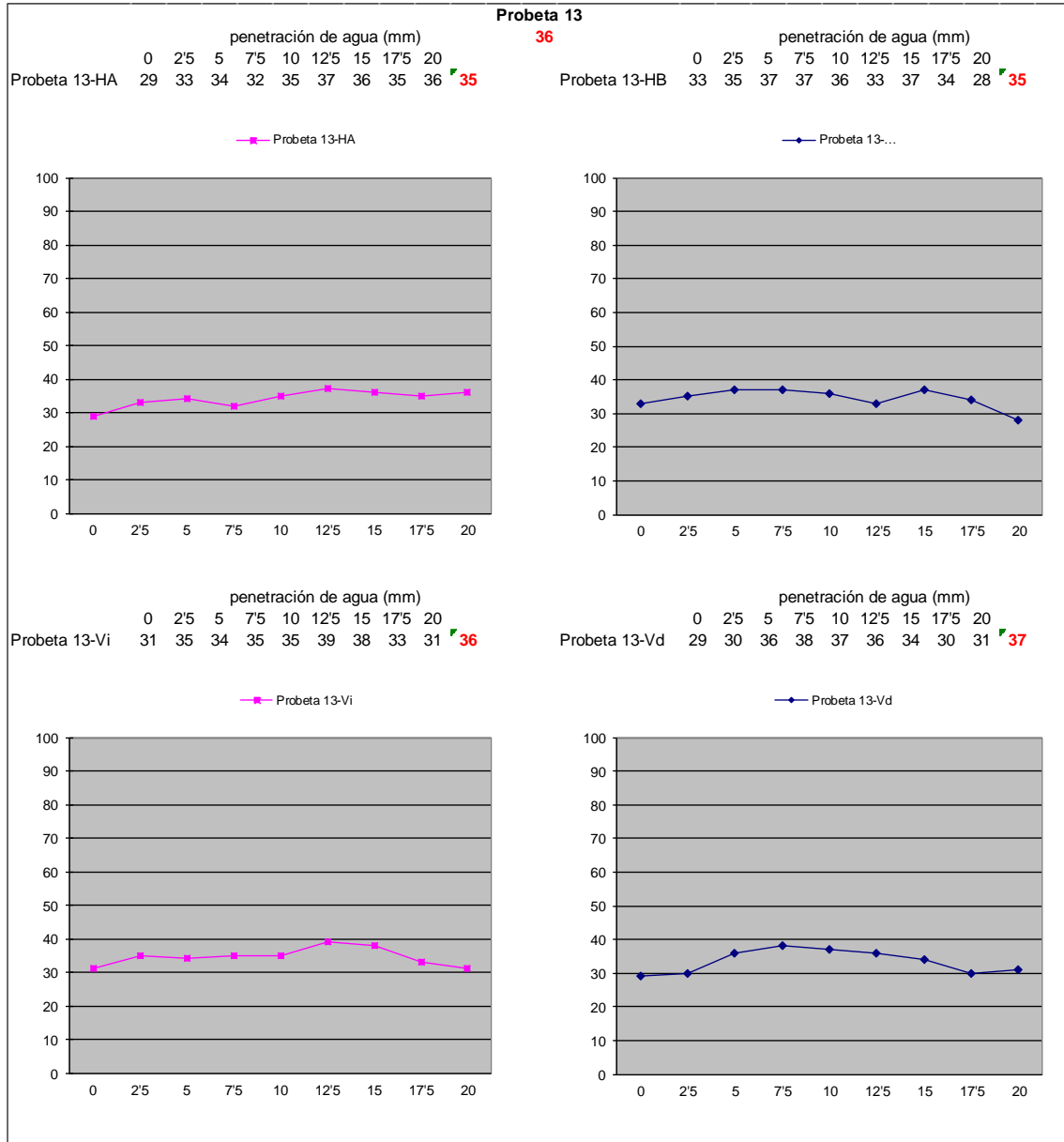


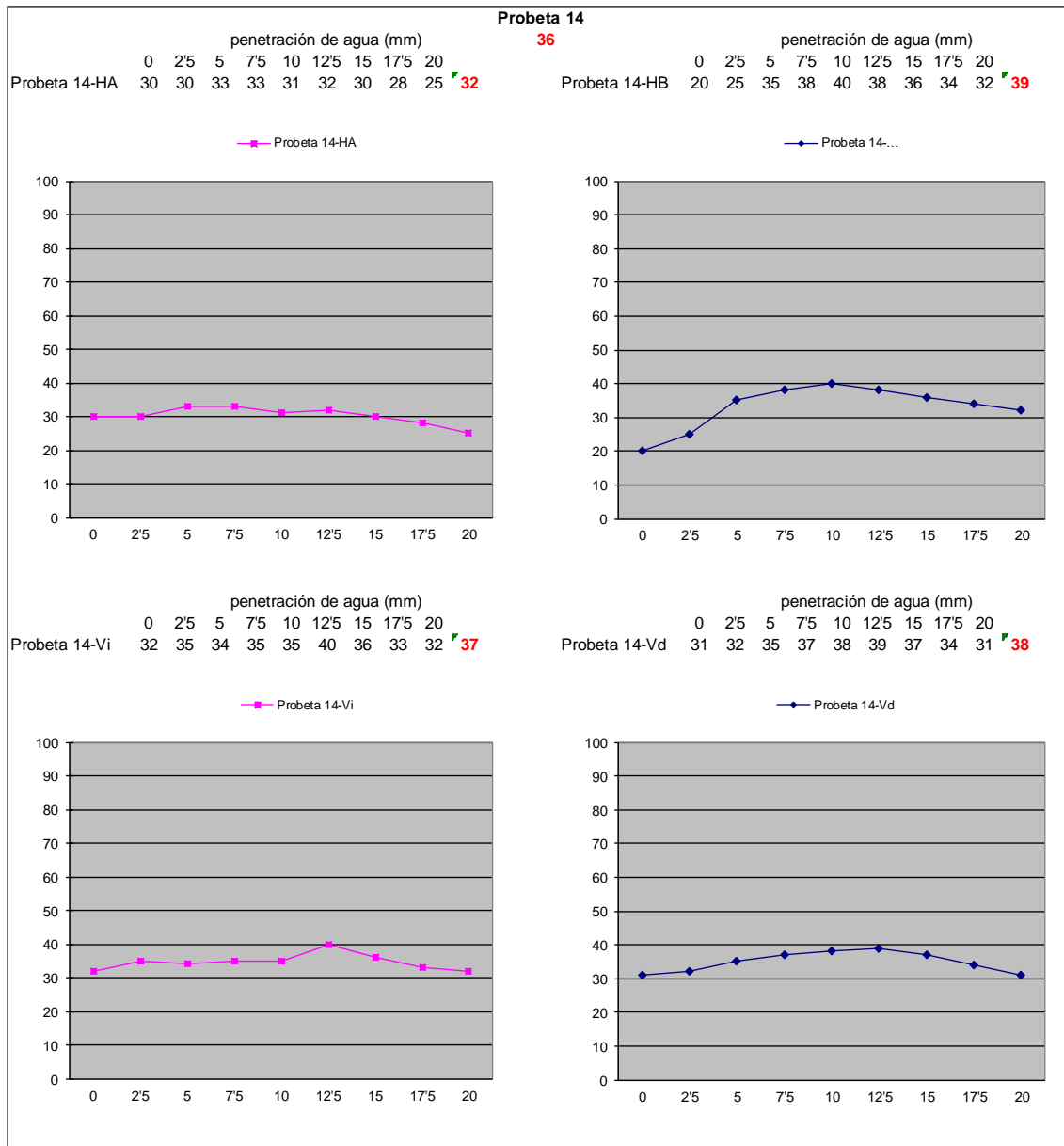
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 12-Vi	17	20	28	31	30	32	34	28	29

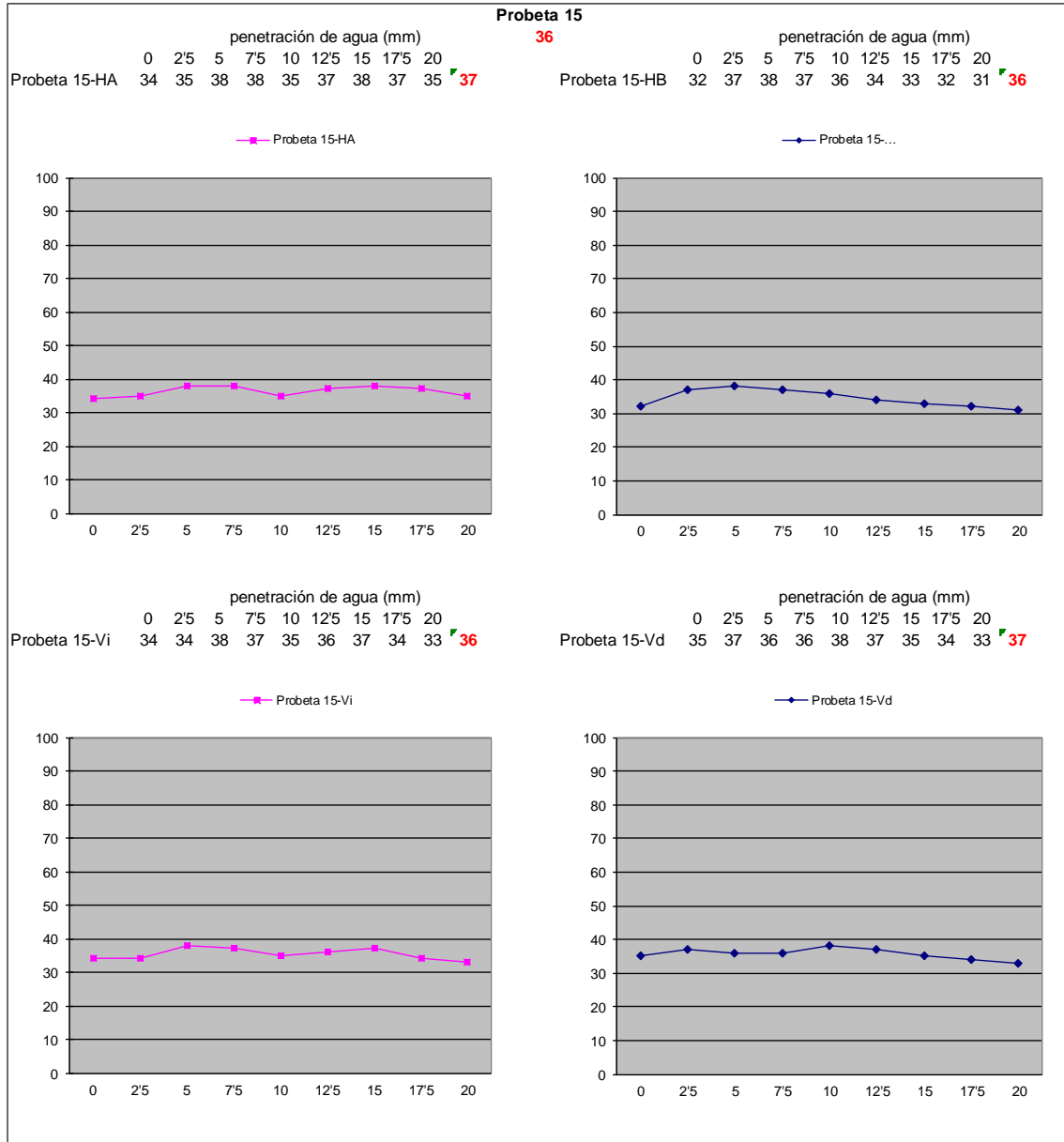


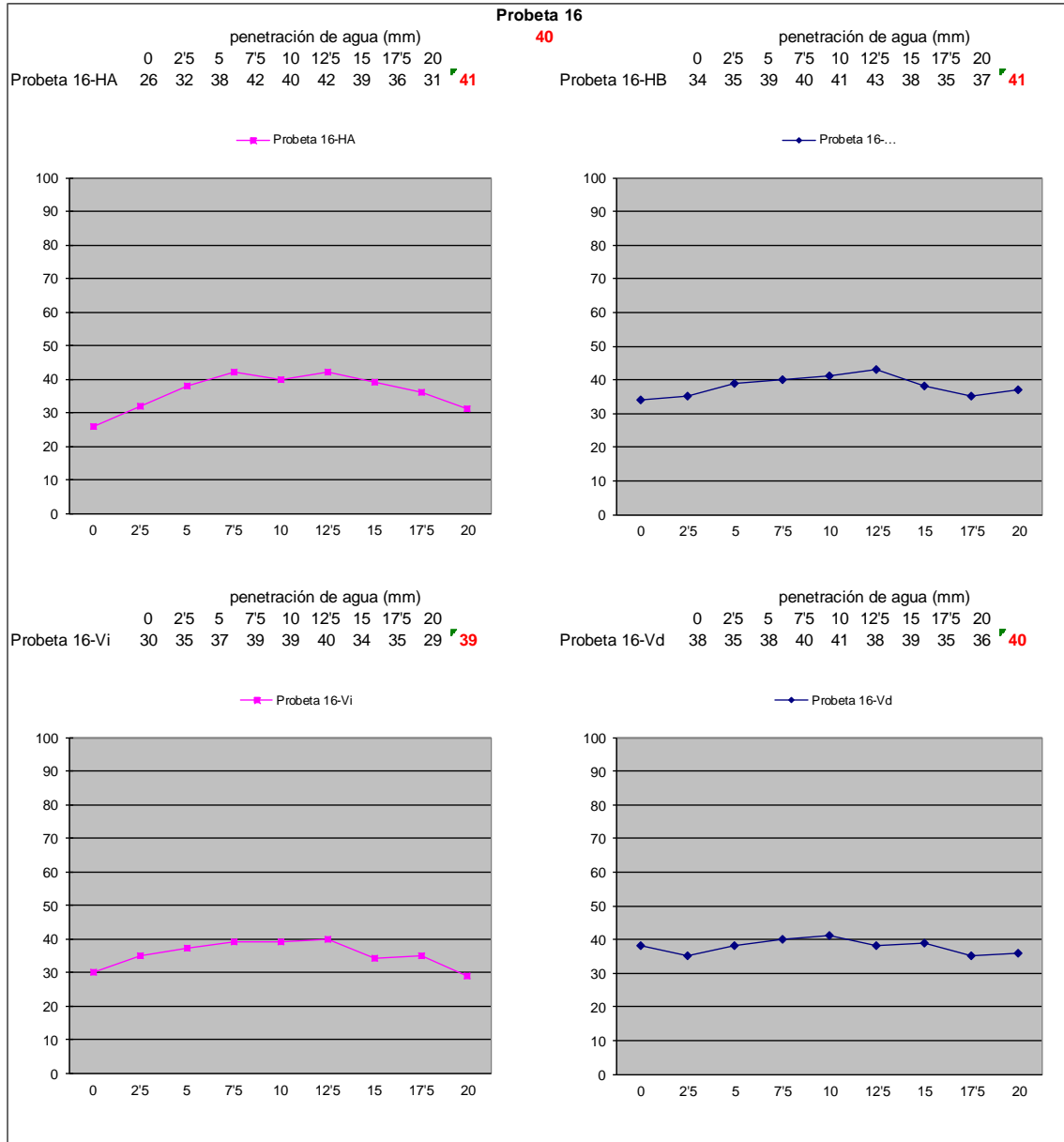
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 12-Vd	20	24	30	29	31	32	28	24	22





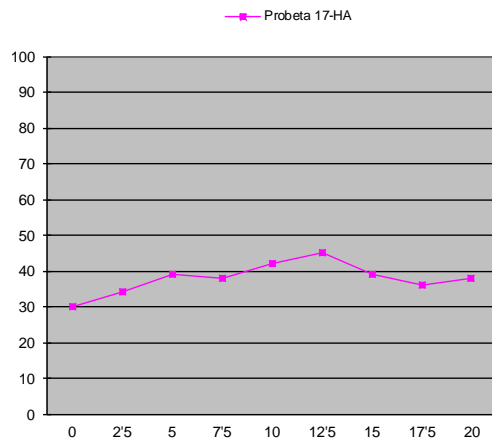




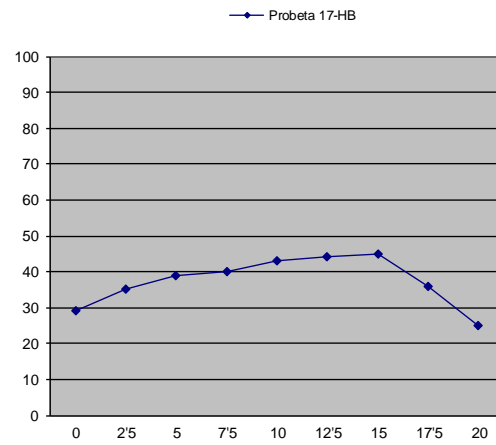


**Probeta 17**  
42

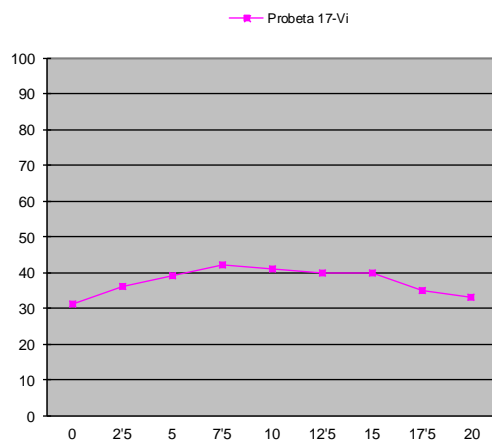
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 17-HA	30	34	39	38	42	45	39	36	38
									42



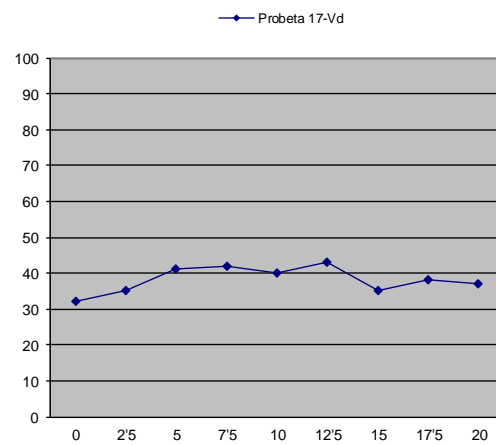
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 17-HB	29	35	39	40	43	44	45	36	25
									42

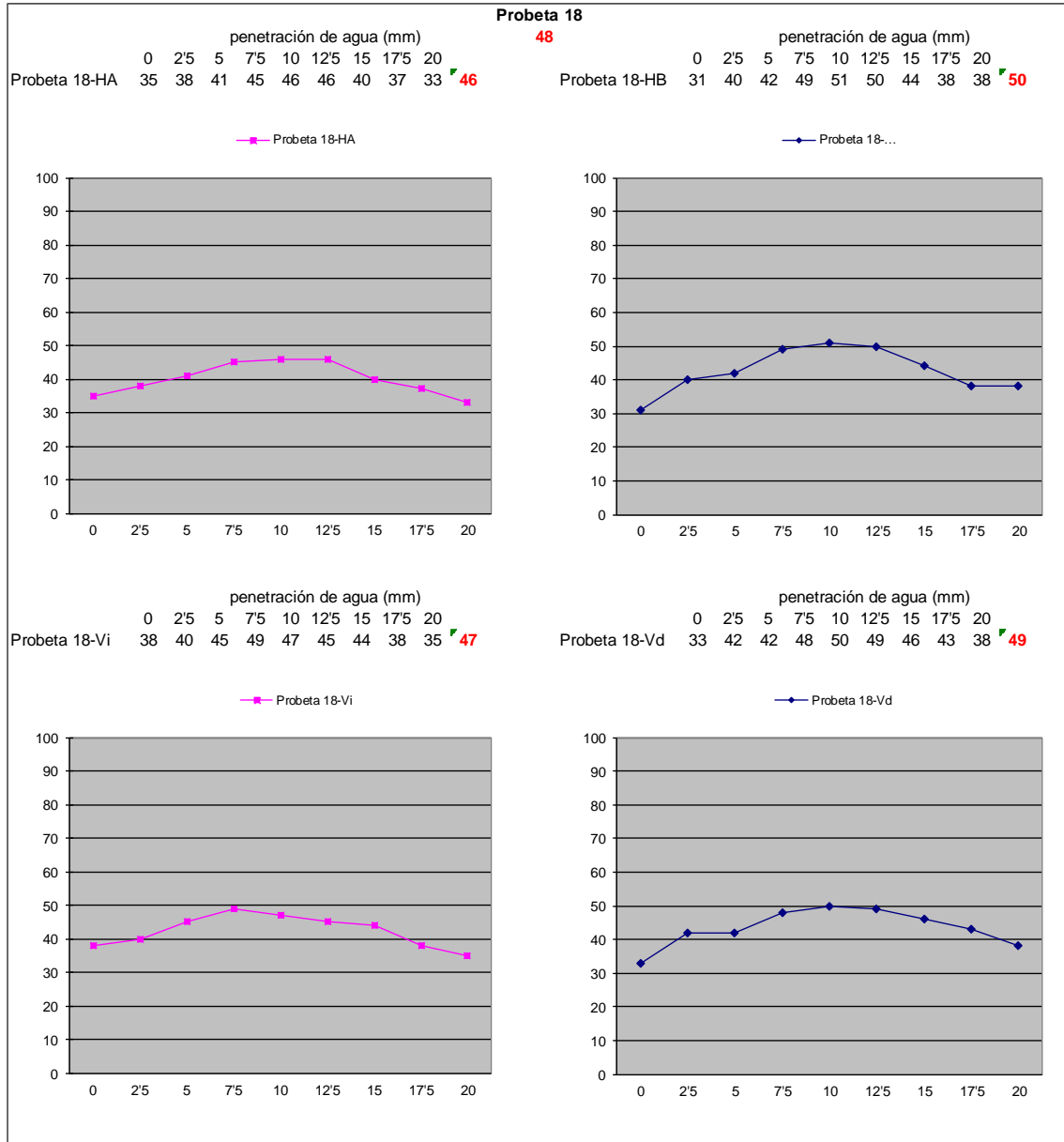


	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 17-Vi	31	36	39	42	41	40	40	35	33
									41

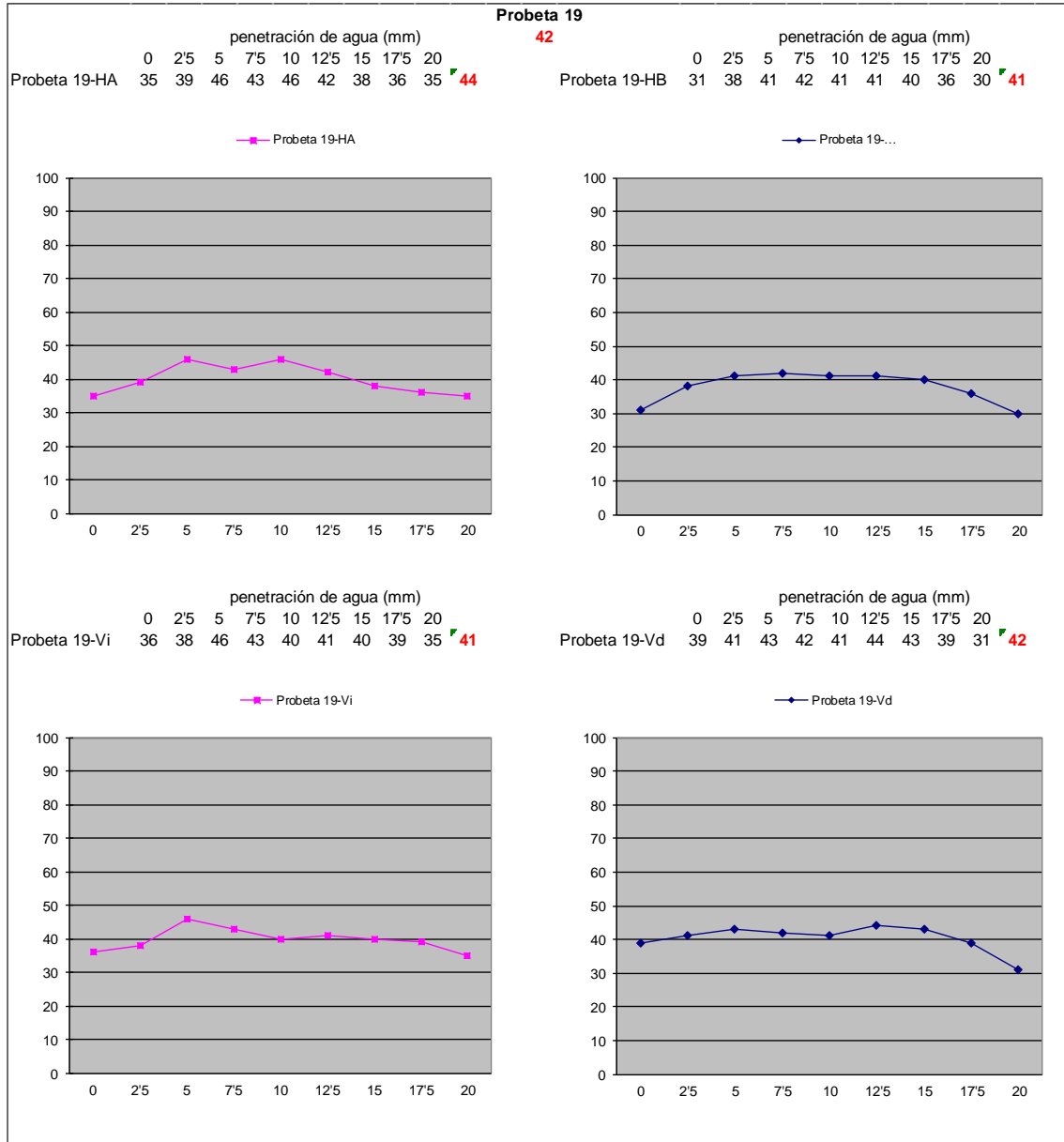


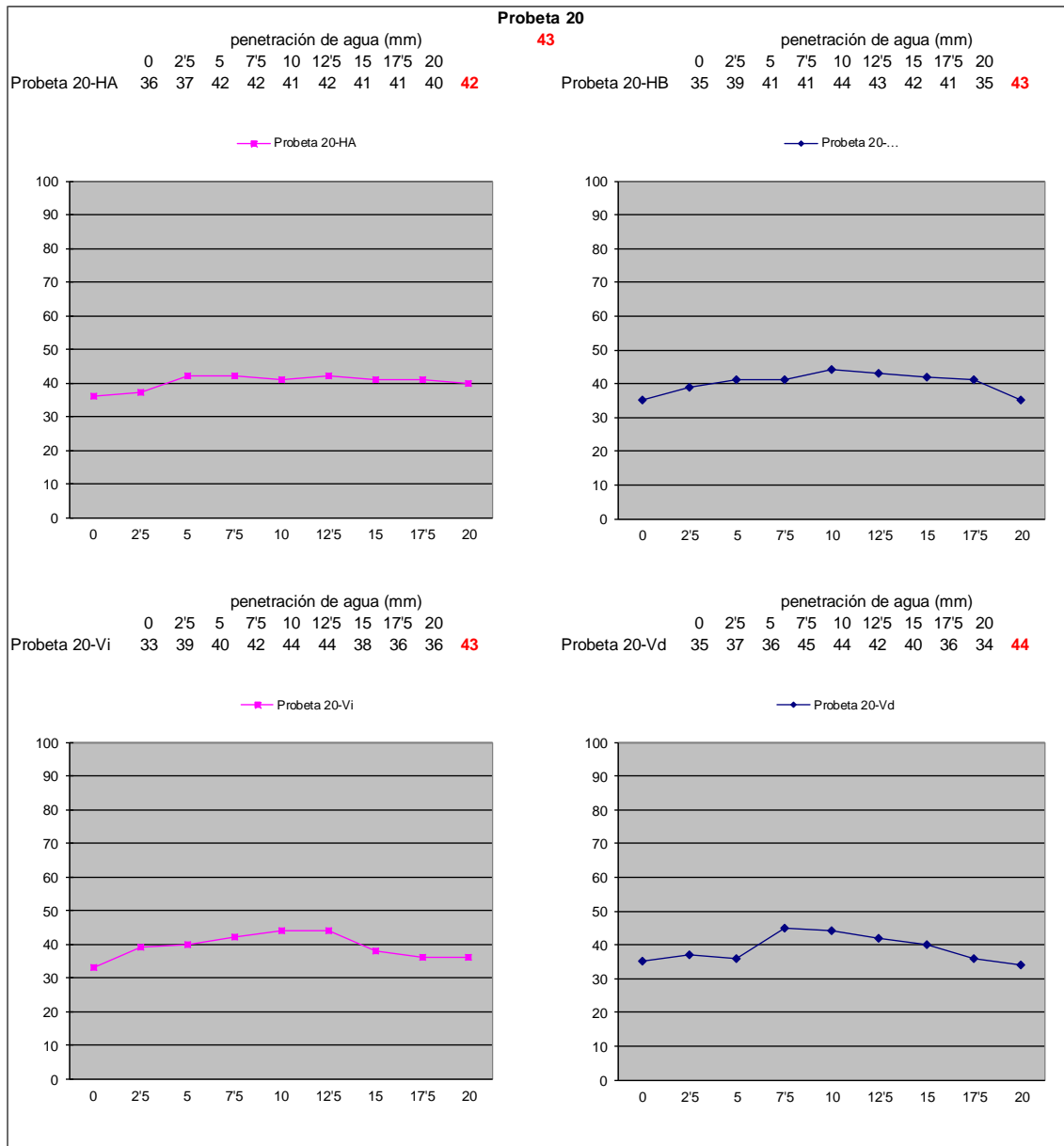
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20
Probeta 17-Vd	32	35	41	42	40	43	35	38	37
									42

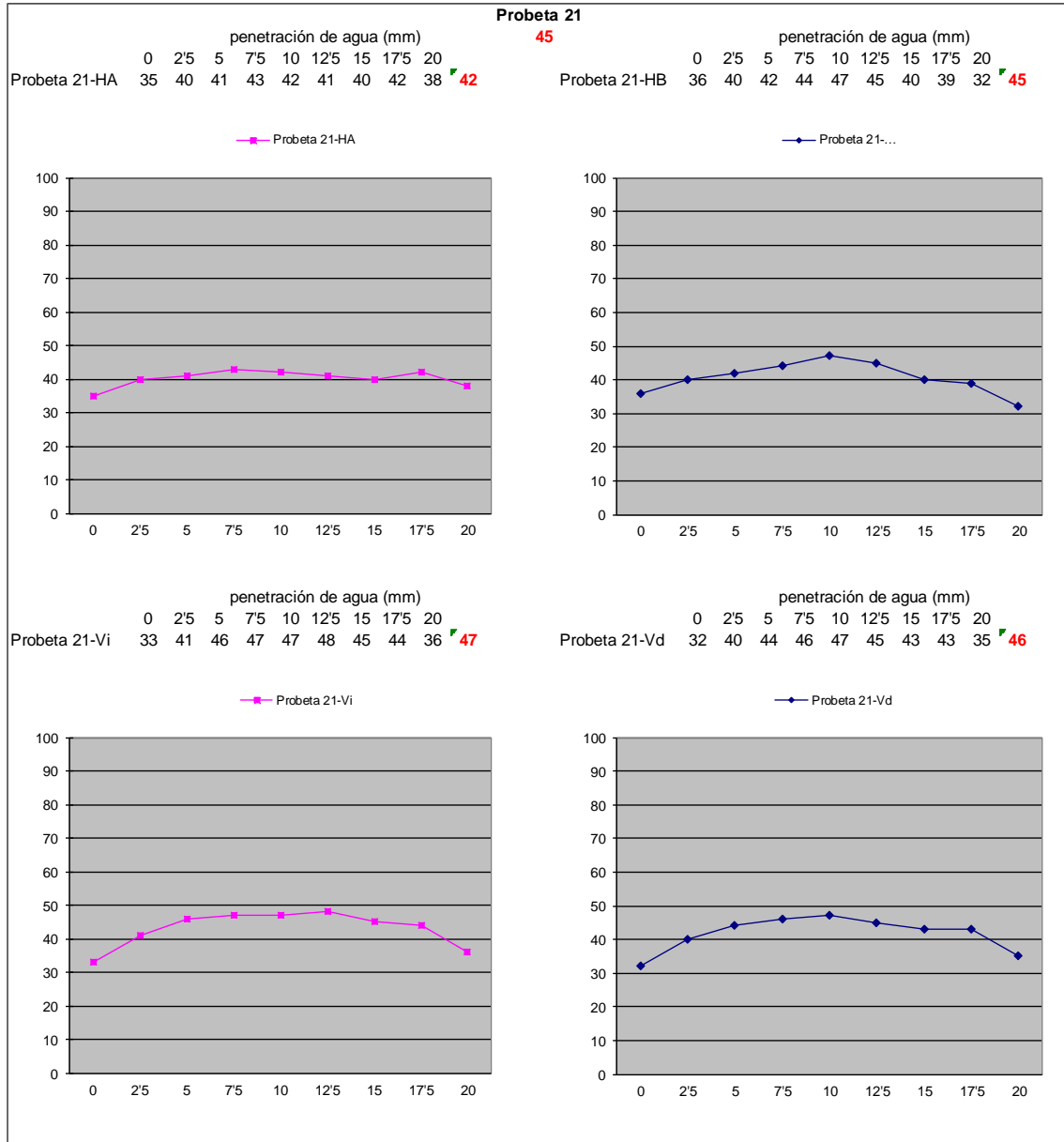


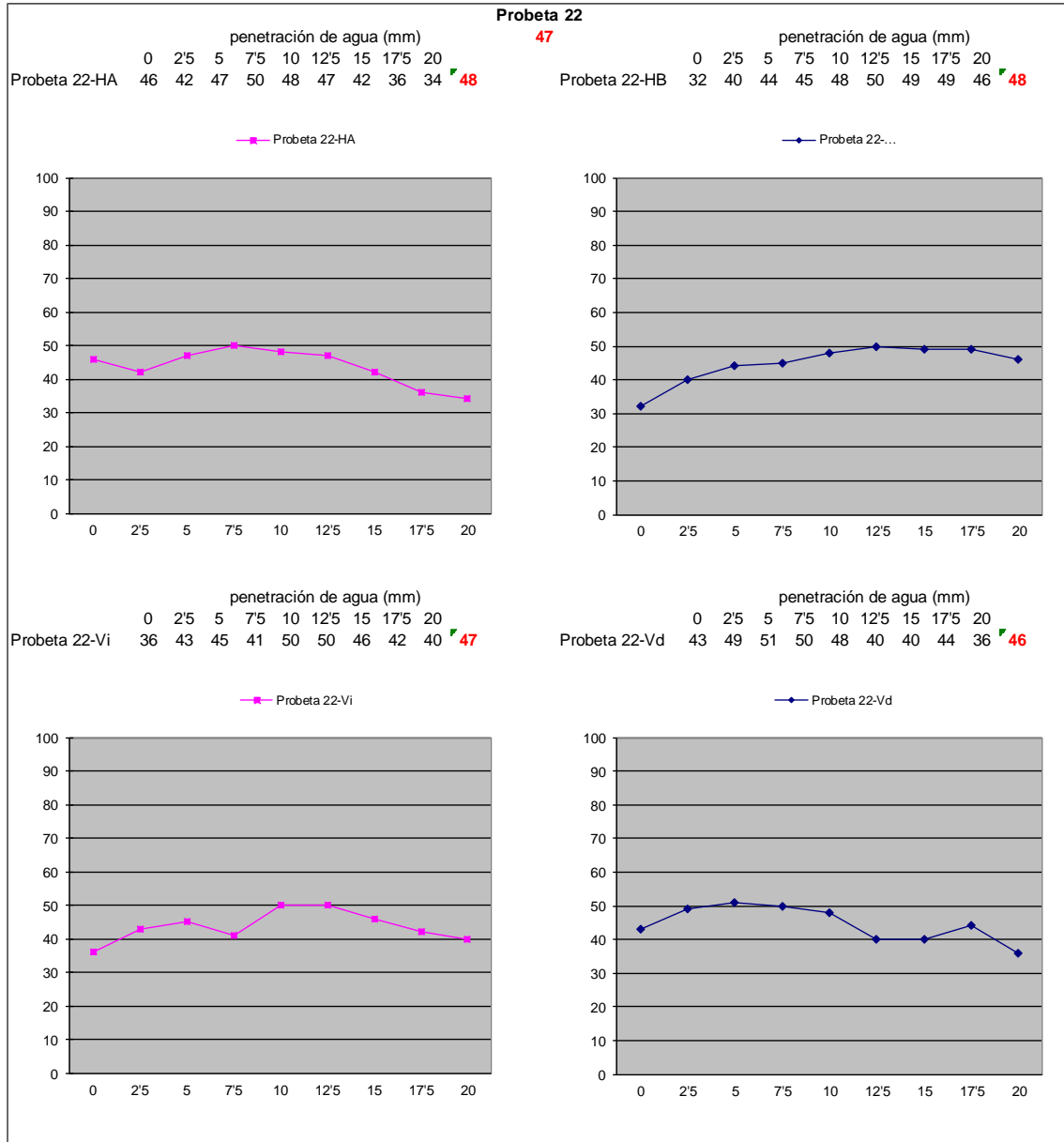






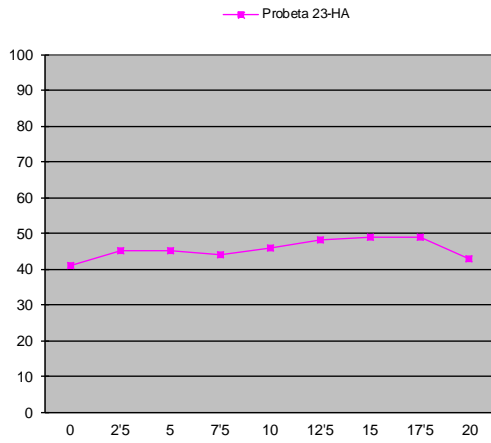




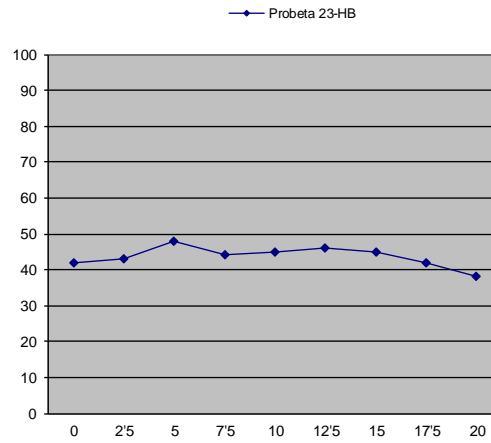


**Probeta 23**  
46

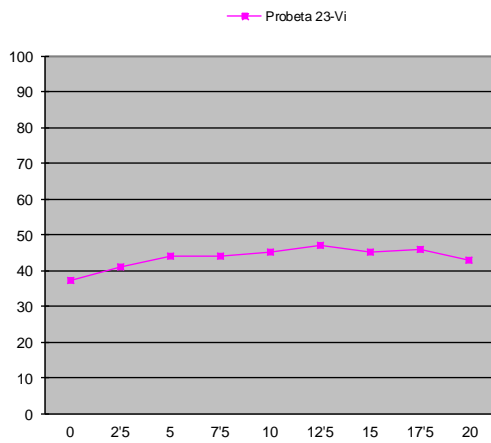
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20	
Probeta 23-HA	41	45	45	44	46	48	49	49	43	46



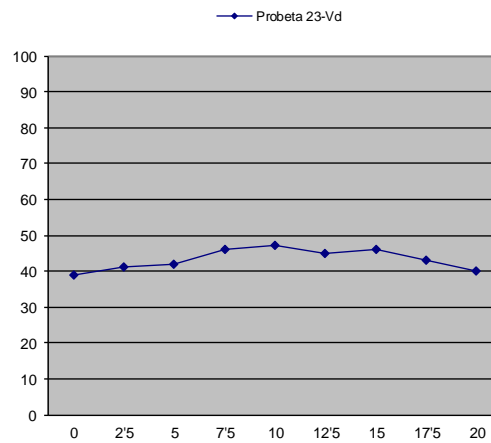
	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20	
Probeta 23-HB	42	43	48	44	45	46	45	42	38	45

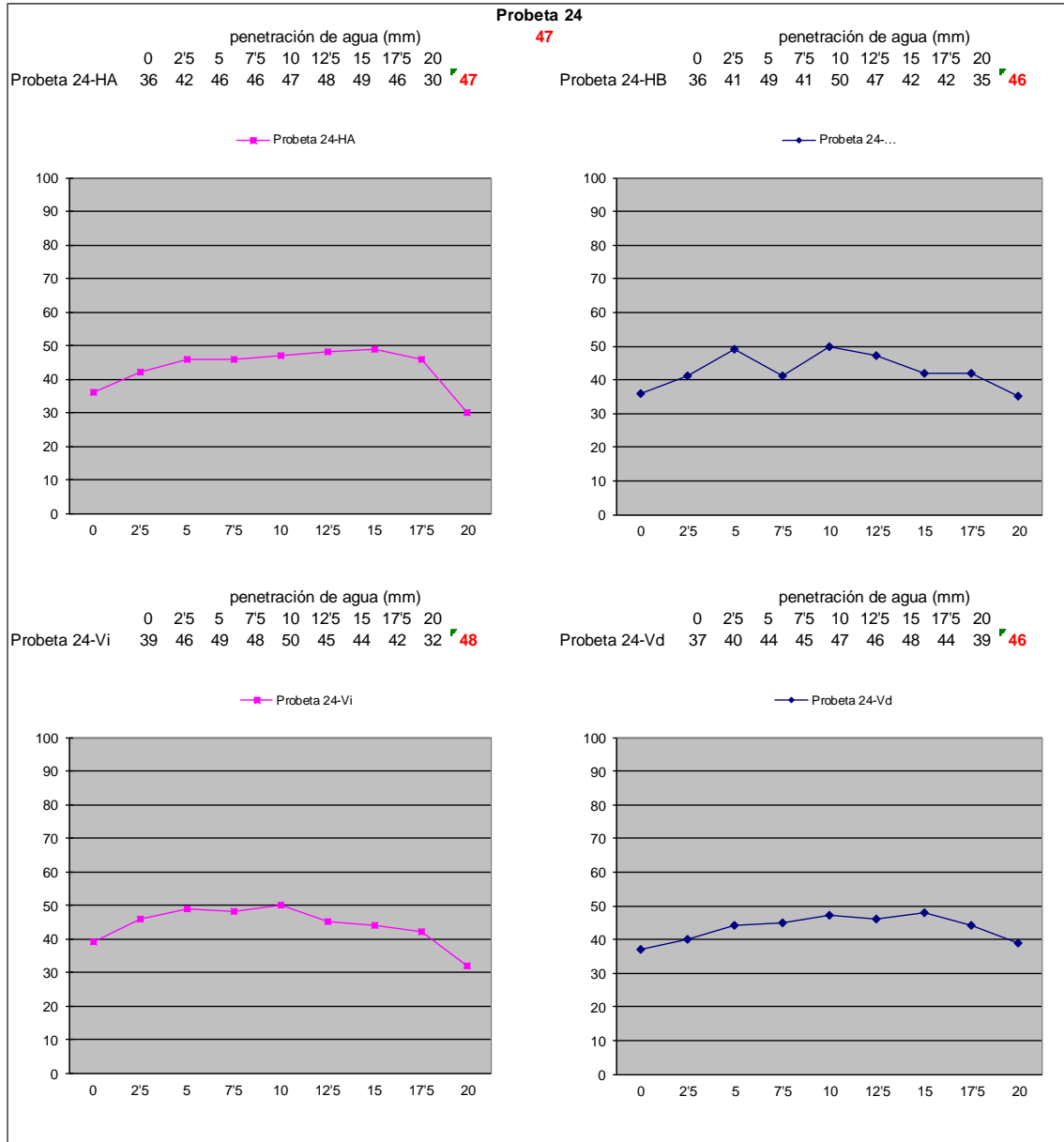


	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20	
Probeta 23-Vi	37	41	44	44	45	47	45	46	43	45



	0	2'5	5	7'5	10	12'5	15	17'5	20	
Probeta 23-Vd	39	41	42	46	47	45	46	43	40	46





### 9.3.- Anejo 3: Listado de velocidades de propagación en cm/s

A continuación se muestran los valores de velocidad de propagación de las ondas para las 24 probetas, en estado seco y posterior a su inmersión (húmeda) y la diferencia entre ambos valores (húmeda – seca).

P01 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,7078	18,1596	11,408	13,1825	15,8897	10,1116	11,4816	13,4821
P2	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P3	12,5327	14,8304	18,1596	11,3353	13,1825	15,749	10,0545	11,4816	13,3808
P4	12,5327	14,8304	18,1596	11,3353	13,1825	15,749	10,2278	11,7082	13,6896
P5	12,4451	14,7078	17,9762	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P6	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,2278	11,7082	13,7957
P7	12,4451	14,7078	18,1596	11,2636	13,0856	15,749	10,0545	11,4816	13,4821
P8	12,4451	14,7078	18,1596	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P9	12,5327	14,7078	18,1596	11,3353	13,0856	15,749	10,0545	11,408	13,3808

P01 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,9550	18,5379	11,3353	13,2809	16,0328	9,9980	11,4816	13,4821
P2	12,6216	15,0817	18,5379	11,4080	13,3808	16,0328	10,1116	11,6317	13,5851
P3	12,5327	15,0817	18,7331	11,3353	13,3808	16,1786	10,1694	11,7857	13,9035
P4	12,4451	14,9550	18,5379	11,3353	13,3808	16,1786	10,2278	11,8643	14,0129
P5	12,4451	14,9550	18,7331	11,2636	13,2809	16,1786	10,1116	11,7082	13,9035
P6	12,3586	15,0817	18,7331	11,1927	13,3808	16,1786	9,9421	11,6317	13,6896
P7	12,2734	14,9550	18,7331	11,1927	13,3808	16,3270	10,1116	11,8643	14,1241
P8	12,3586	15,0817	18,5379	11,1927	13,3808	16,0328	9,8323	11,4816	13,3808
P9	12,4451	14,9550	18,7331	11,2636	13,2809	16,1786	9,8869	11,4080	13,4821

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	0,0000	0,2472	0,3783	-0,0727	0,0984	0,1432	-0,1136	0,0000	0,0000
P2	0,0889	0,2514	0,1911	0,0000	0,0999	0,0000	-0,0578	0,0000	-0,1045
P3	0,0000	0,2514	0,5735	0,0000	0,1982	0,4295	0,1149	0,3041	0,5227
P4	-0,0876	0,1246	0,3783	0,0000	0,1982	0,4295	0,0000	0,1561	0,3234
P5	0,0000	0,2472	0,7569	-0,1444	0,0000	0,2889	-0,1753	-0,0775	0,1078
P6	-0,1741	0,2514	0,3862	-0,1426	0,1982	0,2889	-0,2857	-0,0765	-0,1061
P7	-0,1717	0,2472	0,5735	-0,0708	0,2952	0,5779	0,0571	0,3827	0,6420
P8	-0,0864	0,3739	0,3783	-0,2152	0,0999	0,0000	-0,4547	-0,3041	-0,5227
P9	-0,0876	0,2472	0,5735	-0,0717	0,1953	0,4295	-0,1676	0,0000	0,1014
<b>promedio</b>									
	<b>-0,0576</b>	<b>0,2490</b>	<b>0,4655</b>	<b>-0,0797</b>	<b>0,1537</b>	<b>0,2875</b>	<b>-0,1203</b>	<b>0,0428</b>	<b>0,1071</b>

P02 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,1116	11,5561	13,5851
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,287	11,7857	13,7957
P3	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,1116	11,5561	13,4821
P4	12,5327	14,8304	18,3468	11,4816	13,3808	16,1786	10,287	11,7857	13,9035
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P7	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1116	11,5561	13,5851
P8	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P9	12,4451	14,7078	17,9762	11,3353	13,1825	15,749	9,99799	11,408	13,2809

P02 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,1893	15,2106	18,9324	11,1228	13,5851	16,4782	9,83228	11,7082	13,7957
P2	12,1893	15,2106	19,1359	11,1228	13,5851	16,6322	10,0545	12,0246	14,352
P3	12,0246	15,3417	19,1359	10,9181	13,5851	16,4782	9,56797	11,5561	13,5851
P4	12,3586	15,4752	19,3439	11,1927	13,6896	16,6322	10,0545	12,0246	14,2371
P5	12,1893	15,3417	19,3439	11,0537	13,5851	16,6322	9,99799	12,0246	14,352
P6	12,1064	15,2106	19,3439	10,9854	13,4821	16,6322	9,83228	11,7857	14,1241
P7	11,9439	15,2106	19,1359	10,8515	13,4821	16,4782	9,61969	11,6317	13,7957
P8	12,0246	15,3417	19,3439	10,8515	13,4821	16,4782	9,72482	11,7857	14,0129
P9	11,9439	15,0817	18,9324	10,8515	13,3808	16,327	9,61969	11,5561	13,6896

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,4322	0,2556	0,3944	-0,2852	0,3041	0,4454	-0,2793	0,1521	0,2106
P2	-0,4322	0,2556	0,7891	-0,3588	0,2043	0,5994	-0,2325	0,2389	0,5563
P3	-0,5970	0,3868	0,7891	-0,4899	0,3041	0,5885	-0,5436	0,0000	0,1029
P4	-0,1741	0,6448	0,9971	-0,2888	0,3088	0,4536	-0,2325	0,2389	0,3337
P5	-0,3434	0,5114	0,9971	-0,3543	0,3041	0,5994	-0,4093	0,0807	0,2278
P6	-0,4263	0,3803	0,9971	-0,4225	0,2012	0,5994	-0,3956	0,0775	0,3285
P7	-0,5888	0,3803	0,7891	-0,5565	0,2012	0,4454	-0,4919	0,0755	0,2106
P8	-0,5081	0,5114	0,9971	-0,5565	0,2012	0,4454	-0,5030	0,0775	0,2173
P9	-0,5011	0,3739	0,9562	-0,4838	0,1982	0,5779	-0,3783	0,1482	0,4086
<b>promedio</b>									
	<b>-0,4448</b>	<b>0,4111</b>	<b>0,8563</b>	<b>-0,4218</b>	<b>0,2475</b>	<b>0,5282</b>	<b>-0,3851</b>	<b>0,1210</b>	<b>0,2885</b>



P03 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,7078	17,9762	11,408	13,1825	15,749	10,1116	11,4816	13,3808
P2	12,5327	14,7078	18,3468	11,408	13,1825	16,0328	10,287	11,7082	13,9035
P3	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1116	11,5561	13,5851
P4	12,4451	14,7078	17,9762	11,408	13,2809	15,8897	10,2278	11,7082	13,6896
P5	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,3468	11,8643	13,9035
P6	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P7	12,4451	14,7078	18,1596	11,2636	13,0856	15,749	9,99799	11,408	13,3808
P8	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,1694	11,6317	13,6896
P9	12,5327	14,7078	18,1596	11,3353	13,0856	15,749	10,0545	11,408	13,3808

P03 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,1893	15,2106	19,1359	11,0537	13,4821	16,4782	9,83228	11,7082	13,9035
P2	12,1064	15,2106	19,3439	10,9854	13,4821	16,6322	9,94214	11,9439	14,352
P3	12,0246	15,0817	19,1359	10,9181	13,3808	16,4782	9,72482	11,6317	13,9035
P4	12,1064	14,7078	19,1359	10,9854	13,0856	16,4782	9,8869	11,5561	14,1241
P5	12,1064	15,0817	19,1359	10,9854	13,3808	16,4782	9,99799	11,9439	14,352
P6	12,1064	15,3417	19,1359	10,9181	13,4821	16,327	9,8869	11,9439	14,1241
P7	12,0246	14,5872	19,3439	10,9854	13,0856	16,7891	9,94214	11,6317	14,4686
P8	12,0246	14,5872	19,3439	10,9854	13,0856	16,7891	9,94214	11,6317	14,4686
P9	12,0246	14,955	19,3439	10,8515	13,1825	16,4782	9,67197	11,4816	13,9035

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,3434	0,5028	1,1598	-0,3543	0,2996	0,7291	-0,2793	0,2266	0,5227
P2	-0,4263	0,5028	0,9971	-0,4225	0,2996	0,5994	-0,3448	0,2357	0,4485
P3	-0,5081	0,2514	0,7891	-0,4899	0,0999	0,4454	-0,3868	0,0755	0,3184
P4	-0,3386	0,0000	1,1598	-0,4225	-0,1953	0,5885	-0,3409	-0,1521	0,4346
P5	-0,4263	0,2514	0,9763	-0,4225	0,0999	0,5885	-0,3488	0,0796	0,4485
P6	-0,4263	0,5114	0,9763	-0,4899	0,2012	0,4373	-0,4000	0,1582	0,3285
P7	-0,4204	-0,1206	1,1843	-0,2781	0,0000	1,0400	-0,0559	0,2237	1,0879
P8	-0,4204	-0,1206	1,1843	-0,3499	-0,0969	0,8994	-0,2272	0,0000	0,7791
P9	-0,5081	0,2472	1,1843	-0,4838	0,0969	0,7291	-0,3825	0,0736	0,5227
	<b>promedio</b>								
	<b>-0,4242</b>	<b>0,2251</b>	<b>1,0679</b>	<b>-0,4126</b>	<b>0,0894</b>	<b>0,6730</b>	<b>-0,3074</b>	<b>0,1023</b>	<b>0,5434</b>

P04 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,1694	11,6317	13,5851
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P4	12,5327	14,955	18,3468	11,408	13,3808	16,0328	10,287	11,8643	13,9035
P5	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,4685	12,0246	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,2278	11,7082	13,6896
P8	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P9	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896

P04 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,8643	14,4686	19,7738	10,7857	12,8960	16,9490	9,5680	11,1927	14,1241
P2	11,9439	14,3520	20,4557	10,8515	12,8032	17,4475	9,8323	11,4080	14,9550
P3	12,0246	14,3520	20,4557	10,8515	12,7117	17,2781	9,6720	11,1228	14,4686
P4	11,9439	14,3520	20,2232	10,8515	12,8032	17,2781	9,7783	11,3353	14,7078
P5	12,0246	14,4686	20,4557	10,8515	12,8032	17,2781	9,8323	11,4080	14,8304
P6	11,9439	14,3520	20,4557	10,8515	12,8032	17,4475	9,7248	11,2636	14,7078
P7	11,8643	14,2371	20,6935	10,7857	12,7117	17,6202	9,6197	11,1228	14,7078
P8	11,8643	14,2371	20,9370	10,7857	12,7117	17,7964	9,7248	11,2636	15,0817
P9	11,8643	14,2371	20,4557	10,8515	12,8032	17,6202	9,6197	11,1228	14,5872

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,7573	-0,4863	1,4270	-0,6223	-0,3850	1,0593	-0,6014	-0,4389	0,5391
P2	-0,6777	-0,6030	2,1088	-0,6301	-0,5776	1,4147	-0,5145	-0,4563	1,0515
P3	-0,5970	-0,6030	1,9177	-0,5565	-0,5692	1,2453	-0,6150	-0,6629	0,5652
P4	-0,5888	-0,6030	1,8764	-0,5565	-0,5776	1,2453	-0,5087	-0,5290	0,8043
P5	-0,5970	-0,4863	2,1088	-0,6301	-0,5776	1,2453	-0,6362	-0,6166	0,7062
P6	-0,6777	-0,6030	1,9177	-0,6301	-0,5776	1,2689	-0,6219	-0,6007	0,6949
P7	-0,7573	-0,7178	2,3467	-0,6959	-0,6690	1,5874	-0,6081	-0,5854	1,0182
P8	-0,7573	-0,7178	2,3990	-0,6959	-0,6690	1,6179	-0,6219	-0,6007	1,0688
P9	-0,7573	-0,7178	1,9177	-0,5565	-0,4777	1,5874	-0,5497	-0,5089	0,8977
<b>promedio</b>									
	<b>-0,6852</b>	<b>-0,6154</b>	<b>2,0022</b>	<b>-0,6193</b>	<b>-0,5645</b>	<b>1,3635</b>	<b>-0,5864</b>	<b>-0,5555</b>	<b>0,8162</b>

P05 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,8304	18,1596	11,3353	13,1825	15,749	10,1116	11,5561	13,4821
P2	12,4451	14,7078	17,9762	11,3353	13,1825	15,749	10,2278	11,7082	13,6896
P3	12,4451	14,8304	18,1596	11,2636	13,1825	15,749	9,99799	11,4816	13,3808
P4	12,3586	14,7078	18,1596	11,2636	13,1825	15,8897	10,1694	11,7082	13,7957
P5	12,3586	14,7078	18,1596	11,2636	13,1825	15,8897	10,2278	11,7857	13,9035
P6	12,4451	14,7078	18,3468	11,2636	13,0856	15,8897	10,1694	11,6317	13,7957
P7	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,0545	11,4816	13,4821
P8	12,4451	14,8304	18,1596	11,3353	13,2809	15,8897	10,1694	11,7082	13,6896
P9	12,4451	14,8304	18,1596	11,2636	13,1825	15,749	9,99799	11,4816	13,3808

P05 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,7857	14,0129	16,0328	10,7207	12,5327	14,1241	9,5168	10,9181	12,1064
P2	11,6317	14,0129	15,749	10,6565	12,6216	14,0129	9,67197	11,2636	12,3586
P3	11,7857	14,0129	15,8897	10,7207	12,5327	14,0129	9,5168	10,9181	12,0246
P4	11,7082	14,0129	15,8897	10,6565	12,5327	14,0129	9,61969	11,1228	12,2734
P5	11,7082	14,1241	16,6322	10,6565	12,6216	14,5872	9,67197	11,2636	12,8032
P6	11,7082	14,0129	16,0328	10,6565	12,5327	14,1241	9,61969	11,1228	12,3586
P7	11,6317	13,9035	15,749	10,6565	12,5327	14,0129	9,61969	11,1228	12,2734
P8	11,6317	13,7957	15,6109	10,6565	12,4451	13,9035	9,72482	11,1927	12,3586
P9	11,7082	13,9035	15,749	10,6565	12,4451	13,9035	9,61969	11,0537	12,1893

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,7470	-0,8174	-2,1268	-0,6146	-0,6498	-1,6249	-0,5948	-0,6381	-1,3757
P2	-0,8134	-0,6949	-2,2271	-0,6788	-0,5610	-1,7361	-0,5559	-0,4446	-1,3309
P3	-0,6593	-0,8174	-2,2700	-0,5428	-0,6498	-1,7361	-0,4812	-0,5635	-1,3562
P4	-0,6505	-0,6949	-2,2700	-0,6070	-0,6498	-1,8767	-0,5497	-0,5854	-1,5223
P5	-0,6505	-0,5836	-1,5274	-0,6070	-0,5610	-1,3024	-0,5559	-0,5222	-1,1003
P6	-0,7369	-0,6949	-2,3140	-0,6070	-0,5529	-1,7655	-0,5497	-0,5089	-1,4370
P7	-0,8134	-0,8043	-2,4106	-0,6788	-0,6498	-1,8767	-0,4348	-0,3588	-1,2087
P8	-0,8134	-1,0347	-2,5487	-0,6788	-0,8359	-1,9862	-0,4446	-0,5155	-1,3309
P9	-0,7369	-0,9269	-2,4106	-0,6070	-0,7375	-1,8456	-0,3783	-0,4279	-1,1914
<b>promedio</b>									
	<b>-0,7357</b>	<b>-0,7854</b>	<b>-2,2339</b>	<b>-0,6246</b>	<b>-0,6497</b>	<b>-1,7500</b>	<b>-0,5050</b>	<b>-0,5072</b>	<b>-1,3171</b>

P06 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,4451	14,7078	18,1596	11,2636	13,0856	15,749	9,94214	11,3353	13,2809
P2	12,4451	14,5872	17,9762	11,3353	13,0856	15,749	10,1694	11,5561	13,5851
P3	12,3586	14,5872	17,9762	11,1927	12,9901	15,6109	9,94214	11,3353	13,2809
P4	12,4451	14,5872	17,7964	11,3353	13,0856	15,6109	10,2278	11,6317	13,5851
P5	12,3586	14,5872	17,7964	11,2636	13,0856	15,6109	10,2278	11,7082	13,6896
P6	12,3586	14,5872	17,9762	11,2636	13,0856	15,749	10,1694	11,6317	13,6896
P7	12,4451	14,5872	17,9762	11,3353	13,0856	15,749	10,0545	11,408	13,3808
P8	12,3586	14,5872	17,9762	11,2636	13,0856	15,749	10,1116	11,5561	13,5851
P9	12,4451	14,7078	17,9762	11,2636	13,0856	15,6109	9,94214	11,3353	13,1825

P06 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,7082	13,9035	16,7891	10,6565	12,4451	14,7078	9,46618	10,8515	12,5327
P2	11,7082	13,9035	16,6322	10,6565	12,4451	14,5872	9,67197	11,1228	12,8032
P3	11,7082	13,9035	16,6322	10,6565	12,4451	14,5872	9,67197	11,1228	12,8032
P4	11,8643	14,1241	16,949	10,7857	12,6216	14,8304	9,67197	11,1228	12,8032
P5	11,6317	14,0129	16,7891	10,5931	12,5327	14,7078	9,61969	11,1927	12,896
P6	11,6317	14,0129	16,949	10,5931	12,5327	14,8304	9,56797	11,1228	12,896
P7	11,7082	14,0129	16,7891	10,7207	12,6216	14,8304	9,5168	10,9854	12,6216
P8	11,5561	13,9035	16,6322	10,5931	12,5327	14,7078	9,5168	11,0537	12,7117
P9	11,7082	14,0129	16,7891	10,6565	12,5327	14,7078	9,46618	10,9181	12,5327

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,7369	-0,8043	-1,3705	-0,6070	-0,6406	-1,0413	-0,4760	-0,4838	-0,7482
P2	-0,7369	-0,6838	-1,3440	-0,6788	-0,6406	-1,1618	-0,4974	-0,4334	-0,7819
P3	-0,6505	-0,6838	-1,3440	-0,5362	-0,5450	-1,0237	-0,2702	-0,2125	-0,4777
P4	-0,5808	-0,4631	-0,8474	-0,5496	-0,4640	-0,7805	-0,5559	-0,5089	-0,7819
P5	-0,7270	-0,5743	-1,0073	-0,6705	-0,5529	-0,9031	-0,6081	-0,5155	-0,7936
P6	-0,7270	-0,5743	-1,0272	-0,6705	-0,5529	-0,9187	-0,6014	-0,5089	-0,7936
P7	-0,7369	-0,5743	-1,1871	-0,6146	-0,4640	-0,9187	-0,5377	-0,4225	-0,7592
P8	-0,8025	-0,6838	-1,3440	-0,6705	-0,5529	-1,0413	-0,5948	-0,5024	-0,8733
P9	-0,7369	-0,6949	-1,1871	-0,6070	-0,5529	-0,9031	-0,4760	-0,4173	-0,6498
	<b>promedio</b>								
	<b>-0,7150</b>	<b>-0,6374</b>	<b>-1,1843</b>	<b>-0,6227</b>	<b>-0,5518</b>	<b>-0,9658</b>	<b>-0,5130</b>	<b>-0,4450</b>	<b>-0,7399</b>

P07 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,4451	14,7078	17,9762	11,3353	13,1825	15,749	10,1694	11,6317	13,5851
P2	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,287	11,7857	13,9035
P3	12,5327	14,955	18,3468	11,3353	13,2809	15,8897	10,1116	11,6317	13,5851
P4	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,2278	11,7082	13,7957
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P6	12,5327	14,7078	18,1596	11,408	13,1825	15,8897	10,287	11,7082	13,7957
P7	12,4451	14,7078	17,9762	11,3353	13,1825	15,749	9,99799	11,408	13,2809
P8	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,1116	11,5561	13,5851
P9	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	9,99799	11,408	13,3808

P07 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,7857	14,0129	16,7891	10,7857	12,6216	14,8304	9,5680	10,9854	12,6216
P2	11,7082	14,1241	16,7891	10,7207	12,7117	14,8304	9,6197	11,1927	12,8032
P3	11,7857	14,1241	16,9490	10,7207	12,6216	14,8304	9,4662	10,9181	12,5327
P4	11,7082	14,0129	16,7891	10,7207	12,6216	14,8304	9,6197	11,1228	12,8032
P5	11,7082	14,0129	16,7891	10,6565	12,5327	14,7078	9,6720	11,1927	12,8960
P6	11,8643	14,2371	16,9490	10,7207	12,6216	14,7078	9,6720	11,1927	12,8032
P7	11,7082	14,0129	16,7891	10,6565	12,5327	14,7078	9,4662	10,9181	12,5327
P8	11,7082	14,0129	16,7891	10,6565	12,5327	14,7078	9,4662	10,9181	12,5327
P9	11,7857	14,1241	16,9490	10,6565	12,5327	14,7078	9,4662	10,9181	12,5327

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,6593	-0,6949	-1,1871	-0,5496	-0,5610	-0,9187	-0,6014	-0,6462	-0,9635
P2	-0,8245	-0,7062	-1,5577	-0,6146	-0,4708	-1,0593	-0,6673	-0,5930	-1,1003
P3	-0,7470	-0,8308	-1,3979	-0,6146	-0,6593	-1,0593	-0,6454	-0,7136	-1,0524
P4	-0,7369	-0,6949	-1,3705	-0,6146	-0,5610	-1,0593	-0,6081	-0,5854	-0,9925
P5	-0,8245	-0,8174	-1,5577	-0,7514	-0,7482	-1,3250	-0,6150	-0,5930	-1,0075
P6	-0,6684	-0,4706	-1,2106	-0,6872	-0,5610	-1,1819	-0,6150	-0,5155	-0,9925
P7	-0,7369	-0,6949	-1,1871	-0,6788	-0,6498	-1,0413	-0,5318	-0,4899	-0,7482
P8	-0,7369	-0,6949	-1,3705	-0,6788	-0,6498	-1,1819	-0,6454	-0,6381	-1,0524
P9	-0,7470	-0,7062	-1,3979	-0,6788	-0,6498	-1,1819	-0,5318	-0,4899	-0,8481
<b>promedio</b>									
	<b>-0,7424</b>	<b>-0,7012</b>	<b>-1,3597</b>	<b>-0,6520</b>	<b>-0,6123</b>	<b>-1,1121</b>	<b>-0,6068</b>	<b>-0,5849</b>	<b>-0,9730</b>

P08 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1116	11,5561	13,5851
P2	12,5327	14,8304	18,5379	11,408	13,2809	16,1786	10,2278	11,7082	13,9035
P3	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,1116	11,5561	13,5851
P4	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,3468	11,8643	14,0129
P6	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P7	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P8	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P9	12,4451	14,8304	18,3468	11,2636	13,1825	15,8897	10,0545	11,5561	13,5851

P08 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,6317	14,0129	16,949	10,5931	12,5327	14,8304	9,46618	10,9854	12,7117
P2	11,6317	13,9035	16,7891	10,5931	12,4451	14,7078	9,61969	11,1228	12,896
P3	11,4816	13,7957	16,6322	10,4685	12,3586	14,5872	9,3175	10,7857	12,4451
P4	11,7082	14,1241	16,949	10,6565	12,6216	14,8304	9,56797	11,1228	12,8032
P5	11,7082	14,0129	16,7891	10,6565	12,5327	14,7078	9,72482	11,2636	12,9901
P6	11,6317	14,0129	16,7891	10,5931	12,5327	14,7078	9,56797	11,1228	12,8032
P7	11,7082	14,1241	16,7891	10,7207	12,7117	14,8304	9,46618	10,9854	12,5327
P8	11,7857	14,1241	16,949	10,6565	12,5327	14,7078	9,56797	11,0537	12,7117
P9	11,7082	14,0129	16,949	10,5931	12,4451	14,7078	9,46618	10,9181	12,6216

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,9010	-0,8174	-1,3979	-0,8149	-0,7482	-1,2025	-0,6454	-0,5707	-0,8733
P2	-0,9010	-0,9269	-1,7489	-0,8149	-0,8359	-1,4708	-0,6081	-0,5854	-1,0075
P3	-1,0511	-1,0347	-1,7147	-0,8668	-0,8239	-1,3024	-0,7941	-0,7704	-1,1400
P4	-0,8245	-0,7062	-1,3979	-0,7514	-0,6593	-1,2025	-0,7190	-0,6629	-1,1003
P5	-0,8245	-0,8174	-1,5577	-0,7514	-0,7482	-1,3250	-0,6219	-0,6007	-1,0228
P6	-0,9010	-0,8174	-1,3705	-0,8149	-0,7482	-1,1819	-0,7190	-0,6629	-0,9925
P7	-0,8245	-0,7062	-1,5577	-0,6872	-0,5692	-1,2025	-0,7032	-0,6462	-1,1569
P8	-0,7470	-0,7062	-1,3979	-0,7514	-0,7482	-1,3250	-0,7190	-0,7320	-1,1917
P9	-0,7369	-0,8174	-1,3979	-0,6705	-0,7375	-1,1819	-0,5883	-0,6381	-0,9635
	<b>promedio</b>								
	<b>-0,8569</b>	<b>-0,8167</b>	<b>-1,5046</b>	<b>-0,7693</b>	<b>-0,7354</b>	<b>-1,2660</b>	<b>-0,6798</b>	<b>-0,6522</b>	<b>-1,0498</b>

P09 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P2	12,4451	14,8304	18,3468	11,3353	13,2809	16,0328	10,3468	11,9439	14,1241
P3	12,5327	14,8304	18,5379	11,3353	13,1825	16,0328	10,1694	11,6317	13,7957
P4	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,3468	11,8643	14,0129
P6	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,2278	11,7082	13,7957
P7	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P8	12,6216	14,8304	18,5379	11,408	13,1825	16,0328	10,287	11,7082	13,9035
P9	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,0545	11,4816	13,4821

P09 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,6317	13,9035	16,9490	10,5931	12,4451	14,8304	9,5168	10,9854	12,8032
P2	11,4816	13,7957	16,7891	10,5304	12,4451	14,8304	9,6197	11,1927	13,0856
P3	11,4080	13,7957	16,7891	10,4685	12,4451	14,8304	9,4662	11,0537	12,8960
P4	11,6317	14,0129	16,9490	10,5931	12,5327	14,8304	9,6197	11,1927	12,9901
P5	11,6317	13,9035	17,1119	10,5304	12,3586	14,8304	9,4662	10,9181	12,8032
P6	11,7082	14,0129	17,1119	10,5304	12,3586	14,7078	9,5168	10,9854	12,8032
P7	11,7082	14,1241	17,1119	10,5931	12,5327	14,8304	9,4161	10,9181	12,6216
P8	11,5561	13,9035	16,7891	10,5931	12,5327	14,8304	9,5168	11,0537	12,8032
P9	11,6317	14,0129	16,7891	10,5931	12,5327	14,7078	9,3665	10,8515	12,4451

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,9010	-0,9269	-1,3979	-0,8149	-0,8359	-1,2025	-0,7110	-0,7227	-0,9925
P2	-0,9635	-1,0347	-1,5577	-0,8049	-0,8359	-1,2025	-0,7271	-0,7512	-1,0385
P3	-1,1247	-1,0347	-1,7489	-0,8668	-0,7375	-1,2025	-0,7032	-0,5780	-0,8997
P4	-0,9010	-0,8174	-1,3979	-0,8149	-0,7482	-1,2025	-0,6673	-0,5930	-0,9134
P5	-0,9010	-0,9269	-1,2349	-0,8775	-0,9223	-1,2025	-0,8806	-0,9462	-1,2097
P6	-0,8245	-0,8174	-1,2349	-0,8049	-0,8239	-1,1819	-0,7110	-0,7227	-0,9925
P7	-0,9134	-0,8308	-1,4260	-0,8149	-0,7482	-1,2025	-0,7533	-0,7136	-1,0680
P8	-1,0655	-0,9269	-1,7489	-0,8149	-0,6498	-1,2025	-0,7701	-0,6545	-1,1003
P9	-0,9899	-0,9420	-1,7489	-0,8149	-0,7482	-1,3250	-0,6879	-0,6301	-1,0371
<b>promedio</b>									
	<b>-0,9539</b>	<b>-0,9175</b>	<b>-1,4995</b>	<b>-0,8254</b>	<b>-0,7833</b>	<b>-1,2138</b>	<b>-0,7346</b>	<b>-0,7013</b>	<b>-1,0280</b>

P10 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,7117	14,955	18,3468	11,4816	13,2809	15,8897	10,1694	11,5561	13,4821
P2	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,4685	11,9439	14,1241
P3	12,7117	15,0817	18,7331	11,4816	13,3808	16,1786	10,1694	11,6317	13,6896
P4	12,7117	14,955	18,3468	11,5561	13,3808	16,0328	10,3468	11,7857	13,7957
P5	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,4685	12,0246	14,1241
P6	12,7117	15,0817	18,7331	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,2278	11,7082	13,6896
P8	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P9	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,1694	11,6317	13,5851

P10 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,7082	13,9035	16,7891	10,6565	12,4451	14,7078	9,5168	10,9181	12,6216
P2	11,7857	14,1241	17,1119	10,7207	12,6216	14,955	9,67197	11,1927	12,9901
P3	11,7082	14,2371	17,1119	10,6565	12,7117	14,955	9,56797	11,1927	12,896
P4	11,7082	13,9035	16,949	10,6565	12,4451	14,8304	9,61969	11,0537	12,896
P5	11,7082	14,1241	17,1119	10,6565	12,6216	14,955	9,67197	11,2636	13,0856
P6	11,7857	14,1241	17,1119	10,7207	12,6216	14,955	9,67197	11,1927	12,9901
P7	11,7857	14,0129	17,2781	10,7207	12,5327	15,0817	9,46618	10,8515	12,7117
P8	11,6317	14,0129	17,2781	10,5931	12,5327	15,0817	9,56797	11,1228	13,0856
P9	11,6317	14,0129	17,2781	10,5304	12,4451	14,955	9,36654	10,8515	12,7117

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,0036	-1,0515	-1,5577	-0,8250	-0,8359	-1,1819	-0,6526	-0,6381	-0,8606
P2	-0,9260	-0,8308	-1,4260	-0,8354	-0,7592	-1,2236	-0,7965	-0,7512	-1,1341
P3	-1,0036	-0,8446	-1,6211	-0,8250	-0,6690	-1,2236	-0,6014	-0,4389	-0,7936
P4	-1,0036	-1,0515	-1,3979	-0,8996	-0,9357	-1,2025	-0,7271	-0,7320	-0,8997
P5	-1,0036	-0,9576	-1,4260	-0,8996	-0,8606	-1,2236	-0,7965	-0,7611	-1,0385
P6	-0,9260	-0,9576	-1,6211	-0,7608	-0,7592	-1,2236	-0,6748	-0,6716	-1,0228
P7	-0,8359	-0,9420	-1,0687	-0,7608	-0,8481	-0,9511	-0,7616	-0,8567	-0,9778
P8	-0,9899	-0,9420	-1,2599	-0,8885	-0,8481	-1,0969	-0,8393	-0,8211	-1,0385
P9	-0,9899	-0,9420	-1,0687	-0,9511	-0,9357	-1,0778	-0,8028	-0,7802	-0,8733
<b>promedio</b>									
	<b>-0,9647</b>	<b>-0,9466</b>	<b>-1,3830</b>	<b>-0,8495</b>	<b>-0,8279</b>	<b>-1,1561</b>	<b>-0,7392</b>	<b>-0,7168</b>	<b>-0,9599</b>



P11 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,4451	14,7078	17,9762	11,3353	13,1825	15,749	10,1694	11,6317	13,5851
P2	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,287	11,7857	13,9035
P3	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,1116	11,5561	13,5851
P4	12,5327	14,7078	18,1596	11,408	13,1825	15,8897	10,287	11,7082	13,7957
P5	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,287	11,7857	13,9035
P6	12,4451	14,7078	18,1596	11,3353	13,1825	15,8897	10,2278	11,7082	13,7957
P7	12,5327	14,7078	18,3468	11,408	13,1825	16,0328	10,0545	11,408	13,4821
P8	12,6216	14,8304	18,3468	11,408	13,1825	15,8897	10,287	11,7082	13,7957
P9	12,6216	14,8304	18,1596	11,408	13,1825	15,749	10,1116	11,4816	13,3808

P11 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,5561	13,7957	16,949	10,5304	12,3586	14,8304	9,4161	10,8515	12,7117
P2	11,5561	13,9035	16,949	10,5304	12,4451	14,8304	9,56797	11,1228	12,9901
P3	11,5561	13,7957	16,949	10,5304	12,3586	14,8304	9,4161	10,8515	12,7117
P4	11,5561	13,9035	16,7891	10,5304	12,4451	14,7078	9,46618	10,9854	12,7117
P5	11,5561	13,7957	16,7891	10,5304	12,3586	14,7078	9,56797	11,0537	12,896
P6	11,6317	13,9035	16,949	10,5304	12,3586	14,7078	9,56797	11,0537	12,896
P7	11,4816	13,7957	16,7891	10,4685	12,3586	14,7078	9,26897	10,7207	12,4451
P8	11,6317	13,7957	16,7891	10,5931	12,3586	14,7078	9,5168	10,9181	12,7117
P9	11,7082	13,7957	16,7891	10,6565	12,3586	14,7078	9,46618	10,7857	12,5327

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,8889	-0,9121	-1,0272	-0,8049	-0,8239	-0,9187	-0,7533	-0,7802	-0,8733
P2	-0,8889	-0,8043	-1,2106	-0,8049	-0,7375	-1,0593	-0,7190	-0,6629	-0,9134
P3	-0,8889	-0,9121	-1,2106	-0,8049	-0,8239	-1,0593	-0,6955	-0,7046	-0,8733
P4	-0,9766	-0,8043	-1,3705	-0,8775	-0,7375	-1,1819	-0,8208	-0,7227	-1,0839
P5	-0,8889	-0,9121	-1,3705	-0,8049	-0,8239	-1,1819	-0,7190	-0,7320	-1,0075
P6	-0,8134	-0,8043	-1,2106	-0,8049	-0,8239	-1,1819	-0,6599	-0,6545	-0,8997
P7	-1,0511	-0,9121	-1,5577	-0,9395	-0,8239	-1,3250	-0,7855	-0,6872	-1,0371
P8	-0,9899	-1,0347	-1,5577	-0,8149	-0,8239	-1,1819	-0,7701	-0,7901	-1,0839
P9	-0,9134	-1,0347	-1,3705	-0,7514	-0,8239	-1,0413	-0,6454	-0,6959	-0,8481
<b>promedio</b>									
	<b>-0,9222</b>	<b>-0,9034</b>	<b>-1,3207</b>	<b>-0,8231</b>	<b>-0,8047</b>	<b>-1,1257</b>	<b>-0,7298</b>	<b>-0,7145</b>	<b>-0,9578</b>

P12 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P3	12,7117	15,0817	18,5379	11,4816	13,3808	16,0328	10,1694	11,6317	13,5851
P4	12,6216	14,8304	18,3468	11,4816	13,2809	16,0328	10,3468	11,7857	13,9035
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,7117	14,955	18,5379	11,4816	13,2809	16,0328	10,3468	11,7857	13,9035
P7	12,6216	14,8304	18,5379	11,408	13,1825	16,0328	10,1116	11,4816	13,5851
P8	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P9	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896

P12 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,5561	13,9035	17,2781	10,5304	12,4451	15,0817	9,3175	10,7857	12,7117
P2	11,5561	13,9035	17,2781	10,5304	12,4451	15,0817	9,46618	10,9854	12,9901
P3	11,4816	14,0129	17,2781	10,4685	12,5327	15,0817	9,26897	10,8515	12,7117
P4	11,408	13,6896	16,949	10,4073	12,2734	14,8304	9,4161	10,9181	12,896
P5	11,5561	13,9035	17,2781	10,4685	12,3586	14,955	9,5168	11,0537	13,0856
P6	11,5561	13,7957	16,949	10,5931	12,4451	14,955	9,56797	11,0537	12,9901
P7	11,5561	13,9035	17,2781	10,4073	12,2734	14,8304	9,3175	10,7857	12,7117
P8	11,4816	13,9035	16,949	10,4685	12,4451	14,8304	9,36654	10,9181	12,7117
P9	11,5561	13,9035	17,2781	10,5304	12,4451	15,0817	9,36654	10,8515	12,8032

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,9766	-0,9269	-1,0687	-0,8775	-0,8359	-0,9511	-0,8519	-0,8459	-0,9778
P2	-1,0655	-1,0515	-1,0687	-0,9511	-0,9357	-0,9511	-0,8806	-0,8788	-0,9134
P3	-1,2302	-1,0688	-1,2599	-1,0131	-0,8481	-0,9511	-0,9004	-0,7802	-0,8733
P4	-1,2136	-1,1408	-1,3979	-1,0743	-1,0075	-1,2025	-0,9307	-0,8677	-1,0075
P5	-1,0655	-1,0515	-1,2599	-1,0131	-1,0221	-1,2236	-0,8905	-0,8902	-1,0385
P6	-1,1556	-1,1593	-1,5890	-0,8885	-0,8359	-1,0778	-0,7788	-0,7320	-0,9134
P7	-1,0655	-0,9269	-1,2599	-1,0007	-0,9091	-1,2025	-0,7941	-0,6959	-0,8733
P8	-1,0511	-0,9269	-1,3979	-0,9395	-0,8359	-1,2025	-0,9204	-0,8677	-1,1917
P9	-1,0655	-1,0515	-1,2599	-0,8775	-0,8359	-0,9511	-0,8028	-0,7802	-0,8864
<b>promedio</b>									
	<b>-1,0988</b>	<b>-1,0338</b>	<b>-1,2846</b>	<b>-0,9595</b>	<b>-0,8962</b>	<b>-1,0792</b>	<b>-0,8611</b>	<b>-0,8154</b>	<b>-0,9639</b>

P13 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,2278	11,6317	13,6896
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,287	11,7857	13,7957
P3	12,4451	14,8304	18,1596	11,3353	13,2809	15,8897	10,0545	11,5561	13,4821
P4	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,4073	11,8643	14,0129
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,1694	11,6317	13,5851
P8	12,6216	14,955	18,1596	11,4816	13,3808	15,8897	10,3468	11,8643	13,7957
P9	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,1116	11,5561	13,4821

P13 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,4816	13,7957	17,2781	10,4073	12,2734	14,955	9,3175	10,7857	12,8032
P2	11,408	13,6896	17,2781	10,4073	12,2734	15,0817	9,4161	10,9181	13,0856
P3	11,2636	13,5851	16,7891	10,287	12,1893	14,7078	9,22095	10,7207	12,6216
P4	11,3353	13,7957	17,2781	10,287	12,2734	14,955	9,4161	11,0537	13,1825
P5	11,408	13,6896	17,6202	10,3468	12,1893	15,2106	9,36654	10,8515	13,1825
P6	11,3353	13,7957	17,2781	10,287	12,2734	14,955	9,4161	11,0537	13,1825
P7	11,2636	13,5851	17,2781	10,2278	12,1064	14,955	9,26897	10,7857	12,9901
P8	11,3353	13,6896	17,2781	10,3468	12,2734	15,0817	9,22095	10,7207	12,8032
P9	11,2636	13,5851	17,1119	10,287	12,1893	14,955	9,22095	10,7207	12,8032

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,2302	-1,1593	-1,2599	-1,1489	-1,1074	-1,2236	-0,9103	-0,8459	-0,8864
P2	-1,2136	-1,2654	-1,0687	-1,0743	-1,1074	-0,9511	-0,8709	-0,8677	-0,7101
P3	-1,1815	-1,2453	-1,3705	-1,0484	-1,0916	-1,1819	-0,8335	-0,8354	-0,8606
P4	-1,3764	-1,1593	-1,2599	-1,2692	-1,1074	-1,2236	-0,9912	-0,8106	-0,8304
P5	-1,2136	-1,2654	-0,9177	-1,1348	-1,1914	-0,9679	-1,0407	-1,0924	-0,9416
P6	-1,2863	-1,1593	-1,2599	-1,1210	-1,0075	-1,0778	-0,8709	-0,7320	-0,7209
P7	-1,3580	-1,3699	-1,0687	-1,2537	-1,2744	-1,0778	-0,9004	-0,8459	-0,5950
P8	-1,2863	-1,2654	-0,8815	-1,1348	-1,1074	-0,8079	-1,1258	-1,1435	-0,9925
P9	-1,3580	-1,3699	-1,2349	-1,1210	-1,0916	-0,9347	-0,8907	-0,8354	-0,6790
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,2782</b>	<b>-1,2510</b>	<b>-1,1469</b>	<b>-1,1451</b>	<b>-1,1207</b>	<b>-1,0496</b>	<b>-0,9372</b>	<b>-0,8899</b>	<b>-0,8018</b>

P14 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P2	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,3468	11,8643	14,0129
P3	12,5327	14,955	18,3468	11,408	13,3808	16,0328	10,1694	11,7082	13,6896
P4	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P7	12,5327	14,955	18,3468	11,408	13,3808	16,0328	10,1116	11,6317	13,5851
P8	12,5327	14,8304	18,5379	11,408	13,2809	16,1786	10,287	11,7857	14,0129
P9	12,5327	14,955	18,3468	11,3353	13,2809	15,8897	10,0545	11,5561	13,4821

P14 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,1927	13,4821	16,7891	10,2278	12,1064	14,7078	9,36654	10,9181	12,9901
P2	11,2636	13,4821	16,949	10,2278	12,0246	14,7078	9,4161	10,9181	13,0856
P3	11,1927	13,4821	16,949	10,2278	12,1064	14,8304	9,36654	10,9181	13,0856
P4	11,1927	13,3808	17,1119	10,2278	12,0246	14,955	9,4161	10,9181	13,2809
P5	11,1228	13,3808	16,7891	10,1694	12,0246	14,7078	9,36654	10,9181	13,0856
P6	11,4816	13,7957	17,2781	10,4685	12,3586	15,0817	9,56797	11,1228	13,2809
P7	11,2636	13,3808	16,7891	10,2278	11,9439	14,5872	9,4161	10,8515	12,9901
P8	11,1228	13,3808	16,7891	10,1694	12,0246	14,7078	9,36654	10,9181	13,0856
P9	11,2636	13,3808	17,1119	10,287	12,0246	14,955	9,4161	10,8515	13,1825

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,4289	-1,4728	-1,7489	-1,1801	-1,1745	-1,3250	-0,9204	-0,8677	-0,9134
P2	-1,2691	-1,3482	-1,3979	-1,1801	-1,2563	-1,3250	-0,9307	-0,9462	-0,9273
P3	-1,3400	-1,4728	-1,3979	-1,1801	-1,2744	-1,2025	-0,8028	-0,7901	-0,6040
P4	-1,3400	-1,4496	-1,2349	-1,1801	-1,2563	-1,0778	-0,8709	-0,8677	-0,6225
P5	-1,4099	-1,4496	-1,5577	-1,2386	-1,2563	-1,3250	-1,0407	-1,0259	-1,0385
P6	-1,0511	-1,0347	-0,8815	-0,9395	-0,9223	-0,8079	-0,7190	-0,6629	-0,5148
P7	-1,2691	-1,5742	-1,5577	-1,1801	-1,4369	-1,4456	-0,6955	-0,7802	-0,5950
P8	-1,4099	-1,4496	-1,7489	-1,2386	-1,2563	-1,4708	-0,9204	-0,8677	-0,9273
P9	-1,2691	-1,5742	-1,2349	-1,0484	-1,2563	-0,9347	-0,6384	-0,7046	-0,2996
<b>promedio</b>									
	<b>-1,3097</b>	<b>-1,4251</b>	<b>-1,4178</b>	<b>-1,1517</b>	<b>-1,2322</b>	<b>-1,2127</b>	<b>-0,8376</b>	<b>-0,8348</b>	<b>-0,7158</b>

P15 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,7117	15,0817	18,5379	11,4816	13,3808	16,0328	10,287	11,7857	13,7957
P2	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,1694	11,6317	13,6896
P4	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P5	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,5304	12,0246	14,2371
P6	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,3468	11,7857	13,9035
P7	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,287	11,7082	13,7957
P8	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P9	12,7117	14,955	18,7331	11,5561	13,3808	16,327	10,2278	11,6317	13,7957

P15 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,3353	13,5851	17,2781	10,3468	12,1893	15,0817	9,26897	10,7207	12,896
P2	11,2636	13,4821	17,1119	10,3468	12,1893	15,0817	9,46618	10,9854	13,2809
P3	11,1927	13,3808	17,2781	10,2278	12,0246	15,0817	9,3175	10,7857	13,1825
P4	11,2636	13,5851	17,2781	10,287	12,1893	15,0817	9,26897	10,7857	12,9901
P5	11,2636	13,3808	16,949	10,287	12,0246	14,8304	9,4161	10,8515	13,0856
P6	11,2636	13,4821	17,1119	10,2278	12,0246	14,8304	9,3175	10,7857	12,9901
P7	11,3353	13,5851	17,4475	10,3468	12,1893	15,2106	9,3175	10,7857	13,0856
P8	11,3353	13,5851	17,1119	10,3468	12,1893	14,955	9,4161	10,9181	13,0856
P9	11,2636	13,4821	17,2781	10,287	12,1064	15,0817	9,3175	10,7857	13,0856

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,3764	-1,4967	-1,2599	-1,1348	-1,1914	-0,9511	-1,0180	-1,0650	-0,8997
P2	-1,3580	-1,4728	-1,4260	-1,1348	-1,1914	-1,0969	-0,8806	-0,8788	-0,7320
P3	-1,4289	-1,5742	-1,2599	-1,2537	-1,3562	-1,0969	-0,8519	-0,8459	-0,5070
P4	-1,3580	-1,3699	-1,2599	-1,1946	-1,1914	-1,0969	-1,0778	-1,0786	-1,0228
P5	-1,4482	-1,5742	-1,5890	-1,2692	-1,3562	-1,3482	-1,1143	-1,1731	-1,1515
P6	-1,4482	-1,4728	-1,4260	-1,3283	-1,3562	-1,3482	-1,0293	-1,0000	-0,9134
P7	-1,3764	-1,3699	-1,0905	-1,2094	-1,1914	-0,9679	-0,9695	-0,9225	-0,7101
P8	-1,2863	-1,3699	-1,4260	-1,1348	-1,1914	-1,2236	-0,9912	-1,0259	-1,0385
P9	-1,4482	-1,4728	-1,4550	-1,2692	-1,2744	-1,2453	-0,9103	-0,8459	-0,7101
<b>promedio</b>									
	<b>-1,3921</b>	<b>-1,4637</b>	<b>-1,3547</b>	<b>-1,2143</b>	<b>-1,2556</b>	<b>-1,1528</b>	<b>-0,9825</b>	<b>-0,9817</b>	<b>-0,8539</b>

P16 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	15,0817	18,7331	11,4816	13,4821	16,327	10,1694	11,7082	13,7957
P2	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,287	11,7857	13,9035
P3	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,2278	11,6317	13,6896
P4	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P5	12,7117	15,0817	18,5379	11,4816	13,3808	16,0328	10,4685	12,0246	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,5561	13,4821	16,1786	10,287	11,7857	13,7957
P8	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P9	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,1694	11,6317	13,6896

P16 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,1228	13,3808	16,949	10,1116	11,9439	14,7078	9,17342	10,6565	12,8032
P2	11,1228	13,2809	16,6322	10,1694	11,9439	14,5872	9,26897	10,7207	12,8032
P3	11,1927	13,4821	17,1119	10,1694	12,0246	14,8304	9,26897	10,7857	12,9901
P4	11,1228	13,1825	16,327	10,1116	11,7857	14,2371	9,22095	10,5931	12,5327
P5	11,1228	13,1825	16,4782	10,1116	11,7857	14,352	9,26897	10,6565	12,7117
P6	11,1228	13,2809	18,1596	10,1116	11,8643	15,6109	9,22095	10,6565	13,5851
P7	11,0537	13,2809	16,4782	10,0545	11,8643	14,352	9,22095	10,7207	12,7117
P8	11,0537	13,2809	16,327	10,0545	11,8643	14,2371	9,22095	10,7207	12,6216
P9	11,1228	13,2809	16,6322	10,1116	11,8643	14,4686	9,26897	10,7207	12,8032

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,4988	-1,7009	-1,7841	-1,3700	-1,5382	-1,6192	-0,9960	-1,0516	-0,9925
P2	-1,4988	-1,6741	-1,9058	-1,3122	-1,4369	-1,5913	-1,0180	-1,0650	-1,1003
P3	-1,5190	-1,4728	-1,4260	-1,3867	-1,3562	-1,3482	-0,9589	-0,8459	-0,6995
P4	-1,4988	-1,7724	-2,0198	-1,3700	-1,5951	-1,7957	-1,1258	-1,2712	-1,3708
P5	-1,5890	-1,8992	-2,0598	-1,3700	-1,5951	-1,6809	-1,1995	-1,3681	-1,4124
P6	-1,4988	-1,6741	-0,1872	-1,3700	-1,5165	-0,4219	-1,1258	-1,2077	-0,3184
P7	-1,5679	-1,6741	-1,8687	-1,5016	-1,6179	-1,8266	-1,0660	-1,0650	-1,0839
P8	-1,5679	-1,6741	-2,2109	-1,4271	-1,5165	-1,9414	-1,1863	-1,2232	-1,5026
P9	-1,4988	-1,6741	-1,9058	-1,3700	-1,5165	-1,7099	-0,9004	-0,9109	-0,8864
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,5264</b>	<b>-1,6906</b>	<b>-1,7076</b>	<b>-1,3864</b>	<b>-1,5210</b>	<b>-1,5484</b>	<b>-1,0641</b>	<b>-1,1121</b>	<b>-1,0407</b>

P17 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,1694	11,6317	13,6896
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,3468	11,8643	13,9035
P3	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P4	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P5	12,7117	15,0817	18,7331	11,4816	13,3808	16,1786	10,4685	12,0246	14,2371
P6	12,6216	14,8304	18,3468	11,4816	13,2809	16,0328	10,3468	11,7857	13,9035
P7	12,7117	15,0817	18,7331	11,5561	13,4821	16,327	10,1694	11,6317	13,6896
P8	12,7117	15,0817	18,7331	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P9	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,2278	11,7082	13,6896

P17 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,1228	13,2809	16,6322	10,1694	11,9439	14,5872	9,26897	10,7207	12,8032
P2	11,1228	13,1825	16,1786	10,1694	11,8643	14,2371	9,3175	10,7207	12,6216
P3	11,1228	13,2809	16,949	10,1694	11,9439	14,8304	9,26897	10,7207	12,9901
P4	11,1228	13,2809	16,7891	10,1694	11,9439	14,7078	9,26897	10,7207	12,896
P5	11,0537	13,1825	16,6322	10,1116	11,8643	14,5872	9,26897	10,7207	12,896
P6	11,1228	13,2809	16,949	10,1116	11,8643	14,7078	9,26897	10,7207	12,9901
P7	11,1228	13,2809	16,949	10,1116	11,8643	14,7078	9,26897	10,7207	12,9901
P8	11,0537	13,1825	16,6322	10,1116	11,8643	14,5872	9,26897	10,7207	12,896
P9	11,1228	13,3808	16,949	10,1116	11,9439	14,7078	9,26897	10,7857	12,9901

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,4099	-1,5494	-1,7147	-1,1659	-1,2386	-1,3024	-0,9004	-0,9109	-0,8864
P2	-1,4988	-1,7724	-2,1683	-1,2386	-1,4166	-1,6525	-1,0293	-1,1435	-1,2819
P3	-1,4099	-1,5494	-1,3979	-1,2386	-1,3370	-1,2025	-0,9589	-0,9874	-0,8056
P4	-1,4988	-1,6741	-1,5577	-1,3122	-1,4369	-1,3250	-1,0778	-1,1435	-1,0075
P5	-1,6581	-1,8992	-2,1009	-1,3700	-1,5165	-1,5913	-1,1995	-1,3039	-1,3412
P6	-1,4988	-1,5494	-1,3979	-1,3700	-1,4166	-1,3250	-1,0778	-1,0650	-0,9134
P7	-1,5890	-1,8008	-1,7841	-1,4445	-1,6179	-1,6192	-0,9004	-0,9109	-0,6995
P8	-1,6581	-1,8992	-2,1009	-1,3700	-1,5165	-1,5913	-1,0778	-1,1435	-1,1170
P9	-1,4988	-1,5742	-1,3979	-1,3700	-1,4369	-1,3250	-0,9589	-0,9225	-0,6995
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,5245</b>	<b>-1,6965</b>	<b>-1,7356</b>	<b>-1,3200</b>	<b>-1,4370</b>	<b>-1,4372</b>	<b>-1,0201</b>	<b>-1,0590</b>	<b>-0,9724</b>

P18 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,2278	11,7082	13,7957
P2	12,5327	14,8304	18,3468	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,2278	11,7082	13,7957
P4	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,3468	11,8643	13,9035
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,6216	15,0817	18,5379	11,4816	13,4821	16,1786	10,287	11,8643	13,9035
P7	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,1694	11,6317	13,6896
P8	12,6216	15,0817	18,7331	11,408	13,3808	16,1786	10,287	11,8643	14,0129
P9	12,5327	14,955	18,5379	11,408	13,3808	16,1786	10,0545	11,5561	13,5851

P18 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	10,9854	12,9901	16,1786	9,99799	11,6317	14,1241	9,22095	10,5931	12,6216
P2	10,9854	12,9901	16,1786	9,99799	11,6317	14,1241	9,22095	10,5931	12,6216
P3	10,9854	13,0856	16,4782	9,99799	11,7082	14,352	9,22095	10,6565	12,8032
P4	10,8515	12,896	15,8897	9,8869	11,5561	13,9035	9,22095	10,6565	12,6216
P5	10,8515	12,896	16,0328	9,8869	11,5561	14,0129	9,22095	10,6565	12,7117
P6	10,9181	12,9901	15,8897	9,94214	11,6317	13,9035	9,22095	10,6565	12,5327
P7	10,9181	13,0856	16,1786	9,94214	11,7082	14,1241	9,17342	10,6565	12,6216
P8	10,9854	13,0856	16,1786	9,99799	11,7082	14,1241	9,22095	10,6565	12,6216
P9	10,9854	13,0856	16,1786	9,99799	11,7082	14,1241	9,22095	10,6565	12,6216

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,6361	-1,9649	-2,3594	-1,4836	-1,7491	-2,0544	-1,0069	-1,1151	-1,1741
P2	-1,5472	-1,8403	-2,1683	-1,4836	-1,7491	-2,0544	-1,1863	-1,3508	-1,5026
P3	-1,6361	-1,8694	-2,0598	-1,4836	-1,6726	-1,8266	-1,0069	-1,0516	-0,9925
P4	-1,7701	-2,0590	-2,4572	-1,5947	-1,8247	-2,1294	-1,1258	-1,2077	-1,2819
P5	-1,7701	-2,0590	-2,5051	-1,5947	-1,8247	-2,1656	-1,1863	-1,2874	-1,4124
P6	-1,7035	-2,0916	-2,6483	-1,5394	-1,8505	-2,2751	-1,0660	-1,2077	-1,3708
P7	-1,7035	-1,8694	-2,3594	-1,5394	-1,6726	-2,0544	-0,9960	-0,9751	-1,0680
P8	-1,6361	-1,9961	-2,5545	-1,4100	-1,6726	-2,0544	-1,0660	-1,2077	-1,3914
P9	-1,5472	-1,8694	-2,3594	-1,4100	-1,6726	-2,0544	-0,8335	-0,8996	-0,9635
<b>promedio</b>									
	<b>-1,6611</b>	<b>-1,9577</b>	<b>-2,3857</b>	<b>-1,5043</b>	<b>-1,7432</b>	<b>-2,0743</b>	<b>-1,0526</b>	<b>-1,1448</b>	<b>-1,2397</b>



P19 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,955	18,5379	11,408	13,3808	16,1786	10,2278	11,7857	13,9035
P2	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P3	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P4	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,3468	11,408	13,2809	15,8897	10,3468	11,8643	13,9035
P7	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896
P8	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,287	11,7857	13,7957
P9	12,4451	14,8304	18,3468	11,3353	13,2809	16,0328	10,1116	11,6317	13,6896

P19 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,0537	13,2809	16,7891	10,0545	11,8643	14,5872	9,12637	10,5931	12,7117
P2	10,9181	13,0856	16,4782	9,99799	11,7857	14,4686	9,17342	10,6565	12,8032
P3	10,9854	13,1825	16,327	9,99799	11,7857	14,2371	9,17342	10,6565	12,6216
P4	10,9854	12,9901	16,327	10,0545	11,7082	14,352	9,22095	10,5931	12,7117
P5	11,0537	13,0856	16,6322	10,0545	11,7082	14,4686	9,22095	10,5931	12,8032
P6	11,0537	13,1825	16,6322	10,1116	11,8643	14,5872	9,22095	10,6565	12,8032
P7	10,9181	12,9901	16,6322	9,94214	11,6317	14,4686	9,17342	10,5931	12,896
P8	10,9181	13,0856	16,1786	9,99799	11,7857	14,2371	9,17342	10,6565	12,6216
P9	11,0537	13,1825	16,4782	10,0545	11,7857	14,352	9,17342	10,5931	12,6216

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,4790	-1,6741	-1,7489	-1,3535	-1,5165	-1,5913	-1,1015	-1,1926	-1,1917
P2	-1,7035	-1,8694	-1,8687	-1,4100	-1,4952	-1,4210	-1,1135	-1,1292	-0,9925
P3	-1,5472	-1,6478	-2,0198	-1,4100	-1,4952	-1,7957	-0,9960	-0,9751	-1,0680
P4	-1,6361	-1,9649	-2,2109	-1,4271	-1,6726	-1,8266	-1,1258	-1,2712	-1,3012
P5	-1,5679	-1,8694	-1,9058	-1,4271	-1,6726	-1,7099	-1,1863	-1,3508	-1,3210
P6	-1,5679	-1,7724	-1,7147	-1,2964	-1,4166	-1,3024	-1,1258	-1,2077	-1,1003
P7	-1,6146	-1,8403	-1,7147	-1,4658	-1,6493	-1,5642	-0,9960	-1,0385	-0,7936
P8	-1,6146	-1,7447	-1,9810	-1,4100	-1,4952	-1,6525	-1,1135	-1,1292	-1,1741
P9	-1,3914	-1,6478	-1,8687	-1,2808	-1,4952	-1,6809	-0,9382	-1,0385	-1,0680
<b>promedio</b>									
	<b>-1,5692</b>	<b>-1,7812</b>	<b>-1,8926</b>	<b>-1,3867</b>	<b>-1,5454</b>	<b>-1,6161</b>	<b>-1,0774</b>	<b>-1,1481</b>	<b>-1,1123</b>

P20 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,1116	11,5561	13,5851
P2	12,7117	14,955	18,5379	11,5561	13,3808	16,1786	10,3468	11,7857	13,9035
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,1116	11,5561	13,5851
P4	12,6216	15,0817	18,5379	11,4816	13,4821	16,1786	10,287	11,8643	13,9035
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,2278	11,7082	13,6896
P8	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P9	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,1694	11,6317	13,6896

P20 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,0537	13,2809	16,4782	10,0545	11,8643	14,352	9,17342	10,6565	12,6216
P2	10,9854	13,0856	16,327	10,0545	11,7857	14,352	9,22095	10,6565	12,7117
P3	11,1228	13,2809	16,6322	10,0545	11,7857	14,352	9,22095	10,6565	12,7117
P4	11,0537	13,1825	16,6322	10,0545	11,7857	14,4686	9,22095	10,6565	12,8032
P5	10,9854	13,0856	16,6322	10,0545	11,7857	14,5872	9,22095	10,6565	12,896
P6	11,0537	13,1825	16,327	10,0545	11,7857	14,2371	9,17342	10,5931	12,5327
P7	10,9854	13,1825	16,327	9,99799	11,7857	14,2371	9,17342	10,6565	12,6216
P8	10,9854	13,0856	16,0328	10,0545	11,7857	14,1241	9,22095	10,6565	12,5327
P9	10,9854	13,1825	16,327	9,99799	11,7857	14,2371	9,17342	10,6565	12,6216

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,5679	-1,6741	-2,0598	-1,4271	-1,5165	-1,8266	-0,9382	-0,8996	-0,9635
P2	-1,7263	-1,8694	-2,2109	-1,5016	-1,5951	-1,8266	-1,1258	-1,1292	-1,1917
P3	-1,4988	-1,6741	-1,9058	-1,4271	-1,5951	-1,8266	-0,8907	-0,8996	-0,8733
P4	-1,5679	-1,8992	-1,9058	-1,4271	-1,6964	-1,7099	-1,0660	-1,2077	-1,1003
P5	-1,6361	-1,8694	-1,9058	-1,4271	-1,5951	-1,5913	-1,1863	-1,2874	-1,2282
P6	-1,5679	-1,7724	-2,2109	-1,4271	-1,5951	-1,9414	-1,2339	-1,3508	-1,5915
P7	-1,6361	-1,7724	-2,0198	-1,4836	-1,5951	-1,7957	-1,0544	-1,0516	-1,0680
P8	-1,6361	-1,8694	-2,5051	-1,4271	-1,5951	-2,0544	-1,1258	-1,2077	-1,4802
P9	-1,6361	-1,7724	-2,2109	-1,4100	-1,4952	-1,7957	-0,9960	-0,9751	-1,0680
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,6081</b>	<b>-1,7970</b>	<b>-2,1039</b>	<b>-1,4397</b>	<b>-1,5865</b>	<b>-1,8187</b>	<b>-1,0686</b>	<b>-1,1121</b>	<b>-1,1738</b>

P21 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,5327	14,955	18,3468	11,3353	13,2809	15,8897	10,1694	11,7082	13,6896
P2	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P3	12,5327	14,8304	18,3468	11,3353	13,1825	15,8897	10,1694	11,6317	13,6896
P4	12,5327	14,8304	18,1596	11,408	13,2809	15,8897	10,2278	11,7082	13,6896
P5	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,3468	11,8643	14,0129
P6	12,5327	14,8304	18,3468	11,408	13,2809	16,0328	10,287	11,7857	13,9035
P7	12,5327	14,8304	18,5379	11,408	13,2809	16,1786	10,2278	11,7082	13,9035
P8	12,5327	14,8304	18,5379	11,408	13,2809	16,1786	10,4073	11,9439	14,2371
P9	12,5327	14,8304	18,5379	11,408	13,2809	16,1786	10,2278	11,7082	13,9035

P21 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	10,8515	13,0856	16,0328	9,8869	11,7082	14,0129	9,17342	10,7207	12,6216
P2	10,8515	12,896	16,1786	9,94214	11,6317	14,2371	9,22095	10,6565	12,8032
P3	10,9181	12,9901	16,1786	9,99799	11,7082	14,2371	9,22095	10,6565	12,7117
P4	10,9181	13,0856	16,0328	9,94214	11,7082	14,0129	9,22095	10,7207	12,6216
P5	10,7857	12,896	15,8897	9,8869	11,6317	14,0129	9,22095	10,7207	12,7117
P6	10,9181	12,9901	16,327	9,99799	11,7082	14,352	9,22095	10,6565	12,8032
P7	10,9181	12,9901	16,4782	9,94214	11,6317	14,352	9,17342	10,5931	12,8032
P8	10,9181	12,9901	16,4782	9,94214	11,6317	14,352	9,22095	10,6565	12,896
P9	10,9854	12,9901	16,1786	9,99799	11,6317	14,1241	9,26897	10,6565	12,7117

Diferencia de velocidades									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,6812	-1,8694	-2,3140	-1,4484	-1,5727	-1,8767	-0,9960	-0,9874	-1,0680
P2	-1,6812	-1,9344	-2,1683	-1,4658	-1,6493	-1,7957	-1,0660	-1,1292	-1,1003
P3	-1,6146	-1,8403	-2,1683	-1,3373	-1,4744	-1,6525	-0,9484	-0,9751	-0,9778
P4	-1,6146	-1,7447	-2,1268	-1,4658	-1,5727	-1,8767	-1,0069	-0,9874	-1,0680
P5	-1,7470	-1,9344	-2,4572	-1,5211	-1,6493	-2,0199	-1,1258	-1,1435	-1,3012
P6	-1,6146	-1,8403	-2,0198	-1,4100	-1,5727	-1,6809	-1,0660	-1,1292	-1,1003
P7	-1,6146	-1,8403	-2,0598	-1,4658	-1,6493	-1,8266	-1,0544	-1,1151	-1,1003
P8	-1,6146	-1,8403	-2,0598	-1,4658	-1,6493	-1,8266	-1,1863	-1,2874	-1,3412
P9	-1,5472	-1,8403	-2,3594	-1,4100	-1,6493	-2,0544	-0,9589	-1,0516	-1,1917
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,6367</b>	<b>-1,8538</b>	<b>-2,1926</b>	<b>-1,4433</b>	<b>-1,6043</b>	<b>-1,8456</b>	<b>-1,0454</b>	<b>-1,0895</b>	<b>-1,1387</b>

P22 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,2278	11,7082	13,7957
P2	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P4	12,6216	14,8304	18,5379	11,4816	13,2809	16,1786	10,3468	11,7857	14,0129
P5	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,4685	12,0246	14,1241
P6	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P7	12,6216	14,955	18,3468	11,4816	13,3808	16,0328	10,1694	11,6317	13,5851
P8	12,6216	14,8304	18,3468	11,4816	13,2809	16,0328	10,3468	11,7857	13,9035
P9	12,5327	14,955	18,3468	11,408	13,3808	16,0328	10,1694	11,7082	13,6896

P22 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	10,7857	12,896	16,0328	9,83228	11,5561	14,0129	9,17342	10,6565	12,7117
P2	10,8515	12,896	15,8897	9,94214	11,6317	14,0129	9,22095	10,6565	12,6216
P3	11,0537	13,1825	16,4782	9,99799	11,7082	14,2371	9,22095	10,6565	12,7117
P4	10,7857	12,8032	15,8897	9,8869	11,5561	14,0129	9,22095	10,6565	12,7117
P5	10,8515	12,896	15,8897	9,94214	11,6317	14,0129	9,22095	10,6565	12,6216
P6	11,0537	13,1825	16,327	10,0545	11,7857	14,2371	9,22095	10,6565	12,6216
P7	10,8515	12,896	16,1786	9,8869	11,5561	14,1241	9,22095	10,6565	12,8032
P8	10,9181	12,9901	16,1786	9,94214	11,6317	14,1241	9,22095	10,6565	12,7117
P9	10,9854	13,0856	16,7891	9,94214	11,6317	14,4686	9,17342	10,5931	12,896

Velocidades sin tener d0 en cuenta									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,8359	-2,0590	-2,5051	-1,6493	-1,8247	-2,1656	-1,0544	-1,0516	-1,0839
P2	-1,7701	-2,0590	-2,6483	-1,5394	-1,7491	-2,1656	-1,1863	-1,2874	-1,5026
P3	-1,5679	-1,7724	-2,0598	-1,4100	-1,5727	-1,7957	-1,0069	-1,0516	-1,0839
P4	-1,8359	-2,0272	-2,6483	-1,5947	-1,7248	-2,1656	-1,1258	-1,1292	-1,3012
P5	-1,8603	-2,1858	-2,6483	-1,6140	-1,8505	-2,1656	-1,2475	-1,3681	-1,5026
P6	-1,5679	-1,7724	-2,2109	-1,4271	-1,5951	-1,9414	-1,1258	-1,2077	-1,3914
P7	-1,7701	-2,0590	-2,1683	-1,5947	-1,8247	-1,9087	-0,9484	-0,9751	-0,7819
P8	-1,7035	-1,8403	-2,1683	-1,5394	-1,6493	-1,9087	-1,1258	-1,1292	-1,1917
P9	-1,5472	-1,8694	-1,5577	-1,4658	-1,7491	-1,5642	-0,9960	-1,1151	-0,7936
<b>promedio</b>									
	<b>-1,7176</b>	<b>-1,9605</b>	<b>-2,2906</b>	<b>-1,5371</b>	<b>-1,7267</b>	<b>-1,9757</b>	<b>-1,0908</b>	<b>-1,1461</b>	<b>-1,1814</b>

P23 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,287	11,7857	13,7957
P2	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,4685	12,0246	14,1241
P3	12,7117	15,0817	18,5379	11,4816	13,3808	16,0328	10,287	11,7857	13,7957
P4	12,7117	15,0817	18,7331	11,6317	13,5851	16,4782	10,4685	12,0246	14,2371
P5	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,5304	12,1064	14,2371
P6	12,7117	14,955	18,7331	11,5561	13,3808	16,327	10,4073	11,8643	14,1241
P7	12,7117	15,0817	18,7331	11,5561	13,4821	16,327	10,287	11,7857	13,9035
P8	12,7117	15,0817	18,5379	11,5561	13,4821	16,1786	10,4685	12,0246	14,1241
P9	12,7117	15,0817	18,7331	11,5561	13,4821	16,327	10,287	11,7857	13,9035

P23 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	11,0537	13,1825	16,7891	10,0545	11,7857	14,5872	9,26897	10,7207	12,9901
P2	11,1228	13,2809	16,6322	10,1694	11,9439	14,5872	9,3175	10,7857	12,896
P3	11,1228	13,2809	16,327	10,1116	11,8643	14,2371	9,3175	10,7857	12,7117
P4	11,0537	13,1825	16,4782	10,0545	11,7857	14,352	9,3175	10,7857	12,896
P5	11,0537	13,0856	16,327	10,1116	11,7857	14,352	9,3175	10,7207	12,8032
P6	11,1228	13,2809	16,327	10,0545	11,7857	14,1241	9,3175	10,7857	12,7117
P7	11,0537	13,1825	16,4782	10,1116	11,8643	14,4686	9,3175	10,7857	12,896
P8	10,9181	12,9901	16,327	9,99799	11,7082	14,352	9,26897	10,7207	12,896
P9	10,9181	13,0856	16,327	9,99799	11,7857	14,352	9,26897	10,7857	12,896

Velocidades sin tener d0 en cuenta									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,6581	-1,8992	-1,7489	-1,5016	-1,6964	-1,5913	-1,0180	-1,0650	-0,8056
P2	-1,5890	-1,8008	-1,9058	-1,3867	-1,5382	-1,5913	-1,1510	-1,2389	-1,2282
P3	-1,5890	-1,8008	-2,2109	-1,3700	-1,5165	-1,7957	-0,9695	-1,0000	-1,0839
P4	-1,6581	-1,8992	-2,2549	-1,5772	-1,7993	-2,1262	-1,1510	-1,2389	-1,3412
P5	-1,6581	-1,9961	-2,2109	-1,4445	-1,6964	-1,8266	-1,2129	-1,3857	-1,4340
P6	-1,5890	-1,6741	-2,4061	-1,5016	-1,5951	-2,2028	-1,0898	-1,0786	-1,4124
P7	-1,6581	-1,8992	-2,2549	-1,4445	-1,6179	-1,8584	-0,9695	-1,0000	-1,0075
P8	-1,7937	-2,0916	-2,2109	-1,5581	-1,7740	-1,8266	-1,1995	-1,3039	-1,2282
P9	-1,7937	-1,9961	-2,4061	-1,5581	-1,6964	-1,9750	-1,0180	-1,0000	-1,0075
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,6652</b>	<b>-1,8952</b>	<b>-2,1788</b>	<b>-1,4825</b>	<b>-1,6589</b>	<b>-1,8660</b>	<b>-1,0866</b>	<b>-1,1457</b>	<b>-1,1721</b>

P24 seca									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,2278	11,7082	13,7957
P2	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P3	12,6216	14,955	18,5379	11,408	13,2809	16,0328	10,2278	11,7082	13,7957
P4	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,4073	11,9439	14,1241
P5	12,6216	14,955	18,5379	11,5561	13,4821	16,327	10,4685	12,0246	14,2371
P6	12,6216	14,955	18,5379	11,4816	13,3808	16,1786	10,3468	11,8643	14,0129
P7	12,6216	14,955	18,7331	11,5561	13,4821	16,4782	10,2278	11,7082	13,9035
P8	12,7117	15,0817	18,7331	11,5561	13,4821	16,327	10,4073	11,9439	14,1241
P9	12,7117	15,0817	18,7331	11,4816	13,3808	16,1786	10,287	11,7857	13,9035

P24 húmeda									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	10,9181	13,0856	16,327	9,94214	11,7082	14,2371	9,17342	10,6565	12,7117
P2	10,9181	12,9901	16,1786	9,94214	11,6317	14,1241	9,22095	10,6565	12,7117
P3	10,9181	13,0856	16,0328	9,94214	11,7082	14,0129	9,22095	10,7207	12,6216
P4	10,9854	13,0856	16,1786	9,99799	11,7082	14,1241	9,22095	10,6565	12,6216
P5	11,0537	13,1825	16,1786	10,0545	11,7857	14,1241	9,26897	10,7207	12,6216
P6	11,0537	13,1825	16,4782	10,0545	11,7857	14,352	9,26897	10,7207	12,8032
P7	11,0537	13,2809	16,4782	10,0545	11,8643	14,352	9,26897	10,7857	12,8032
P8	10,9854	13,1825	16,327	10,0545	11,8643	14,352	9,26897	10,7857	12,8032
P9	10,9854	13,0856	16,1786	9,99799	11,7082	14,1241	9,26897	10,7207	12,7117

Velocidades sin tener d0 en cuenta									
	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-1,7035	-1,8694	-2,2109	-1,5394	-1,6726	-1,9414	-1,0544	-1,0516	-1,0839
P2	-1,7035	-1,9649	-2,3594	-1,5394	-1,7491	-2,0544	-1,1258	-1,2077	-1,3012
P3	-1,7035	-1,8694	-2,5051	-1,4658	-1,5727	-2,0199	-1,0069	-0,9874	-1,1741
P4	-1,6361	-1,8694	-2,3594	-1,4836	-1,6726	-2,0544	-1,1863	-1,2874	-1,5026
P5	-1,5679	-1,7724	-2,3594	-1,5016	-1,6964	-2,2028	-1,1995	-1,3039	-1,6156
P6	-1,5679	-1,7724	-2,0598	-1,4271	-1,5951	-1,8266	-1,0778	-1,1435	-1,2097
P7	-1,5679	-1,6741	-2,2549	-1,5016	-1,6179	-2,1262	-0,9589	-0,9225	-1,1003
P8	-1,7263	-1,8992	-2,4061	-1,5016	-1,6179	-1,9750	-1,1383	-1,1582	-1,3210
P9	-1,7263	-1,9961	-2,5545	-1,4836	-1,6726	-2,0544	-1,0180	-1,0650	-1,1917
	<b>promedio</b>								
	<b>-1,6559</b>	<b>-1,8541</b>	<b>-2,3411</b>	<b>-1,4938</b>	<b>-1,6519</b>	<b>-2,0284</b>	<b>-1,0851</b>	<b>-1,1252</b>	<b>-1,2778</b>

#### 9.4.- Anejo 4: Listado de atenuaciones

A continuación se muestran los valores de atenuación de las ondas para las 24 probetas, en estado seco y posterior a su inmersión (húmeda) y la diferencia entre ambos valores (húmeda – seca).

P01 seca						
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,112	1,38791	-6,9577	-13,689	5,42524	8,57398
2	-18,029	0,54326	-6,9958	-13,756	4,40099	0,85455
3	-17,897	0,98284	-7,8524	-14,435	6,38982	10,2755
4	-17,848	1,1864	-6,8062	-17,881	3,3669	8,13615
5	-18,129	0,92521	-7,4098	-16,197	3,56455	4,50849
6	-17,881	0,93162	-7,1009	-18,736	5,01136	9,85736
7	-18,229	0,31979	-7,8325	-15,897	3,69897	4,46018
8	-17,881	0,41869	-7,5367	-14,284	3,99814	-1,8418
9	-18,38	0,69951	-7,7235	-15,181	5,24005	7,80705

P01 húmeda						
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-24,8415	0,8610	-3,3716	-18,5317	2,3661	6,5744
2	-25,2171	0,8223	-2,4095	-17,2187	2,5561	1,3879
3	-25,9164	-0,6345	-2,6227	-22,9353	0,8223	3,9706
4	-25,6967	-0,3386	-4,7282	-22,1883	1,3126	0,4055
5	-26,3882	-0,2705	-2,4626	-24,7256	2,4078	6,4677
6	-28,3396	-0,4620	-0,8646	-16,0464	1,4941	0,1205
7	-26,2629	-1,0266	-1,7537	-15,1672	1,0339	-8,7265
8	-26,4385	-0,3591	-2,3716	-16,2724	1,8402	4,3470
9	-25,5999	-0,5446	-2,7148	-19,3453	3,3782	9,2027

P01 diferencia						
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-6,7294	-0,5269	3,5861	-4,8426	-3,0591	-1,9996
2	-7,1879	0,2791	4,5864	-3,4629	-1,8449	0,5334
3	-8,0191	-1,6174	5,2297	-8,5001	-5,5675	-6,3049
4	-7,8487	-1,5250	2,0779	-4,3075	-2,0543	-7,7306
5	-8,2595	-1,1957	4,9472	-8,5288	-1,1567	1,9593
6	-10,4588	-1,3936	6,2363	2,6899	-3,5172	-9,7368
7	-8,0343	-1,3464	6,0789	0,7300	-2,6650	-13,1867
8	-8,5576	-0,7778	5,1650	-1,9887	-2,1580	6,1889
9	-7,2203	-1,2441	5,0087	-4,1638	-1,8618	1,3956
<b>promedio</b>						
	<b>-8,0351</b>	<b>-1,0387</b>	<b>4,7685</b>	<b>-3,5972</b>	<b>-2,6538</b>	<b>-3,2091</b>

	P02 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-17,8644	0,5498	-6,4878	-16,2876	3,0292	6,1740
2	-17,7499	0,9764	-5,7850	-15,8378	3,0177	-1,2541
3	-18,1453	0,6020	-7,4390	-18,2287	3,5982	3,7324
4	-18,0457	0,0804	-8,7161	-18,8394	3,3158	8,3850
5	-18,1619	0,0000	-9,1253	-17,0605	4,4279	6,0255
6	-18,3628	-0,4414	-8,7890	-20,6785	4,4118	8,5521
7	-18,4978	-0,3250	-7,6446	-16,4857	4,2006	7,0521
8	-18,2956	0,6411	-8,0623	-15,3544	3,2816	-0,2977
9	-18,0126	0,3660	-7,1969	-15,4269	5,5579	9,4387

	P02 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-28,3951	-4,4578	-4,7623	-18,9430	-0,7597	-1,7244
2	-28,3674	-5,3766	-4,9163	-16,8722	-0,7318	-10,4168
3	-29,6267	-5,8929	-4,4914	-20,9447	-0,1415	1,6494
4	-28,3674	-5,8569	-4,6264	-22,3314	2,1079	4,7483
5	-29,1307	-5,0974	-5,3240	-19,0995	2,8145	2,1018
6	-29,3626	-6,9863	-6,4229	-22,3930	3,1041	6,1937
7	-29,2173	-10,0804	-5,4559	-20,3786	0,6280	5,0896
8	-29,3335	-7,2451	-5,2453	-19,2572	1,0467	-0,0403
9	-29,0732	-7,8425	-5,4647	-20,6220	2,9308	11,1250

	P02 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,5307	-5,0076	1,7255	-2,6555	-3,7889	-7,8983
2	-10,6175	-6,3531	0,8687	-1,0345	-3,7495	-9,1627
3	-11,4814	-6,4949	2,9476	-2,7160	-3,7398	-2,0831
4	-10,3216	-5,9373	4,0897	-3,4920	-1,2079	-3,6367
5	-10,9688	-5,0974	3,8013	-2,0390	-1,6134	-3,9236
6	-10,9998	-6,5449	2,3661	-1,7145	-1,3077	-2,3584
7	-10,7195	-9,7554	2,1887	-3,8930	-3,5725	-1,9625
8	-11,0378	-7,8862	2,8171	-3,9028	-2,2349	0,2574
9	-11,0605	-8,2085	1,7322	-5,1951	-2,6271	1,6864
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,8597</b>	<b>-6,8095</b>	<b>2,5041</b>	<b>-2,9603</b>	<b>-2,6491</b>	<b>-3,2313</b>



	P03 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-17,4263	0,5498	-7,5660	-16,6085	4,0476	5,3637
2	-18,0789	0,1472	-7,3709	-14,7276	3,8103	-1,4698
3	-17,9137	0,8159	-6,2661	-17,2346	4,6101	7,3147
4	-18,2956	0,3858	-7,6446	-18,8566	3,0696	7,2026
5	-18,0623	0,7772	-7,3515	-16,7477	3,9981	5,3431
6	-17,7499	1,0084	-5,1234	-20,2119	4,8381	9,9801
7	-18,0954	0,1605	-8,1429	-16,3940	4,1679	9,2788
8	-18,4978	-0,0740	-7,1873	-14,1334	4,1624	-0,8576
9	-17,7010	0,4712	-8,5301	-17,2505	6,2134	10,0736

	P03 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-28,1741	-7,2837	-6,1014	-18,1121	1,1230	1,9623
2	-28,7030	-7,7730	-5,6777	-14,9816	0,9444	-6,5343
3	-28,3951	-6,6838	-6,3582	-17,9961	1,4754	2,8028
4	-28,1467	-9,7060	-10,3829	-20,9256	2,0231	5,1987
5	-28,0645	-8,9880	-8,6746	-17,8480	3,0061	2,1743
6	-27,9827	-6,9673	-5,4559	-20,4906	3,7046	7,1979
7	-29,3335	-10,9437	-7,0149	-16,0614	0,1005	-7,6742
8	-29,3335	-10,9089	-6,9958	-16,0614	0,0938	-7,7136
9	-28,5065	-8,1833	-8,6126	-19,0124	3,1558	7,9700

	P03 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,7479	-7,8335	1,4646	-1,5035	-2,9246	-3,4014
2	-10,6242	-7,9202	1,6932	-0,2541	-2,8659	-5,0645
3	-10,4814	-7,4997	-0,0921	-0,7615	-3,1346	-4,5118
4	-9,8511	-10,0917	-2,7382	-2,0689	-1,0465	-2,0039
5	-10,0023	-9,7651	-1,3231	-1,1003	-0,9920	-3,1689
6	-10,2328	-7,9757	-0,3325	-0,2787	-1,1336	-2,7822
7	-11,2380	-11,1042	1,1280	0,3326	-4,0674	-16,9530
8	-10,8357	-10,8349	0,1915	-1,9280	-4,0686	-6,8560
9	-10,8055	-8,6545	-0,0825	-1,7619	-3,0576	-2,1036
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,5354</b>	<b>-9,0755</b>	<b>-0,0101</b>	<b>-1,0360</b>	<b>-2,5879</b>	<b>-5,2050</b>

	P04 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,5657	0,3000	-7,1681	-15,1242	4,5460	7,0898
2	-18,0789	0,5433	-8,4172	-14,5044	4,1024	-0,9701
3	-18,0126	-0,1551	-9,1890	-15,0813	5,1364	6,4191
4	-18,1953	-0,1415	-7,9321	-16,8878	4,0640	9,0281
5	-17,6685	0,4975	-8,4377	-18,8739	3,3612	4,8223
6	-18,1121	-0,2637	-7,8823	-19,0298	4,4978	9,7587
7	-18,3628	0,1672	-9,3277	-15,8674	2,9888	4,2278
8	-18,5997	-0,6138	-8,9880	-16,6085	2,9888	-0,8787
9	-19,0124	-0,6207	-8,7994	-16,5778	5,3945	8,2565

	P04 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,2569	-13,5828	-12,7019	-18,2621	0,0134	2,3243
2	-28,9585	-12,7019	-15,3979	-17,7826	-0,6623	-7,1297
3	-29,9844	-13,1116	-12,4750	-19,7378	1,8708	6,4775
4	-28,9871	-12,0780	-12,4876	-18,1786	3,3726	7,9610
5	-29,0732	-13,7024	-12,7526	-17,8153	1,6926	0,3066
6	-30,0748	-13,5828	-12,3128	-19,5406	3,2302	5,9757
7	-28,3396	-12,1026	-15,2966	-21,5470	-1,1542	-0,1889
8	-28,3396	-12,8545	-15,2102	-20,4345	-1,4625	-6,1470
9	-29,1884	-13,8629	-14,9391	-20,2119	0,9572	5,5528

	P04 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,6913	-13,8828	-5,5338	-3,1379	-4,5325	-4,7655
2	-10,8797	-13,2451	-6,9806	-3,2781	-4,7646	-6,1596
3	-11,9718	-12,9566	-3,2861	-4,6565	-3,2657	0,0584
4	-10,7918	-11,9365	-4,5554	-1,2908	-0,6915	-1,0671
5	-11,4046	-14,1999	-4,3149	1,0586	-1,6686	-4,5157
6	-11,9628	-13,3192	-4,4305	-0,5108	-1,2675	-3,7830
7	-9,9769	-12,2698	-5,9689	-5,6795	-4,1430	-4,4167
8	-9,7400	-12,2408	-6,2222	-3,8260	-4,4513	-5,2683
9	-10,1760	-13,2423	-6,1397	-3,6341	-4,4372	-2,7037
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,9550</b>	<b>-13,0325</b>	<b>-5,2703</b>	<b>-2,7728</b>	<b>-3,2469</b>	<b>-3,6246</b>

	P05 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,5827	-0,4620	-8,0724	-17,7826	1,7419	2,8960
2	-18,8394	-0,6901	-9,2315	-16,9348	2,3482	-2,4702
3	-18,9257	-1,2612	-9,3598	-17,6036	4,4978	6,7045
4	-19,1169	-0,9771	-8,3764	-18,8912	2,7033	7,2072
5	-19,1694	-0,6623	-9,2315	-18,6167	2,0716	2,5798
6	-19,3807	-1,2899	-8,1934	-19,8644	4,3308	9,3168
7	-18,4809	-0,5515	-6,9197	-16,2876	3,5758	5,6341
8	-18,5147	-0,1145	-5,9561	-15,7343	3,1156	-0,8576
9	-18,4302	0,0000	-6,4229	-16,0914	6,2183	9,8040

	P05 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,1019	-13,4377	-55,9000	-23,4059	-2,5387	2,6740
2	-30,2569	-12,5127	-49,8735	-22,5791	-4,0919	-9,8483
3	-29,4502	-12,3128	-45,0561	-23,9767	-1,6586	0,9124
4	-30,3180	-13,3852	-51,3932	-23,7773	-0,6901	2,4910
5	-30,2874	-11,6526	-52,1076	-19,5585	-0,1280	-0,7597
6	-29,3918	-12,3626	-49,9550	-21,0599	1,9318	5,7049
7	-29,6859	-12,5127	-45,0561	-23,2120	-2,7071	-2,8073
8	-29,3044	-12,0780	-46,1055	-22,9142	-4,0754	-9,5321
9	-28,8162	-11,8702	-42,6508	-23,9100	-0,4826	1,0594

	P05 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,5192	-12,9757	-47,8276	-5,6233	-4,2806	-0,2220
2	-11,4175	-11,8226	-40,6420	-5,6443	-6,4401	-7,3782
3	-10,5245	-11,0515	-35,6963	-6,3731	-6,1563	-5,7921
4	-11,2011	-12,4080	-43,0169	-4,8861	-3,3934	-4,7162
5	-11,1180	-10,9903	-42,8760	-0,9418	-2,1996	-3,3395
6	-10,0111	-11,0727	-41,7616	-1,1955	-2,3990	-3,6119
7	-11,2050	-11,9611	-38,1363	-6,9245	-6,2829	-8,4414
8	-10,7896	-11,9635	-40,1494	-7,1799	-7,1911	-8,6745
9	-10,3860	-11,8702	-36,2279	-7,8186	-6,7009	-8,7445
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,7969</b>	<b>-11,7906</b>	<b>-40,7038</b>	<b>-5,1764</b>	<b>-5,0049</b>	<b>-5,6578</b>

	P06 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,3628	-0,1415	-7,6643	-16,2119	3,0638	4,1788
2	-17,9631	0,6085	-8,2441	-18,0623	2,6446	-2,1910
3	-18,1453	0,3330	-9,1783	-15,4996	5,6897	8,3053
4	-17,9302	0,6215	-7,1009	-17,7336	2,9482	5,8307
5	-17,6685	0,5890	-7,6151	-19,0820	2,2944	2,5620
6	-18,1453	-0,0471	-9,0090	-18,8050	5,1676	9,3589
7	-18,0457	0,8545	-7,4195	-16,5163	4,3416	7,2540
8	-18,3124	-0,0336	-7,5758	-17,6685	3,8491	1,5377
9	-18,5147	-0,3797	-8,9880	-16,2270	5,3842	9,1007

	P06 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,3918	-11,4611	-51,9266	-21,4682	-2,3188	-0,6415
2	-30,2874	-10,7244	-51,7472	-22,0867	-3,3240	-9,1359
3	-30,2874	-10,7244	-51,7472	-22,0867	-3,3240	-9,1359
4	-29,3044	-10,6327	-45,0561	-20,8683	-0,4071	1,3816
5	-30,2265	-10,7473	-40,5549	-18,9084	0,5040	-0,9208
6	-30,1657	-10,9089	-57,2642	-20,6220	2,9366	6,1246
7	-29,1307	-10,6442	-50,3674	-20,6408	0,0871	4,4494
8	-29,7452	-10,1584	-43,6379	-21,1563	-1,8418	-3,4992
9	-29,3335	-11,1772	-44,9923	-21,9052	0,7901	6,9906

	P06 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,0290	-11,3195	-44,2623	-5,2564	-5,3826	-4,8203
2	-12,3243	-11,3329	-43,5031	-4,0245	-5,9686	-6,9449
3	-12,1421	-11,0574	-42,5689	-6,5871	-9,0137	-17,4412
4	-11,3742	-11,2543	-37,9552	-3,1347	-3,3553	-4,4491
5	-12,5580	-11,3363	-32,9398	0,1736	-1,7904	-3,4828
6	-12,0204	-10,8618	-48,2552	-1,8170	-2,2309	-3,2343
7	-11,0850	-11,4987	-42,9478	-4,1245	-4,2545	-2,8046
8	-11,4329	-10,1248	-36,0621	-3,4878	-5,6910	-5,0370
9	-10,8187	-10,7975	-36,0043	-5,6782	-4,5941	-2,1101
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,6427</b>	<b>-11,0648</b>	<b>-40,4999</b>	<b>-3,7707</b>	<b>-4,6979</b>	<b>-5,5916</b>

	P07 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,0126	0,1072	-7,6643	-15,8972	2,9946	2,5679
2	-18,1121	0,0268	-7,3128	-15,0813	3,0523	-3,3240
3	-18,6337	0,5824	-7,1969	-16,0015	4,9065	5,8958
4	-18,5487	-0,2909	-8,2745	-18,8222	2,9830	8,2387
5	-18,3124	0,1805	-7,0435	-18,4302	2,7678	4,5567
6	-17,6360	0,1938	-8,5301	-19,2045	6,2527	11,2823
7	-18,4133	0,1539	-7,5171	-16,2876	3,6822	7,0379
8	-18,0457	0,2933	-7,0818	-17,6848	2,8553	1,2496
9	-17,7499	0,1805	-7,2934	-15,7786	5,2710	9,1772

	P07 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,7452	-10,0693	-49,2335	-23,6454	-1,9822	1,4754
2	-30,0446	-10,5188	-46,2406	-20,1015	-3,4752	-8,4377
3	-29,2753	-10,0027	-43,9983	-21,4682	0,9188	5,5884
4	-28,7313	-11,2360	-40,1009	-23,3843	-1,1471	1,9927
5	-29,4796	-10,3490	-40,8634	-18,0954	-0,5308	-1,6878
6	-29,6859	-10,1249	-36,6718	-21,2339	2,2344	5,2762
7	-28,9300	-10,0249	-37,4865	-22,5169	-0,6276	3,2188
8	-30,8448	-10,7014	-40,2009	-21,3702	-2,1685	-3,4593
9	-29,2463	-9,3813	-43,2255	-21,9655	1,4505	8,7872

	P07 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,7326	-10,1765	-41,5691	-7,7483	-4,9768	-1,0925
2	-11,9326	-10,5456	-38,9279	-5,0202	-6,5275	-5,1137
3	-10,6416	-10,5852	-36,8014	-5,4667	-3,9877	-0,3074
4	-10,1826	-10,9451	-31,8264	-4,5621	-4,1301	-6,2460
5	-11,1672	-10,5295	-33,8199	0,3347	-3,2986	-6,2445
6	-12,0499	-10,3188	-28,1417	-2,0294	-4,0183	-6,0061
7	-10,5167	-10,1788	-29,9694	-6,2293	-4,3098	-3,8191
8	-12,7990	-10,9948	-33,1192	-3,6855	-5,0238	-4,7089
9	-11,4964	-9,5618	-35,9321	-6,1870	-3,8206	-0,3900
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,3909</b>	<b>-10,4262</b>	<b>-34,4563</b>	<b>-4,5104</b>	<b>-4,4548</b>	<b>-3,7698</b>

	P08 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,6850	0,5433	-6,5996	-16,1215	2,8611	6,0255
2	-18,7363	-0,8226	-8,6126	-16,5470	2,8844	-2,1087
3	-18,5487	-0,5930	-8,3764	-17,4745	4,7589	7,7479
4	-18,3796	-0,0942	-8,2847	-19,1519	3,6655	8,1942
5	-17,8973	-0,0403	-8,4275	-17,3142	3,2816	4,8802
6	-17,8316	0,4712	-8,1732	-19,3277	3,8436	7,8025
7	-17,8808	-0,2568	-7,9721	-15,2534	4,0914	5,3380
8	-17,8644	0,5890	-8,1631	-16,0464	3,7213	-0,0202
9	-18,2454	0,0336	-9,0090	-17,7989	4,9485	8,1719

	P08 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,7452	-10,7818	-29,7452	-27,1043	-3,2923	-0,1551
2	-29,5383	-9,9475	-25,6482	-24,4500	-3,3557	-8,3152
3	-29,0732	-10,1361	-26,3129	-24,9114	1,1103	8,7525
4	-29,5677	-10,6899	-31,0024	-20,5655	-0,4002	0,3792
5	-29,3044	-9,7606	-26,2130	-20,8683	-1,2255	-3,7164
6	-28,7313	-9,7825	-27,4988	-20,6785	2,0655	5,0896
7	-28,7878	-10,0471	-32,2763	-21,0022	-0,8646	1,0594
8	-29,3918	-9,2529	-31,0975	-21,6657	-0,8226	0,4384
9	-27,8742	-9,0512	-32,2763	-24,5644	1,3879	10,5508

	P08 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,0603	-11,3251	-23,1457	-10,9829	-6,1534	-6,1805
2	-10,8020	-9,1249	-17,0357	-7,9030	-6,2401	-6,2065
3	-10,5245	-9,5431	-17,9366	-7,4369	-3,6485	1,0047
4	-11,1881	-10,5957	-22,7177	-1,4136	-4,0657	-7,8150
5	-11,4071	-9,7203	-17,7856	-3,5541	-4,5071	-8,5966
6	-10,8996	-10,2537	-19,3256	-1,3509	-1,7780	-2,7129
7	-10,9070	-9,7902	-24,3042	-5,7488	-4,9560	-4,2786
8	-11,5273	-9,8418	-22,9344	-5,6193	-4,5439	0,4586
9	-9,6288	-9,0848	-23,2672	-6,7655	-3,5606	2,3790
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,8827</b>	<b>-9,9200</b>	<b>-20,9392</b>	<b>-5,6417</b>	<b>-4,3837</b>	<b>-3,5498</b>

	P09 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,8912	-0,4414	-8,6126	-16,1516	3,1730	2,2344
2	-19,3807	-1,3544	-8,4992	-15,9866	2,3243	-3,0405
3	-19,2572	-1,4481	-8,0623	-17,7336	3,7213	3,2531
4	-18,9604	-0,7737	-8,7161	-18,5657	3,2930	7,0285
5	-19,0124	-0,5239	-8,8725	-20,2119	2,2224	3,4009
6	-18,3124	-1,0407	-8,6126	-21,0791	2,1863	7,2774
7	-18,6167	-0,3455	-6,9102	-15,6020	3,4122	6,5017
8	-18,4302	-0,1348	-7,8027	-17,1552	3,8325	2,3303
9	-18,3460	0,2470	-7,8127	-17,7010	4,2223	8,3053

	P09 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,1884	-10,9902	-22,9142	-26,8456	-2,7919	-1,7390
2	-28,5625	-11,7611	-23,0413	-26,7686	-4,7793	-9,1465
3	-29,0732	-11,4968	-22,0867	-28,2843	0,2270	3,8158
4	-29,0158	-10,8164	-19,7920	-20,8302	-1,7904	-3,4912
5	-28,1467	-11,1655	-22,4549	-23,0200	-1,7977	0,6411
6	-28,8162	-10,5643	-22,0463	-22,3930	-0,8226	2,8902
7	-29,5383	-9,2529	-21,3312	-22,0867	-0,5584	5,9807
8	-29,3918	-9,7715	-18,4809	-20,5468	-0,0336	0,2536
9	-29,0732	-9,0512	-20,1934	-23,6017	-0,0067	6,1542

	P09 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,2973	-10,5488	-14,3016	-10,6941	-5,9649	-3,9734
2	-9,1818	-10,4067	-14,5420	-10,7821	-7,1036	-6,1060
3	-9,8160	-10,0487	-14,0244	-10,5507	-3,4942	0,5628
4	-10,0554	-10,0427	-11,0758	-2,2645	-5,0833	-10,5197
5	-9,1343	-10,6415	-13,5823	-2,8082	-4,0201	-2,7599
6	-10,5038	-9,5236	-13,4337	-1,3139	-3,0089	-4,3872
7	-10,9216	-8,9074	-14,4209	-6,4848	-3,9707	-0,5210
8	-10,9616	-9,6368	-10,6781	-3,3915	-3,8661	-2,0767
9	-10,7272	-9,2982	-12,3808	-5,9006	-4,2291	-2,1511
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,1777</b>	<b>-9,8949</b>	<b>-13,1600</b>	<b>-6,0212</b>	<b>-4,5268</b>	<b>-3,5480</b>

	P10 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-16,4551	0,8095	-8,0222	-18,0789	3,2131	8,4115
2	-17,7662	0,7190	-9,1253	-14,8401	3,3726	-2,1386
3	-17,7010	0,3660	-9,3063	-17,8153	3,6431	6,9859
4	-16,6240	1,2370	-7,7038	-19,7378	3,3839	8,0600
5	-18,0789	0,7901	-7,9421	-17,8480	4,2278	6,0652
6	-18,0789	0,4384	-8,3764	-18,9084	4,8750	9,5556
7	-18,5827	0,6280	-5,8659	-17,1236	3,7436	5,9108
8	-18,4809	-0,0269	-6,9292	-15,0813	3,6487	-0,8506
9	-18,5147	-0,0942	-8,1833	-15,9269	5,0270	6,7620

	P10 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,8645	-8,8725	-16,6548	-26,9746	-2,5387	-1,7904
2	-30,7821	-9,2529	-17,7826	-24,2007	-3,9605	-9,1571
3	-29,9844	-9,0301	-19,5228	-28,5065	-0,6901	1,8646
4	-29,3335	-7,7433	-14,2700	-20,3972	-1,0903	2,4495
5	-30,5642	-9,0196	-16,3787	-18,1786	-1,2612	-2,5006
6	-29,9243	-9,0512	-18,3124	-18,1287	1,2748	3,6207
7	-29,9243	-10,6442	-20,1198	-24,7950	-2,3792	2,6151
8	-30,0748	-10,6670	-19,0820	-21,8050	-3,2607	-8,3458
9	-29,6859	-10,6327	-18,2120	-22,9988	0,9060	4,8276

	P10 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-13,4094	-9,6820	-8,6326	-8,8957	-5,7517	-10,2018
2	-13,0158	-9,9718	-8,6573	-9,3606	-7,3331	-7,0185
3	-12,2834	-9,3961	-10,2165	-10,6913	-4,3331	-5,1212
4	-12,7095	-8,9803	-6,5662	-0,6594	-4,4742	-5,6105
5	-12,4853	-9,8097	-8,4366	-0,3306	-5,4890	-8,5657
6	-11,8455	-9,4896	-9,9360	0,7798	-3,6002	-5,9349
7	-11,3417	-11,2722	-14,2540	-7,6714	-6,1228	-3,2957
8	-11,5940	-10,6402	-12,1528	-6,7237	-6,9093	-7,4951
9	-11,1711	-10,5385	-10,0287	-7,0719	-4,1211	-1,9345
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,2062</b>	<b>-9,9756</b>	<b>-9,8756</b>	<b>-5,6250</b>	<b>-5,3483</b>	<b>-6,1309</b>



	P11 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-17,8480	0,8288	-6,9958	-14,6436	4,0969	3,4970
2	-18,0789	0,1739	-7,4585	-14,2016	4,2169	-0,8997
3	-18,5487	0,2204	-7,3903	-16,3179	5,1676	7,3566
4	-18,0789	0,0537	-7,6939	-18,8222	3,0811	7,4308
5	-18,1953	-0,2773	-9,0618	-17,2028	4,4978	5,2555
6	-18,2956	0,1138	-7,9521	-19,3630	5,7452	10,9160
7	-18,4640	0,3396	-8,4172	-15,3689	3,3612	4,2875
8	-17,9137	0,5498	-7,9521	-16,2270	3,2702	-1,7977
9	-17,4263	1,1737	-6,9958	-15,3979	6,3214	10,2876

	P11 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,6563	-10,3040	-18,6679	-23,6454	-1,7463	-1,7390
2	-29,2463	-9,9364	-16,7167	-22,5169	-3,2291	-8,2542
3	-29,4210	-10,5529	-18,9604	-25,9901	0,2536	4,1570
4	-29,7750	-9,1041	-16,7167	-22,1273	-1,7757	1,3440
5	-29,3044	-9,9917	-16,9975	-18,9430	-1,6440	-3,4274
6	-31,3858	-10,2031	-17,8153	-21,5076	0,3858	3,4292
7	-30,3180	-11,6406	-19,9917	-21,7253	-1,1613	1,7481
8	-29,5677	-10,5757	-19,5585	-21,2533	-3,0015	-6,3213
9	-28,8446	-9,8483	-18,1287	-22,4962	1,0339	6,4920

	P11 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,8083	-11,1328	-11,6721	-9,0018	-5,8432	-5,2360
2	-11,1675	-10,1103	-9,2582	-8,3153	-7,4460	-7,3545
3	-10,8723	-10,7733	-11,5700	-9,6722	-4,9140	-3,1996
4	-11,6961	-9,1577	-9,0228	-3,3051	-4,8568	-6,0868
5	-11,1091	-9,7144	-7,9357	-1,7402	-6,1418	-8,6829
6	-13,0901	-10,3169	-9,8632	-2,1446	-5,3595	-7,4868
7	-11,8540	-11,9802	-11,5745	-6,3564	-4,5226	-2,5394
8	-11,6540	-11,1255	-11,6064	-5,0263	-6,2717	-4,5236
9	-11,4183	-11,0220	-11,1329	-7,0983	-5,2875	-3,7956
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,6300</b>	<b>-10,5926</b>	<b>-10,4040</b>	<b>-5,8511</b>	<b>-5,6270</b>	<b>-5,4339</b>

	P12 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,5147	-0,3113	-7,8425	-14,8260	4,4870	5,5070
2	-18,2789	-0,2161	-8,1026	-14,8966	3,6766	0,0000
3	-18,0292	0,0604	-8,4377	-17,6198	4,2006	6,8814
4	-18,1953	0,3066	-7,8027	-17,2505	4,3794	7,8706
5	-18,4133	-0,1754	-7,9221	-17,7010	3,6599	4,8960
6	-17,5713	0,4712	-7,7730	-21,9454	3,8269	10,2273
7	-17,6036	0,1605	-7,8823	-17,0920	3,3499	6,5357
8	-17,7826	-0,1618	-8,2339	-15,6460	3,9596	0,3924
9	-17,6848	-0,0336	-7,3515	-16,7322	5,3483	9,2323

	P12 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,7821	-10,4168	-15,9418	-21,8450	-1,6149	0,1605
2	-30,2569	-10,0360	-14,7697	-21,6062	-3,8462	-8,0925
3	-31,3213	-10,5985	-14,3249	-22,3519	0,1472	4,2549
4	-30,3180	-10,7358	-16,1215	-18,4302	-0,5308	0,6280
5	-29,6859	-10,5188	-16,3027	-18,7192	-2,5310	-4,1911
6	-29,3626	-9,6080	-15,1672	-27,7932	-1,8787	-1,0266
7	-29,2753	-10,3490	-13,7825	-22,4136	-0,6901	5,4866
8	-28,6748	-9,2422	-14,5183	-21,8450	-1,8345	-3,1110
9	-30,5332	-10,4394	-14,6995	-23,3411	1,8402	9,2619

	P12 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,2673	-10,1054	-8,0994	-7,0191	-6,1019	-5,3465
2	-11,9781	-9,8199	-6,6671	-6,7097	-7,5228	-8,0925
3	-13,2922	-10,6588	-5,8872	-4,7321	-4,0534	-2,6265
4	-12,1227	-11,0424	-8,3187	-1,1797	-4,9102	-7,2425
5	-11,2726	-10,3434	-8,3806	-1,0182	-6,1909	-9,0871
6	-11,7913	-10,0792	-7,3942	-5,8478	-5,7056	-11,2538
7	-11,6717	-10,5096	-5,9003	-5,3216	-4,0399	-1,0491
8	-10,8923	-9,0804	-6,2844	-6,1991	-5,7941	-3,5034
9	-12,8485	-10,4058	-7,3480	-6,6089	-3,5081	0,0296
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,0152</b>	<b>-10,2272</b>	<b>-7,1422</b>	<b>-4,9596</b>	<b>-5,3141</b>	<b>-5,3524</b>

	P13 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,3292	0,1872	-7,1969	-16,6857	3,7046	6,0255
2	-17,8316	1,2117	-7,5660	-15,4705	3,9486	0,7125
3	-18,4809	0,3132	-8,2847	-17,5874	5,4815	11,5253
4	-17,7989	0,1072	-8,8202	-19,6300	3,5252	7,1039
5	-18,5487	-0,0202	-8,4685	-17,3302	3,9155	5,5325
6	-18,4471	-0,7249	-6,5250	-21,2145	3,9651	8,9939
7	-17,8808	-0,0740	-7,3515	-16,6548	2,6151	4,3686
8	-18,2789	0,4515	-7,8027	-15,1242	3,6095	-0,2161
9	-18,1121	0,1805	-8,5919	-17,4584	5,0061	8,9166

	P13 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,9076	-9,8923	-15,1815	-24,2232	-1,9304	1,9806
2	-30,0446	-9,7060	-14,7276	-24,1557	-5,4206	-10,4054
3	-30,1960	-9,1147	-15,9567	-23,4276	-0,0875	5,5019
4	-31,6128	-9,9696	-15,8972	-20,8492	-4,7793	-6,3766
5	-30,2265	-12,1272	-15,6313	-21,3702	-3,6115	-2,2435
6	-31,6128	-9,9696	-15,8972	-20,8492	-4,7793	-6,3766
7	-31,5477	-11,1537	-16,8254	-18,6679	0,1872	2,4554
8	-30,6884	-11,5686	-13,0342	-25,3598	-4,7367	-3,1896
9	-31,5477	-9,8483	-14,6715	-22,7041	-5,9200	-11,3068

	P13 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,5785	-10,0795	-7,9846	-7,5375	-5,6349	-4,0449
2	-12,2130	-10,9177	-7,1615	-8,6852	-9,3692	-11,1179
3	-11,7152	-9,4279	-7,6720	-5,8401	-5,5690	-6,0234
4	-13,8139	-10,0767	-7,0769	-1,2192	-8,3045	-13,4806
5	-11,6778	-12,1070	-7,1628	-4,0401	-7,5270	-7,7760
6	-13,1658	-9,2447	-9,3722	0,3652	-8,7445	-15,3705
7	-13,6669	-11,0797	-9,4739	-2,0131	-2,4280	-1,9132
8	-12,4095	-12,0201	-5,2314	-10,2356	-8,3462	-2,9736
9	-13,4356	-10,0288	-6,0796	-5,2457	-10,9261	-20,2234
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,7418</b>	<b>-10,5536</b>	<b>-7,4683</b>	<b>-4,9390</b>	<b>-7,4277</b>	<b>-9,2137</b>

	P14 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,2454	0,0670	-8,0222	-15,4560	4,0640	6,1048
2	-18,4133	-0,1686	-8,5404	-16,8878	3,6543	0,3132
3	-18,4978	-0,2637	-8,2441	-16,4398	5,3586	9,3883
4	-17,8644	-0,4002	-8,8202	-18,4640	3,7714	9,1815
5	-18,2287	-0,0336	-9,0512	-17,9466	3,3385	4,6899
6	-18,3628	-0,0942	-8,0925	-18,7192	4,2983	7,4540
7	-18,3628	-0,4139	-8,1732	-18,7192	2,9946	9,4805
8	-18,2454	-0,2977	-6,9197	-17,8808	2,3362	-0,8927
9	-17,9631	0,1339	-7,0913	-19,4339	3,6431	9,9106

	P14 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-31,1931	-10,3942	-16,1365	-25,5757	-3,4433	-4,0919
2	-30,3793	-10,5643	-16,0614	-27,7393	-6,7214	-11,6045
3	-30,2569	-11,0368	-16,3940	-27,2088	-1,2541	0,0134
4	-29,9844	-12,0780	-16,5317	-22,5169	-5,2365	-4,2159
5	-30,3793	-11,4968	-17,7173	-20,9638	-6,2937	-8,6022
6	-30,2874	-11,0135	-20,4906	-22,9142	-4,3741	0,0000
7	-29,9243	-11,1069	-19,0820	-25,6241	-3,8951	-4,7367
8	-30,4715	-11,7611	-19,3984	-25,6725	-6,4136	-15,1099
9	-30,2265	-11,8702	-18,8050	-25,1934	-2,1162	-3,9033

	P14 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,9478	-10,4612	-8,1143	-10,1198	-7,5073	-10,1967
2	-11,9659	-10,3957	-7,5210	-10,8515	-10,3757	-11,9177
3	-11,7591	-10,7731	-8,1499	-10,7690	-6,6127	-9,3749
4	-12,1200	-11,6778	-7,7114	-4,0529	-9,0079	-13,3974
5	-12,1506	-11,4632	-8,6661	-3,0172	-9,6322	-13,2921
6	-11,9247	-10,9192	-12,3980	-4,1950	-8,6724	-7,4540
7	-11,5616	-10,6929	-10,9088	-6,9049	-6,8897	-14,2172
8	-12,2261	-11,4634	-12,4787	-7,7916	-8,7499	-14,2172
9	-12,2634	-12,0041	-11,7137	-5,7596	-5,7592	-13,8139
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,1021</b>	<b>-11,0945</b>	<b>-9,7402</b>	<b>-7,0513</b>	<b>-8,1341</b>	<b>-11,9868</b>

	P15 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,7021	0,1138	-8,5198	-16,5317	3,3101	3,3612
2	-18,9257	-1,0124	-9,2209	-17,5713	2,2764	-1,5785
3	-18,4809	-0,8226	-9,1996	-17,8808	3,7603	7,0143
4	-18,5997	-0,0605	-7,7928	-18,9777	3,6375	9,2788
5	-18,0457	0,0134	-8,9249	-18,8912	2,1139	3,4349
6	-18,2287	0,3858	-8,1934	-22,1273	2,9424	8,6177
7	-18,0954	-0,1280	-8,3254	-17,0447	4,5031	5,3842
8	-17,1869	-0,3660	-8,1328	-15,9567	3,5702	-0,5515
9	-17,6523	-0,5033	-8,8411	-18,0954	3,2074	4,2060

	P15 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-28,9871	-10,3942	-18,4133	-30,5023	-6,0286	-6,3489
2	-29,5089	-12,9057	-17,7173	-30,4715	-6,6557	-11,8459
3	-30,0145	-12,8035	-18,6679	-29,7155	-2,6610	-2,6074
4	-29,3626	-11,9922	-18,5827	-23,6673	-5,8209	-3,2844
5	-29,8645	-11,8459	-20,3229	-22,1883	-6,7590	-8,3050
6	-29,9243	-11,8459	-20,5468	-23,5580	-3,1110	0,1405
7	-30,1051	-11,9311	-15,6166	-25,9409	-4,4578	-4,4662
8	-29,2753	-11,5446	-15,4124	-25,6241	-6,4785	-11,1655
9	-29,8346	-12,1518	-17,8316	-26,2879	-3,5393	-2,3037

	P15 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,2851	-10,5080	-9,8935	-13,9707	-9,3387	-9,7102
2	-10,5832	-11,8933	-8,4964	-12,9002	-8,9321	-10,2674
3	-11,5336	-11,9809	-9,4683	-11,8347	-6,4213	-9,6217
4	-10,7629	-11,9316	-10,7898	-4,6897	-9,4584	-12,5632
5	-11,8187	-11,8594	-11,3980	-3,2972	-8,8729	-11,7399
6	-11,6957	-12,2317	-12,3533	-1,4307	-6,0535	-8,4771
7	-12,0096	-11,8031	-7,2912	-8,8962	-8,9610	-9,8505
8	-12,0884	-11,1786	-7,2796	-9,6673	-10,0487	-10,6139
9	-12,1823	-11,6486	-8,9905	-8,1925	-6,7466	-6,5097
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,4399</b>	<b>-11,6706</b>	<b>-9,5512</b>	<b>-8,3199</b>	<b>-8,3148</b>	<b>-9,9282</b>

	P16 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,3124	-0,7527	-8,8934	-16,3940	2,8495	5,6189
2	-17,6198	-0,1077	-8,1227	-17,3462	2,6269	0,1272
3	-18,0126	0,0201	-7,5857	-15,9567	5,1728	8,8218
4	-18,1453	-0,4757	-8,9039	-19,6300	2,0776	7,1791
5	-17,7499	-0,1077	-8,7161	-19,4694	1,9196	3,1673
6	-18,2789	0,2536	-9,3598	-19,1869	4,8802	8,6526
7	-18,2454	0,1938	-7,8723	-15,0243	4,3037	4,9328
8	-17,9961	-0,1822	-8,0724	-16,2724	2,7619	-1,7463
9	-18,2287	-1,0266	-7,8922	-17,0920	4,0750	7,4909

	P16 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,5332	-11,3779	-18,4978	-29,0444	-5,7760	-2,9080
2	-30,1051	-11,5207	-21,8651	-28,2567	-7,1009	-10,7473
3	-31,0024	-12,3626	-18,4133	-25,9901	-1,6513	0,7190
4	-29,5383	-10,5074	-21,7452	-27,0264	-7,3418	-3,1660
5	-30,4407	-12,6386	-21,9052	-24,1557	-8,8934	-10,2479
6	-30,7196	-12,1272	-22,3519	-23,5580	-3,5633	-1,2398
7	-30,5332	-11,2950	-21,9454	-27,6321	-6,0286	-7,4001
8	-30,5951	-11,6165	-21,0214	-24,9114	-6,6932	-10,9205
9	-30,4407	-12,3252	-20,1198	-24,6333	-1,7170	0,5236

	P16 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,2208	-10,6251	-9,6044	-12,6505	-8,6255	-8,5269
2	-12,4852	-11,4130	-13,7423	-10,9105	-9,7278	-10,8745
3	-12,9897	-12,3827	-10,8277	-10,0334	-6,8240	-8,1028
4	-11,3930	-10,0317	-12,8413	-7,3964	-9,4195	-10,3451
5	-12,6908	-12,5309	-13,1891	-4,6863	-10,8131	-13,4151
6	-12,4407	-12,3808	-12,9921	-4,3711	-8,4436	-9,8924
7	-12,2878	-11,4888	-14,0731	-12,6078	-10,3324	-12,3329
8	-12,5990	-11,4344	-12,9490	-8,6390	-9,4551	-9,1742
9	-12,2120	-11,2986	-12,2276	-7,5413	-5,7920	-6,9673
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,3688</b>	<b>-11,5095</b>	<b>-12,4941</b>	<b>-8,7596</b>	<b>-8,8259</b>	<b>-9,9590</b>

	P17 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,1121	-0,1754	-7,3806	-15,1958	4,4010	6,3898
2	-17,9631	0,9380	-7,5171	-16,7167	3,2188	-1,8271
3	-18,0954	0,1672	-6,9482	-15,7195	4,6367	4,4064
4	-18,0789	0,4515	-6,9958	-18,2956	3,3044	8,0330
5	-17,9302	0,3264	-8,0423	-17,6685	3,0061	4,5834
6	-17,9961	-0,0875	-9,2742	-18,9257	4,3740	7,4076
7	-17,8480	0,2470	-7,1105	-17,5389	3,1271	6,5163
8	-18,7535	0,4253	-7,1585	-16,5163	2,4613	0,2005
9	-17,6523	0,3528	-8,4992	-17,0920	4,5887	7,4493

	P17 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-31,1612	-10,6327	-17,8153	-32,5479	-5,5975	-4,9765
2	-30,4715	-9,7060	-22,3314	-28,6186	-7,1489	-11,2832
3	-31,0657	-10,9205	-19,7920	-31,9750	-4,7367	-6,4044
4	-31,3535	-11,2360	-17,8644	-25,3121	-5,6420	-2,0863
5	-29,9243	-10,7014	-16,5163	-20,3415	-6,5157	-7,5073
6	-30,3793	-12,0289	-18,7192	-24,4044	-5,0455	-4,6179
7	-30,3486	-11,7853	-18,7021	-27,7393	-5,8389	-6,7308
8	-30,6262	-10,7129	-20,7922	-27,1565	-7,9221	-12,3626
9	-30,4100	-11,7853	-20,6031	-26,6665	-3,4513	-3,8462

	P17 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-13,0492	-10,4573	-10,4346	-17,3521	-9,9985	-11,3663
2	-12,5084	-10,6440	-14,8143	-11,9019	-10,3676	-9,4561
3	-12,9703	-11,0877	-12,8437	-16,2555	-9,3735	-10,8107
4	-13,2747	-11,6876	-10,8686	-7,0165	-8,9464	-10,1194
5	-11,9942	-11,0278	-8,4741	-2,6729	-9,5218	-12,0907
6	-12,3831	-11,9414	-9,4450	-5,4787	-9,4195	-12,0256
7	-12,5006	-12,0323	-11,5916	-10,2004	-8,9660	-13,2471
8	-11,8727	-11,1381	-13,6337	-10,6402	-10,3835	-12,5630
9	-12,7577	-12,1381	-12,1039	-9,5745	-8,0400	-11,2955
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,5901</b>	<b>-11,3505</b>	<b>-11,5788</b>	<b>-10,1214</b>	<b>-9,4463</b>	<b>-11,4416</b>

	P18 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,1121	-0,2977	-8,2035	-16,9348	2,8786	5,8357
2	-18,0457	-0,5377	-8,9249	-14,9674	4,0146	-0,8296
3	-18,8912	-0,5515	-9,4458	-16,4703	3,8158	4,0914
4	-18,4640	0,4253	-7,1585	-19,3100	3,1558	8,3850
5	-18,5147	-0,2093	-8,4890	-17,5067	2,9482	4,4118
6	-18,8222	-0,9278	-7,4585	-22,1680	3,3669	7,4632
7	-18,6508	-0,3865	-7,2837	-16,7788	4,0091	10,1546
8	-18,7535	-0,2637	-7,9921	-15,4705	4,1733	3,5758
9	-18,7363	-0,3455	-7,9721	-18,7192	4,8012	13,2665

	P18 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,5642	-10,8857	-21,9655	-28,5345	-4,5841	-6,7684
2	-30,0446	-11,5566	-21,9857	-27,0523	-7,0626	-10,4281
3	-30,4715	-12,0657	-20,6220	-30,4407	-5,2715	-8,6539
4	-30,6884	-12,6639	-23,7773	-26,8971	-4,8220	-6,4229
5	-30,8448	-12,9057	-23,1478	-25,6967	-8,1833	-11,6165
6	-30,7196	-11,6285	-20,4906	-26,0889	-5,0974	-6,8062
7	-30,6884	-11,7974	-20,4719	-27,5254	-4,4998	-3,1424
8	-30,6884	-11,5207	-20,7542	-26,3882	-7,5464	-10,6556
9	-29,7452	-10,9437	-22,4342	-27,0523	-4,0508	-6,7026

	P18 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,4521	-10,5880	-13,7620	-11,5997	-7,4627	-12,6042
2	-11,9989	-11,0189	-13,0608	-12,0849	-11,0773	-9,5985
3	-11,5803	-11,5142	-11,1762	-13,9703	-9,0873	-12,7453
4	-12,2244	-13,0892	-16,6188	-7,5871	-7,9778	-14,8079
5	-12,3300	-12,6964	-14,6589	-8,1900	-11,1316	-16,0283
6	-11,8974	-10,7007	-13,0321	-3,9209	-8,4643	-14,2694
7	-12,0376	-11,4109	-13,1881	-10,7467	-8,5090	-13,2971
8	-11,9349	-11,2571	-12,7621	-10,9176	-11,7198	-14,2314
9	-11,0089	-10,5982	-14,4621	-8,3332	-8,8519	-19,9691
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,9405</b>	<b>-11,4304</b>	<b>-13,6357</b>	<b>-9,7056</b>	<b>-9,3646</b>	<b>-14,1723</b>



	P19 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,7535	-1,3544	-7,4975	-16,2270	4,0914	7,0237
2	-18,4809	-0,3250	-7,6545	-17,2664	2,5443	-1,4987
3	-17,8644	0,0000	-8,6539	-17,9466	3,3158	5,3174
4	-17,9796	0,0134	-7,8127	-19,1169	2,4078	6,5840
5	-17,7010	0,0470	-7,2741	-18,0292	3,6766	4,8223
6	-17,7499	-0,3455	-9,1890	-18,8912	5,9008	11,0131
7	-18,2956	-0,3250	-8,5404	-18,9950	2,1562	4,5406
8	-18,4978	-0,1010	-8,5095	-17,1236	3,5364	1,7234
9	-18,5827	-0,7807	-9,2956	-17,3142	5,0114	8,5258

	P19 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,0145	-12,6260	-20,6031	-31,1931	-7,3128	-4,2907
2	-30,9392	-13,5961	-20,3972	-27,6588	-8,3968	-12,3875
3	-30,4407	-11,8702	-20,1382	-31,2571	-5,4559	-6,2569
4	-30,6884	-12,5378	-23,6235	-25,2171	-6,6651	-4,1993
5	-29,5089	-11,4016	-21,8450	-24,5644	-9,1041	-10,9321
6	-28,7595	-11,4611	-20,6974	-24,9114	-4,0919	-0,1957
7	-30,0145	-14,7838	-20,5280	-28,2567	-5,7313	-5,5709
8	-29,7750	-12,2012	-20,4345	-28,8446	-8,5610	-11,9677
9	-27,8742	-12,1889	-21,7452	-28,9300	-5,2453	-4,5504

	P19 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,2610	-11,2715	-13,1056	-14,9661	-11,4042	-11,3144
2	-12,4583	-13,2711	-12,7428	-10,3924	-10,9411	-10,8888
3	-12,5763	-11,8702	-11,4843	-13,3105	-8,7716	-11,5743
4	-12,7088	-12,5512	-15,8109	-6,1001	-9,0729	-10,7834
5	-11,8079	-11,4486	-14,5710	-6,5352	-12,7807	-15,7544
6	-11,0096	-11,1156	-11,5085	-6,0202	-9,9928	-11,2088
7	-11,7189	-14,4588	-11,9876	-9,2617	-7,8874	-10,1115
8	-11,2772	-12,1002	-11,9250	-11,7210	-12,0974	-13,6912
9	-9,2915	-11,4082	-12,4496	-11,6158	-10,2566	-13,0762
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,5677</b>	<b>-12,1662</b>	<b>-12,8428</b>	<b>-9,9915</b>	<b>-10,3561</b>	<b>-12,0448</b>

	P20 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-17,9796	-0,1551	-7,7730	-17,2823	2,7151	6,0056
2	-17,8480	0,1938	-9,0090	-18,2789	2,2284	-1,9452
3	-18,4133	-0,0067	-8,4479	-17,7662	3,6151	6,7572
4	-18,2789	0,0067	-7,9321	-18,6679	2,0049	4,7800
5	-17,7010	-0,0269	-8,6126	-19,7198	2,0292	3,3442
6	-18,1953	-0,3045	-8,8725	-20,1566	4,2549	9,8656
7	-18,4471	-0,4071	-7,5073	-16,0614	3,4914	3,2131
8	-18,5317	-0,2297	-7,7532	-15,6166	2,5679	-1,0407
9	-19,0472	-0,4689	-8,7994	-17,0132	4,0531	8,5346

	P20 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,6572	-11,6045	-20,6974	-30,1657	-6,7590	-4,7027
2	-31,2251	-12,4000	-19,2924	-27,9284	-8,9774	-12,4125
3	-29,9243	-10,9553	-20,3972	-29,5383	-5,2278	-5,2278
4	-31,0657	-11,9800	-20,4906	-26,1137	-8,5713	-7,1969
5	-30,7821	-12,7653	-21,4879	-24,0437	-7,9221	-8,6436
6	-28,9871	-11,7853	-20,7732	-25,9901	-5,7134	-2,6610
7	-29,6563	-11,3897	-21,8450	-27,4988	-6,9863	-7,8027
8	-29,2463	-10,7358	-20,7922	-26,7686	-7,4682	-10,8857
9	-29,2753	-11,4016	-20,9065	-32,2763	-5,7850	-4,6518

	P20 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,6776	-11,4495	-12,9244	-12,8833	-9,4741	-10,7083
2	-13,3771	-12,5938	-10,2834	-9,6495	-11,2058	-10,4673
3	-11,5110	-10,9486	-11,9493	-11,7721	-8,8429	-11,9851
4	-12,7869	-11,9867	-12,5584	-7,4458	-10,5761	-11,9769
5	-13,0810	-12,7385	-12,8753	-4,3238	-9,9513	-11,9878
6	-10,7918	-11,4808	-11,9007	-5,8335	-9,9683	-12,5266
7	-11,2092	-10,9827	-14,3377	-11,4374	-10,4777	-11,0158
8	-10,7146	-10,5062	-13,0390	-11,1520	-10,0362	-9,8450
9	-10,2281	-10,9327	-12,1071	-15,2630	-9,8381	-13,1864
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,8197</b>	<b>-11,5133</b>	<b>-12,4417</b>	<b>-9,9734</b>	<b>-10,0412</b>	<b>-11,5221</b>

	P21 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,7535	-1,0054	-8,2847	-16,4703	3,3612	3,8269
2	-18,1453	-0,8787	-8,5301	-17,7662	2,2464	-3,1032
3	-18,6679	-0,9913	-9,7934	-17,9137	3,8380	5,7200
4	-18,3292	-0,2161	-8,9249	-20,0831	1,2370	5,8858
5	-18,2621	-0,4620	-8,8516	-19,9188	2,0595	3,7213
6	-18,8739	-0,6415	-9,3813	-18,9257	4,9957	9,9270
7	-18,9777	-1,0620	-9,1783	-15,6166	2,7853	-1,3473
8	-18,8050	-1,2255	-9,0407	-16,3940	2,9946	-2,0119
9	-18,7363	-1,3832	-8,8202	-16,8566	4,4387	4,5994

	P21 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,0748	-11,3660	-18,0126	-29,7155	-6,3489	-10,6442
2	-29,2753	-13,3066	-19,0646	-28,2016	-7,8623	-16,6085
3	-29,8645	-11,7490	-20,7542	-33,5648	-5,8119	-5,7223
4	-28,9015	-10,5415	-19,2045	-28,1741	-7,6643	-6,6557
5	-28,7878	-12,6260	-21,6855	-25,6725	-8,5404	-12,8545
6	-29,7155	-13,1634	-20,7542	-26,5395	-4,7879	-3,2291
7	-28,9585	-11,1069	-19,4694	-26,8199	-6,7873	-8,4890
8	-29,1595	-12,0534	-18,8912	-29,7750	-9,1677	-15,8823
9	-29,1884	-11,7249	-19,5942	-28,5625	-4,4494	-9,0301

	P21 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-11,3214	-10,3606	-9,7279	-13,2452	-9,7102	-14,4711
2	-11,1300	-12,4280	-10,5345	-10,4354	-10,1088	-13,5054
3	-11,1966	-10,7578	-10,9608	-15,6511	-9,6500	-11,4424
4	-10,5723	-10,3254	-10,2796	-8,0910	-8,9013	-12,5415
5	-10,5257	-12,1640	-12,8339	-5,7536	-10,5998	-16,5758
6	-10,8417	-12,5220	-11,3729	-7,6138	-9,7835	-13,1560
7	-9,9808	-10,0449	-10,2910	-11,2033	-9,5726	-7,1417
8	-10,3546	-10,8279	-9,8505	-13,3810	-12,1623	-13,8704
9	-10,4521	-10,3416	-10,7740	-11,7059	-8,8881	-13,6295
	<b>promedio</b>					
	<b>-10,7084</b>	<b>-11,0858</b>	<b>-10,7361</b>	<b>-10,7867</b>	<b>-9,9307</b>	<b>-12,9260</b>

	P22 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,2789	-0,1551	-8,1631	-16,0015	4,7005	7,9113
2	-17,6198	0,1805	-8,5713	-17,2664	2,1018	-2,9703
3	-18,1453	-0,0942	-8,2948	-17,4423	3,8103	4,8012
4	-17,6360	0,1472	-8,4070	-18,1786	2,7502	8,2343
5	-18,2287	0,7966	-7,7136	-20,1382	1,7296	3,6990
6	-18,2621	-0,6276	-8,4479	-21,0599	2,9482	7,3566
7	-17,7826	0,2403	-8,8725	-15,5873	3,5589	7,5785
8	-17,5551	0,1405	-8,8307	-16,8099	4,1788	4,1406
9	-18,9257	0,1205	-8,0222	-17,2187	6,3312	14,0501

	P22 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-30,2874	-11,4135	-19,6480	-36,8406	-7,5171	-10,7703
2	-29,7452	-10,4734	-19,0298	-31,9750	-8,9564	-15,0528
3	-29,3626	-12,1395	-19,3277	-35,4890	-6,6557	-7,6250
4	-29,4210	-11,3305	-21,6458	-27,6321	-7,8823	-12,4500
5	-29,7155	-11,6165	-19,8644	-27,1565	-9,4673	-12,7781
6	-29,3626	-11,7974	-21,4094	-27,4193	-6,9673	-4,6179
7	-30,3486	-11,8338	-21,3507	-29,0444	-6,9008	-17,5713
8	-29,4796	-10,7818	-19,1169	-27,6054	-7,8524	-14,2563
9	-28,4229	-12,9698	-18,2287	-29,2753	-5,4559	-6,2937

	P22 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-12,0086	-11,2584	-11,4848	-20,8390	-12,2176	-18,6817
2	-12,1254	-10,6539	-10,4585	-14,7086	-11,0582	-12,0825
3	-11,2173	-12,0453	-11,0328	-18,0466	-10,4660	-12,4261
4	-11,7850	-11,4777	-13,2388	-9,4535	-10,6325	-20,6843
5	-11,4869	-12,4131	-12,1507	-7,0183	-11,1969	-16,4770
6	-11,1005	-11,1698	-12,9614	-6,3595	-9,9155	-11,9745
7	-12,5660	-12,0741	-12,4782	-13,4571	-10,4597	-25,1497
8	-11,9245	-10,9224	-10,2863	-10,7955	-12,0312	-18,3969
9	-9,4972	-13,0903	-10,2065	-12,0566	-11,7871	-20,3438
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,5235</b>	<b>-11,6783</b>	<b>-11,5887</b>	<b>-12,5261</b>	<b>-11,0850</b>	<b>-17,3574</b>

	P23 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-17,7826	-0,0202	-8,1026	-17,4584	4,0695	6,1690
2	-17,9631	0,3330	-8,2137	-16,2573	2,7268	-3,2291
3	-18,2621	0,2735	-8,8830	-18,3628	4,3146	6,7093
4	-18,0789	-0,1483	-8,0021	-19,3453	3,8989	8,3717
5	-17,8480	0,5040	-7,6643	-16,5931	4,0311	5,7553
6	-17,8153	-0,0942	-9,1253	-19,7739	4,8434	10,0858
7	-18,0292	0,4975	-7,6939	-16,4551	4,2223	6,3801
8	-17,6198	0,3989	-7,4487	-14,2563	4,3956	0,6280
9	-18,1121	0,1339	-7,6348	-16,3331	4,6314	6,4677

	P23 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-31,1293	-12,8163	-19,8100	-33,6008	-6,3951	-8,6539
2	-29,2463	-11,3186	-19,6300	-34,4849	-10,6899	-13,4903
3	-30,2569	-9,4243	-16,1666	-37,2256	-8,1429	-10,6556
4	-30,9076	-10,9553	-19,3630	-26,3882	-9,1041	-9,4781
5	-29,5972	-9,9917	-21,0791	-26,2629	-10,6327	-10,7358
6	-30,2569	-9,0723	-16,0165	-28,2567	-7,2355	-6,2019
7	-30,4407	-11,8095	-19,9917	-31,4180	-8,1429	-15,0243
8	-30,5332	-11,7007	-21,0406	-31,7110	-9,2209	-13,9572
9	-30,5332	-10,6327	-20,5655	-32,2089	-5,7671	-13,0213

	P23 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-13,3468	-12,7961	-11,7075	-16,1424	-10,4646	-14,8230
2	-11,2832	-11,6516	-11,4164	-18,2276	-13,4167	-10,2613
3	-11,9948	-9,6977	-7,2836	-18,8628	-12,4575	-17,3649
4	-12,8288	-10,8070	-11,3609	-7,0428	-13,0030	-17,8499
5	-11,7492	-10,4957	-13,4148	-9,6698	-14,6638	-16,4912
6	-12,4417	-8,9781	-6,8912	-8,4828	-12,0788	-16,2877
7	-12,4115	-12,3070	-12,2978	-14,9630	-12,3653	-21,4044
8	-12,9134	-12,0997	-13,5919	-17,4547	-13,6165	-14,5852
9	-12,4212	-10,7666	-12,9308	-15,8758	-10,3985	-19,4890
	<b>promedio</b>					
	<b>-12,3767</b>	<b>-11,0666</b>	<b>-11,2105</b>	<b>-14,0802</b>	<b>-12,4961</b>	<b>-16,5063</b>

	P24 seca					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-18,9257	-1,0549	-9,8483	-16,1215	3,6599	4,9275
2	-18,4809	-1,1756	-9,7497	-18,4640	1,8463	-1,6878
3	-18,7535	-0,9349	-8,8620	-18,0623	4,0476	6,8719
4	-18,5147	-0,6345	-9,8044	-18,1453	3,1328	7,1650
5	-18,0954	-1,0195	-10,1472	-19,8644	2,1381	3,9210
6	-18,5997	-0,5515	-9,0723	-19,2924	5,0323	10,1748
7	-17,9631	-0,4895	-8,2339	-15,1672	3,9320	4,6047
8	-17,8316	-0,4620	-7,5758	-14,9532	4,2223	0,8288
9	-18,1619	-0,3660	-7,1201	-16,3635	5,2038	8,6133

	P24 húmeda					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-29,7155	-11,9677	-21,9253	-30,3793	-5,6955	-5,8749
2	-29,4796	-11,6766	-19,0820	-33,1730	-11,0368	-18,2120
3	-30,1353	-10,9437	-18,3628	-32,8233	-6,4229	-11,9677
4	-29,9243	-10,1361	-19,1344	-28,2843	-9,0512	-7,1681
5	-29,8346	-10,9089	-16,7788	-28,1193	-10,8742	-11,8824
6	-30,1051	-10,9669	-18,6508	-28,9585	-6,7967	-4,2325
7	-30,3486	-10,9553	-18,3460	-33,2436	-8,6954	-12,1642
8	-30,5642	-11,0368	-17,0132	-28,4508	-8,1530	-14,0112
9	-29,8944	-10,5985	-17,8808	-30,8448	-4,6772	-8,0322

	P24 diferencia					
PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
1	-10,7898	-10,9129	-12,0770	-14,2578	-9,3554	-10,8024
2	-10,9987	-10,5011	-9,3324	-14,7090	-12,8831	-16,5242
3	-11,3819	-10,0088	-9,5007	-14,7610	-10,4704	-18,8396
4	-11,4096	-9,5015	-9,3300	-10,1390	-12,1841	-14,3331
5	-11,7391	-9,8894	-6,6315	-8,2549	-13,0123	-15,8034
6	-11,5054	-10,4154	-9,5785	-9,6662	-11,8290	-14,4073
7	-12,3855	-10,4658	-10,1120	-18,0765	-12,6274	-16,7689
8	-12,7325	-10,5748	-9,4374	-13,4975	-12,3753	-14,8400
9	-11,7324	-10,2325	-10,7608	-14,4812	-9,8811	-16,6455
	<b>promedio</b>					
	<b>-11,6306</b>	<b>-10,2780</b>	<b>-9,6400</b>	<b>-13,0937</b>	<b>-11,6242</b>	<b>-15,4405</b>

## 9.5.- Anejo 5: Algoritmos de cálculo

A continuación se muestran los algoritmos de cálculo desarrollados bajo Visual Basic.

### 9.5.1.- Algoritmo de cálculo de los tiempos de propagación

```
Public Sub Calculo_tiempos()
    j = 0
    cont = 1
    resul = 521

    For j = 1 To 9

        ls = Cells(516, j)

        For i = 2 To 513
            Cells(i, cont + 9) = Cells(i, j) - 32767
        Next i

        dt = 7 / 512
        Min_t = 0
        posmin_t = 0

        For i = 2 To ls
            If Cells(i, cont + 9) < Min_t Then
                Min_t = Cells(i, cont + 9)
                posmin_t = i
            End If
        Next i
        posmin_time = posmin_t * dt
        Cells(resul, 4) = posmin_time
        ' encuentra valor mínimo D2

        Max_t = Min_t
        posmax_t = posmin_t
        For i = posmin_t To ls
            If Cells(i, cont + 9) > Max_t Then
                Max_t = Cells(i, cont + 9)
                posmax_t = i
            End If
        Next i
        posmax_time = posmax_t * dt
        Cells(resul, 5) = posmax_time
        ' encuentra D3

        Max_t2 = 0
        posmax_t2 = 0
        For i = 2 To posmin_t
            If Cells(i, cont + 9) > Max_t2 Then
                Max_t2 = Cells(i, cont + 9)
                posmax_t2 = i
            End If
        Next i
        posmax_time2 = posmax_t2 * dt
        Cells(resul, 3) = posmax_time2
        ' encuentra D1

        Min_t = 0
        posmin_t = 0
        For i = 280 To 338
            If Cells(i, cont + 9) < Min_t Then
                Min_t = Cells(i, cont + 9)
                posmin_t = i
            End If
        Next i
        posmin_time = posmin_t * dt
        Cells(resul, 8) = posmin_time

        Max_t = 0
        posmax_t = 0
        For i = 280 To posmin_t
            If Cells(i, cont + 9) > Max_t Then
```

```

        Max_t = Cells(i, cont + 9)
        posmax_t = i
    End If
Next i
posmax_time = posmax_t * dt
Cells(resul, 7) = posmax_time

Min_t2 = 0
posmin_t2 = 0
For i = 280 To posmax_t
    If Cells(i, cont + 9) < Min_t2 Then
        Min_t2 = Cells(i, cont + 9)
    End If
Next i
posmin_time2 = posmin_t2 * dt
Cells(resul, 6) = posmin_time2

resul = resul + 1
cont = cont + 1
Next j
End Sub

```

### 9.5.2.- Algoritmo de cálculo de velocidades de propagación

```
Public Sub Calculo_velocidades()
```

```
resul = 521
```

```
For resul = 521 To 529
```

```
Cells(resul, 9) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 6) - Cells(resul, 3))
```

```
Cells(resul, 10) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 6) - Cells(resul, 4))
```

```
Cells(resul, 11) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 6) - Cells(resul, 5))
```

```
Cells(resul, 12) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 7) - Cells(resul, 3))
```

```
Cells(resul, 13) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 7) - Cells(resul, 4))
```

```
Cells(resul, 14) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 7) - Cells(resul, 5))
```

```
Cells(resul, 15) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 8) - Cells(resul, 3))
```

```
Cells(resul, 16) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 8) - Cells(resul, 4))
```

```
Cells(resul, 17) = 2 * 12.165525 / (Cells(resul, 8) - Cells(resul, 5))
```

```
Next resul
```

```
End Sub
```



### 9.5.3.- Algoritmo de cálculo de amplitudes

```
Public Sub Calculo_amplitudes()

j = 0
cont = 1
resul = 546

For j = 1 To 9

    ls = Cells(516, j)
    dt = 7 / 512
    Min_t = 0
    posmin_t = 0

    For i = 2 To ls
        If Cells(i, cont + 9) < Min_t Then
            Min_t = Cells(i, cont + 9)
            posmin_t = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 4) = Cells(posmin_t, cont + 9)

    Max_t = Min_t
    posmax_t = posmin_t
    For i = posmin_t To ls
        If Cells(i, cont + 9) > Max_t Then
            Max_t = Cells(i, cont + 9)
            posmax_t = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 5) = Cells(posmax_t, cont + 9)

    Max_t2 = 0
    posmax_t2 = 0
    For i = 2 To posmin_t
        If Cells(i, cont + 9) > Max_t2 Then
            Max_t2 = Cells(i, cont + 9)
            posmax_t2 = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 6) = Cells(posmax_t2, cont + 9)
    resul = resul + 1
    cont = cont + 1
Next j

    End If
Next i
Cells(resul, 3) = Cells(posmax_t2, cont + 9)
    Min_t = 0
    posmin_t = 0
    For i = 280 To 338
        If Cells(i, cont + 9) < Min_t Then
            Min_t = Cells(i, cont + 9)
            posmin_t = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 8) = Cells(posmin_t, cont + 9)
    Max_t = 0
    posmax_t = 0

    For i = 280 To posmin_t
        If Cells(i, cont + 9) > Max_t Then
            Max_t = Cells(i, cont + 9)
            posmax_t = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 7) = Cells(posmax_t, cont + 9)

    Min_t2 = 0
    posmin_t2 = 0
    For i = 280 To posmax_t
        If Cells(i, cont + 9) < Min_t2 Then
            Min_t2 = Cells(i, cont + 9)
            posmin_t2 = i
        End If
    Next i
    Cells(resul, 6) = Cells(posmin_t2, cont + 9)
    resul = resul + 1
    cont = cont + 1
Next j

End Sub
```



#### 9.5.4.- Algoritmo de cálculo de niveles de energía

Public Sub Calculo\_atenuacion()

For resul = 546 To 554

Cells(resul, 11) = 20 \* Log(-1 \* (Cells(resul, 4) / 2978))

Cells(resul, 12) = 20 \* Log(Cells(resul, 5) / 2978)

Cells(resul, 10) = 20 \* Log(Cells(resul, 3) / 2978)

Cells(resul, 14) = 20 \* Log(Cells(resul, 7) / 2978)

Cells(resul, 15) = 20 \* Log(-1 \* (Cells(resul, 8) / 2978))

Cells(resul, 13) = 20 \* Log(-1 \* (Cells(resul, 6) / 2978))

Next resul

End Sub

## 9.6.- Anexo 6: Figuras

Figura 1. Esquema de propagación de una onda electromagnética .....	19
Figura 2. Representación por colores de un registro de georradar .....	31
Figura 3. Moldes para la fabricación de las probetas.....	36
Figura 4. Vibrado del hormigón.....	37
Figura 5. Fabricación de las probetas .....	37
Figura 6. Cubrición de las probetas con film plástico durante 2 días.....	38
Figura 7. Desmoldado de las probetas .....	39
Figura 8. Dibujo de cuadrícula de referencia para mediciones con Georradar .....	40
Figura 9. Cuadrícula de 50 x 50 mm de referencia para medición de Georradar .....	40
Figura 10. Horno de secado de las probetas.....	41
Figura 11. Tanda de secado de 8 probetas .....	41
Figura 12: Evolución de la masa de las probetas. 1ª tanda de secado .....	42
Figura 13: Evolución de la masa de las probetas. 2ª tanda de secado .....	43
Figura 14: Evolución de la masa de las probetas. 3ª tanda de secado .....	44
Figura 15. Inmersión de las probetas de prueba.....	45
Figura 16. Incremento de masa por absorción de agua en las probetas de prueba.....	47
Figura 17. Equipo de GPR modelo SIR-3000.....	48
Figura 18. Antena de 2GHz montada con odómetro.....	48
Figura 19. Colocación de la probeta sobre papel de aluminio para la medición .....	49
Figura 20. Medición de la masa en seco de las probetas previamente a la inmersión.....	50
Figura 21. Cubetas de plástico para la inmersión de probetas .....	50
Figura 22. Inmersión de las probetas .....	51
Figura 23. Rotura a flexión de las probetas .....	51
Figura 24. Rotura según 2 ejes para obtener los perfiles de penetración.....	52
Figura 25. Delimitación del frente real de penetración de agua.....	52
Figura 26. Ejes de rotura (rojo) dando lugar a 4 caras de medición de huella de agua .....	53
Figura 27. Avance del frente de agua en cada una de las caras de rotura.....	54
Figura 28. Incremento de la profundidad de penetración con el aumento del tiempo .....	55
Figura 29. Profundidad de penetración y absorción de agua en función del tiempo .....	56
Figura 30. Traza típica registrada por el GPR.....	58
Figura 31. Programa “Radan To ASCII” .....	59
Figura 32. Esquema de onda directa y reflejada. Izquierda húmeda; Derecha seca.....	60
Figura 33. Puntos característicos de la onda de GPR reflejada.....	60

Figura 34. Retraso de la onda Directa (Medición colocando la antena sobre la cara sumergida)	62
Figura 35. Evolución del valor promedio de la variación de velocidad de propagación.....	67
Figura 36. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R1 a D1, D2, D3 .....	68
Figura 37. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R2 a D1, D2, D3 .....	68
Figura 38. Análisis de velocidades respecto a la profundidad de penetración (mm). R3 a D1, D2, D3 .....	69
Figura 39. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R1 a D1,D2,D3 ....	70
Figura 40. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R2 a D1,D2,D3 ....	70
Figura 41. Análisis de velocidades respecto al contenido de humedad (%). R3 a D1, D2, D3..	71
Figura 42. Variación de velocidad (ns) respecto penetración de agua (mm) para R1-D1 .....	72
Figura 43. Variación de velocidad (ns) respecto al contenido de humedad (%) para R1-D1 .....	72
Figura 44. Evolución del valor promedio de la variación de atenuación.....	74
Figura 45. Análisis de las atenuaciones respecto a la profundidad de penetración (mm). D1, D2, D3 .....	75
Figura 46. Análisis de las atenuaciones respecto a la profundidad de penetración (mm). R1, R2, R3.....	76
Figura 47. Análisis de las atenuaciones respecto al contenido de humedad (%). D1, D2, D3 ...	77
Figura 48. Análisis de las atenuaciones respecto al contenido de humedad (%). R1, R2, R3 ....	78
Figura 49. Variación de atenuación respecto a la penetración de agua (mm) para R2.....	78
Figura 50. Variación de atenuación respecto al contenido de humedad (%) para R2.....	79

## 9.7.- Anexo 7: Tablas

Tabla 1. Espectro electromagnético.....	21
Tabla 2: Evolución de la masa de las probetas. 1ª tanda de secado.....	42
Tabla 3: Evolución de la masa de las probetas. 2ª tanda de secado.....	43
Tabla 4: Evolución de la masa de las probetas. 3ª tanda de secado.....	44
Tabla 5. Incremento de masa por inmersión en las probetas de prueba .....	46
Tabla 6. Promedio de penetración de agua y coeficiente de absorción de cada probeta.....	56
Tabla 7. Valores promedio de la variación de la velocidad de propagación en cm/ns.....	67
Tabla 8. Valores promedio de la diferencia de atenuaciones Húmeda-Seca.....	74



