



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

ESTUDIO DE LA PENETRABILIDAD DEL AGUA EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO POR MEDIO DE LA TÉCNICA NO DESTRUCTIVA DEL GEORRADAR



TRABAJO FINAL DE MASTER

MÁSTER EN EDIFICACIÓN

Especialidad de Tecnología

Curso 2013 - 2014

Eliseo Sánchez Martí

Tutores: Isabel Rodríguez Abad
Jesús Mené Aparicio

Quiero agradecer a mis tutores Isabel Rodríguez y Jesús Mené toda la ayuda recibida durante el desarrollo del presente trabajo, también a Alberto Fernandez por esas tardes en el laboratorio.

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres y a mi pareja, ya que sin ella no hubiese conseguido acabarlo.

Índice

1.	Introducción	7
1.1.	Objetivos	9
1.2.	Descripción del problema	10
1.3.	Resumen del Trabajo Final de Máster	12
2.	El hormigón y el problema de la durabilidad	13
2.1.	Definición de hormigón y componentes	13
2.2.	Durabilidad según la EHE	16
2.3.	Normativa actual	17
3.	La técnica no destructiva del georradar	18
3.1.	Fundamento de las propiedades de las ondas electromagnéticas	20
3.2.	Características de propagación de ondas electromagnéticas	25
3.3.	Instrumentos y métodos	27
3.4.	Tratamiento e interpretación de registros	29
3.4.1.	Parámetros de un registro	29
3.4.2.	Registros de amplitudes	32
3.4.3.	Resolución	33
4.	Programa experimental	35
4.1.	Descripción del material a estudio: Fabricación y preparación de las probetas	36
4.2.	Estudios preliminares de inmersión en agua	44
4.3.	Equipo de georradar empleado	47
4.4.	Procedimiento de adquisición de registros con georradar	48
5.	Resultados	53
5.1.	Determinación del contenido de agua libre y profundidad de avance del frente del agua	53
5.2.	Pre-procesado de los registros de georradar	60
5.3.	Efecto del aumento del contenido de agua en los registros de georradar	65
5.4.	Cálculo de velocidades de propagación y nivel de energía de las ondas	67
6.	Interpretación de resultados	69
6.1.	Análisis de la variación de las velocidades de propagación	69
6.2.	Análisis de la variación del nivel de energía de las ondas	78
7.	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	83
8.	Referencias	85

9.	Anexos	87
9.1.	Anexo 1: Listado de figuras	87
9.2.	Anexo 2: Listado de tablas	89
9.3.	Anexo 3: Profundidad de penetración de agua	90
9.4.	Anexo 4: Algoritmos de cálculo	114
9.4.1.	Algoritmo de cálculo de los tiempos de propagación	114
9.4.2.	Algoritmo de cálculo de velocidades de propagación	116
9.4.3.	Algoritmo de cálculo de amplitudes	117
9.4.4.	Algoritmo de cálculo de niveles de energía	118
9.5.	Anexo 5: Incrementos de velocidad de propagación de las ondas en cm/ns	119
9.5.1.	Intervalo R1-D1	119
9.5.2.	Intervalo R1-D2	120
9.5.3.	Intervalo R1-D3	121
9.5.4.	Intervalo R2-D1	122
9.5.5.	Intervalo R2-D2	123
9.5.6.	Intervalo R2-D3	124
9.5.7.	Intervalo R3-D1	125
9.5.8.	Intervalo R3-D2	126
9.5.9.	Intervalo R3-D3	127
9.6.	Anexo 6: Incrementos de nivel de energía de las ondas	128
9.6.1.	Punto D1	128
9.6.2.	Punto D2	129
9.6.3.	Punto D3	130
9.6.4.	Punto R1	131
9.6.5.	Punto R2	132
9.6.6.	Punto R3	133
9.7.	Anexo 7: Listado completo de velocidades de propagación en cm/ns	134
9.8.	Anexo 8: Listado completo de amplitudes	147

1. Introducción

Este Trabajo Final del Master en Edificación, en su especialidad de Tecnología, de la Universitat Politècnica de València, con título “Estudio de la penetrabilidad del agua en el hormigón endurecido por medio de la técnica no destructiva del georradar”, se incluye dentro del proyecto de investigación de la Universitat Politècnica de València: “Análisis de la durabilidad del hormigón por medio de la técnica no destructiva del georradar (PAID 06-12)”.

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 causa principal 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 es una técnica 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 y 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, estas técnicas son sensibles 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, detallan 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 del hormigón endurecido.

Para el desarrollo de este estudio fue necesario la fabricación una serie de probetas de hormigón, controlándolas en todo su proceso, las cuales fueron introducidas en agua durante un tiempo determinado que se fue incrementado en cada una y se analizaron mediante georradar antes y después de introducirse en agua para tratar de relacionar la variación que se produce en las ondas del georradar a mayor cantidad 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 reforzado.

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

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

1.2. Descripción 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 la 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 generaran 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 es 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, para con ello 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 la armadura es el que da lugar a los mayores daños y a las mayores 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, 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 del 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, 2010). La penetración de sustancias perjudiciales en el hormigón, dependiendo del mecanismo responsable de su ingreso, se describen como difusión, migración, permeabilidad o succión capilar (Nilsson, 1996; Kropp y Alexander, 2007).

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 ésta última característica de especial interés a la hora de conocer el estado de las estructuras que actualmente se encuentran en servicio.

1.3. Resumen del Trabajo Final de Máster

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 el Trabajo Final de Máster.

En el **capítulo 1** se introduce el problema a estudio y se definen los objetivos del mismo. En el **capítulo 2** se describe brevemente el material a estudio, hormigón, y el problema de la durabilidad. Tratando éste desde el punto de vista de la normativa existente y el tipo de ensayo requerido en ésta. El **capítulo 3** trata la técnica no destructiva del georradar, explicando los fundamentos físicos de su funcionamiento. El **capítulo 4** habla del programa experimental del presente estudio, desde la fabricación de probetas hasta las pruebas de adquisición de datos con georradar. El **capítulo 5** trata los resultados obtenidos tras las pruebas con georradar, siendo interpretados estos resultados en el **capítulo 6**. El **capítulo 7** tratará de guiar nuevas líneas de trabajo donde se podría seguir a partir de éste estudio. En el **capítulo 8** se detallan alfabéticamente las referencias bibliográficas y finaliza el trabajo con el **capítulo 9**, donde se encuentran todos los anejos.

2. El hormigón y el problema de la durabilidad

2.1. Definición de hormigón y componentes

No se tiene certeza de quien descubrió o utilizó por primera vez el hormigón, pero si es conocido que los romanos ya lo utilizaban. El hormigón es el producto resultante de la mezcla de un conglomerante (generalmente cemento Portland), un árido fino (arena), un árido grueso (grava) y agua. También se puede considerar como elementos que conforman el hormigón las adiciones y los aditivos. Por lo tanto se puede definir como: Un Conglomerado Artificial.

Los romanos ya utilizaban este material para construir grandes obras públicas. El hormigón se fabricaba originariamente con cal grasa, en el caso de obras corrientes y con puzolanas, para las obras hidráulicas. Antes del descubrimiento de los cementos artificiales (recordemos que el cemento Portland es relativamente moderno ya que aparece durante el primer tercio del siglo XIX), se utilizaban como conglomerantes la cal grasa, la cal hidráulica y los cementos naturales.

Según Marco Lucio Vitrubio en su obra “Los Diez Libros de Arquitectura”, concretamente en el Libro Segundo, Capítulo VI – “Del polvo de Puzol” , dice textualmente:

“Hay también una clase de polvo que por su propia naturaleza produce efectos maravillosos. Se le haya en la región de Bayas y en los territorios de los municipios que están en las cercanías del Vesubio. Este polvo, mezclado con la cal y la piedra machacada, no sólo consolida toda clase de edificaciones, sino que incluso las obras que se hacen bajo el agua del mar tienen solidez. La razón de ello parece ser esta en las entrañas de aquellos montes, hay tierras y numerosas fuentes de agua caliente, que no existirían si no estuviesen debajo fortísimos fuegos, alimentados o por azufre o por alumbre o por betún. Este fuego y estas llamas, al penetrar y actuar a través de los meandros y venas de la tierra, la hacen ligera, y el tufo (o la toba) que allí existe es lúmido y enjuto.

Y por tanto, cuando estas tres cosas producidas de la misma manera por la violencia del fuego llegan a mezclarse al recibir de repente por absorción de agua, se condensan y se endurecen por instantes, y se consolidan tan intensamente en el líquido, que no bastan a separarlas o disolverlas ni las olas ni la fuerza del agua.”

En el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura –denominado así por su color gris verdoso oscuro, muy similar a la piedra de la isla de Portland. Isaac Johnson obtiene en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura, hasta la formación del Clinker; el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron su uso para gran variedad de aplicaciones, hacia finales del siglo XIX.

El hormigón, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de sollicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

La invención del hormigón armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de hormigón armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895. Hennebique y sus contemporáneos basaban el diseño de sus patentes en resultados experimentales, mediante pruebas de carga; los primeros aportes teóricos los realizan prestigiosos investigadores alemanes, tales como Wilhelm Ritter, quien desarrolla en 1899 la teoría del “Reticulado de Ritter-Mörsch”. Los estudios teóricos fundamentales se gestarán en el siglo XX.

El hormigón se compone como ya hemos dicho en la definición de un conglomerante, áridos (finos y gruesos), agua, adiciones y aditivos. Vamos a ver cada uno de ellos por separado.

CONGLOMERANTES

Suele ser Cemento en todas sus variedades. La EHE prescribe la utilización de los cementos CEM I, CEM II-A/D CEM II-A/V y CEM II-A/P para hormigones pretensados y de los cementos comunes CEM para hormigón armado y en masa.

ÁRIDOS

Son sustancias minerales naturales y / o artificiales molidas o no, que dependiendo del tamaño podemos clasificar en:

- “Finos” o Arena, que según la EHE es aquel que pasa por el tamiz de 4 mm
- “Gruesos” o Grava, es que queda retenido en el tamiz de 4 mm (mayor de 4 mm y hasta 125 mm).

AGUA

Deben ser aguas que no contengan ingredientes dañinos para el amasado y curado del hormigón, según prescribe la EHE.

ADICIONES

Son materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que finamente divididos, mejoran las propiedades del hormigón o le confieren características especiales.

ADITIVOS

Son productos que, integrados en el hormigón, les confieren cualidades particulares. Son sustancias que se añaden antes o durante el proceso de amasado (hormigón fresco) o al hormigón endurecido. Estos productos deben ser utilizados con mucho cuidado (utilizar el adecuado y en su justa medida).

2.2. Durabilidad según la EHE

Actualmente, la normativa habla de la durabilidad especificando diversas estrategias para proteger al hormigón y a las armaduras mediante recubrimientos mínimos, contenidos mínimos de cemento y relaciones agua cemento determinadas en función del de exposición al que será expuesto el hormigón.

En el capítulo 37.3.3 Impermeabilidad del hormigón de la norma EHE-08, nos dice que debe realizarse una comprobación experimental de la consecución de una estructura porosa del hormigón suficientemente impermeable para el ambiente en el que va a estar ubicado. Puede realizarse comprobando la impermeabilidad al agua del hormigón, mediante el método de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión, según la UNE EN 12390-8.

Esta comprobación se deberá realizar cuando las clases generales de exposición sean III o IV, o cuando el ambiente presente cualquier clase específica de exposición. A su vez, nos dice que un hormigón se considera suficientemente impermeable al agua si los resultados del ensayo de penetración de agua cumplen simultáneamente los límites establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Profundidad máxima del agua según la clase de exposición ambiental especificado en la EHE

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F, Qb (en el caso de elementos en masa o armados)	50 mm	30 mm
IIIc, Qc, Qb (solo en el caso de elementos pretensados)	30 mm	20 mm

2.3. Normativa actual

La norma que regula el ensayo de penetración de agua bajo presión requerido en la EHE-08 es la UNE-EN 12390-8.

El procedimiento para medir la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigón endurecido consiste en aplicar agua a una presión de 500 ± 50 kPa durante 72 ± 2 horas en la cara no fratasada de una probeta de hormigón cubica, cilíndrica o prismática, con la dimensión mínima de la superficie de la probeta a ensayar no menor de 150 mm, y ninguna otra dimensión menor de 100 mm, observando periódicamente el estado de las superficies de la probeta de ensayo no expuestas al agua a presión para identificar la posible presencia de agua.

Después de aplicar la presión durante el tiempo especificado, se retira la probeta del equipo de ensayo (Figura 1) y se limpia la cara a la que se aplicó la presión de agua para retirar el exceso de agua. Se rompe la probeta en dos mitades, perpendicularmente a la cara en la que se aplica la presión de agua.



Figura 1. Equipo utilizado para el ensayo de penetración de agua bajo presión

Tan pronto como la cara partida se ha secado de forma tal que se puede ver claramente la extensión del frente de penetración de agua, se marca en la probeta dicho frente de penetración, se mide la profundidad máxima de penetración bajo la superficie de ensayo y se redondea al mm más próximo, obteniendo así la profundidad máxima. La profundidad media se obtiene del área de la huella de penetración de agua.

3. La técnica no destructiva del georradar

Comúnmente llamado georradar, el radar de penetración terrestre (Ground Penetrating Radar, GPR) 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 atenuaba 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 (se alcanzan 50 m de profundidad). En la actualidad se aplica en muy diversas áreas: ingeniería civil, geología, recursos naturales, hidrología, estudios del medio ambiente, arqueología, patrimonio histórico y artístico.

Uno de los campos más habituales de aplicación es en ingeniería civil, por ejemplo: para la detección de roca base en terreno edificable, para la localización de armaduras en muros de

hormigón y la búsqueda o cartografiado de tuberías o fugas de agua, la determinación de espesores y estados de firmes y muros, análisis de estados del subsuelo debajo de losas de hormigón -problemas de despegue, degradación, estados de pilares y pilas de los puentes, problemas de cimentación, etc. También se utiliza en estudios geotécnicos y de control de calidad como por ejemplo: en el control de calidad de diferentes tratamientos realizados en el terreno, en el estudio del estado de túneles, cubriendo el material necesario para la reparación de obras civiles y análisis del terreno en busca de bolsas de arcilla, grava u oquedades. Se ha utilizado también en estudios ambientales, aplicándolo para localizar y ubicar vertederos.

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

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

3.1. Fundamento de las propiedades de las ondas electromagnéticas

James Clerk Maxwell con sus ecuaciones sobre electromagnetismo forma 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 2).

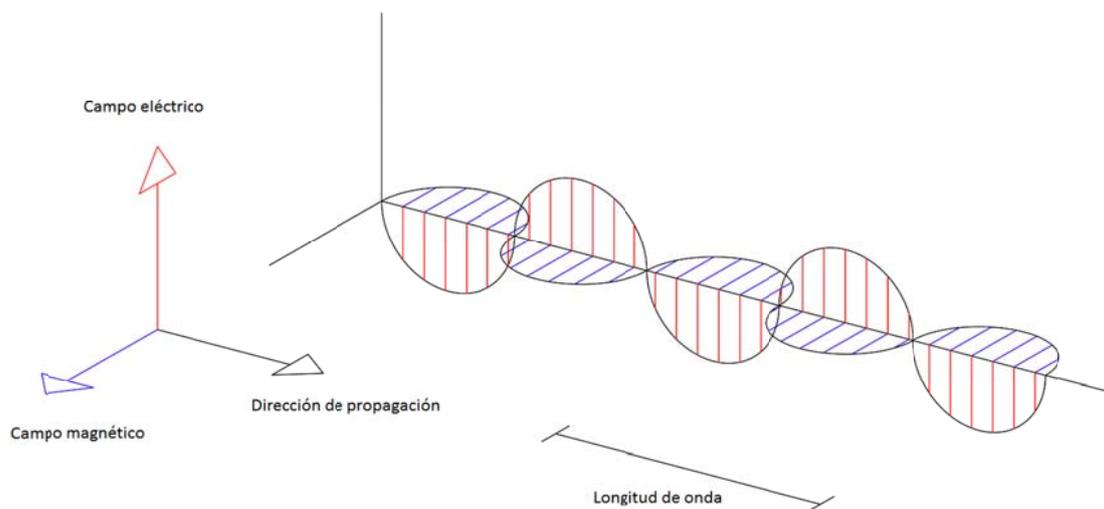


Figura 2. Esquema de propagación de una onda electromagnética

Las componentes del campo eléctrico E se miden en N/C (Newton/Coulomb) y las del campo magnético B en Weber/m² (wb/m²) 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 dependerá de:

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

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$, donde A son amperios) y ϵ_0 la permitividad dieléctrica de vacío ($\epsilon_0 = 8.85418 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2$). Al sustituir estos valores encontramos que $c = 2.99792 \times 10^8 \text{ m/s}$. 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.

La solución de onda plana más sencilla es una onda sinusoidal.

$$y = A \text{ sen}[kx - \omega t] \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\omega = 2\pi f \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde A es la amplitud, λ la longitud de onda, f la frecuencia, k el número de onda y w la frecuencia angular.

A partir de las ecuaciones de Maxwell se deduce que tanto el campo eléctrico como el magnético siguen la ecuación de la onda sinusoidal. Por tanto, si se quiere estudiar la variación en el espacio tiempo de esta onda, teniendo en cuenta que las amplitudes del campo E y B variarán con x y t , es decir, al calcular la derivada de la ecuación de onda se tienen las siguientes expresiones:

$$E = E_{max} \cos[kx - wt] \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$B = B_{max} \cos[kx - wt] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Teniendo en cuenta estas derivadas parciales de las ecuaciones de Maxwell se llega a la siguiente relación entre los valores máximos del campo eléctrico y magnético:

$$kE_{max} = wB_{max} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\frac{E_{max}}{B_{max}} = \frac{w}{k} = c \quad (\text{Ecuación 8})$$

Esto significa que, a cada instante la razón entre el campo eléctrico y el campo magnético de una onda electromagnética es igual a la velocidad de la luz.

Debe notarse que las ondas electromagnéticas obedecen el principio de superposición, ya que las ecuaciones diferenciales que incluyen a E y B son ecuaciones lineales. Por ejemplo, dos ondas que se desplazan en direcciones opuestas con la misma frecuencia podrían sumarse con la simple adición algebraica de los campos de onda.

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

$$c = f \cdot \lambda \quad (\text{Ecuación 9})$$

Utilizando la ecuación 9, podemos deducir que una onda de radio de 5 MHz de frecuencia tiene una longitud de onda:

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

Los diversos tipos de ondas electromagnéticas se representan en la Tabla 2. 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 conocidos como edificios para las ondas de radio o moléculas en el caso de rayos X.

Tabla 2. Espectro electromagnético

Tipo de radiación	Radio	Microondas		Infrarrojo	Visible	Ultravioleta	Rayos X	Rayos gamma
Longitud de onda (m)	10 ³	10 ⁻²		10 ⁻⁵	0.5x10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹²
Escala aproximada de la onda	Edificios	Humanos	Mariposas	Punta de aguja	Protozoos	Moléculas	Átomos	Núcleo atómico
Frecuencia (Hz)	10 ⁴	10 ⁸		10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁶	10 ¹⁸	10 ²⁰

Por ejemplo las ondas de radio, como acabamos de ver, son el resultado de cargas que se aceleran a través de alambres de conducción. Son generadas por dispositivos electrónicos y se usan en sistemas de comunicación de radio y televisión. Las microondas tienen longitudes de onda que varían entre aproximadamente 1 mm y 30 cm y son generadas también por dispositivos electrónicos. Debido a su corta longitud de onda, son bastante adecuadas en los sistemas de radar utilizados en la navegación aérea y para el estudio de las propiedades atómicas y moleculares de la materia. Los hornos de microondas representan una interesante aplicación doméstica de estas ondas.

Las ondas infrarrojas (llamadas algunas veces ondas de calor) tienen longitudes de onda que varían de aproximadamente de 1 mm hasta 1 μm. La energía infrarroja absorbida por una

sustancia aparece como calor debido a que la energía agita los átomos del cuerpo, aumentando su movimiento vibratorio y rotacional, lo cual origina un aumento de temperatura.

La luz visible, la forma más familiar de ondas electromagnéticas, es aquella parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. Las diversas longitudes de onda de la luz visible se clasifican con colores que van del violeta ($\lambda=4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) al rojo ($\lambda=7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$).

La luz ultravioleta abarca longitudes de onda que varían aproximadamente de $3,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ (380 nm) a $6 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ (60 nm). El Sol es una importante fuente de luz ultravioleta, la cual es la principal causa del bronceado. La mayor parte de la luz ultravioleta proveniente del Sol es absorbida por átomos en la atmósfera superior, o estratosfera. Lo anterior es afortunado, ya que la luz ultravioleta en grandes cantidades produce efectos dañinos en los humanos.

Los rayos X son ondas electromagnéticas con longitudes de onda en el intervalo de aproximadamente 10^{-8} m (10 nm) a 10^{-13} m (10^{-4} nm). La fuente más común de rayos X es la desaceleración de electrones de alta energía que bombardean a un blanco metálico. Este tipo de rayos se usan también en el estudio de la estructura cristalina, ya que sus longitudes de onda son comparables a las distancias de separación atómicas ($\approx 0.1 \text{ nm}$) en sólidos.

Los rayos gamma son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radiactivos y durante ciertas reacciones nucleares. Tienen longitudes de onda que van aproximadamente de 10^{-10} m a menos 10^{-14} m . Son altamente penetrantes y producen serios daños cuando son absorbidos por tejidos vivos. En consecuencia, aquellos que trabajan cerca de dicha radiación peligrosa deben protegerse con materiales altamente absorbentes, como gruesas capas de plomo.

3.2. Características de propagación de ondas electromagnéticas

Los parámetros que definen la propagación de una onda electromagnética en un medio diferente al vacío son: la conductividad, la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética del medio.

- La conductividad de un medio (σ) proporciona una medida de la respuesta de sus cargas libres en presencia de un campo eléctrico externo, es decir, de la capacidad de un material de conducir corriente eléctrica.
- La permitividad dieléctrica absoluta es una constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado (E) y el vector desplazamiento eléctrico (D). Asimismo, la permitividad absoluta (ϵ_{abs}), cuyas unidades son F/m , se define como el producto entre una permitividad relativa del material (ϵ_r), que es una constante adimensional y la permitividad dieléctrica del vacío ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$, donde F son faradios).

$$\epsilon_{abs} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (\text{Ecuación 10})$$

La permitividad dieléctrica relativa del material (ϵ_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 (ϵ). Para la mayoría de los materiales que se pueden encontrar al realizar una prospección electromagnética, los valores de ϵ se encuentran entre 1 (la del aire) y 81, siendo esta última la ϵ del agua a 20°C.

- La permeabilidad magnética (μ) es la que relaciona la inducción magnética con la intensidad de campo magnético.

La velocidad de propagación de una onda electromagnética dependerá por tanto de estos tres parámetros. 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 (σ) es tan pequeño que tiende a cero. Si además, el medio es no magnético, como es la mayoría de los casos, la permeabilidad magnética (μ) 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:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

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 se puede calcular la profundidad a la que se encuentra una interfase (h) a través de la expresión:

$$h = v \frac{\Delta t}{2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$h = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \Delta t \quad (\text{Ecuación 13})$$

donde Δt 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

Generalmente, 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 de impresión de datos. La unidad de control funciona gracias a un programa informático implementado que controla la emisión, la recepción y el resto de la energía.

En la visualización de datos se puede seleccionar la forma de visualización del registro, optando por un registro de trazas de amplitud o bien por una serie de escalas de colores, donde cada tono engloba un intervalo de amplitudes de la onda registrada (Figura 3).

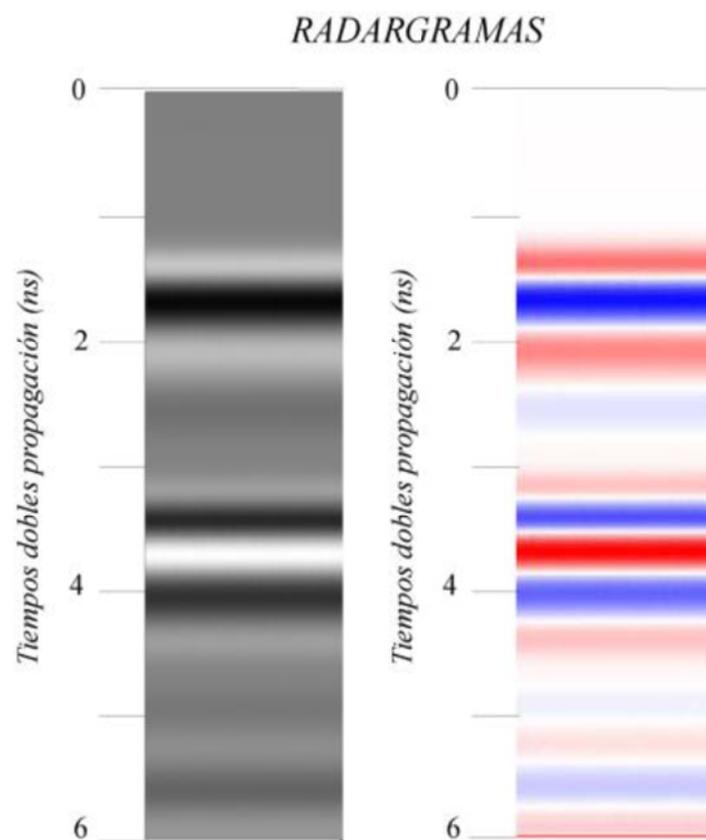


Figura 3. Formas de visualización de radargramas

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

Otra forma de clasificar las antenas es en función de la frecuencia central de su emisión. Cada tipo de antena se escoge de acuerdo a las necesidades de su uso.

Existen antenas con una frecuencia central de 3 kHz capaz de penetrar a grandes profundidades hasta antenas de más de 300 GHz, con una longitud de onda de 1 mm capaz de detectar objetos de muy reducido tamaño.

A los elementos básicos del equipo se les pueden añadir algunos accesorios para facilitar las tareas de adquisición de datos. Los complementos pueden ser para la visualización, como impresoras o pantallas de visualización, y complementos para situar perfiles como odómetros o antenas GPS.

Hay diversos métodos de adquisición de registros, aunque los más utilizados son dos: realización de perfiles y adquisición de datos de forma puntual.

Para efectuar un perfil se desplaza la antena a lo largo de una línea, emitiendo un elevado número de pulsos por segundo. Esto permite que la adquisición de datos 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, la cual debe ser lo más constante posible, siendo recomendable utilizar un odómetro o una antena GPS durante la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos de forma puntual se sitúa la antena de forma estática en un punto y sin efectuar ningún desplazamiento se realiza la emisión de energía y adquisición de datos. De esta forma se obtiene la información del interior del medio situado en la vertical del punto donde se ubica la antena.

También existen otros métodos heredados de las técnicas empleadas en sismica:

- Método del punto medio común (CMP), utilizando antenas las cuales la emisión y la recepción no están unidas sino que son dos antenas distintas.
- Método de Transiluminación, utilizado para muros y medios que tienen dos superficies paralelas donde se pueda situar la antena de emisión en un lado y la de recepción en el lado opuesto.

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

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 lo 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 DE INICIO 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 o 2048 puntos por traza. 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, 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. 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) quedan realzados y por lo tanto, definidos con mayor claridad en el radargrama. Una 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.

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 sísmica 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 4). Para poder realizarla se selecciona una escala que relaciona intervalos de amplitudes con una escala de colores que pueden seleccionarse.



Figura 4. Representación por colores de un registro de georadar

3.4.3. Resolución

Se define como resolución la capacidad de las antenas de georadar 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 georadar está diseñada para que se cumpla la relación entre el ancho de banda (B) y la frecuencia central (f_c).

$$B \cong f_c = \frac{1}{T} = 1.6 \text{ GHz} \quad (\text{Ecuación 14})$$

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:

$$R_v = e_{medio} \geq \frac{v \cdot T}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde v es la velocidad de propagación de las ondas en el medio, T la duración de la señal o pulso y λ 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. Estos impulsos 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.

Para detectar un reflector se necesita un número de trazas que si es muy elevado (baja velocidad de desplazamiento de la antena) puede producir registros en los que el elemento se alargan excesivamente, pudiendo llegar a dificultar la interpretación de los mismos. La velocidad de la antena y el número de trazas por segundo son dos factores que se pueden controlar, mientras que los otros factores nombrados anteriormente no.

4. Programa experimental

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 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 se divide en distintas fases:

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

4.1. Descripción del material a estudio: Fabricación y preparación de las probetas

Para la realización del estudio se preparan un total de 24 probetas de hormigón en masa, el tamaño de estas es de 200 x 200 x 120 mm (ancho, largo, alto). Para la fabricación se ha utilizado cemento del tipo CEM I 42,5 R/SR y una relación agua-cemento de 0,65.

Para la fabricación de estas probetas se preparan unos moldes específicos con paneles de madera unidos mediante tornillería (Figura 5). La cara interior del molde tiene acabado de melamina, por lo que 5 de las 6 caras de la probeta tendrán un acabado liso y la superior se alisa utilizando una espátula metálica. Fue necesaria la fabricación de estos moldes porque no se disponía en el Laboratorio de Materiales de Construcción, localizado en la Escuela Técnica de Ingeniería de Edificación (Universitat Politècnica de València), unos moldes que se ajustaran al tamaño de probetas que era necesario fabricar.



Figura 5. Montaje de los moldes para la fabricación de las probetas

El proceso de fabricación de las probetas sigue las indicaciones de preparación y llenado de moldes, compactación del hormigón, nivelación de superficie y curado del hormigón de la norma UNE-EN 12390-2 Ensayos de hormigón endurecido, Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia (Figura 6).



Figura 6. Fabricación de las probetas

El tamaño mínimo de la probetas debía ser como mínimo de 200 x 200 x 120 cm para tratar de evitar el efecto borde (reflexiones directas de las ondas que viajan 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; ya que anteriormente a éste estudio se han realizado pruebas utilizando otros tamaños de probeta en los cuales se apreciaban la superposición de estas reflexiones.

Al utilizarse una antena de 2 GHz, ésta tiene un tamaño físico de 90 x 90 mm, por tanto se distribuirán los puntos de adquisición de datos de tal forma que el borde quede lo más alejado posible de la antena. Exactamente, se utilizan los 50 x 50 mm centrales de ésta, con un total de 9 puntos de medición formando una cuadrícula en la cual estos se separan 25 mm.

Además de la fabricación de las 24 probetas, se fabrican otras probetas de diferentes tamaños con el hormigón restante para realizar ensayos intermedios y ensayos de resistencia a compresión, los cuales se detallan más adelante.

Tras la fabricación de las probetas éstas se cubren con film plástico para evitar la evaporación de agua, manteniéndose así durante 2 días. 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.

Después de sacar las probetas de la cámara de curado húmedo se controla la masa de estas semanalmente, para así controlar la evolución de las masas hasta alcanzar la estabilización de la masa de las probetas. Se puede apreciar la evolución de las masas en la Figura 7, donde se observa claramente como durante el proceso de curado se ha reducido la masa de las probetas.

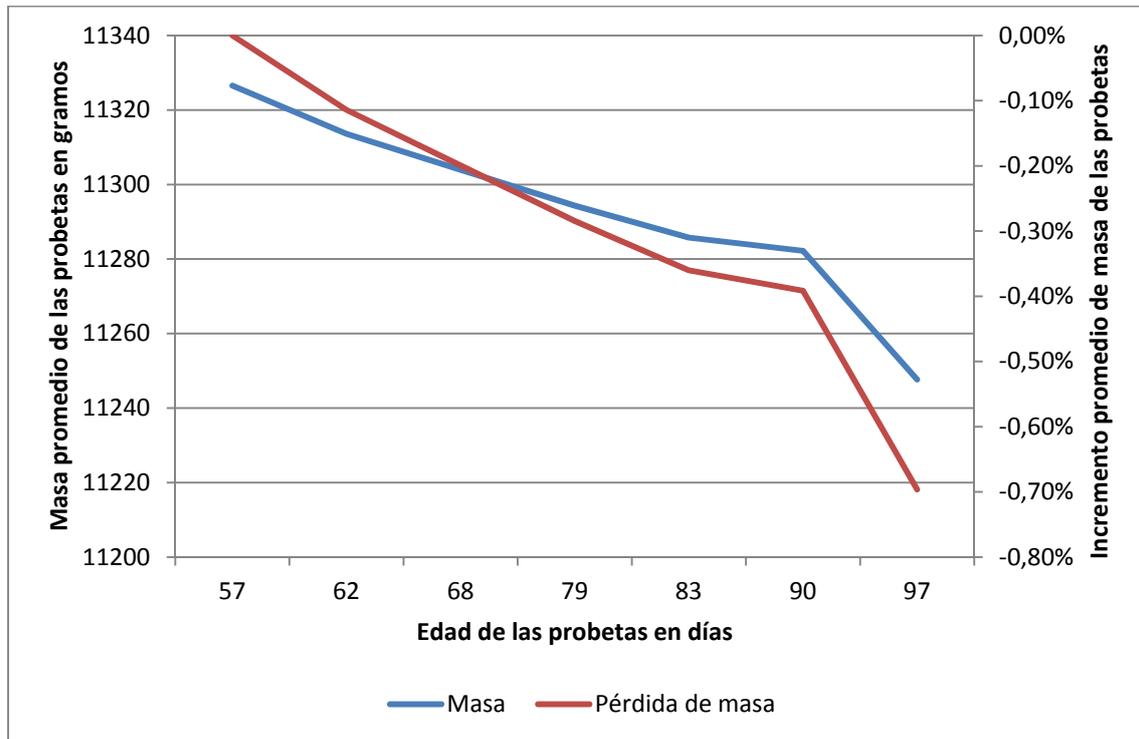


Figura 7. Evolución promedio de la masa en gramos tras el periodo de curado

Durante el proceso de control de las masas, se dibuja la cuadrícula de medición con los 9 puntos que se emplearán para la adquisición de datos con el georradar. Tal y como se ha nombrado anteriormente, de 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). El punto 5 corresponde con el centro geométrico de la cara de la probeta.

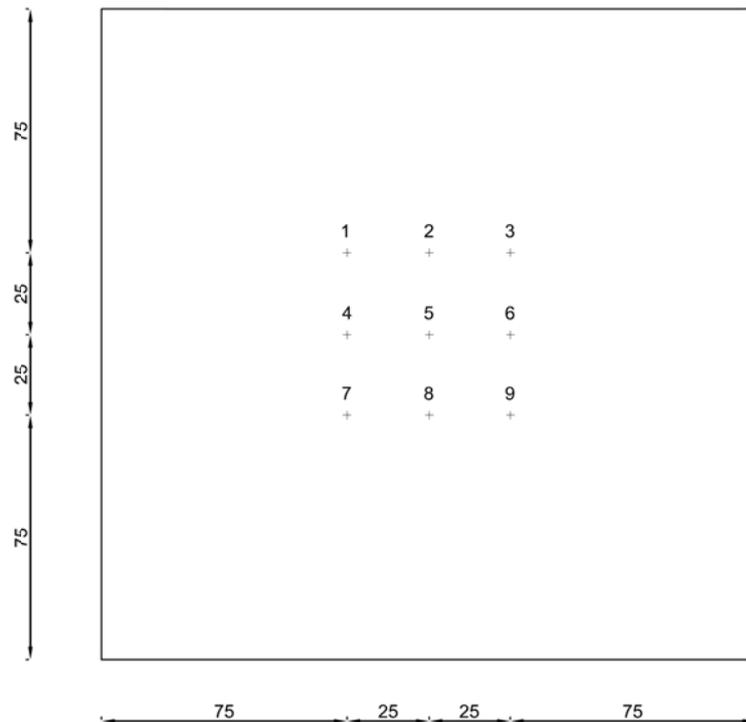


Figura 8. Localización de los puntos de medición de georradar en la superficie de la probeta (cotas en mm)

Unas semanas antes de las pruebas de adquisición de datos mediante el georradar se inicia el proceso de secado de las probetas (Figura 9). Para ello se introducen las probetas en un horno a 105 °C para secarlas. Se va comprobando la masa hasta que la pérdida de masa sea menor al 0'1%, conforme. Este proceso de secado no se indica en ninguna norma, sino que se realiza para facilitar la posterior absorción de agua. Dada la infraestructura con la que se dispone en el Laboratorio, es necesario realizar el secado por tandas de probetas (Figura 9) y una vez secas se envuelven las probetas en film plástico para evitar la absorción de humedad del ambiente hasta el día de adquisición de registros con georradar. El proceso de secado se realiza en 3 tandas de 8 probetas cada una, ya que no había espacio para todas en el horno.



Figura 9. Secado de las probetas de hormigón previo a la adquisición de registros

En la Tabla 3. Evolución de las masas durante el secado (probetas 1 a 8) y la Figura 10 se puede observar las variaciones de masa de las probetas 1 a 8, en la Tabla 4 y la Figura 11 la evolución de las probetas 9 a 12 y 14 a 17, y en la Tabla 5 y la Figura 12 la evolución de las probetas 13 y de 18 a 24.

Tabla 3. Evolución de las masas durante el secado (probetas 1 a 8)

Nº PROBETA	90 días	92 días	93 días	94 días	97 días
1	11385	11092	11010	10958	10903
2	11293	11003	10920	10869	10810
3	11388	11099	11019	10959	10902
4	11243	10955	10878	10819	10760
5	11309	11020	10930	10879	10821
6	11388	11096	11006	10950	10895
7	11374	11091	11006	10952	10889
8	11310	11026	10939	10885	10824

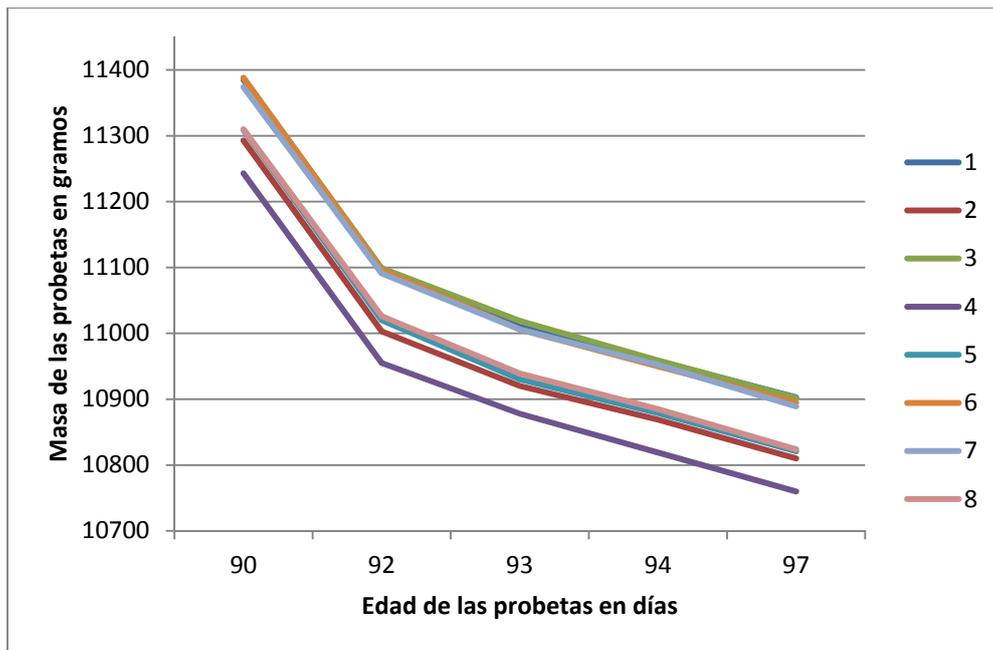


Figura 10. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 1 a 8)

Tabla 4. Evolución de las masas durante el secado (probetas 9 a 12 y 14 a 17)

Nº PROBETA	97 días	103 días	104 días
9	11332	10789	10785
10	11253	10725	10722
11	11368	10829	10826
12	11254	10720	10714
14	11254	10720	10716
15	11174	10640	10636
16	11222	10677	10673
17	11264	10732	10729

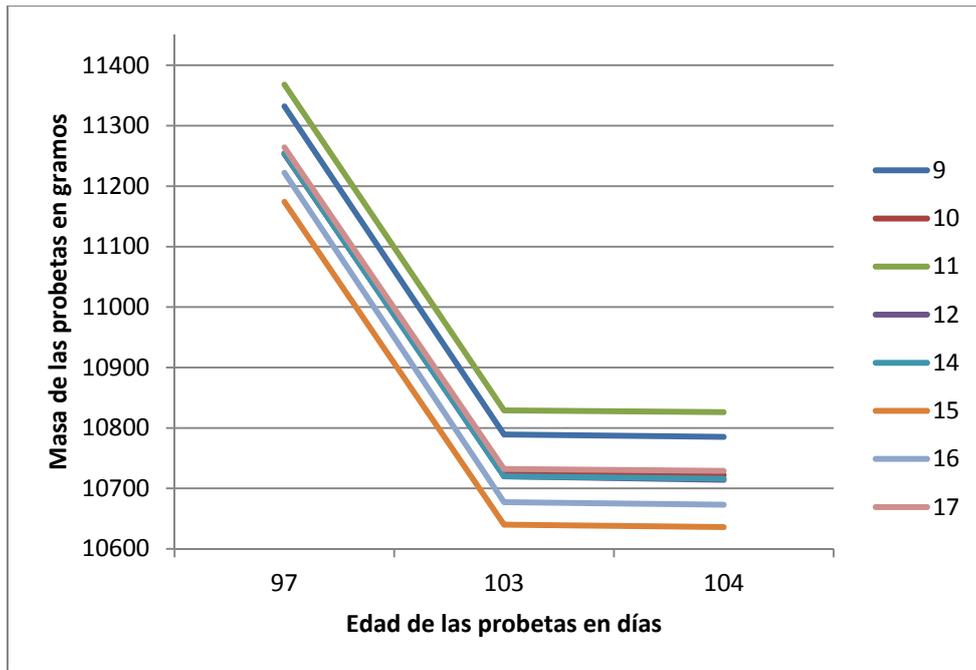


Figura 11. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 9 a 12 y 14 a 17)

Tabla 5. Evolución de las masas durante el secado (probetas 13 y de 18 a 24)

Nº PROBETA	104 días	110 días	111 días
13	11275	10741	10739
18	11250	10715	10713
19	11139	10598	10595
20	11239	10690	10689
21	11320	10780	10777
22	11154	10627	10625
23	11201	10655	10652
24	11165	10638	10635

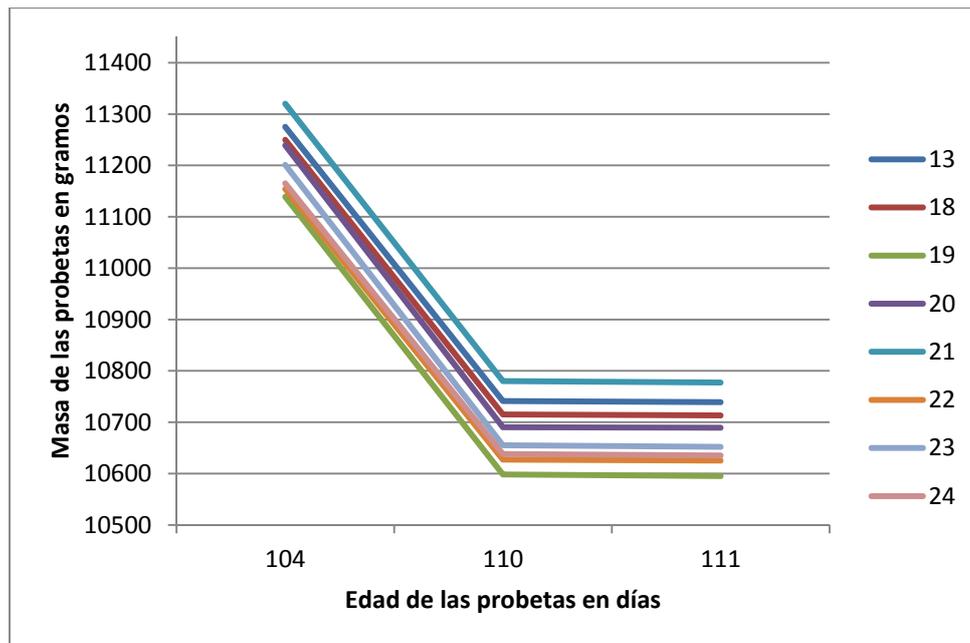


Figura 12. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 13, 18 a 24)

Dos días antes de la prueba de adquisición de datos con el georradar se pintaron las cuatro 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 de forma significativa en los poros del producto, dejando la cara inferior (totalmente sumergida en agua) y la cara superior sin pintar.

4.2. Estudios preliminares 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.

Éste ensayo como se ha dicho anteriormente 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 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 y la columna de agua es 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 pesa con una balanza con precisión de 0,1 g. A continuación, se vuelven a sumergir otros 20 minutos, realizándose en total 24 pesadas más la pesada inicial en seco, estableciéndose una duración total del ensayo de 8h (Figura 13).



Figura 13. Probetas sumergidas en la cubeta durante el ensayo preliminar

Los valores de masa para las dos probetas estudiadas se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Evolución de las masas como consecuencia de la absorción de agua

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

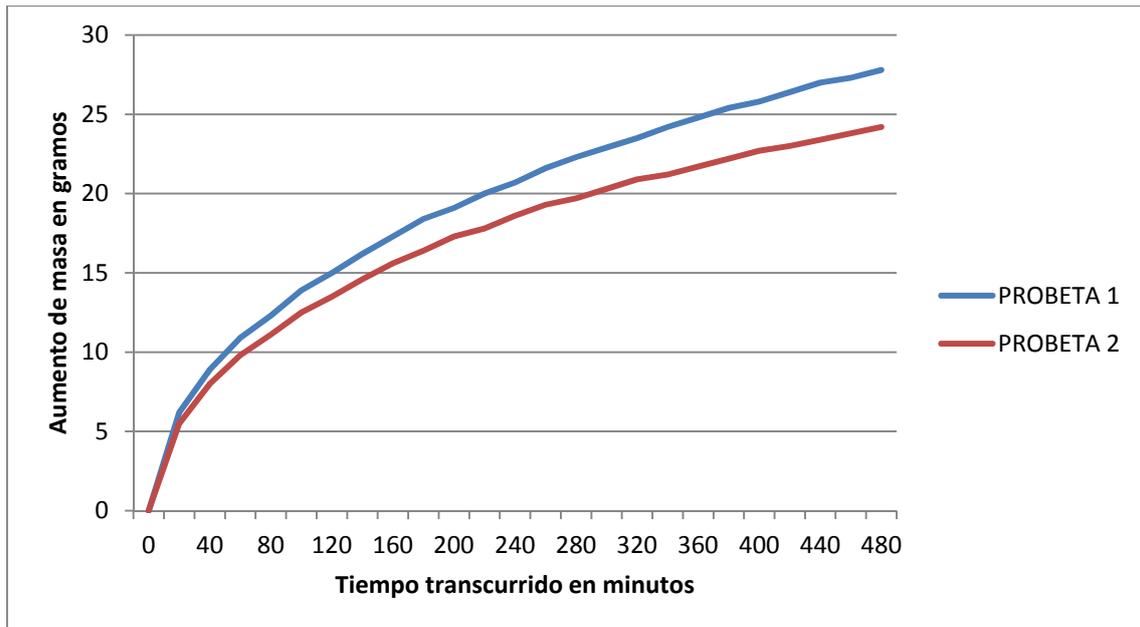


Figura 14. Evolución de las masas como consecuencia de la absorción de agua

Tal y como se puede observar en la Figura 14, 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.

4.3. Equipo de georradar empleado

El equipo utilizado para la adquisición de registros en este trabajo es el modelo SIR-3000 (Figura 15) de la marca Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI). Este equipo fue suministrado por el “Laboratorio de Diagnóstico Estructural del Instituto Tecnológico de la Construcción”, AIDICO, juntamente con una antena de frecuencia 2 GHz montada con un odómetro (Figura 16). Se ha utilizado el método de punto estático para la adquisición de datos con georradar, utilizando 512 puntos por traza.



Figura 15. Unidad de control SIR-3000



Figura 16. Antena de 2GHz con odómetro

4.4. Procedimiento de adquisición de registros con georradar

Se inicia el proceso de adquisición de datos con el montaje de las cubetas de plástico (Figura 17), donde se introdujeron las probetas en agua, preparando las botellas para llenarlas y se marcan los 30 mm que debe cubrir el agua en el lateral de cada probeta.



Figura 17. Montaje de las cubetas de plástico

Tras 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 procesado posterior de registros.

El siguiente paso fue la preparación del dispositivo para realizar las mediciones con el georradar. Para ello se preparó una base plana y estable, con una capa de material altamente reflectante. Se utiliza un tablero de madera con acabado de melamina sobre la mesa de trabajo, al cual se le sitúa encima una capa de papel de aluminio para obtener una clara reflexión (Figura 18).



Figura 18. Dispositivo para la adquisición de registros por medio de antena de 2 GHz

Se continúa con la medición de la masa de todas las probetas en seco y se inicia la medición de todas las probetas mediante el georradar a modo de calibración y así tener un radargrama antes y después del proceso de sumergir en agua.

Antes del inicio del ensayo se comprueba la prensa de rotura a flexión y se sitúan las probetas en las cubetas utilizando separadores de 5 mm de espesor entre el fondo de la cubeta y la probeta por tal de facilitar la absorción de agua.

Una vez todo preparado se llenan las cubetas hasta cubrir los 30 mm marcados anteriormente (Figura 19) y se pone en marcha el temporizador a 20 minutos. Entre el llenado de la primera y la decimosegunda cubeta existe una diferencia de 10 minutos.

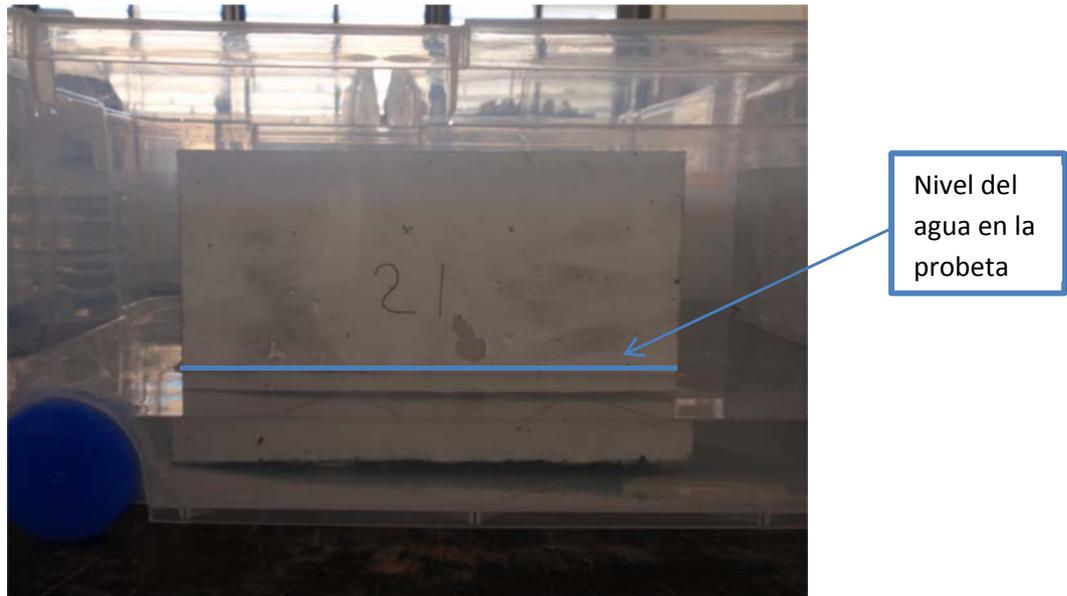


Figura 19. Nivel de agua en al cubeta

Tras los primeros 20 minutos se saca la probeta número 1, reiniciándose el temporizador, se seca el exceso de agua, se mide la masa en la balanza y se toman 9 registros utilizando el georradar en ambas caras. Es importante destacar que siempre se utilizó el mismo patrón en el proceso de medición, de los puntos 1 al 9, se le da la vuelta y de nuevo del 1 al 9, teniendo en cuenta que en la cara seca se medirá de izquierda a derecha y en la cara húmeda de derecha a izquierda. Al extraer la probeta de la cubeta, ésta se rellena de agua hasta cubrir los 30 mm, ya que se reduce el nivel de agua.

Tras la medición con el equipo de georradar se procede a la rotura a flexión de la probeta (Figura 20). Se realizan 3 roturas en total para obtener 4 porciones de la probeta y se nombran como cara A y cara B. Inmediatamente después de la rotura utilizando un rotulador permanente negro se marca el frente de penetración del agua antes de que se seque en cada una de las cuatro porciones de la probeta (Figura 21).



Figura 20. Rotura a flexión

Se continúa con el proceso cada 20 minutos hasta completar las 24 probetas en total. Durante el ensayo, en el apartado de absorción de agua, aparecieron problemas en el equipo de georradar, tales como excesiva lentitud en la lectura y el almacenamiento hasta tal punto de que con 20 minutos entre probetas no había suficiente tiempo para realizar todas las pruebas antes de sacar la siguiente probeta del agua. Por tanto, se decidió retrasar 25 minutos más de lo previsto inicialmente la probeta 14 para proceder a la extracción de los datos obtenidos con el equipo de georradar a una memoria USB y así liberar la memoria del equipo de georradar, lo cual agilizó sustancialmente el proceso.



Figura 21. Rotulación del frente de penetración de agua

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. Así mismo, se presentan los resultados del procesado de los registros de georradar.

5.1. Determinación del contenido de agua libre y profundidad de avance del frente del 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, según la Ecuación 14, coeficiente de absorción (C_A):

$$C_A(\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 16})$$

donde M_s es la masa seca previa inmersión y M_i es la masa de cada probeta tras la inmersión.

En la Figura 22 se muestra la evolución del coeficiente de absorción de cada una de las probetas y en la Tabla 7 se detallan sus valores. En la figura se observa como a partir de la probeta 22 los valores del coeficiente de absorción tienden a estabilizarse, es decir, a partir de las 7 horas y media de inmersión en agua. No obstante, hasta ese punto la tendencia general es la de aumento significativo del coeficiente de absorción.

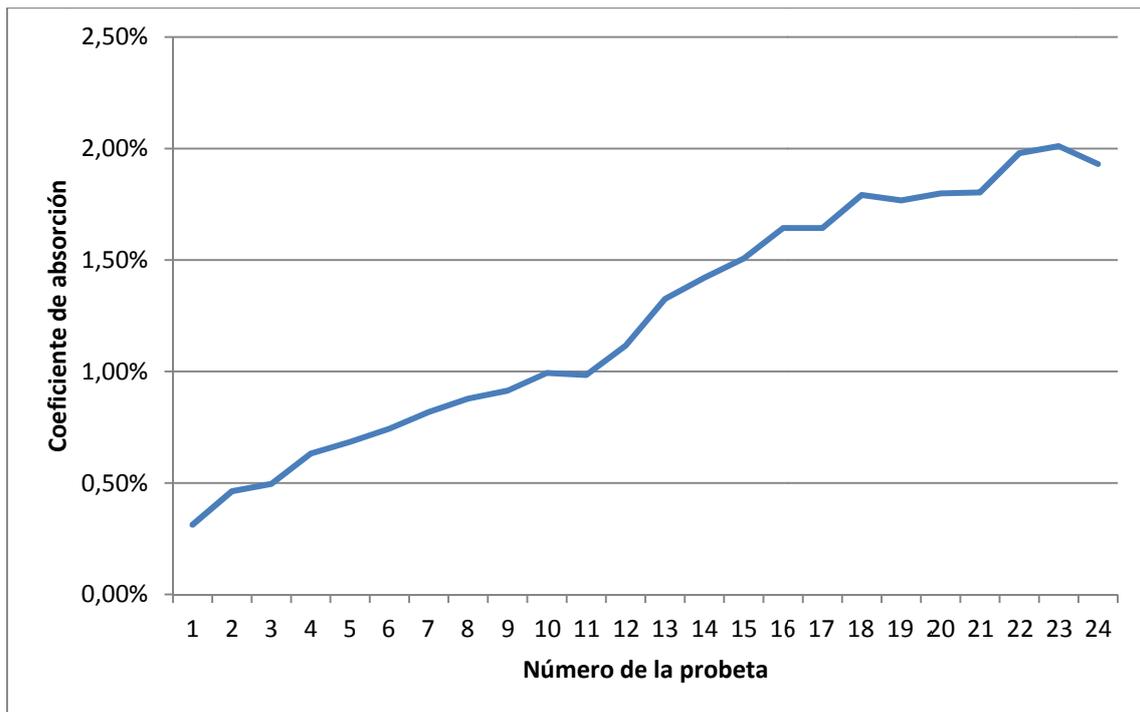


Figura 22. Evolución del coeficiente de absorción de agua en las 24 probetas

Tras el proceso de adquisición de registros mediante el georradar, se realiza una medición del frente de agua, acotando la profundidad de éste. Esta medición se realiza acotando la profundidad de la huella de agua cada 2,5 cm de probeta, obteniendo en total 9 medidas por cada cara de la rotura, puesto que cada probeta se dividió en 4 partes, obtenemos 36 medidas de la huella de agua (Figura 23).



Figura 23. Marca de la huella de penetración de agua

Cada parte de la probeta ha sido nombrada como cara A y cara B y se utiliza esta referencia para la medición de la huella (Figura 24). Por tanto tenemos la medición de la porción formada por las dos caras A llamada HA (horizontal A), las dos caras B llamada HB (horizontal B) y otras dos porciones, la llamada Vi (vertical izquierda) y la llamada Vd (vertical derecha).

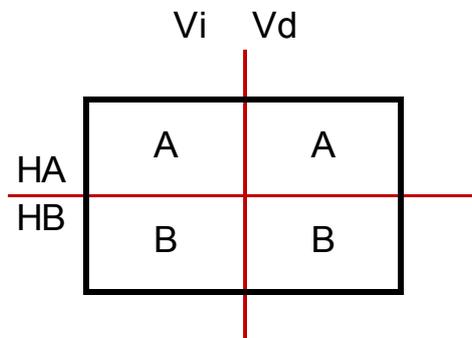


Figura 24. Designación de las porciones en las que se realiza la medición del frente de avance del agua

Para cada una de las probetas se ha elaborado una ficha en la que se detalla la información del avance del frente del agua. En la Figura 25 podemos ver un ejemplo de las fichas elaboradas, en concreto se trata de la probeta número 7. El resto de fichas se encuentran adjuntadas en el Anejo 3.

En esta ficha se muestran los perfiles de las 4 secciones mencionadas acotando la profundidad de la huella de avance de agua cada 25mm y los números con fondo amarillo a la derecha de cada serie de mediciones representan los promedios de cada sección, tomándose únicamente los valores correspondientes a la zona muestreada con georradar, es decir, las cotas 75 mm, 100 mm y 125 mm. Bajo el nombre de la probeta se encuentra el valor promedio tomado, en este caso 24 mm.

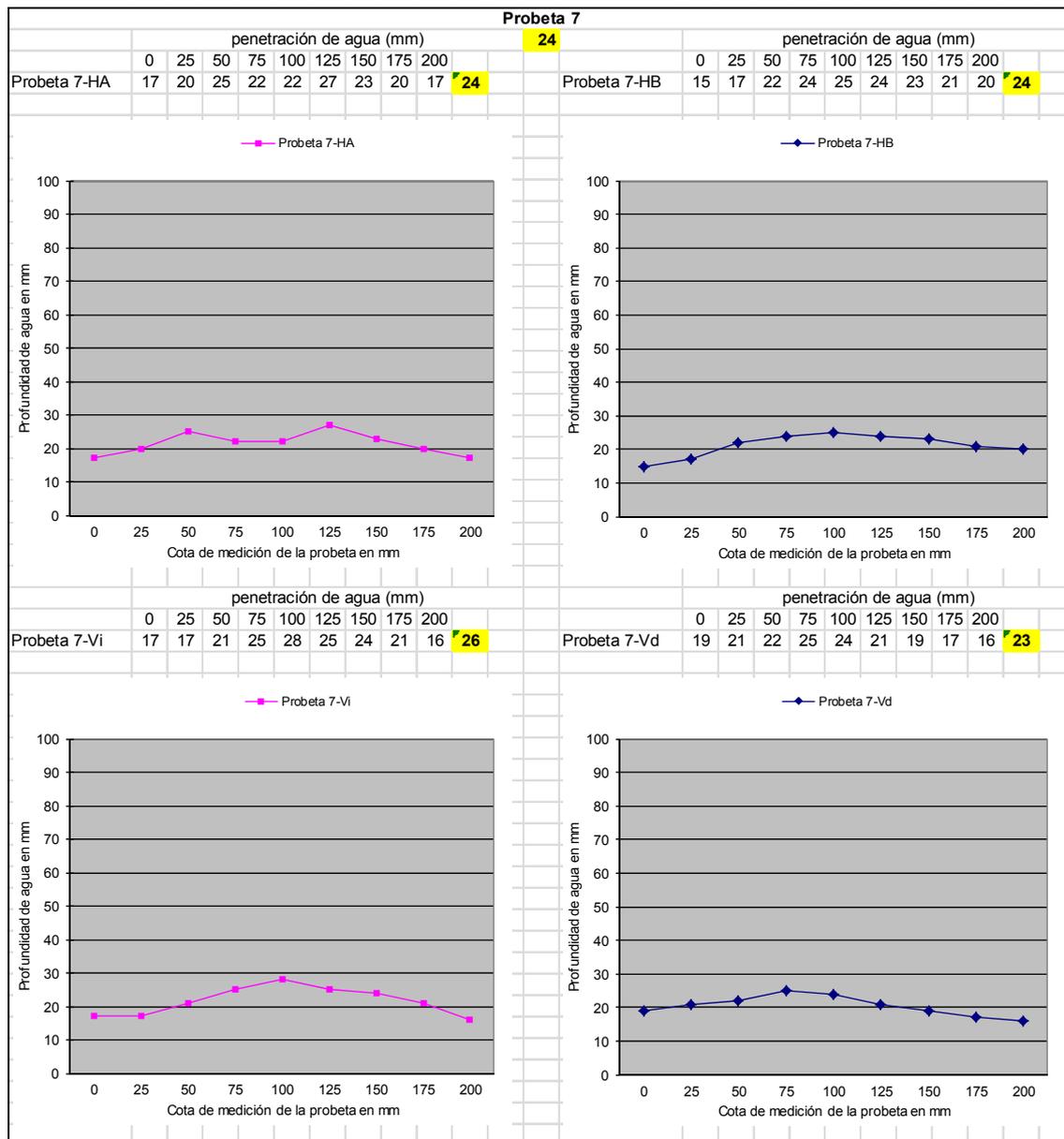


Figura 25. Ficha ejemplo de la mediciones de la penetración de agua

Finalmente en la Figura 26 se muestran los valores de penetración de agua promedio considerados para cada probeta. Se puede ver claramente cómo va incrementándose la profundidad de la huella de agua conforme se incrementa el tiempo que está sumergida la probeta.

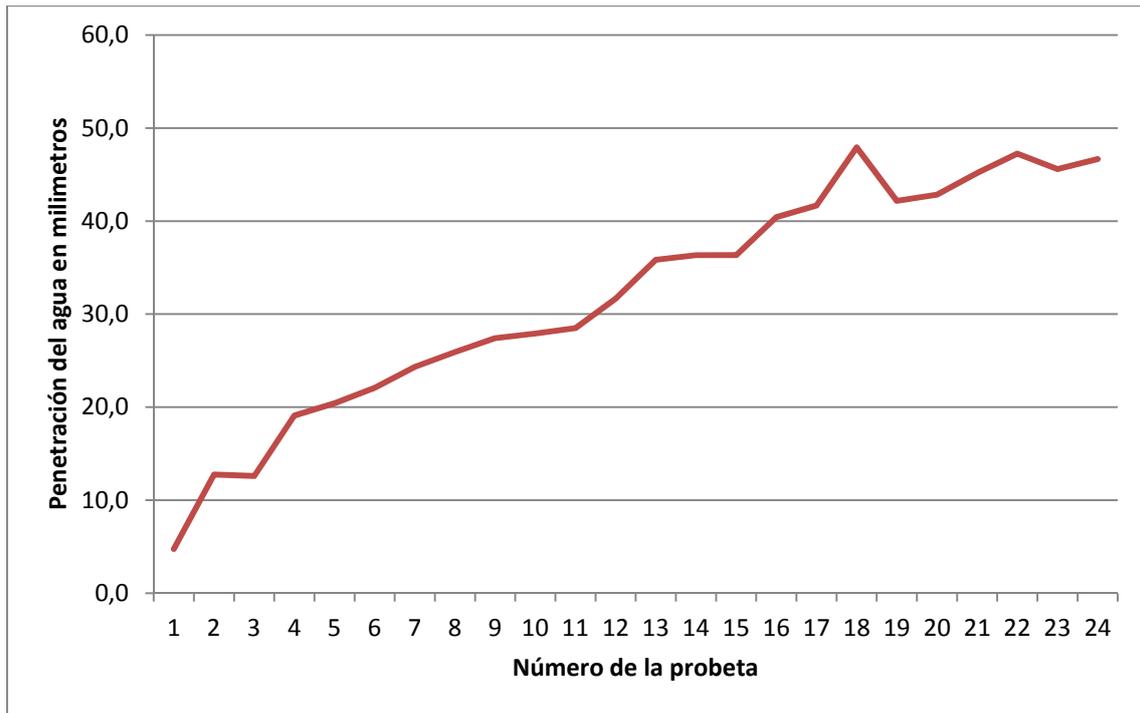


Figura 26. Evolución de la penetración del agua medida tras la rotura de la probeta

En la Tabla 7 se muestra para cada probeta el tiempo de inmersión, el coeficiente de absorción y el valor promedio de la huella de la probeta tras la rotura. Estos valores detallados en la Tabla 7, serán los que se emplearán para comprobar si la técnica de georradar es capaz de aportar información sobre el avance del frente del agua.

Tabla 7. Resumen de datos: Probeta, tiempo de inmersión, penetración del agua y coeficiente de absorción

Nº PROBETA	TIEMPO DE INMERSIÓN (MINUTOS)	PENETRACIÓN DEL AGUA (MM)	COEFICIENTE 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%

Finalmente en la Figura 27 se presenta de forma gráfica los valores promedio de penetración y absorción obtenidos según el tiempo de inmersión de cada probeta, con una clara tendencia lineal ascendente.

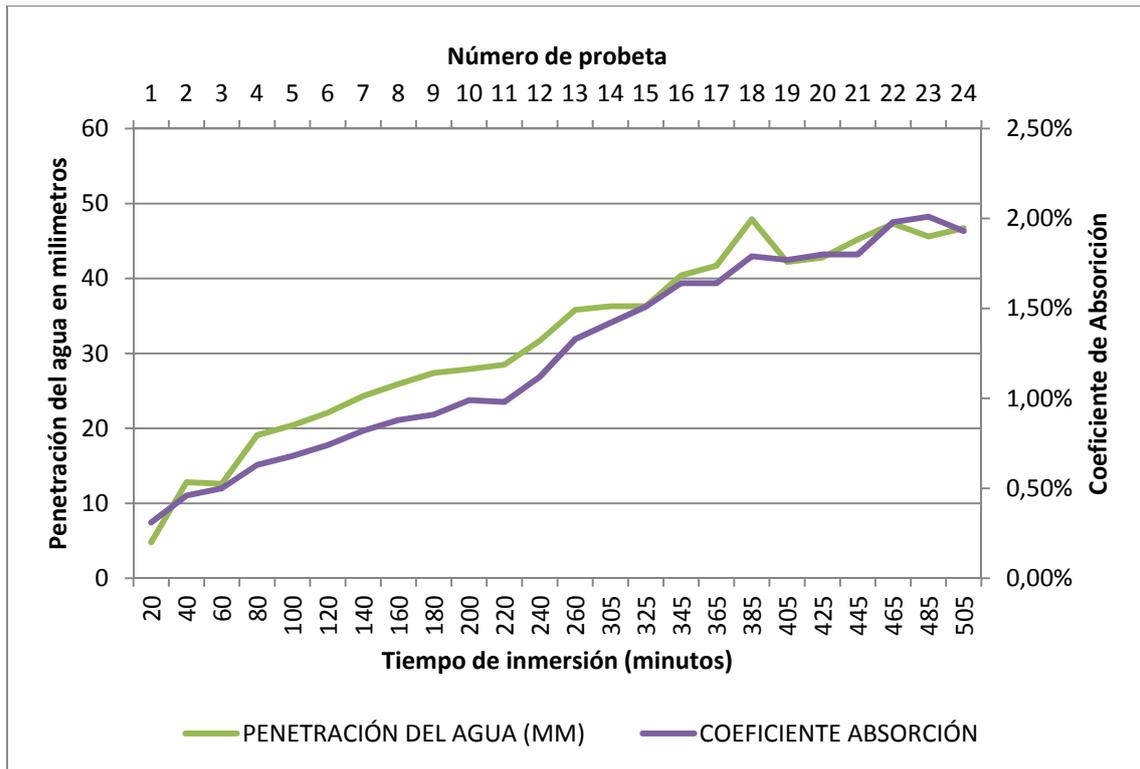


Figura 27. Resumen de datos: Probeta, tiempo de inmersión, penetración de agua y coeficiente de absorción

5.2. Pre-procesado de los registros de georradar

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

Es por ello que para el pre-procesado de los registros no se emplea el programa comercial de la casa GSSI, sino que los registros se han de preparar para trabajar con unos algoritmos específicos desarrollados en el marco del proyecto de investigación de la Universitat Politècnica de València: “Análisis de la durabilidad del hormigón por medio de la técnica no destructiva del georradar (PAID 06-12)”.

Por lo menos el programa RADAN-NT sí tiene una serie de módulos que permite transformar sus archivos originales a otros de formato ASCII. Este formato de archivos ya permitirá que se trabaje o introduzca en algoritmos específicos desarrollados a tal efecto.

Por lo tanto, el pre-procesado de registros consiste en una transformación de formatos para que los algoritmos desarrollados en EXCEL, puedan interpretar los datos registrados por la antena y proporcionar los resultados necesarios sobre: tiempos de propagación, velocidades de propagación, amplitudes y niveles de energía.

El primer paso consiste en, una vez tenemos los datos obtenidos en las mediciones del georradar en el ordenador, utilizar el programa Radan to ASCII Conversion Utility versión 1.3 (Figura 28), para convertir los archivos “.DZT”, que son los que almacena la Unidad SIR 3000 de GSSI, en archivos ASCII con formato “.TXT” y poder realizar las mediciones en las trazas.

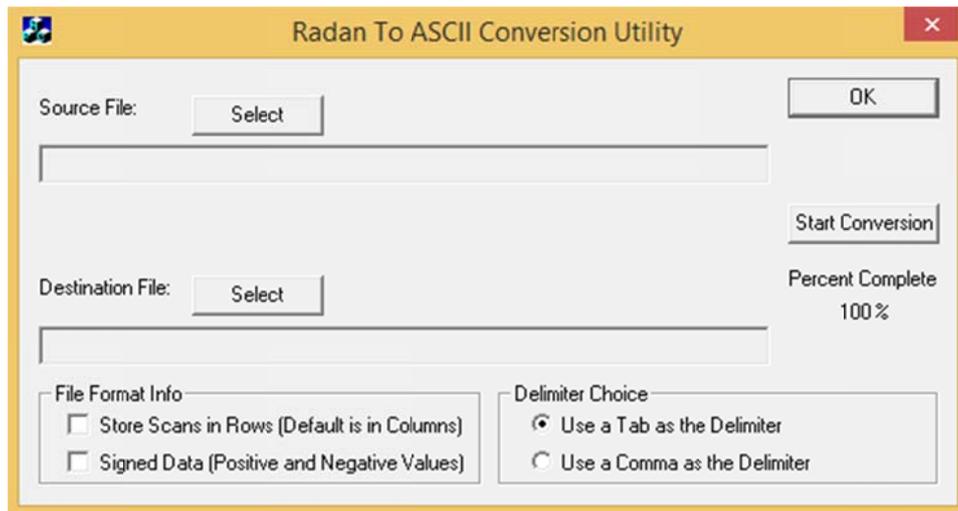


Figura 28. Ventana de comandos del programa Radan to ASCII Conversion Utility

Este tipo de archivos ASCII con formato “.TXT” se abre con el Microsoft Excel y se toma la banda central, esta banda central se copia a otro archivo Excel y se dibuja la gráfica. Se realiza la misma tarea con cada uno de los 9 puntos de cada probeta, obteniendo un total de 18 gráficas (9 medidas a modo de calibración con la probeta seca y otras 9 tras el proceso de sumergirlas en agua) para cada probeta.

En total se obtienen un total de 18 gráficas de cada una de las 24 probetas, siendo en total 432 radargramas. Una vez se disponen de estos archivos de EXCEL, se está en disposición de trabajar con los anteriormente mencionados algoritmos programados en EXCEL para obtener los parámetros de onda que se van a analizar y valorar en este trabajo.

En la Figura 29 se muestra una traza típica registrada. En concreto se trata del punto 5 (punto central) de la probeta 1 en seco:



Figura 29. Traza típica registrada

Todos los radargramas siguen el mismo patrón:

- Línea continua: Propagación por el aire
- Primera perturbación correspondiente a la reflexión directa de la onda
- Línea más o menos horizontal: Propagación por el interior del medio
- Segunda perturbación correspondiente a la onda reflejada en la base de la muestra como consecuencia de la interfase entre el hormigón húmedo y el reflector metálico.

La primera perturbación llamada onda directa se trata de la onda emitida por la antena y que se refleja directamente sobre la superficie de la probeta, recibiendo esta reflexión la primera debida al corto recorrido que debe recorrer. La segunda perturbación a la que llamaremos onda reflejada corresponde a la onda que se refleja tras atravesar toda la probeta. Se puede apreciar la diferencia del recorrido que efectúa cada onda según la Figura 30.

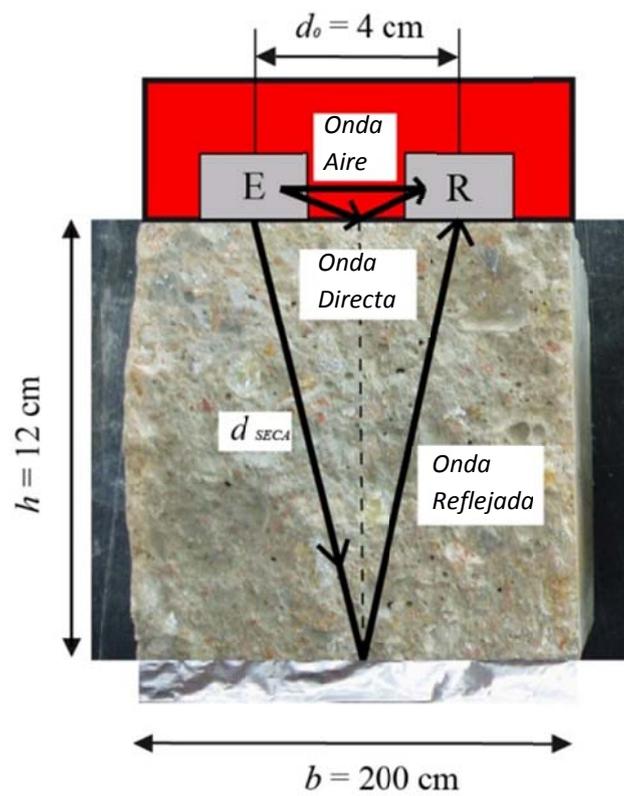


Figura 30. Esquema de onda directa y reflejada

Una vez identificadas la onda directa y la reflejada se identifican los tres puntos característicos de la onda, a los que denominaremos $D1$, $D2$ y $D3$ en la onda directa y $R1$, $R2$ y $R3$ en la onda reflejada (Figura 31), a través de los cuales se estudiarán las velocidades y amplitudes en el apartado de resultados.

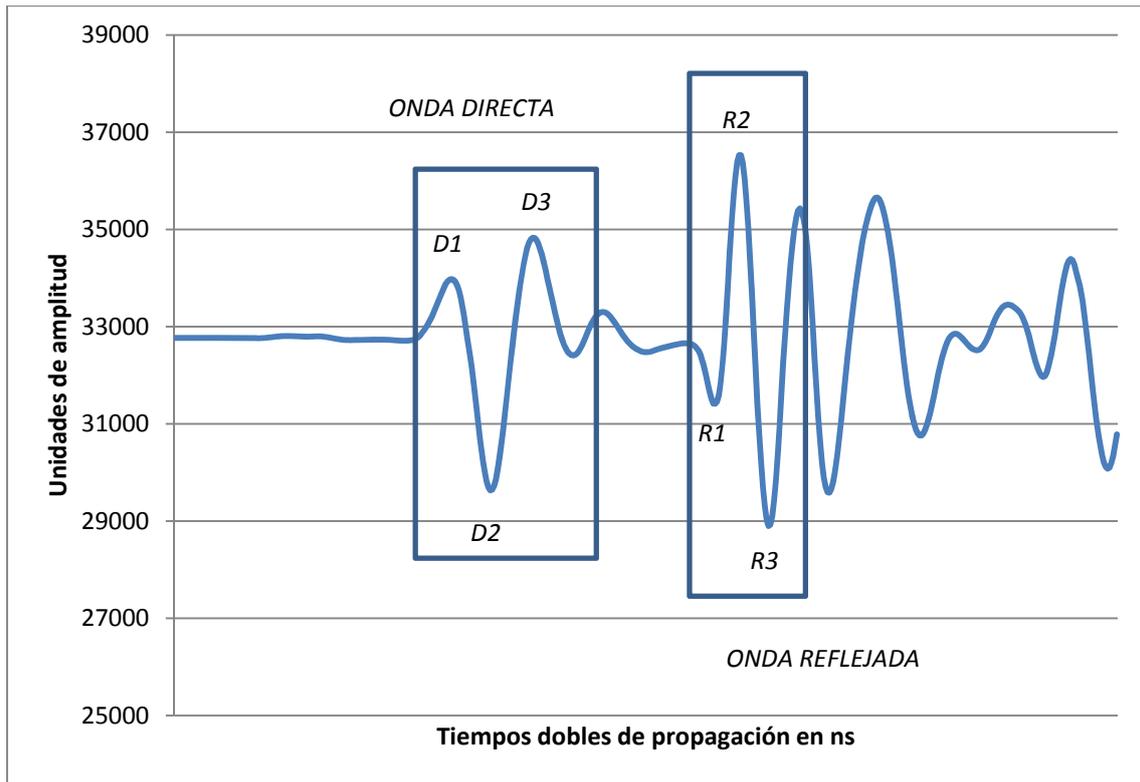


Figura 31. Identificación de los puntos característicos de la onda directa y reflejada

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

En este apartado se detallan los efectos que producen 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, es decir, avance el frente del agua se produzcan los siguientes efectos en las señales:

- En primer lugar, la onda reflejada se recibirá más tarde, es decir, aumentan los tiempos de propagación. Esto es debido a que cómo el agua tiene una constante dieléctrica mayor, el hormigón humedecido se polariza más y por tanto dificulta la propagación de la señal.

Todo ello dará lugar a un aumento de los tiempos de llegada de la onda reflejada y por tanto una disminución de las velocidades de propagación.

- 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 de todo ello será menor la energía recibida y por tanto su amplitud.
- Por último, es lógico no apreciar ningún cambio significativo en la onda directa conforme avanza el frente del agua, ya que en cualquiera de los casos esta onda siempre viaja y se refleja en una zona seca del material.

Algunos autores como Sbartai et al. (2006a-2006b), Klysz y Balayssac (2007) y Viriyametanont et al. (2008) ponen de manifiesto en sus trabajos cómo se pueden detectar estas variaciones de contenido de agua libre a lo largo del curado o cualquier otra situación que implique variabilidad del mismo.

En concreto, en este estudio con respecto a las velocidades de propagación, el efecto del aumento del contenido de agua en los registros se ha observado de tal forma que se evidencia claramente cómo se va retrasando la onda reflejada de la onda directa ya que conforme va aumentando la humedad en la probeta, se reduce la velocidad de la onda reflejada (Figura 32).

La reducción de la velocidad de las ondas tiene una explicación lógica, y es que debido al incremento de la constante dieléctrica que supone el contenido de agua respecto al hormigón, se produce una reducción de la velocidad de propagación y por consiguiente un retraso en la llegada de las ondas.

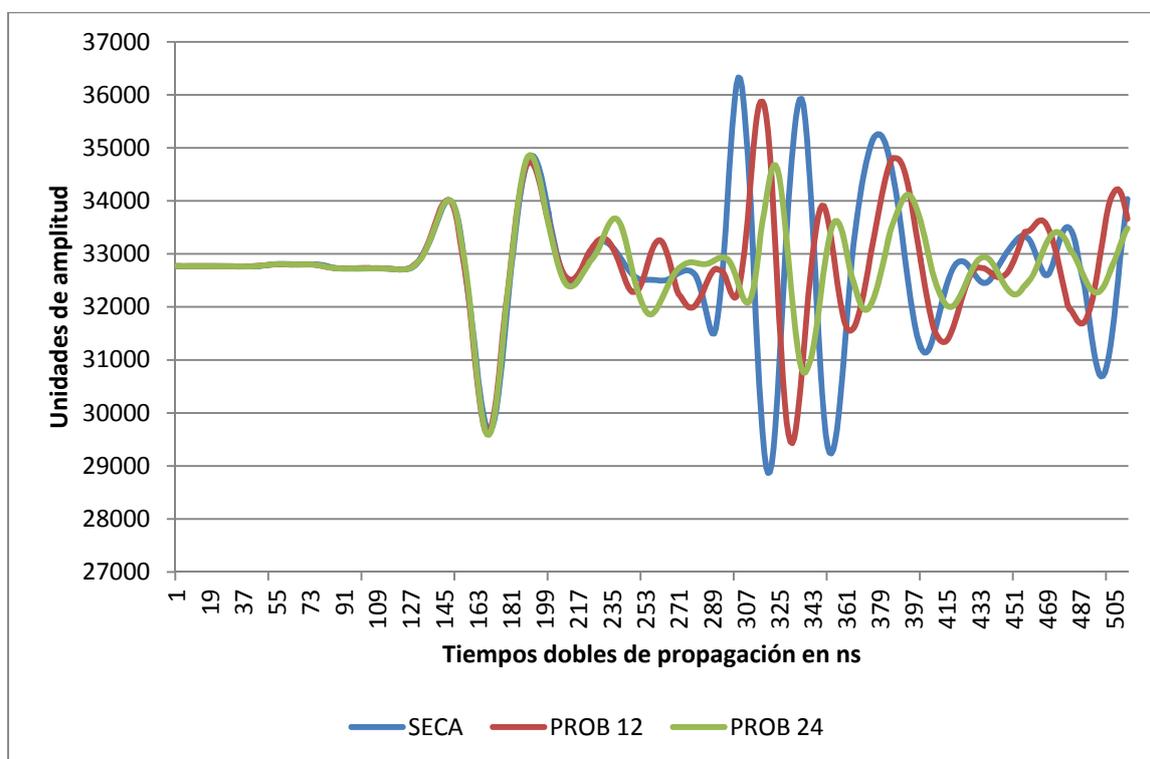


Figura 32. Efecto del aumento del contenido de agua en las señales de georradar

Además, como era de esperar, la onda directa permanece prácticamente estable durante todo el proceso de medición con georradar.

En el caso de las amplitudes, se esperaba un decrecimiento gradual, pero como más adelante explicaré, no observa un patrón de comportamiento único. Se trata más bien de un comportamiento errático, ya que las amplitudes se van incrementando y decreciendo. Más adelante se tratará de explicar el porqué de este comportamiento.

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

Como algunos autores apuntan (Yelf R. 2006 y Martínez-Sala 2012) 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.

TIEMPOS Y VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN

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, también es muy complicado estimar cual 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 de tiempos de llegada posibles de las ondas. Para ello, 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 31, en la onda directa se identifican tres máximos ($D1$, $D2$ y $D3$) y en la reflejada otros tres ($R1$, $R2$ y $R3$). De esta forma, se calculan todos los intervalos posibles entre los máximos y para cada intervalo se promedian los valores obtenidos en los nueve puntos de registro de georradar.

$$v = \frac{2 \cdot d}{\Delta t_D^R} = \frac{\left(2 \cdot \sqrt{h^2 + \frac{d_0^2}{2}}\right)}{\Delta t_D^R} \quad (\text{Ecuación 17})$$

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

El cálculo de la velocidad se efectúa a través de unos algoritmos programados en Excel. El primer algoritmo utilizado determina el tiempo transcurrido hasta cada uno de los máximos a utilizar, tanto de la onda directa como de la reflejada ($D1$, $D2$, $D3$, $R1$, $R2$ y $R3$). Para la detección de los máximos se especifican dos intervalos donde el algoritmo buscará los tres

máximos en cada uno de ellos y extraerá el tiempo para cada uno de ellos. Estos intervalos se deben de modificar manualmente para cada probeta durante el cálculo de las probetas introducidas en agua, ya que la onda va demorándose conforme va incrementándose la cantidad de agua en la probeta.

Una vez detectados los tiempos, a través de la Ecuación 17, se determina la velocidad para cada intervalo utilizando otro algoritmo programado en Excel. Finalmente en el Anejo 7, se detallan los valores obtenidos de las velocidades tanto en seco como en húmedo de todas las probetas.

AMPLITUDES Y ATENUACIONES O NIVEL DE ENERGÍA DE LAS ONDAS

Tras aplicar los algoritmos para el cálculo de los incrementos de tiempo y velocidad, se aplican otros dos algoritmos. El primero de estos realiza la misma tarea que el de los tiempos pero extrayendo el valor de la amplitud en cada uno de los 6 máximos analizados. Seguidamente el siguiente algoritmos utilizando la Ecuación 18 calcula el valor de la atenuación o también llamado nivel de energía.

$$\alpha = 20 \cdot \log \left(\frac{A_i}{A_0} \right) \quad (\text{Ecuación 18})$$

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 puntos de las probetas secas y húmedas se adjuntan en el Anexo 8.

Para más información sobre el procedimiento de cálculo empleado, se pueden consultar los algoritmos utilizados, que se adjuntan en el Anexo 4.

6. Interpretación de resultados

En este apartado se va a tratar de explicar los resultados obtenidos, intentar establecer un patrón de comportamiento, e intentar trazar una correlación de los resultados obtenidos por medio de georradar con la profundidad de avance del frente del agua.

6.1. Análisis de la variación de las velocidades de propagación

Finalmente, se obtuvieron para cada probeta las diferencias de velocidad que tuvieron lugar cuando estaban secas y tras la inmersión por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta v \left(\frac{cm}{ns} \right) = v_i - v_s \quad (\text{Ecuación 19})$$

donde v_i es la velocidad de propagación en una probeta tras la inmersión y la v_s , cuando la probeta estaba seca. Finalmente, en el Anejo 5 se incluyen los valores incrementales obtenidos para cada probeta y punto de medición.

A continuación en la Tabla 8 se muestran los valores promedio por probeta de los incrementos de velocidad calculados tomando cada uno 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, en 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 y R3-D3).

Tabla 8. Valor promedio de la variación de la velocidad de propagación en cm/ns

	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
P1	-0,33	-0,46	-0,65	-0,22	-0,30	-0,40	-0,09	-0,12	-0,14
P2	-0,44	-0,72	-0,98	-0,34	-0,55	-0,71	-0,27	-0,42	-0,52
P3	-0,56	-0,70	-1,07	-0,46	-0,55	-0,81	-0,35	-0,41	-0,57
P4	-0,59	-0,83	-1,22	-0,53	-0,71	-1,01	-0,44	-0,58	-0,78
P5	-0,57	-0,81	-1,16	-0,56	-0,77	-1,06	-0,44	-0,59	-0,77
P6	-0,59	-0,86	-1,21	-0,56	-0,79	-1,06	-0,45	-0,61	-0,79
P7	-0,51	-0,80	-1,12	-0,53	-0,78	-1,06	-0,44	-0,62	-0,80
P8	-0,58	-0,84	-1,22	-0,56	-0,78	-1,09	-0,48	-0,64	-0,85
P9	-0,66	-0,95	-1,41	-0,66	-0,91	-1,29	-0,57	-0,76	-1,04
P10	-0,81	-1,14	-1,72	-0,78	-1,05	-1,52	-0,64	-0,84	-1,15
P11	-0,82	-1,15	-1,68	-0,74	-1,00	-1,41	-0,63	-0,82	-1,11
P12	-1,04	-1,50	-2,23	-0,87	-1,22	-1,73	-0,66	-0,90	-1,23
P13	-1,23	-1,68	-2,49	-1,07	-1,41	-2,00	-0,82	-1,06	-1,43
P14	-1,29	-1,75	-2,66	-1,12	-1,48	-2,15	-0,88	-1,12	-1,56
P15	-1,28	-1,76	-2,60	-1,11	-1,48	-2,08	-0,94	-1,21	-1,64
P16	-1,44	-1,94	-2,88	-1,31	-1,72	-2,44	-1,06	-1,35	-1,83
P17	-1,36	-1,83	-2,75	-1,22	-1,60	-2,30	-1,01	-1,28	-1,76
P18	-1,51	-2,07	-3,05	-1,43	-1,89	-2,66	-1,16	-1,49	-2,02
P19	-1,48	-2,00	-3,01	-1,34	-1,76	-2,52	-1,12	-1,43	-1,97
P20	-1,47	-2,02	-2,97	-1,36	-1,82	-2,55	-1,10	-1,42	-1,91
P21	-1,45	-2,03	-2,94	-1,34	-1,81	-2,51	-1,07	-1,41	-1,87
P22	-1,53	-2,07	-3,09	-1,44	-1,88	-2,68	-1,17	-1,49	-2,03
P23	-1,46	-2,01	-2,97	-1,36	-1,81	-2,55	-1,14	-1,47	-1,99
P24	-1,51	-2,07	-2,99	-1,42	-1,88	-2,60	-1,16	-1,50	-1,98

A continuación en la Figura 33 se puede observar como independientemente del criterio elegido, es decir, que máximos se han empleado se observa que a medida que se ve incrementado el tiempo de inmersión en agua se va reduciendo la velocidad.

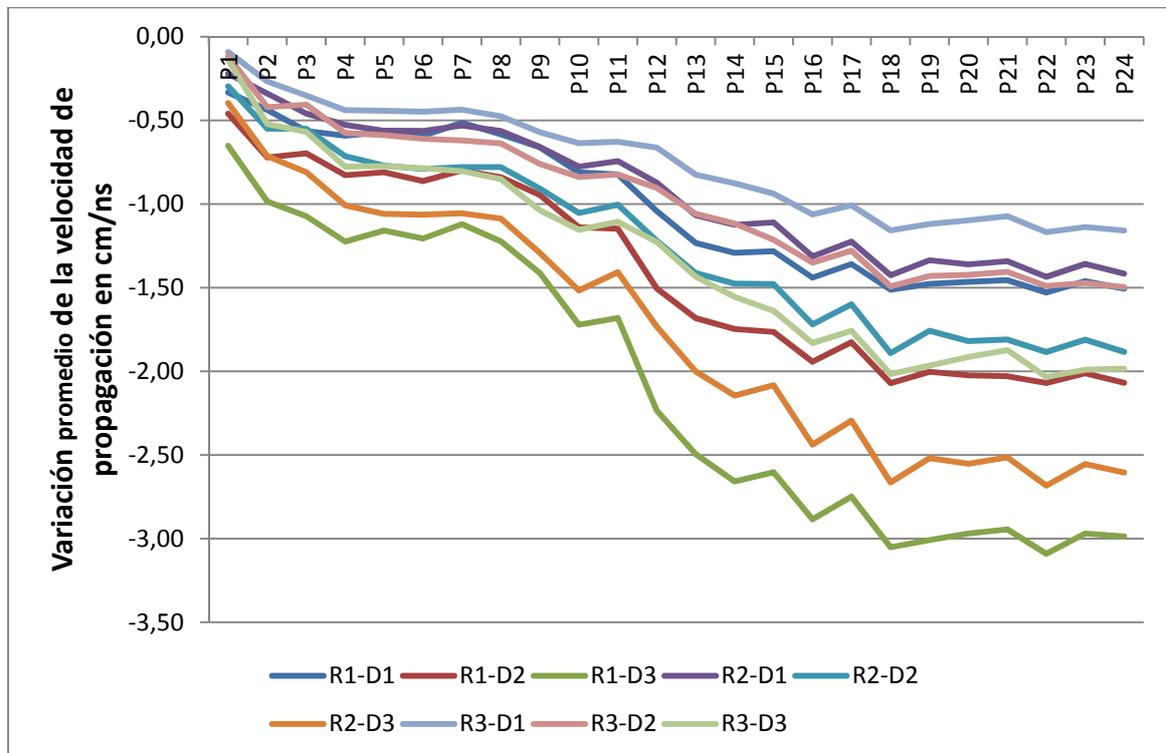


Figura 33. Evolución del valor promedio de la variación de velocidad de propagación

Por último, se considera muy interesante poder saber el grado de correlación entre la variación de las velocidades de propagación y la profundidad de la huella del agua. Para ello es necesario calcular los valores promedio de velocidades y profundidades de huella para cada probeta. Los valores promedio por probeta de la velocidad de propagación son los mostrados en la Tabla 8 y en la Tabla 7 los correspondientes a los promedios por probeta de la huella del agua.

Puesto que se observa claramente que se reduce la velocidad conforme se incrementa el contenido de humedad, se utiliza el programa informático de estadística “Origin Pro 8” (Figura 34).

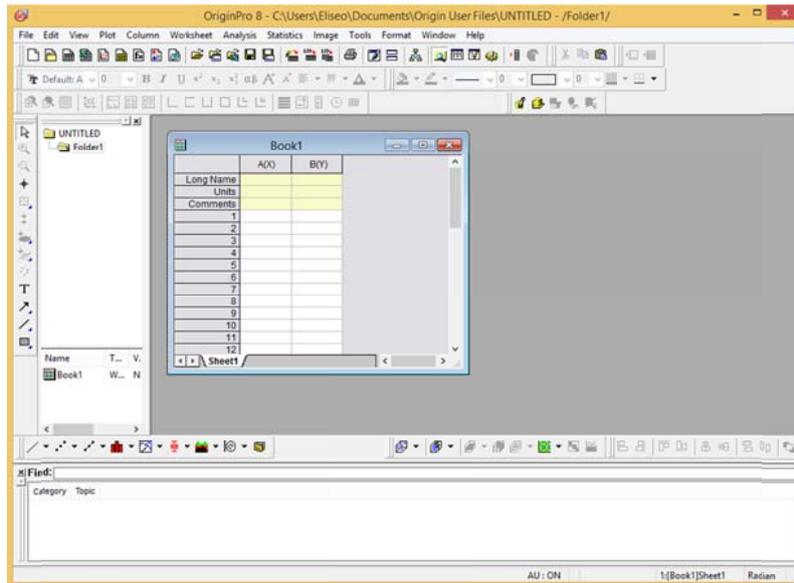


Figura 34. Ventana del programa OriginPro 8

Para cada uno de las velocidades obtenidas de los intervalos de tiempo considerado se realiza el ajuste con las 24 profundidades de las huellas. De la Figura 35 a la Figura 43 se presentan estos mejores ajustes.

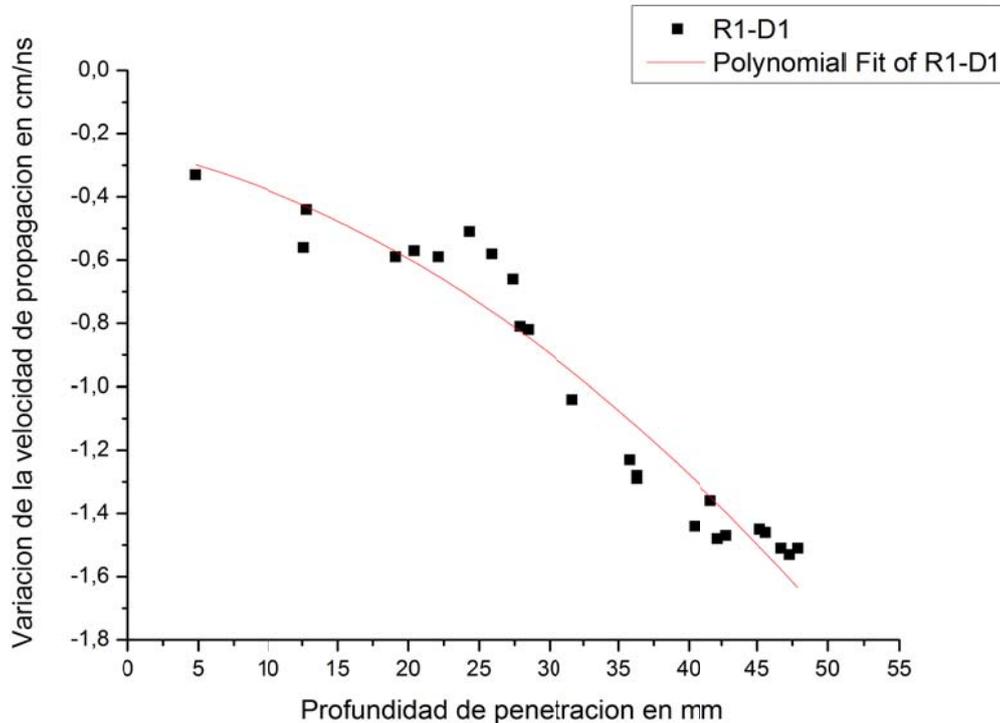


Figura 35. Figura de ajuste del intervalo R1-D1

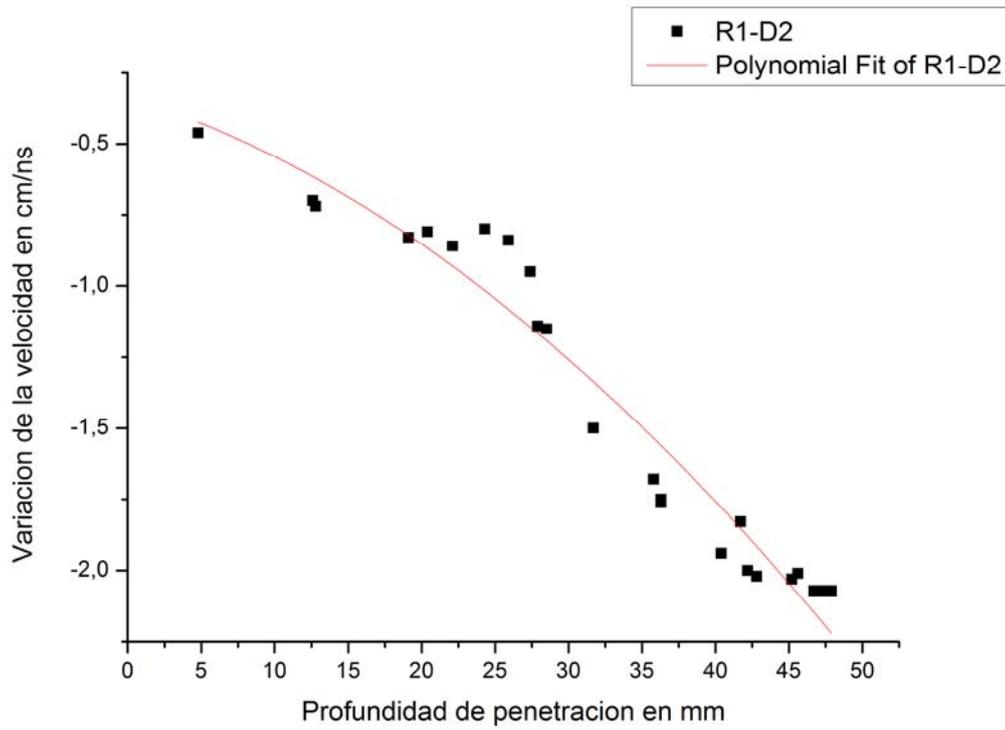


Figura 36. Figura de ajuste del intervalo R1-D2

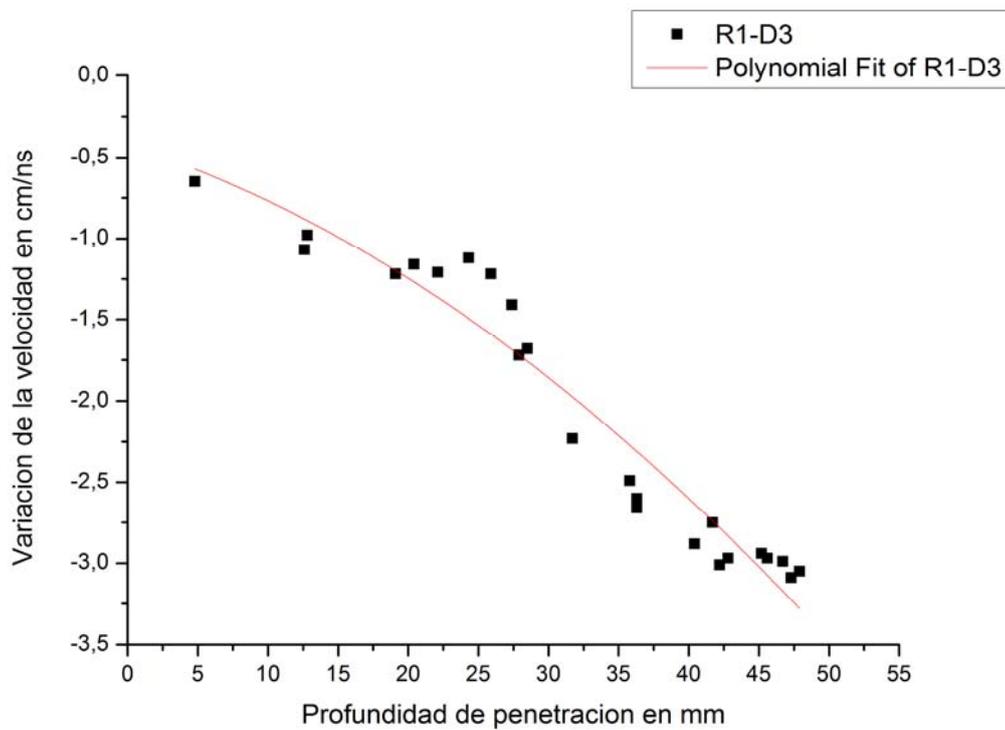


Figura 37. Figura de ajuste del intervalo R1-D3

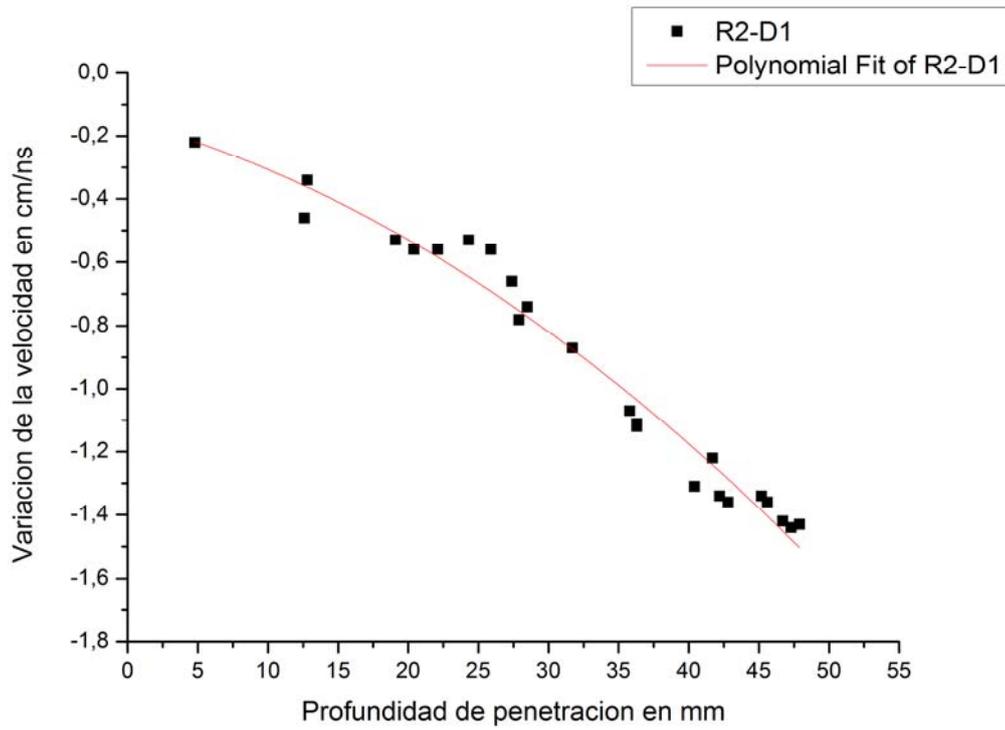


Figura 38. Figura de ajuste del intervalo R2-D1

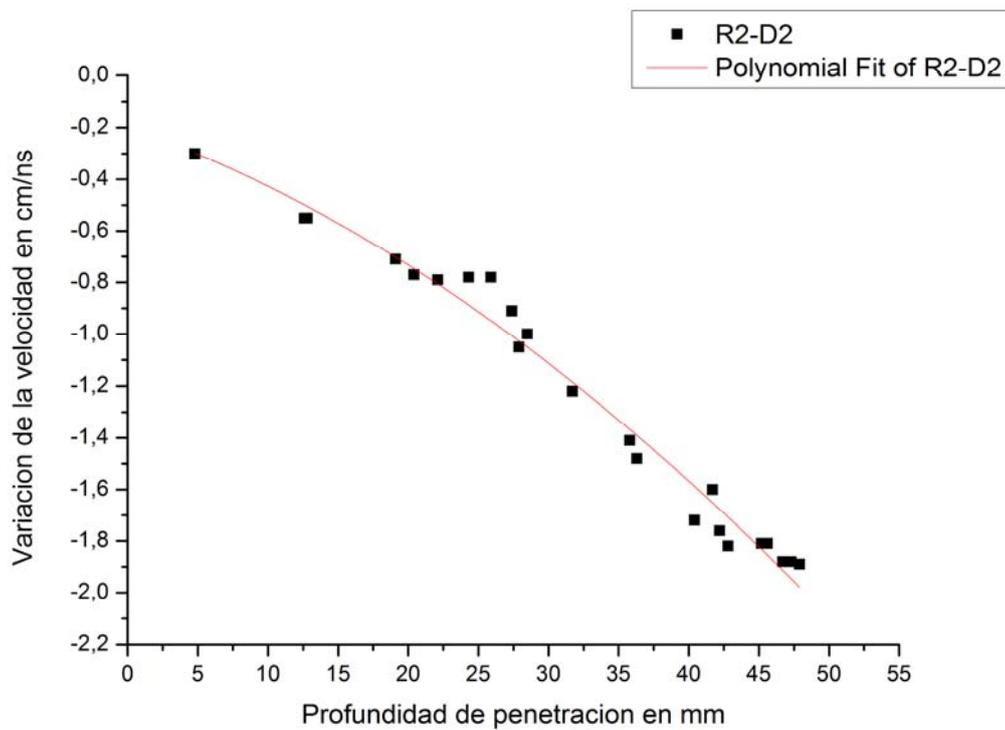


Figura 39. Figura de ajuste del intervalo R2-D2

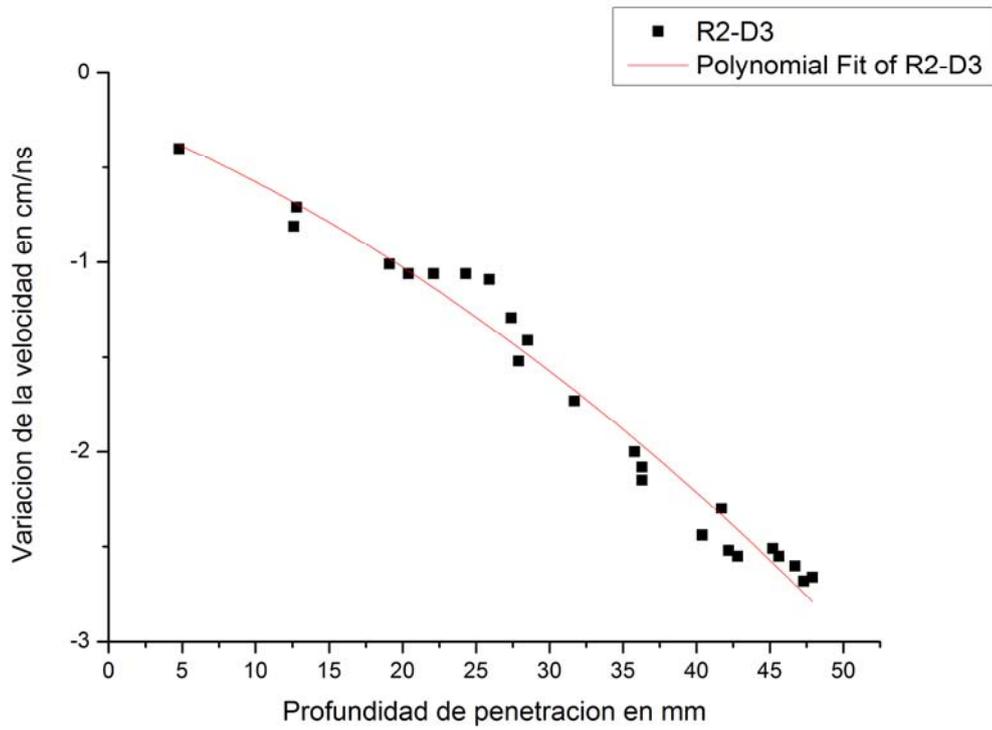


Figura 40. Figura de ajuste del intervalo R2-D3

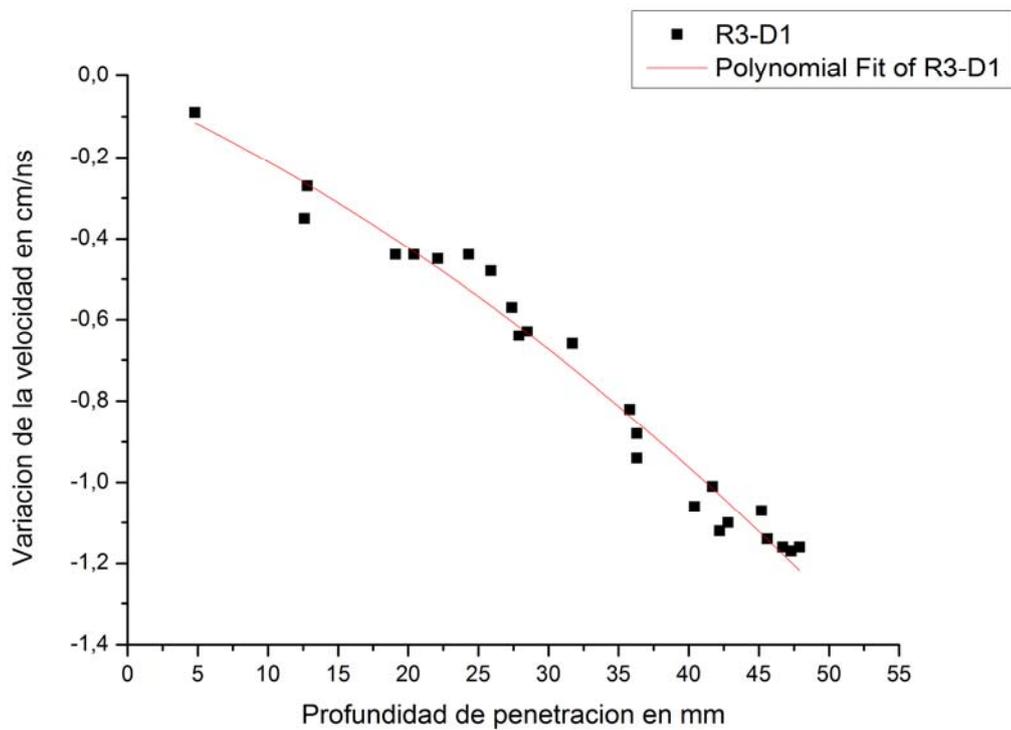


Figura 41. Figura de ajuste del intervalo R3-D1

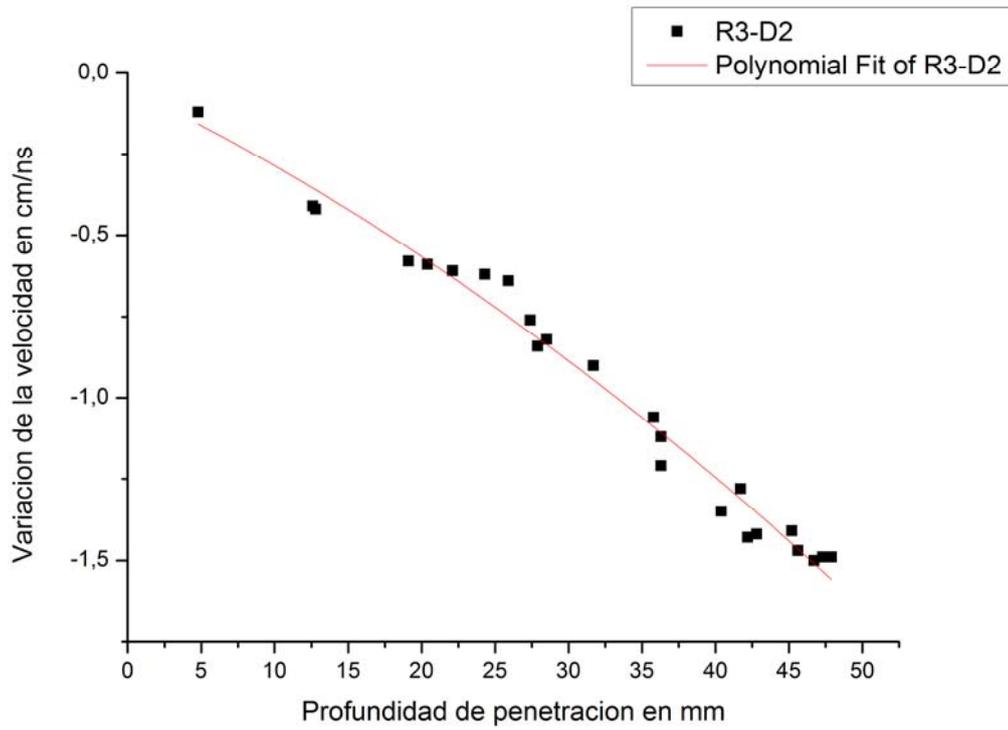


Figura 42. Figura de ajuste del intervalo R3-D2

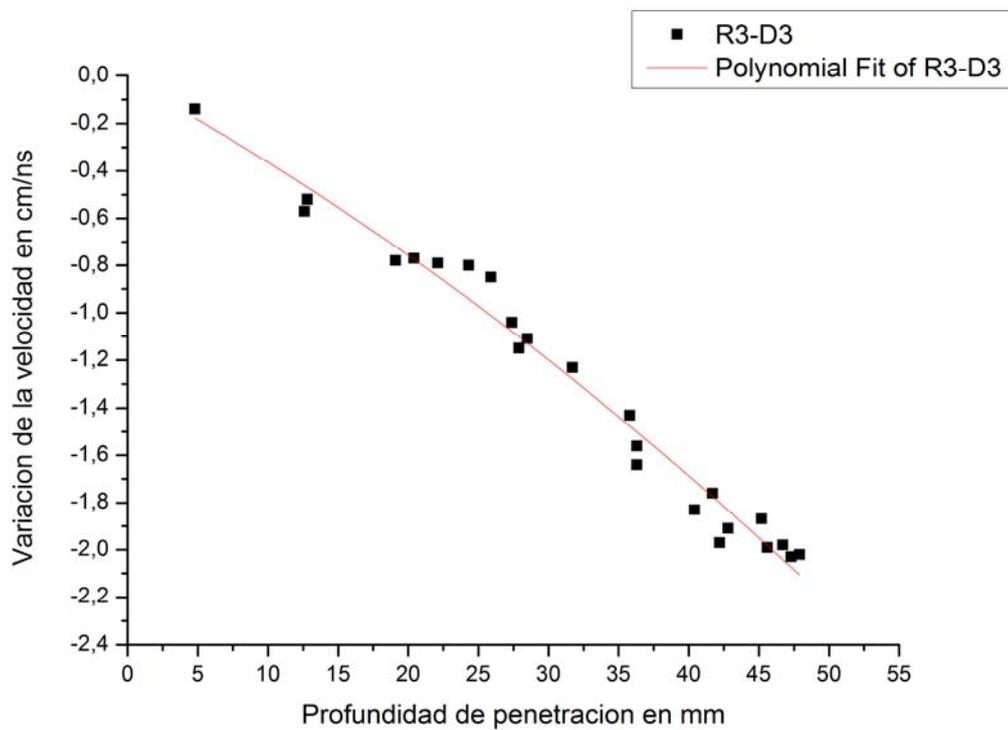


Figura 43. Figura de ajuste del intervalo R3-D3

Todos los ajustes siguen el mismo patrón descendente conforme se incrementa el tiempo de inmersión.

Por último, en la Tabla 9 se detallan los coeficientes de las ecuaciones obtenidas. Es importante resaltar la gran proximidad existente entre las curvas obtenidas.

Los resultados son muy interesantes ya que se han obtenido coeficientes de correlación muy elevados. Como se aprecia en la Tabla 9 el ajuste R^2 es muy próximo a la unidad, llegando hasta casi un 0,98 en el intervalo R3-D2. El valor más desfavorable se trata del intervalo R1-D1 con un valor r^2 de 0,93123. Así mismo, las desviaciones típicas obtenidas son muy reducidas.

Tabla 9. Coeficientes de las ecuaciones de ajuste

Intervalos de tiempo considerado para el cálculo de velocidades	Ecuación de ajuste polinómica de segundo orden						
	$y(x) = a + bx + cx^2$						
	a		b		c		R^2
Valor	σ^*	Valor	σ^*	Valor	σ^*		
R1-D1	-0,24309	0,12672	-0,00943	0,00932	-4,09665E-4	1,56516E-4	0,93123
R1-D2	-0,33159	0,153	-0,01652	0,01126	-4,78719E-4	1,88979E-4	0,9427
R1-D3	-0,42281	0,2474	-0,028	0,0182	-6,61222E-4	3,05568E-4	0,93364
R2-D1	-0,15068	0,07905	-0,01226	0,00582	-3,3369E-4	9,76367E-5	0,96919
R2-D2	-0,19479	0,08902	-0,01945	0,00655	-3,71451E-4	1,09948E-4	0,97648
R2-D3	-0,22166	0,13945	-0,03069	0,01026	-4,78373E-4	1,72238E-4	0,97165
R3-D1	-0,03603	0,06232	-0,01552	0,00458	-1,90968E-4	7,69731E-5	0,97257
R3-D2	-0,04685	0,06722	-0,02196	0,00495	-2,00206E-4	8,30295E-5	0,97978
R3-D3	-0,01636	0,10126	-0,03231	0,00745	-2,36381E-4	1,25071E-4	0,97562

σ^* Desviación típica

6.2. Análisis de la variación del nivel de energía de las ondas

El cálculo para el análisis de la variación del nivel de energía de las ondas 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 la onda ($D1$, $D2$, $D3$, $R1$, $R2$ y $R3$) 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.

Debido al aumento del contenido de agua libre en las probetas de hormigón se esperaba que se incrementen las pérdidas dieléctricas y de la conductividad iónica. Traduciéndose en una mayor absorción de la energía y en consecuencia en una disminución de la amplitud de las ondas registradas.

Finalmente, se estudió el incremento que se producía en el nivel de energía recibida entre la probeta seca (α_s) y tras la inmersión (α_i). El parámetro finalmente evaluado para cada máximo se calculó por medio de Ecuación 20

$$\Delta\alpha = \alpha_i - \alpha_s \quad (\text{Ecuación 20})$$

donde α_i es el valor del nivel de energía de la probeta tras la inmersión en agua y α_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 Anexo 6. En la Tabla 10 se presentan los valores promedio para cada probeta. Se observa que el incremento del nivel de energía calculado para las tres primeras columnas es prácticamente nulo. Este resultado era de esperar, ya que estos incrementos del nivel se obtuvieron a partir de los máximos ($D1$, $D2$ y $D3$) de la onda directa que se registraba con la antena sobre la cara opuesta a la que se sumergía en agua y que por tanto, permanecía siempre seca.

Tabla 10. Valores promedio por probeta de incremento de niveles de energía

Nº DE PROBETA	D1	D2	D3	R1	R2	R3
P1	0,58	-0,12	-0,16	-13,35	-3,30	0,24
P2	0,10	0,38	0,61	-3,73	-3,55	-0,81
P3	-0,39	-0,20	-0,30	-0,75	-3,10	-1,90
P4	-0,05	0,19	0,17	2,70	-1,98	-1,01
P5	-0,14	0,32	0,18	2,27	-1,71	-0,99
P6	-0,16	0,14	-0,04	-0,38	-3,24	-2,42
P7	-0,14	0,27	0,02	0,99	-2,86	-3,18
P8	-0,26	0,25	0,31	0,19	-2,80	-2,68
P9	-0,41	0,20	0,18	-7,91	-4,09	-2,20
P10	0,24	0,61	0,24	-11,66	-4,72	-1,21
P11	0,00	0,31	0,09	-13,53	-6,69	-2,95
P12	0,20	0,43	0,00	-14,38	-2,91	-0,67
P13	-0,12	0,14	0,03	-7,61	-6,25	-4,54
P14	-0,07	0,27	0,30	-5,91	-6,23	-4,52
P15	-0,20	0,00	0,20	-10,24	-7,91	-6,84
P16	-0,36	-0,19	-0,09	-8,83	-6,21	-3,08
P17	-0,08	0,12	-0,06	-6,05	-7,01	-4,71
P18	-0,21	0,08	0,15	-8,18	-6,47	-3,98
P19	-0,69	-0,36	-0,03	-8,02	-8,38	-5,50
P20	-0,36	-0,21	-0,01	-8,58	-7,83	-4,29
P21	-0,24	0,00	-0,10	-10,00	-7,87	-4,25
P22	-0,34	-0,07	0,06	-10,64	-8,36	-5,84
P23	-0,47	-0,22	0,11	-9,02	-9,89	-8,96
P24	-0,15	-0,13	0,05	-11,36	-9,44	-6,68

Con respecto a los incrementos de energía registrados para las ondas reflejadas se presentan distintos comportamientos dependiendo del máximo analizado. De forma teórica lo que se espera es observar una reducción continua del nivel de energía conforme se incrementaba el contenido de agua.

Como se observa en la Figura 44 y Figura 45, los máximos R2 y R3 si siguen esta tendencia de comportamiento: a mayor cantidad de agua libre, mayor es la atenuación, pero en las variaciones del nivel de energía del máximo R1 de la onda reflejada no sigue una única tendencia.

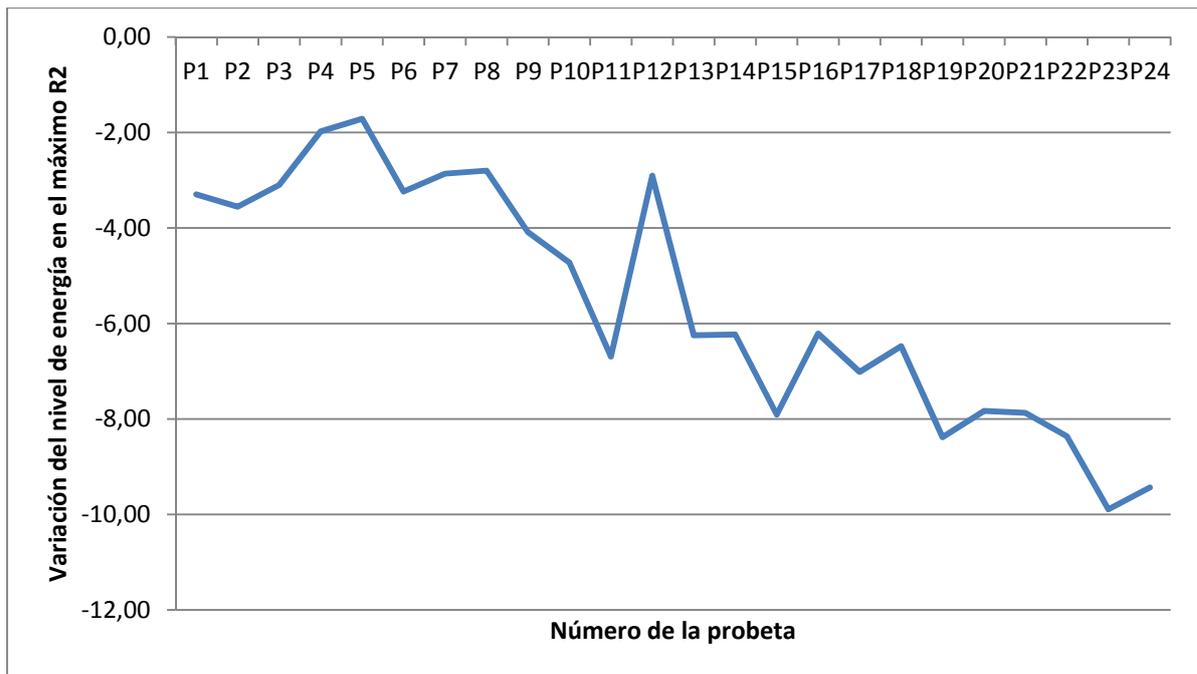


Figura 44. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R2

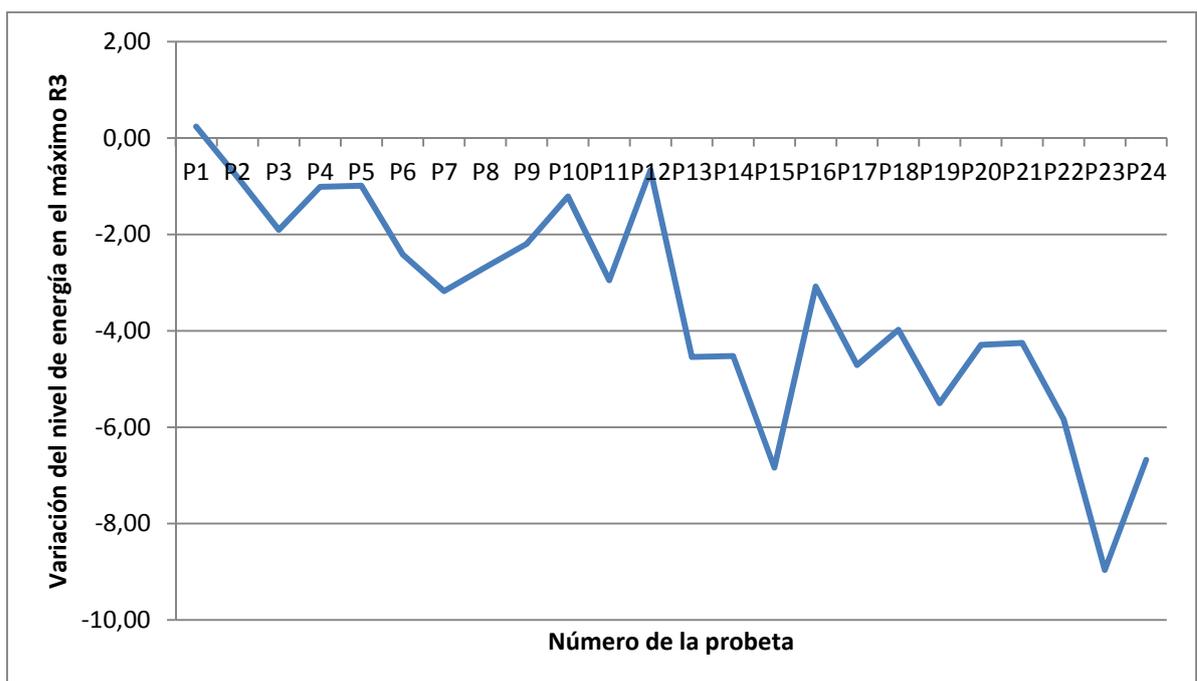


Figura 45. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R3

Como se puede apreciar en la Figura 46, el comportamiento del máximo R1 es mucho más complejo.

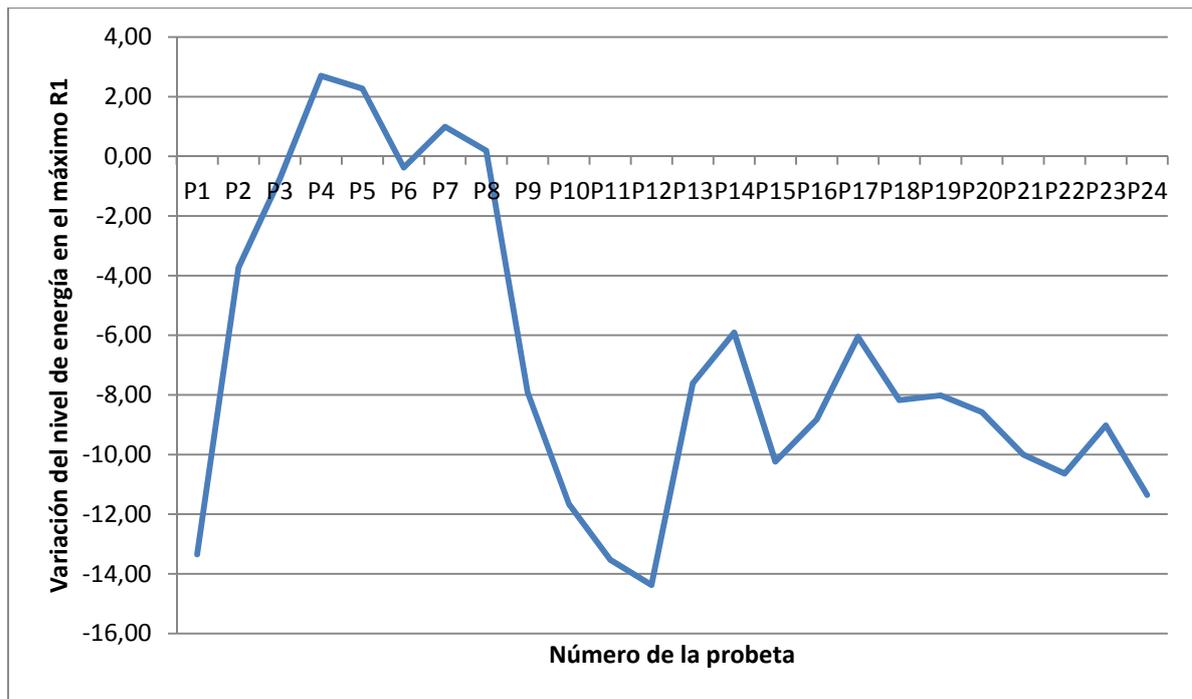


Figura 46. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R1

A través de éstos resultados se decide no realizar una correlación de éstos resultados y se analiza el porqué de éstos valores, analizando únicamente el punto central de cada probeta.

Si estudiamos la evolución del punto R1 a lo largo de las 24 probetas encontramos la respuesta a éstos resultados y es debido a la superposición que aparece entre la onda reflejada tras atravesar toda la probeta y la onda reflejada que aparece en el frente de avance de penetración de agua. Es decir, como se ha explicado anteriormente, se produce una reflexión de las ondas electromagnéticas cada vez que se cambia el medio por el que viajan las ondas, inicialmente estudiamos la onda reflejada directamente entre el aire y la superficie de la probeta (D1, D2 y D3) y la onda reflejada tras atravesar la totalidad de la probeta (R1, R2 y R3), pero conforme se va produciendo absorción de agua con el tiempo, aparece una tercera onda reflejada (R1', R2' y R3') que representa la posición de éste frente de agua.

En las primeras probetas y debido a que el frente de penetración del agua y el límite inferior de la probeta están muy cercanos, no se ve afectado el nivel de energía y se produce un decrecimiento. En la probeta 5, se observa una superposición constructiva, incrementando el valor del nivel de energía del punto R1 ya que se une con el valor de R1' (Figura 47). Cuando llegamos a las probeta 9 se empieza a observar que éstas dos ondas se superponen de forma destructiva, obteniéndose valores mucho más reducidos de los deberíamos haber recibido.

Conforme va ascendiendo el frente de agua, éstas dos ondas se van separando y produciéndose interferencias destructivas (probeta 12) y constructivas (probeta 24) como se puede observar en la Figura 48.

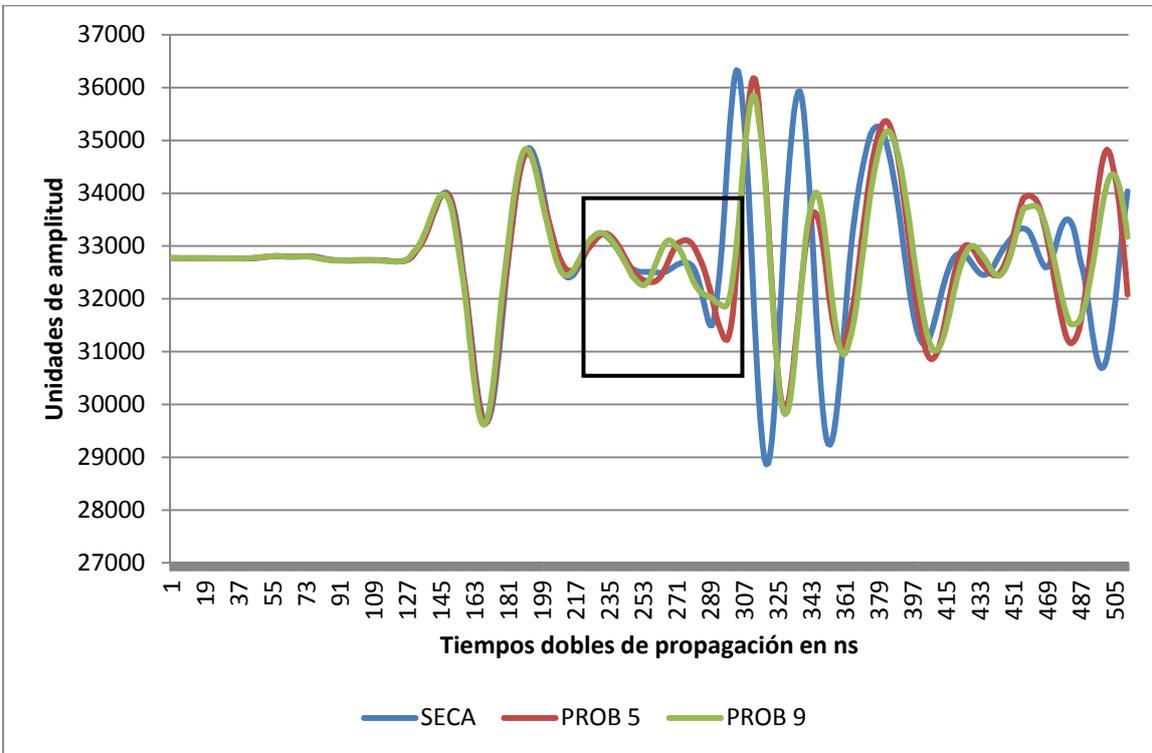


Figura 47. Evolución del nivel de energía del punto R1 (Probeta seca, 5 y 9)

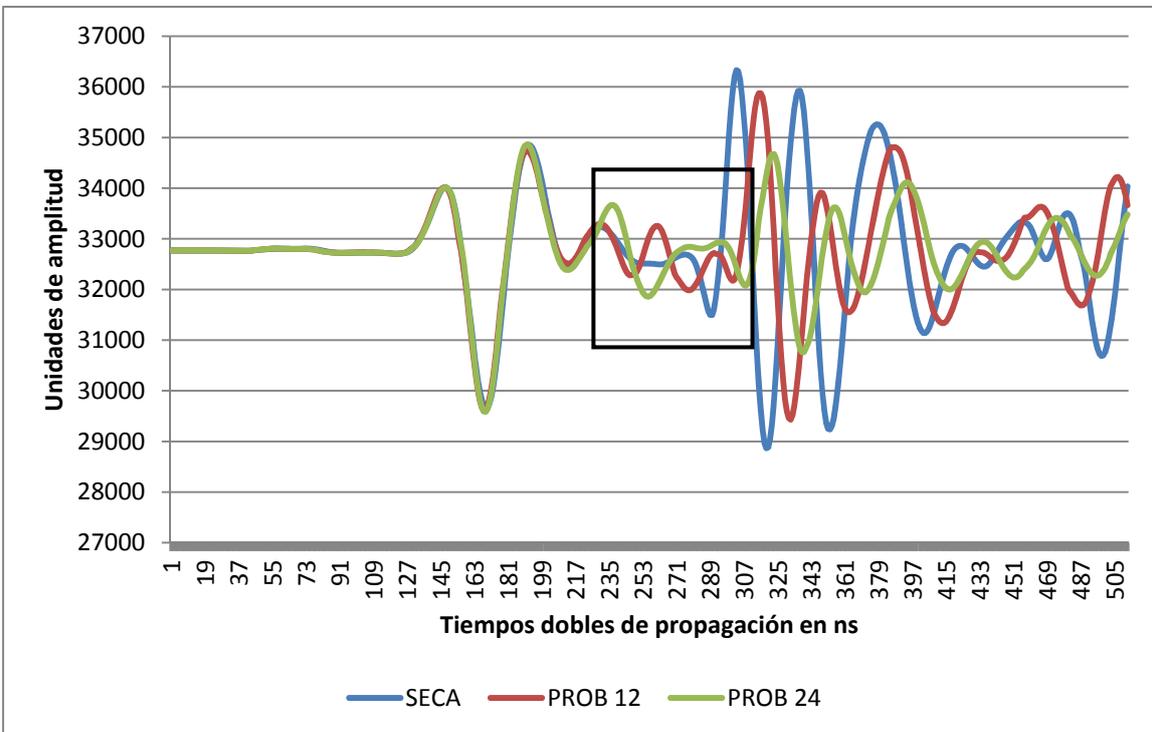


Figura 48. Evolución del nivel de energía del punto R1 (Probeta seca, 12 y 24)

7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Este trabajo ha sido orientado a 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, fabricando para ello una serie de 24 probetas de hormigón en masa las cuales han sido tratadas y analizadas de forma controlada mientras se sumergían en agua y se realizaban mediciones periódicas con georradar. Tras la inmersión y posterior lectura con georradar se rompieron a flexión las probetas por tal de cotejar los datos de las mediciones de georradar con el frente de avance de penetración del agua real.

El método para analizar los datos del georradar ha sido mediante el estudio de la variación de la velocidad de las ondas electromagnéticas y la variación de la amplitud de las ondas, comparando sendas variaciones con las probetas en seco y las probetas en húmedo tras la inmersión.

En referencia a los resultados de los análisis con la variación de la velocidad de propagación hay que destacar los muy buenos y prometedores resultados obtenidos, donde independientemente de los máximos de las ondas que estudiemos ($R1$, $R2$ o $R3$), la capacidad para predecir la velocidad de propagación de las ondas y consecuentemente el avance del frente de agua es muy alta.

Las correlaciones obtenidas entre las variaciones de velocidad y la penetración real del frente de agua son muy prometedoras dentro del campo de estudio del uso del georradar para la detección del frente de avance de penetración del agua, ya que se han obtenido valores que van desde un R^2 de 0'93 hasta casi un 0'98 en función de los máximos elegidos para el estudio.

En el caso del estudio de la variación de los niveles de energía, se han obtenido los resultados esperados de acuerdo a la teoría de propagación de los campos electromagnéticos, puesto que la variación del nivel de energía de la onda directa es aproximadamente igual a cero.

Cobra especial interés los resultados obtenidos en la variación del nivel de energía de la onda reflejada, donde se puede comprobar como tiende a reducirse el nivel de energía a mayor penetración del frente de agua. No obstante, los resultados obtenidos con el máximo $R1$ tienen un comportamiento muy complejo debido a las interferencias producidas entre la onda

refleja por el límite inferior de la probeta y la onda reflejada por el frente de avance de penetración de agua cuando éste es muy pequeño.

Queda por tanto este último punto, dado la extensión del mismo, como futura línea de investigación.

Por tanto, tras la realización de éste Trabajo Final de Máster se puede concluir que se ha podido identificar claramente el avance del frente de penetración de agua analizando la variación de velocidad de las ondas electromagnéticas. En el caso del estudio de la variación del nivel de energía sería recomendable profundizar más en éste aspecto ya que como hemos visto, la superposición de la onda reflejada en el frente de penetración de agua y la onda reflejada en el límite de la probeta eran tan cercanas que se producían interferencias constructivas y destructivas y por tanto los niveles de energía no se podían correlacionar directamente con el avance del frente del agua

Quiero destacar lo interesante que ha sido para mí poder trabajar con el georradar por ser una técnica no destructiva y que según mi opinión tiene un futuro prometedor. No obstante, dado que nos encontramos al inicio de la investigación se proponen las siguientes futuras líneas de investigación:

- Sería recomendable realizar otros estudios en los que el tiempo de inmersión en agua fuesen mayores por tal de analizar la variación del nivel de energía sin la superposición del frente de penetración de agua.
- Así mismo también sería recomendable para ratificar éstos resultados realizar el análisis mediante mediciones de georradar en la cara sumergida de las probetas por tal de comparar los resultados con los del presente estudio.
- 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.
- Automatizar y desarrollar algoritmos específicos para agilizar el cálculo.

8. Referencias

- Alexander, J. R. Machkechnie, and Y. Ballim. (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.*
- EHE-08. *Instrucción de hormigón estructural.*
- FIB Model Code for Service Life Design (2006). *Bulletin 34, FIB, EPFL, Lausanne, pages 1,116.*
- García F., Blanco M.R., Rodríguez-Abad I., Sala R.M., Ausina I.T., Marco J.B. y Conesa J.L.M. (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, vol. 8, no. 1, pp. 87-92.*
- *General Guidelines for Durability Design and Redesign (2000). Project No. BE 95-1347, DuraCrete: Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures, The European Union – Brite EuRam III.*
- Klysz G., Balayssac J.P. y Laurens S. (2007) "Spectral analysis of radar surface waves for non-destructive evaluation of cover concrete", *NDT & E International, vol. 37, pp. 221-227.*
- Kropp and M. 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, pages 13-34*
- Maierhofer C., Leipold S. y Wiggerhausere H. (1998) "Investigations of the influence of moisture and salt content on the dielectric properties of brick materials using radar". *Actas del 7th International Conference on Ground Penetrating Radar, Kansas, EEUU.*
- Malhotra and N.J. Carino (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. CRC Press.*
- Martínez-Sala R., Rodríguez-Abad I. y Tapia J. (2012). *Analysis of the reflected wave arrival position in timber specimens emitted by GPR with an antenna of 1,6 GHz. Actas del 2nd International Conference on Construction and Building Research, Valencia, España.*
- Mehta (1997). *Durability - critical issues for the future. Concrete International, pages 27-33.*
- Neville A (2001). *Maintenance and durability of structures. Concrete International, pages 52-56.*
- Nilsson and et.al.(1996) *Chloride penetration into concrete, State-of-the-art, transport processes,corrosion initiation, test methods and prediction models, The Report No. 53. Technical report,HETEK, Road Directorate, Copenhagen.*

- Otieno, M. Alexander, and H. Beushausen (2010). *Transport mechanisms in concrete, Corrosion of Steel in concrete, Assessment of corrosion*
- Parasnis DS (1986). *Principles of Applied Geophysics*. Chapman & Hall, London, New York
- Pérez V., Garcia F.G. y Rodríguez Abad I. (2008) "GPR evaluation of the damage found in the reinforced concrete base of a block of flats: A case study", *NDT & E International*, vol. 41, no. 5, pp. 341-353.
-
- Ramírez M., García F., Rodríguez I., Martínez R. y Benlloch J. (2008) "Ground-penetrating radar survey for subfloor mapping and analysis of structural damage in the Sagrado Corazón de Jesús Church, Spain". *Archaeological Prospection*, vol. 15, no. 4, pp. 285-292.
- 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 de la Universidad Politécnica de Valencia, España*.
- Sbartai Z.M., Laurens S., Balayssac J.P., Arliguie G. y Ballivy G. (2006a) "Ability of the direct wave of radar ground-coupled antenna for NDT of concrete structures", *NDT & E International*, vol. 39, no. 5, pp. 400-407.
- Sbartai Z.M., Laurens S., Balayssac J.P., Ballivy G. y Arliguie G. (2006b) "Effect of concrete moisture on radar signal amplitude", *ACI Materials Journal*, vol. 103, no. 6, pp. 419-426.
- Schiessl P(1988) *Corrosion of steel in concrete, report of RILEM report Technical Committee 60-CSC*. Chapman & Hall, London.
- Schiessl P (2005). *New approach to service life design of concrete structure*. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 6, 2005.
- UNE EN 12390. *Ensayos de hormigón endurecido*.
- 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. *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund*.
- Viriyametanont K., Laurens S., Klysz G., Balayssac J.P. y Arliguie G. (2008) "Radar survey of concrete elements: Effect of concrete properties on propagation velocity and time zero", *NDT & E International*, vol. 41, no. 3, pp. 198-207.
- Yelf R. y Yelf D. (2006) *Where is the True Time Zero?. Electromagnetic Phenomena*, 7(1): 158-163

9. Anexos

9.1. Anexo 1: Listado de figuras

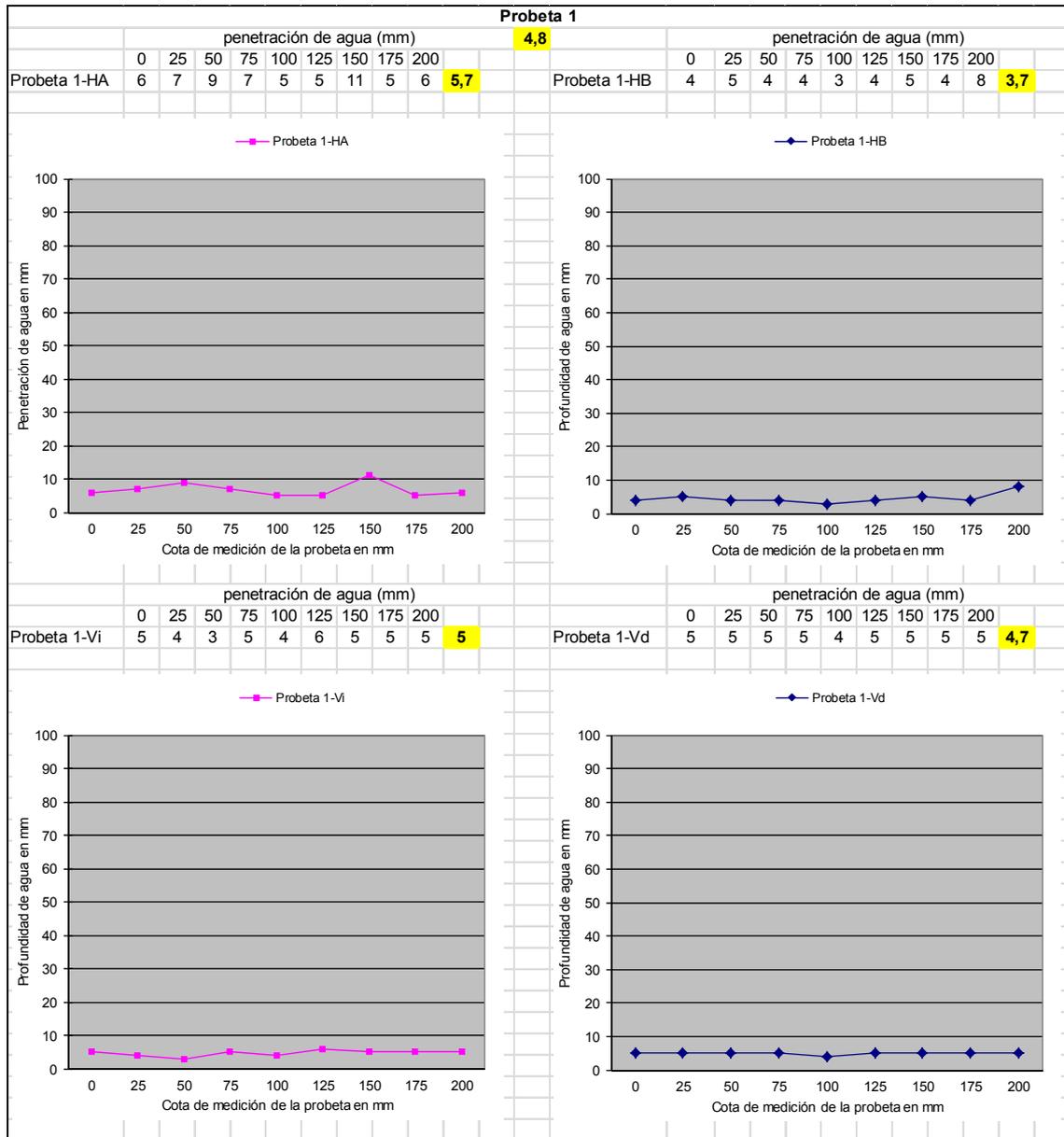
Figura 1. Equipo utilizado para el ensayo de penetración de agua bajo presión	17
Figura 2. Esquema de propagación de una onda electromagnética	20
Figura 3. Formas de visualización de radargramas	27
Figura 4. Representación por colores de un registro de georradar	33
Figura 5. Montaje de los moldes para la fabricación de las probetas	36
Figura 6. Fabricación de las probetas.....	37
Figura 7. Evolución promedio de la masa en gramos tras el periodo de curado.....	38
Figura 8. Localización de los puntos de medición de georradar en la superficie de la probeta (cotas en mm)	39
Figura 9. Secado de las probetas de hormigón previo a la adquisición de registros	40
Figura 10. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 1 a 8)	41
Figura 11. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 9 a 12 y 14 a 17).....	42
Figura 12. Evolución gráfica del proceso de secado (probetas 13, 18 a 24)	43
Figura 13. Probetas sumergidas en la cubeta durante el ensayo preliminar.....	44
Figura 14. Evolución de las masas como consecuencia de la absorción de agua	46
Figura 15. Unidad de control SIR-3000	47
Figura 16. Antena de 2GHz con odómetro.....	47
Figura 17. Montaje de las cubetas de plástico.....	48
Figura 18. Dispositivo para la adquisición de registros por medio de antena de 2 GHz.....	49
Figura 19. Nivel de agua en al cubeta	50
Figura 20. Rotura a flexión	51
Figura 21. Rotulación del frente de penetración de agua.....	52
Figura 22. Evolución del coeficiente de absorción de agua en las 24 probetas.....	54
Figura 23. Marca de la huella de penetración de agua	54
Figura 24. Designación de las porciones en las que se realiza la medición del frente de avance del agua	55
Figura 25. Ficha ejemplo de la mediciones de la penetración de agua	56
Figura 26. Evolución de la penetración del agua medida tras la rotura de la probeta	57
Figura 27. Resumen de datos: Probeta, tiempo de inmersión, penetración de agua y coeficiente de absorción	59
Figura 28. Ventana de comandos del programa Radan to ASCII Conversion Utility.....	61
Figura 29. Traza típica registrada	62
Figura 30. Esquema de onda directa y reflejada.....	63
Figura 31. Identificación de los puntos característicos de la onda directa y reflejada	64
Figura 32. Efecto del aumento del contenido de agua en las señales de georradar	66
Figura 33. Evolución del valor promedio de la variación de velocidad de propagación.....	71
Figura 34. Ventana del programa OriginPro 8	72
Figura 35. Figura de ajuste del intervalo R1-D1	72
Figura 36. Figura de ajuste del intervalo R1-D2	73
Figura 37. Figura de ajuste del intervalo R1-D3	73
Figura 38. Figura de ajuste del intervalo R2-D1	74

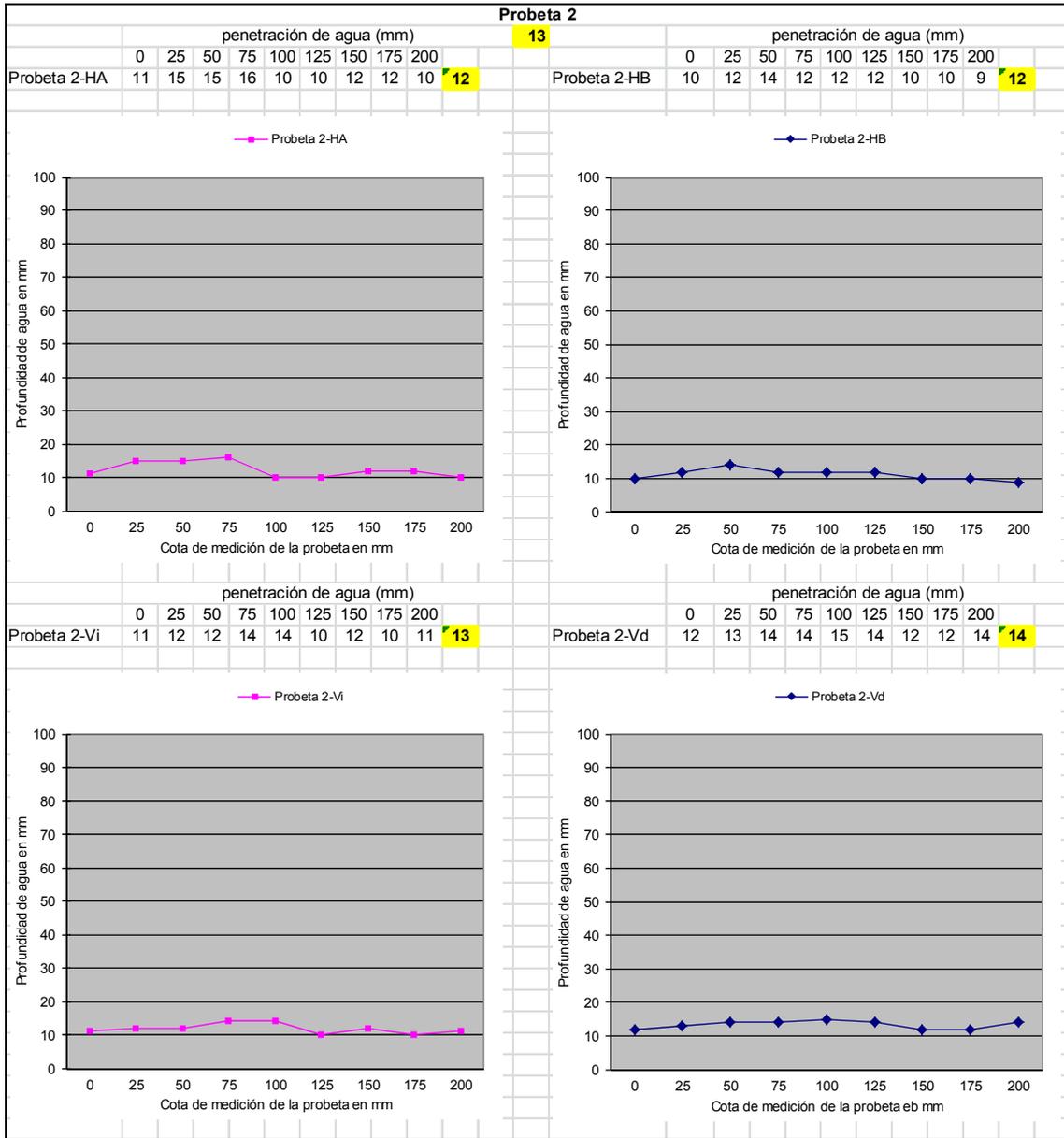
Figura 39. Figura de ajuste del intervalo R2-D2	74
Figura 40. Figura de ajuste del intervalo R2-D3	75
Figura 41. Figura de ajuste del intervalo R3-D1	75
Figura 42. Figura de ajuste del intervalo R3-D2	76
Figura 43. Figura de ajuste del intervalo R3-D3	76
Figura 44. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R2	80
Figura 45. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R3	80
Figura 46. Valor promedio de la variación del nivel de energía en el máximo R1	81
Figura 47. Evolución del nivel de energía del punto R1 (Probeta seca, 5 y 9)	82
Figura 48. Evolución del nivel de energía del punto R1 (Probeta seca, 12 y 24)	82

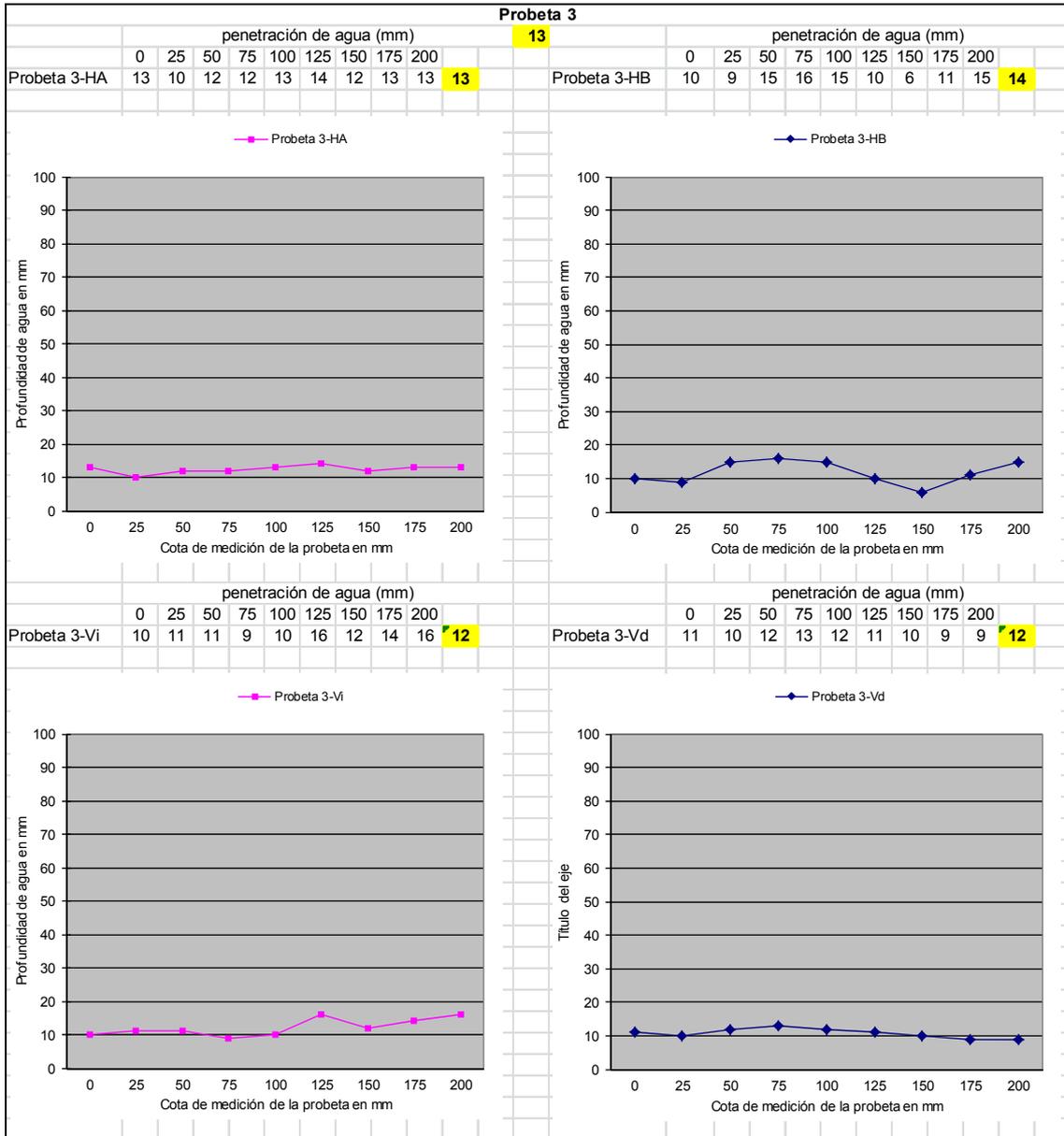
9.2. Anexo 2: Listado de tablas

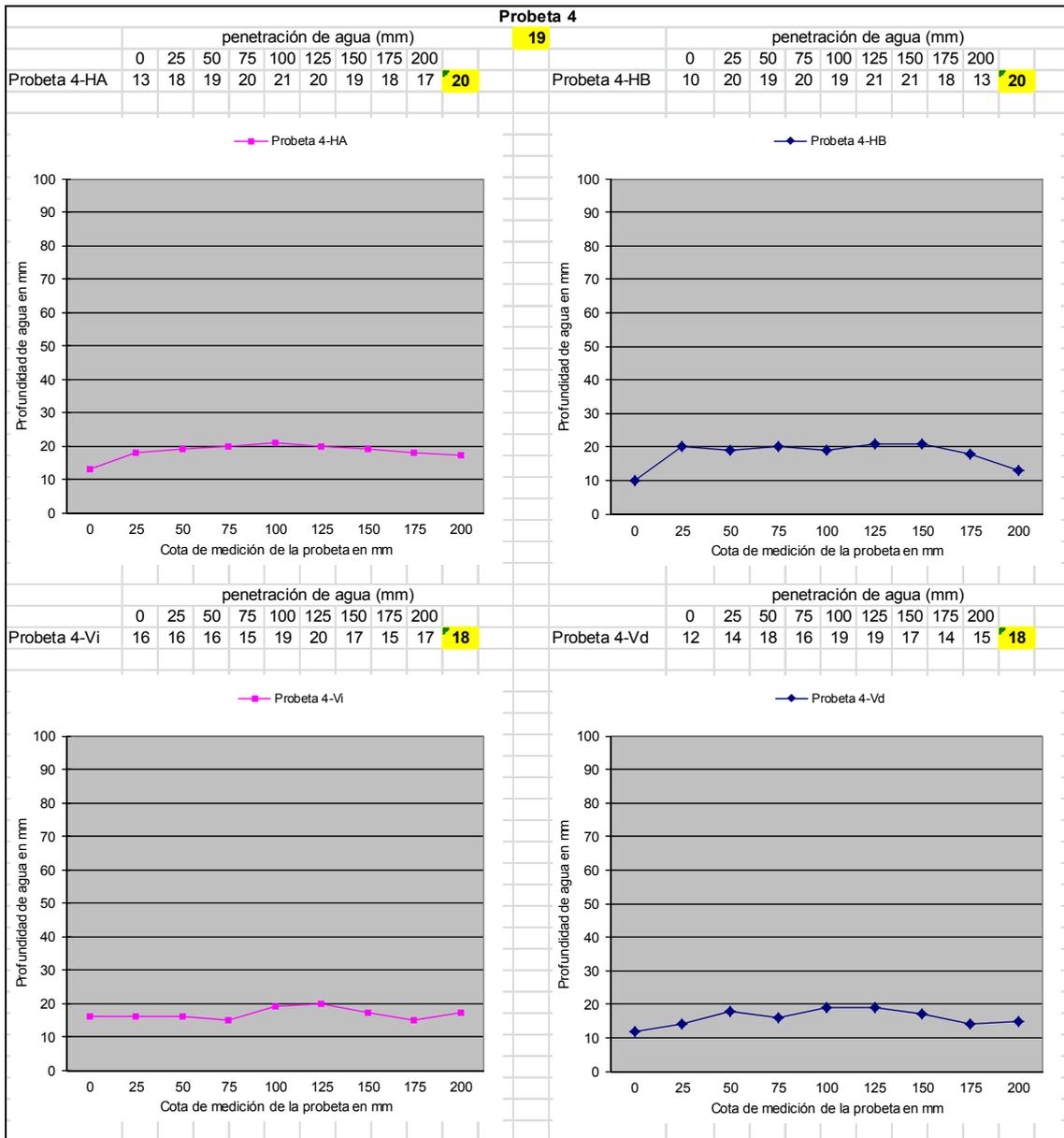
Tabla 1. Profundidad máxima del agua según la clase de exposición ambiental especificado en la EHE.....	16
Tabla 2. Espectro electromagnético.....	23
Tabla 3. Evolución de las masas durante el secado (probetas 1 a 8).....	40
Tabla 4. Evolución de las masas durante el secado (probetas 9 a 12 y 14 a 17)	41
Tabla 5. Evolución de las masas durante el secado (probetas 13 y de 18 a 24)	42
Tabla 6. Evolución de las masas como consecuencia de la absorción de agua	45
Tabla 7. Resumen de datos: Probeta, tiempo de inmersión, penetración del agua y coeficiente de absorción	58
Tabla 8. Valor promedio de la variación de la velocidad de propagación en cm/ns	70
Tabla 9. Coeficientes de las ecuaciones de ajuste	77
Tabla 10. Valores promedio por probeta de incremento de niveles de energía	79

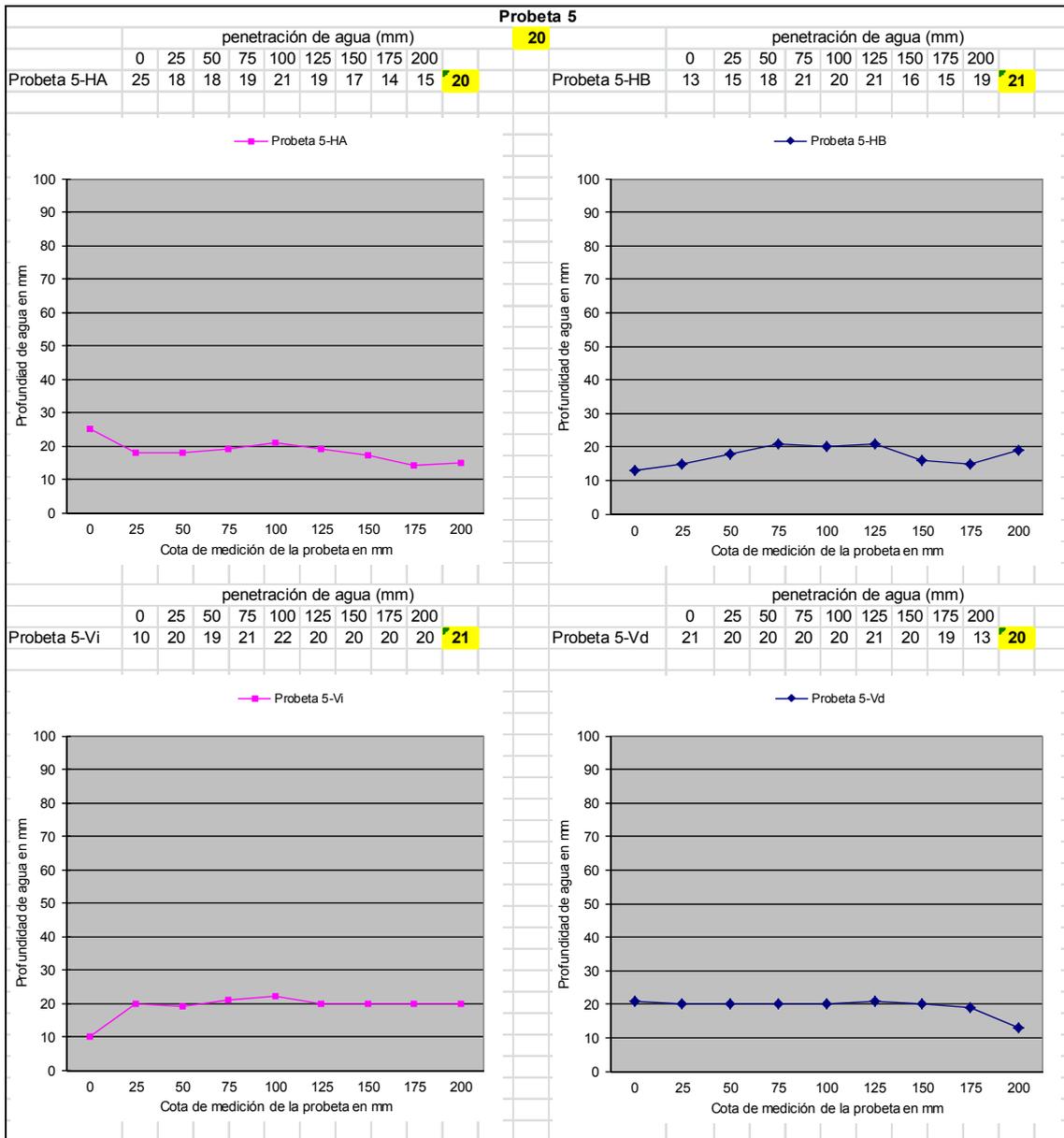
9.3. Anexo 3: Profundidad de penetración de agua

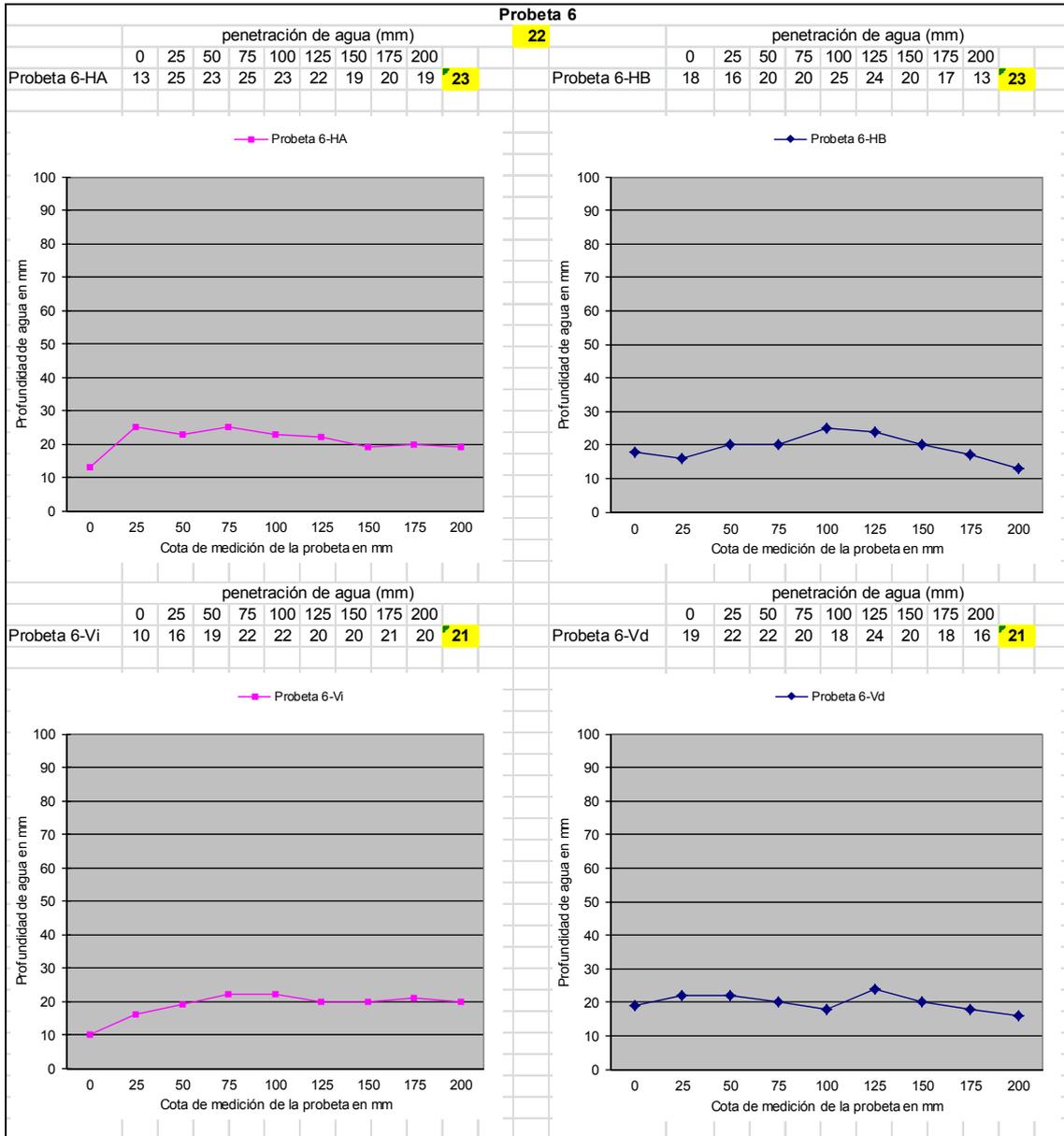


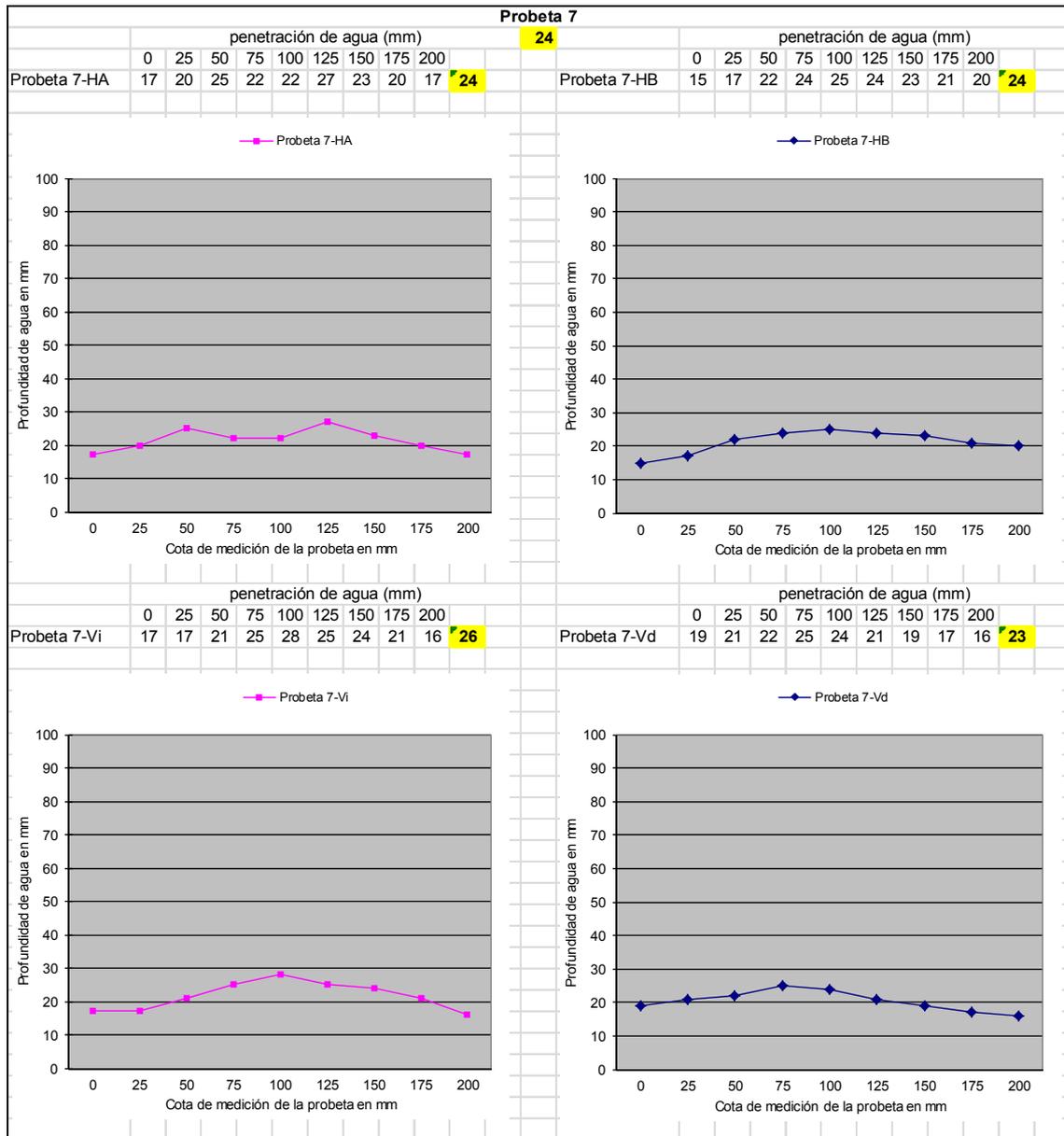


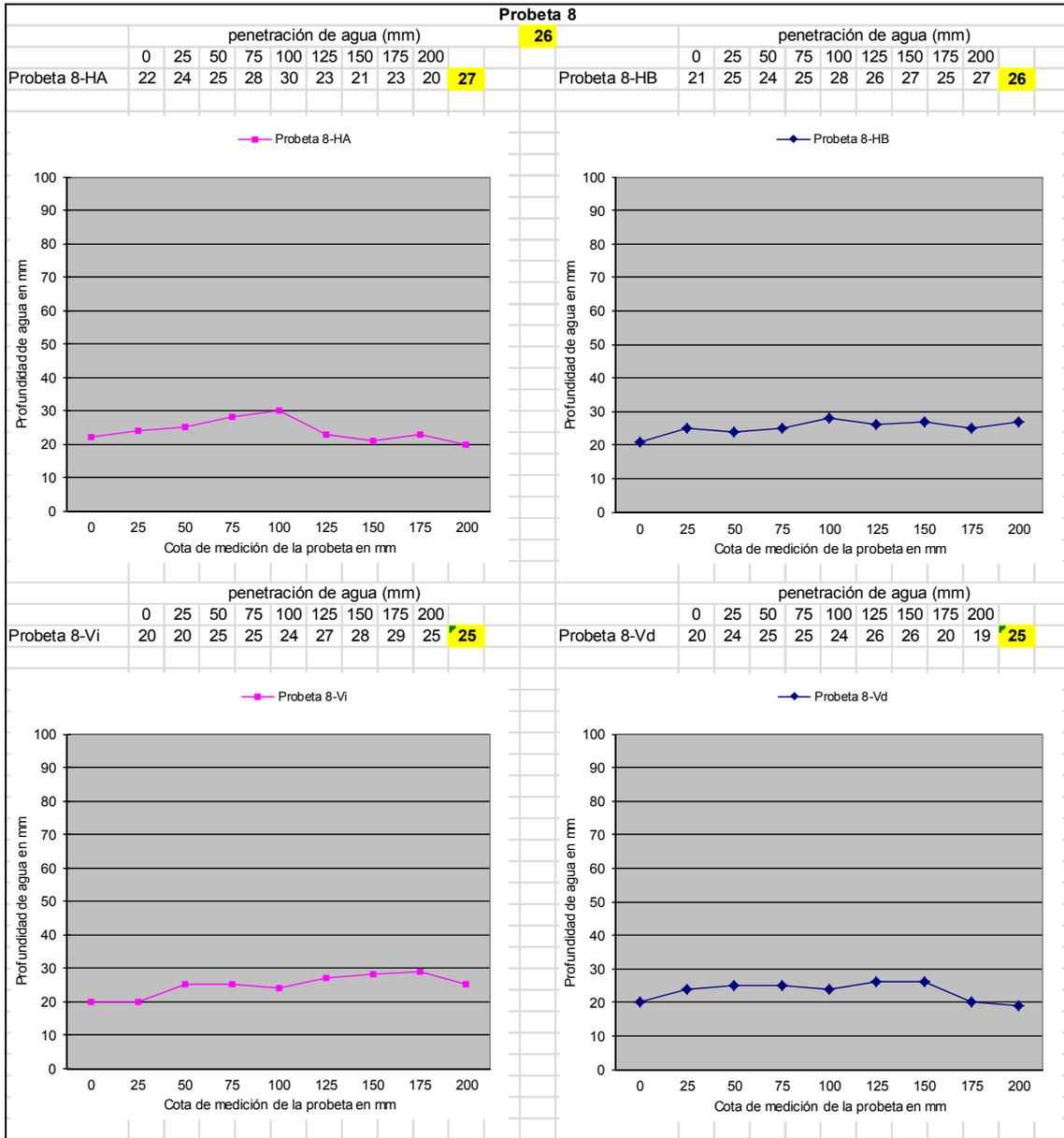


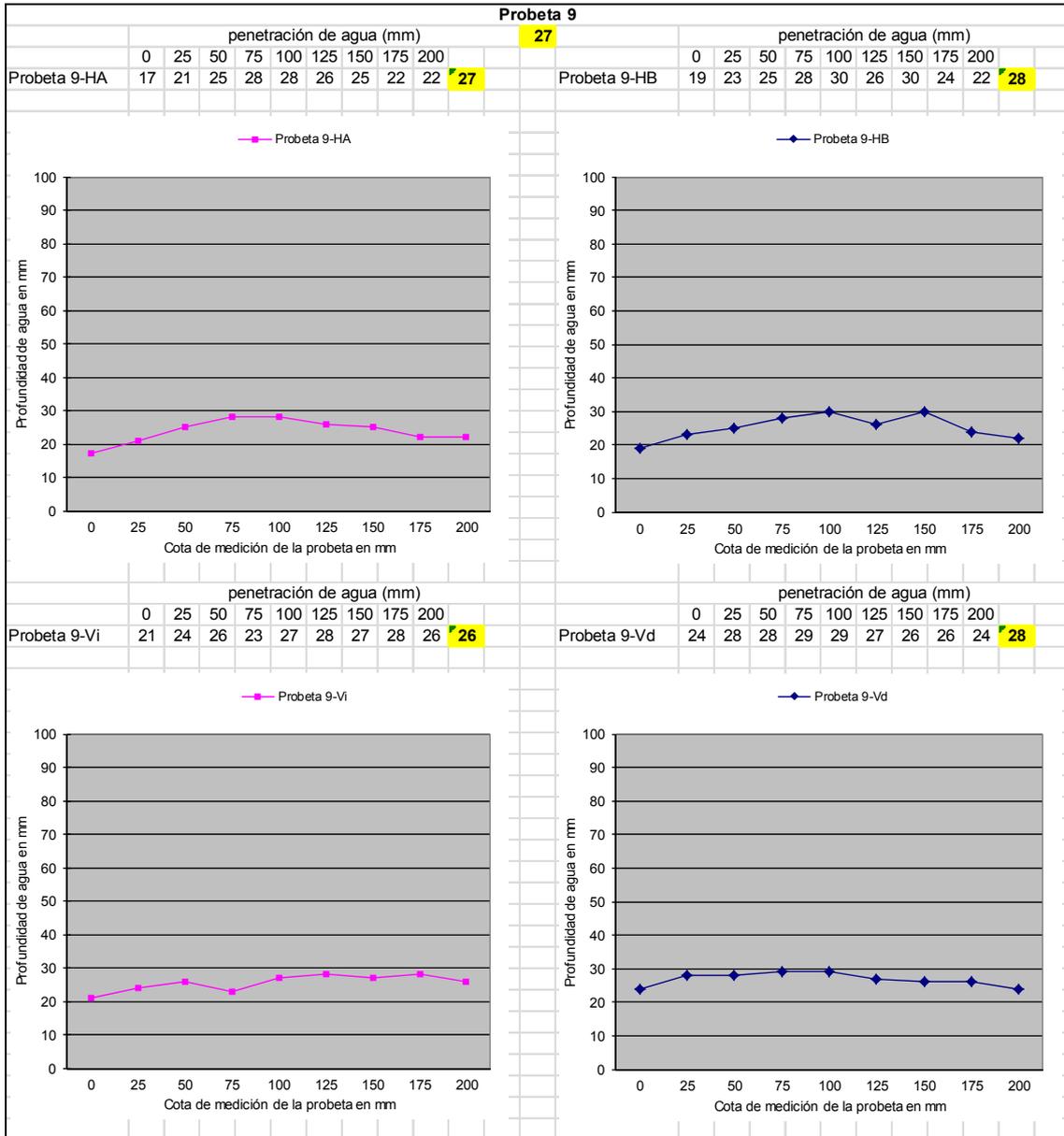


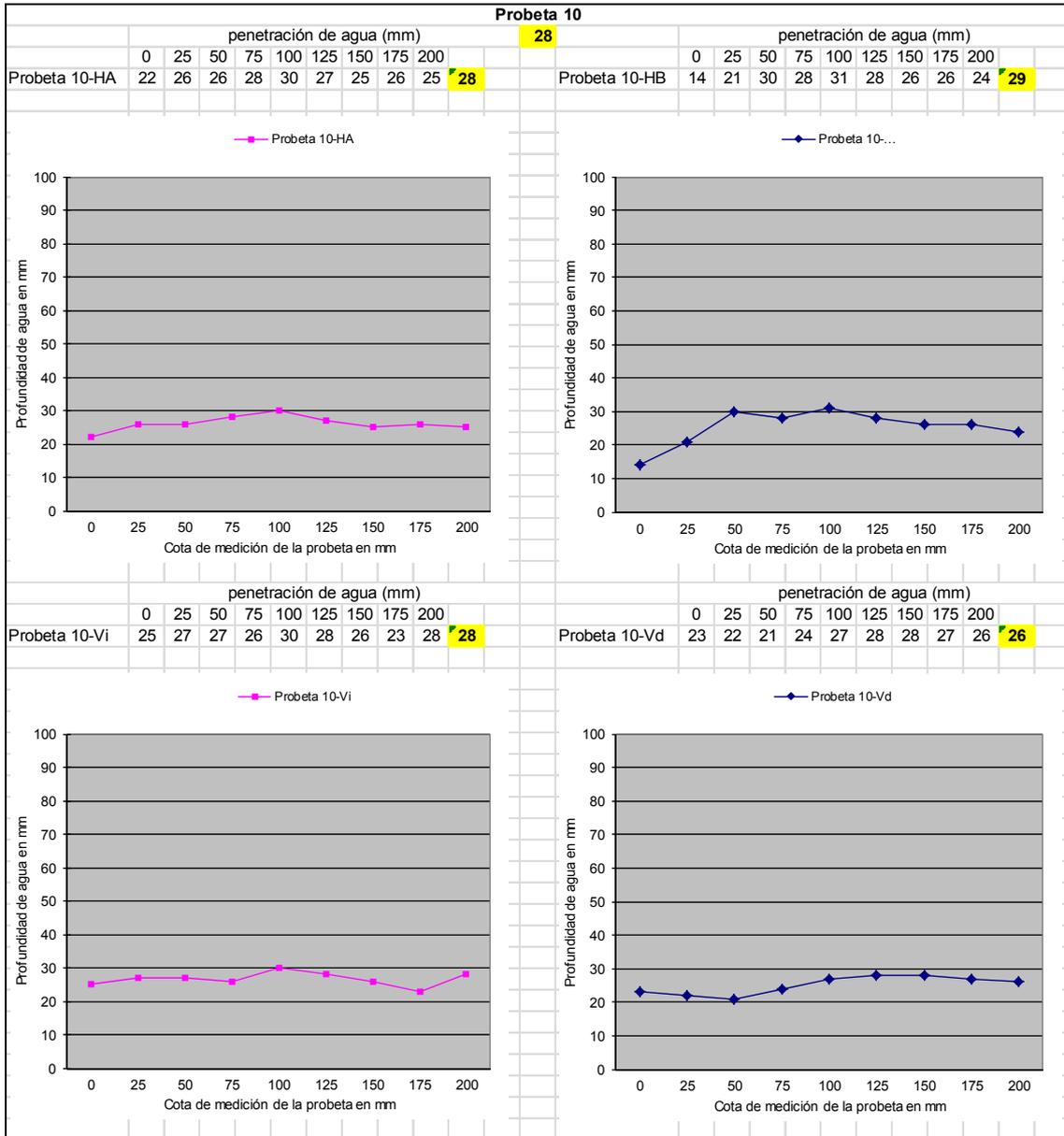


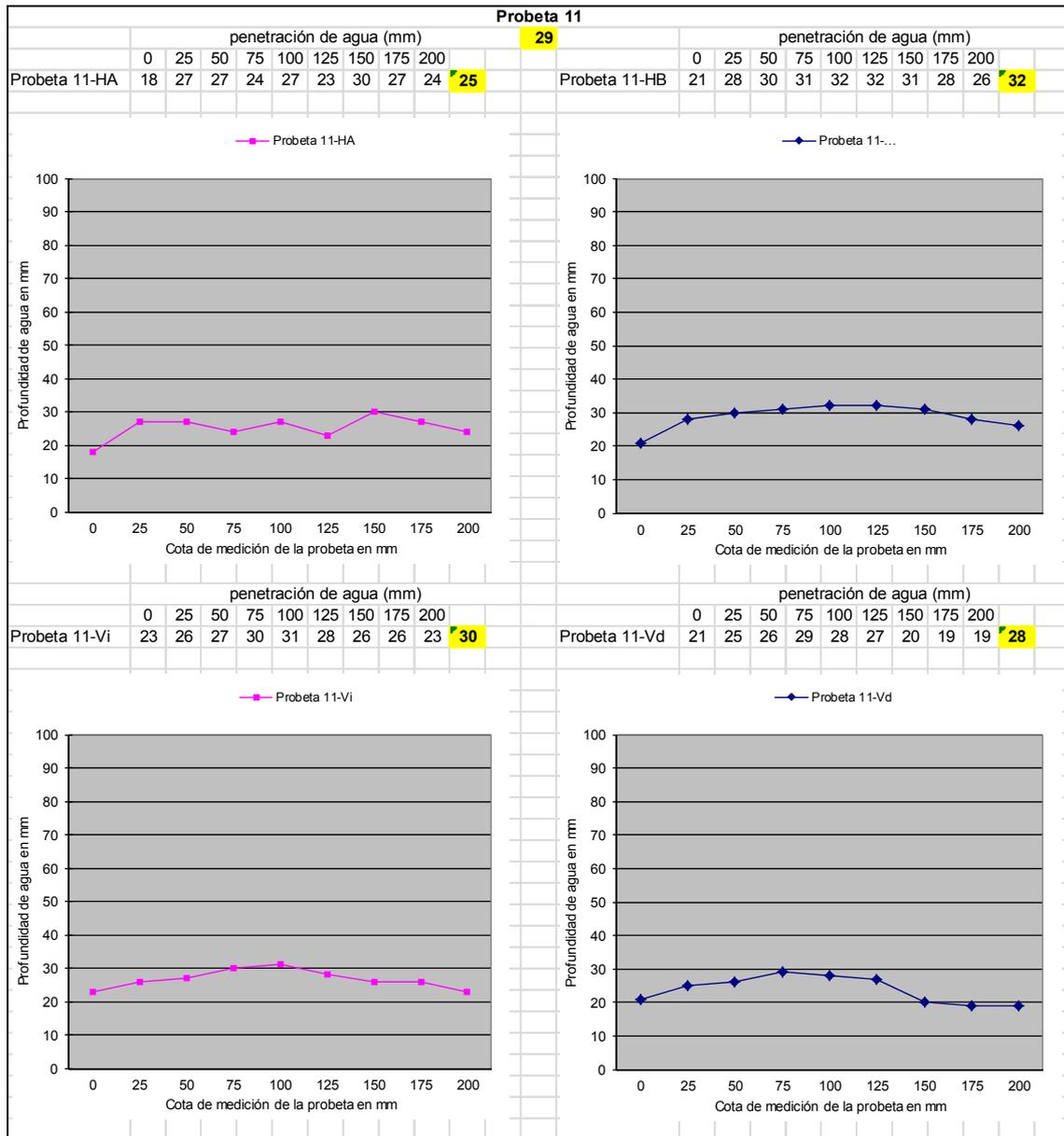


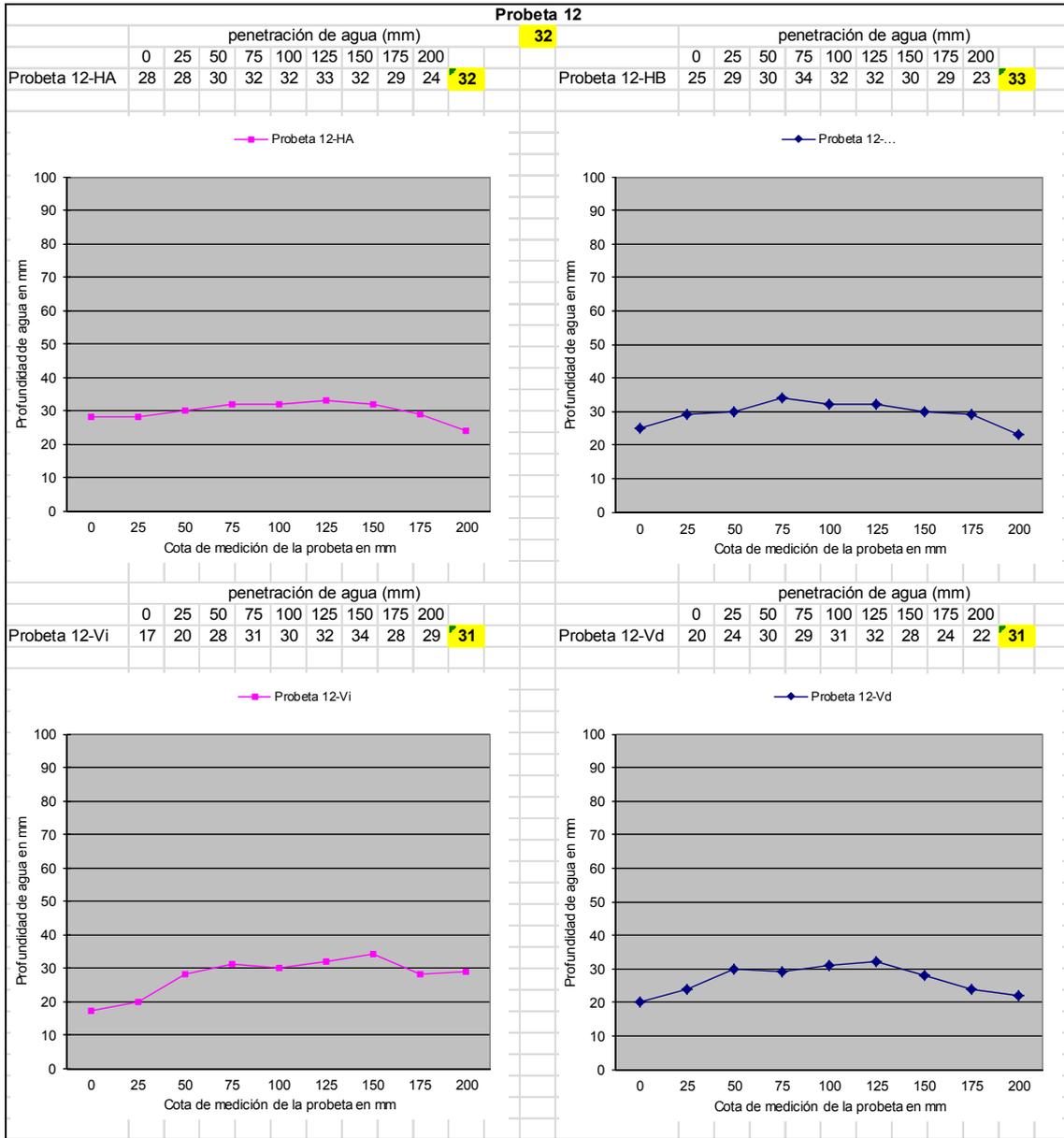


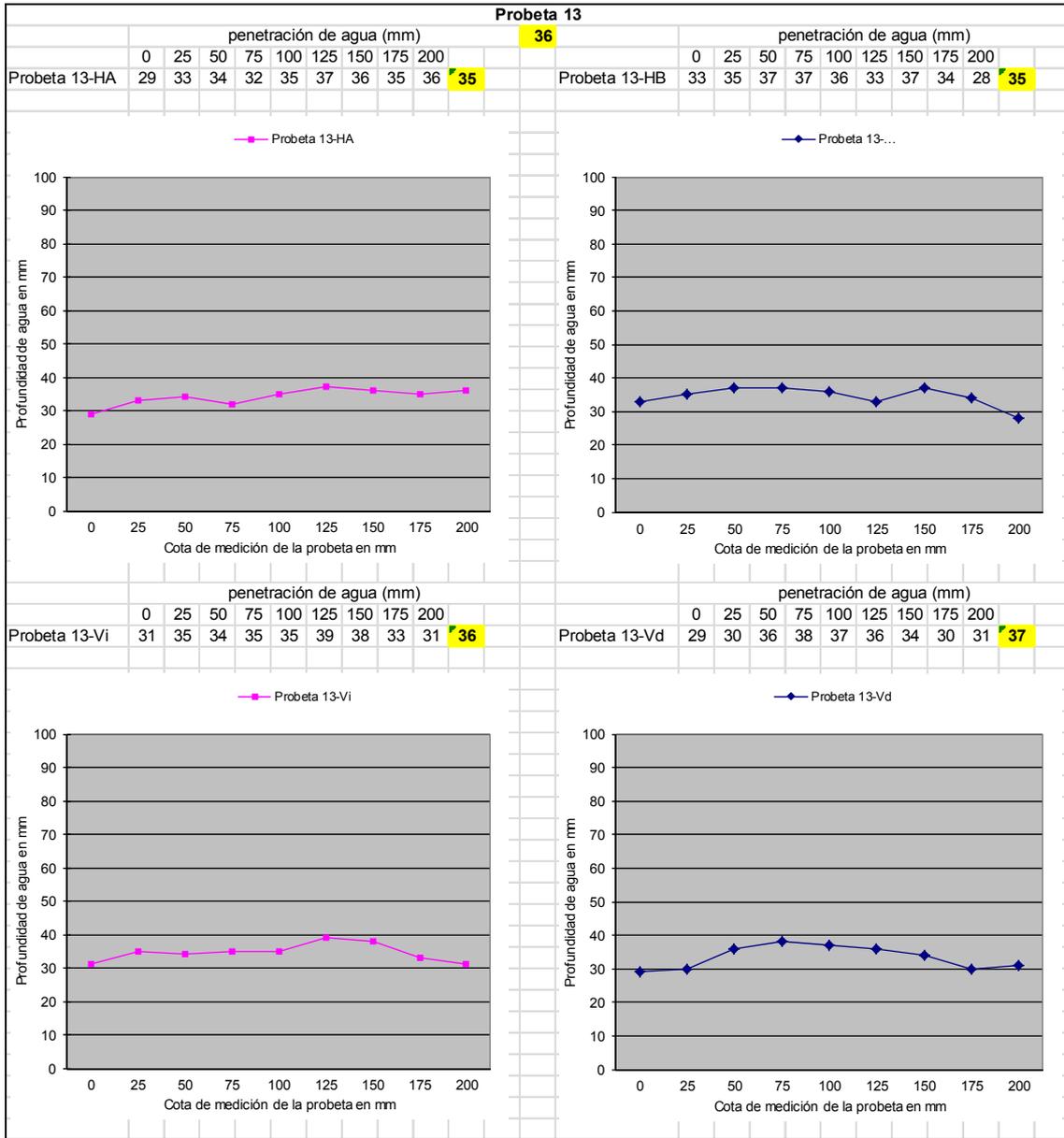


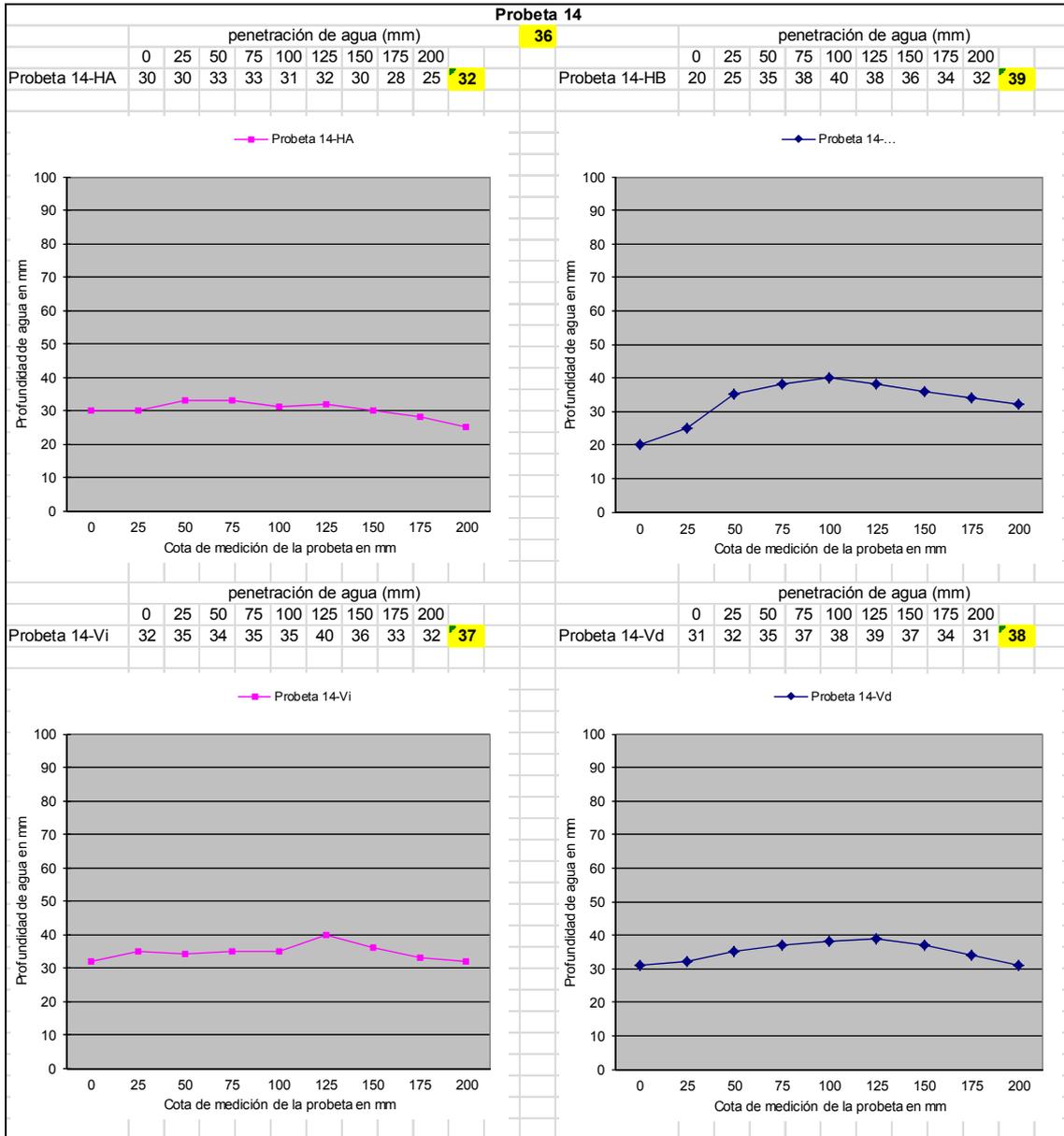


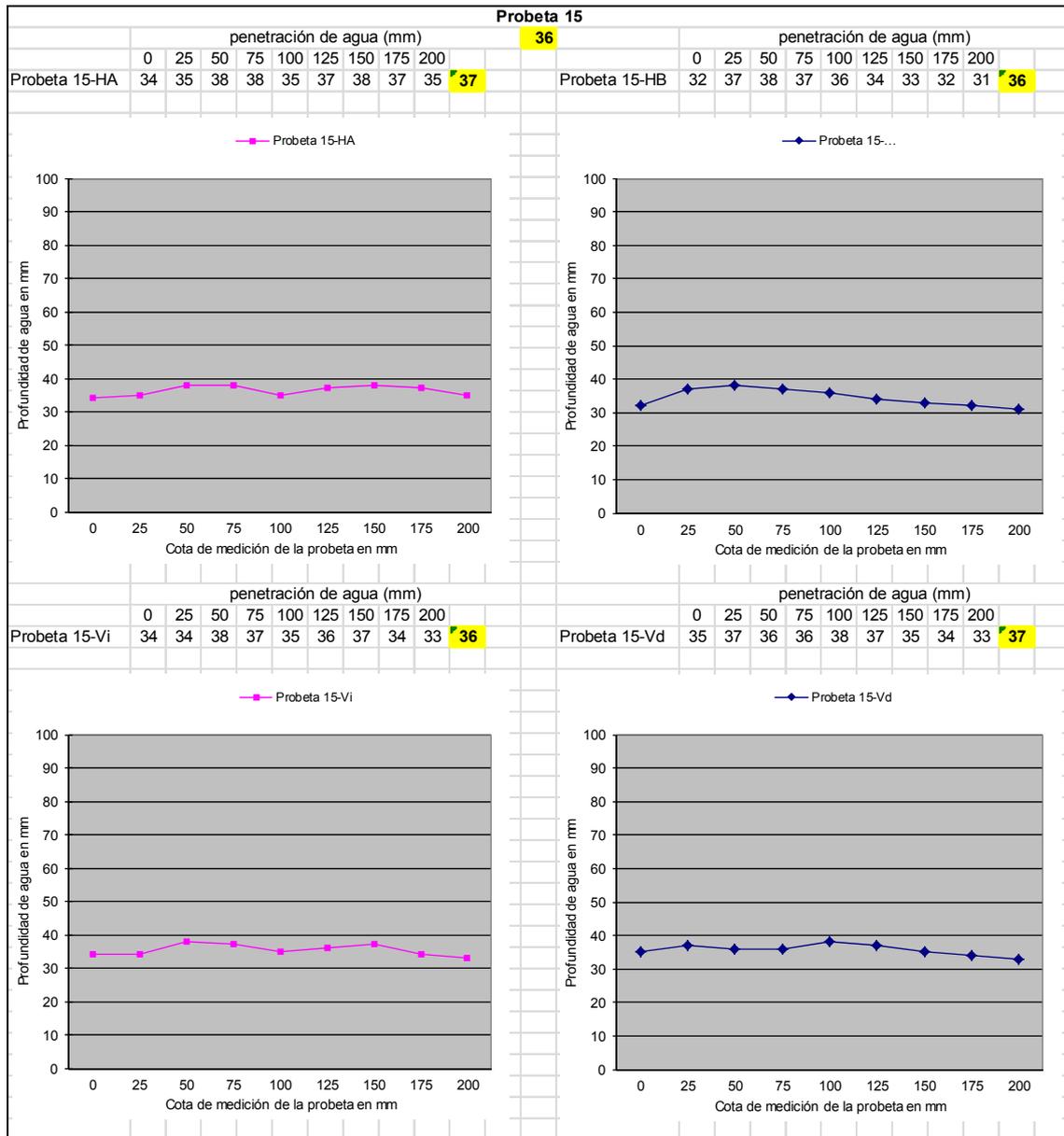


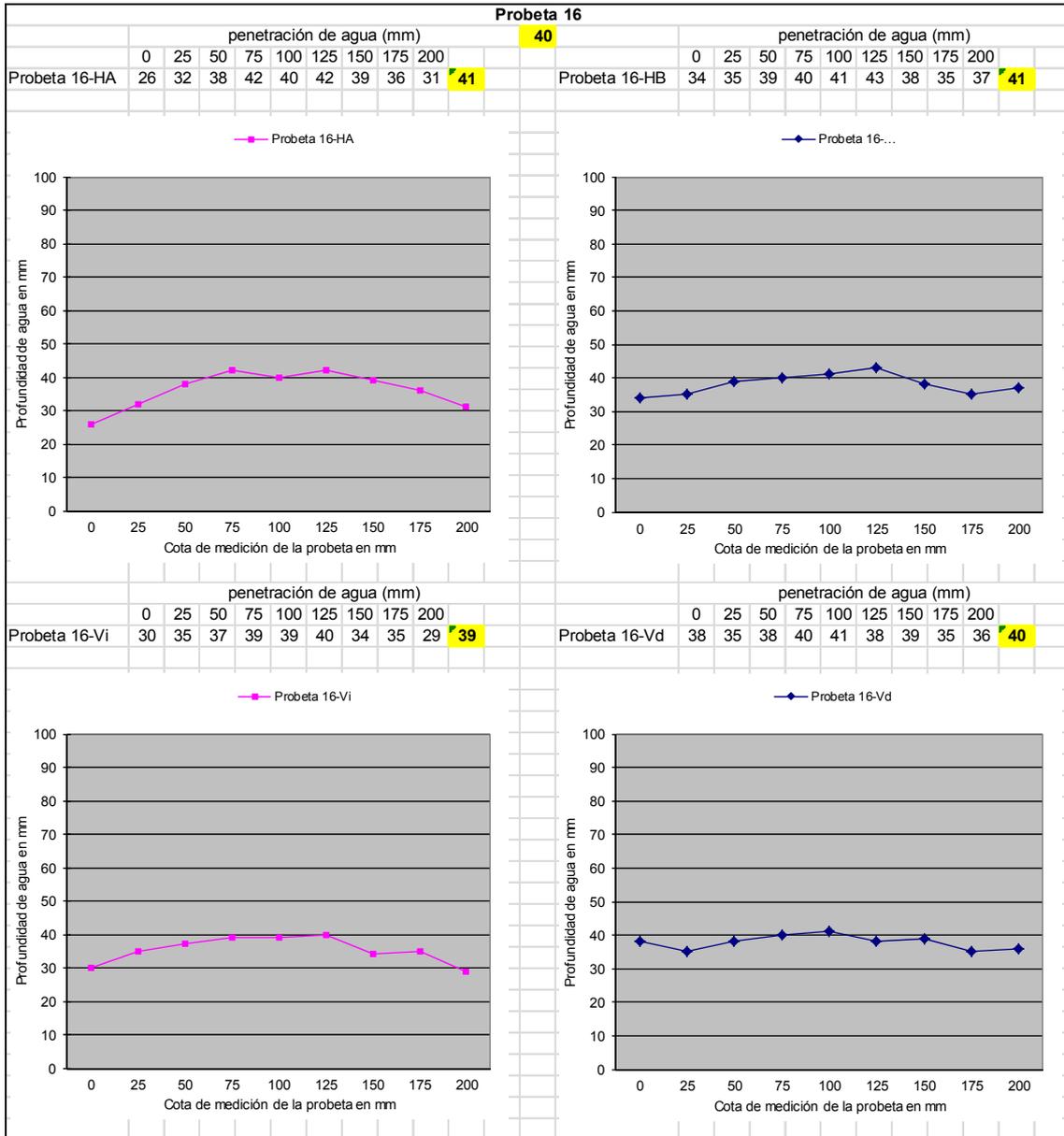


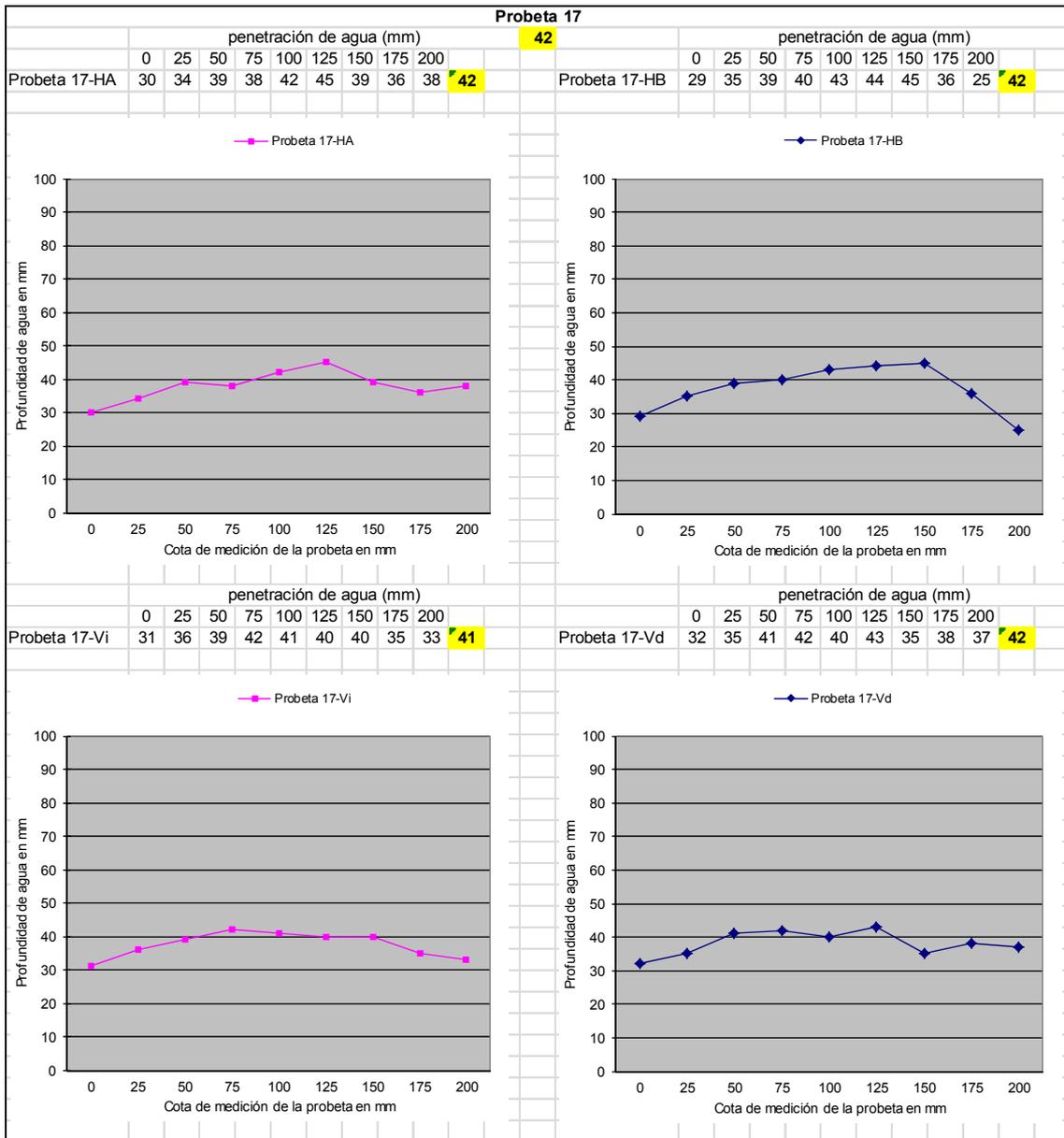


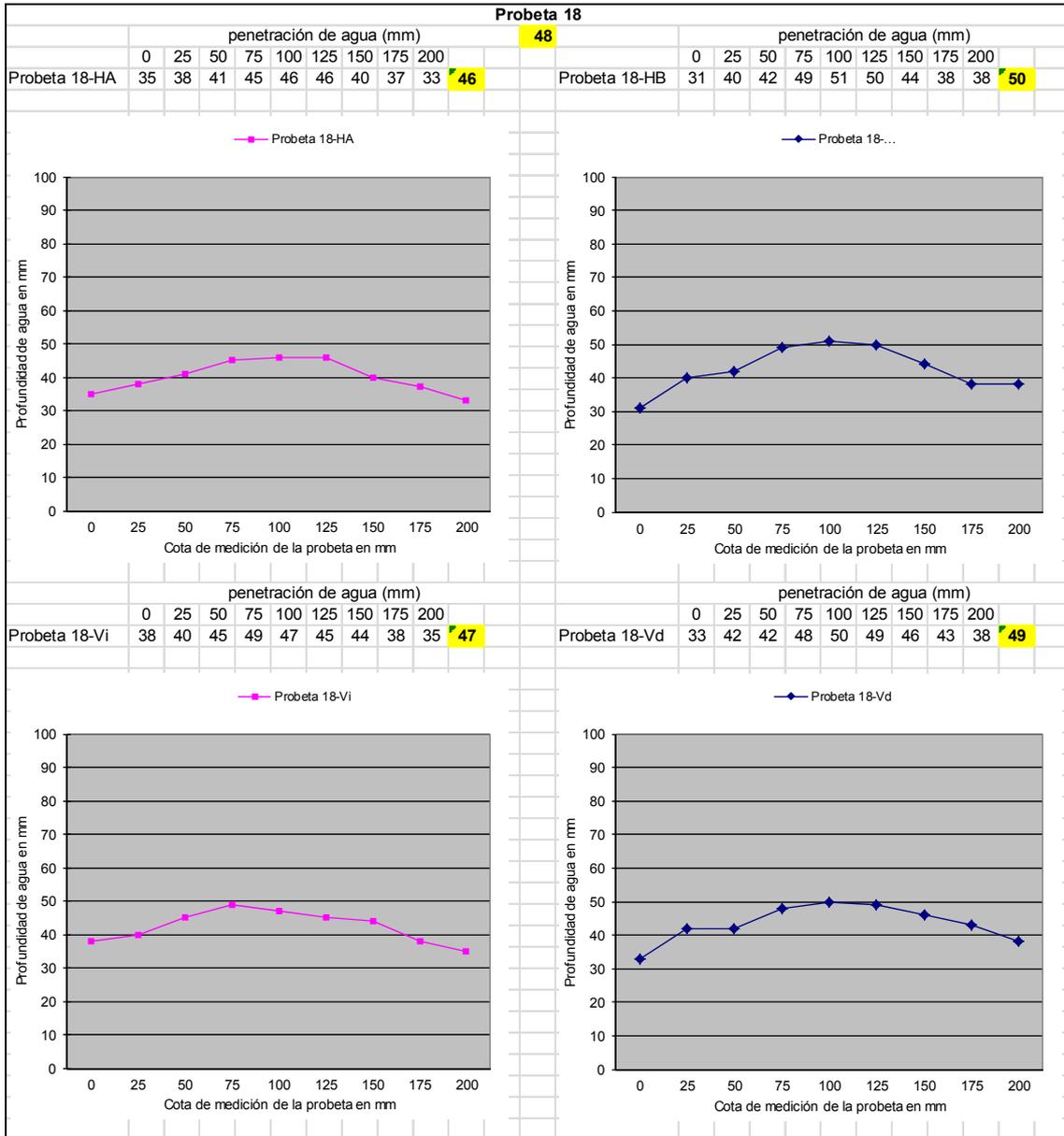


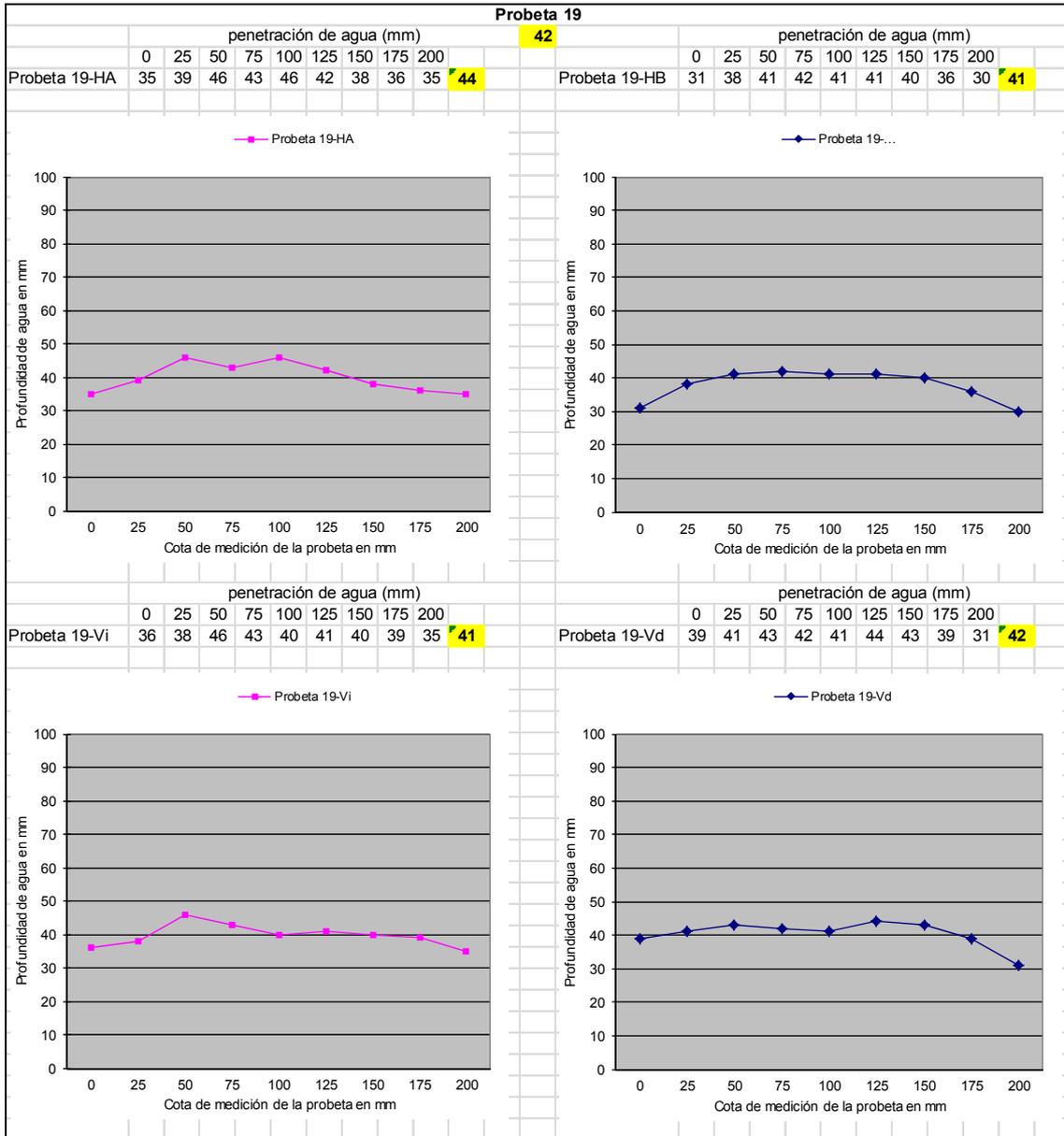


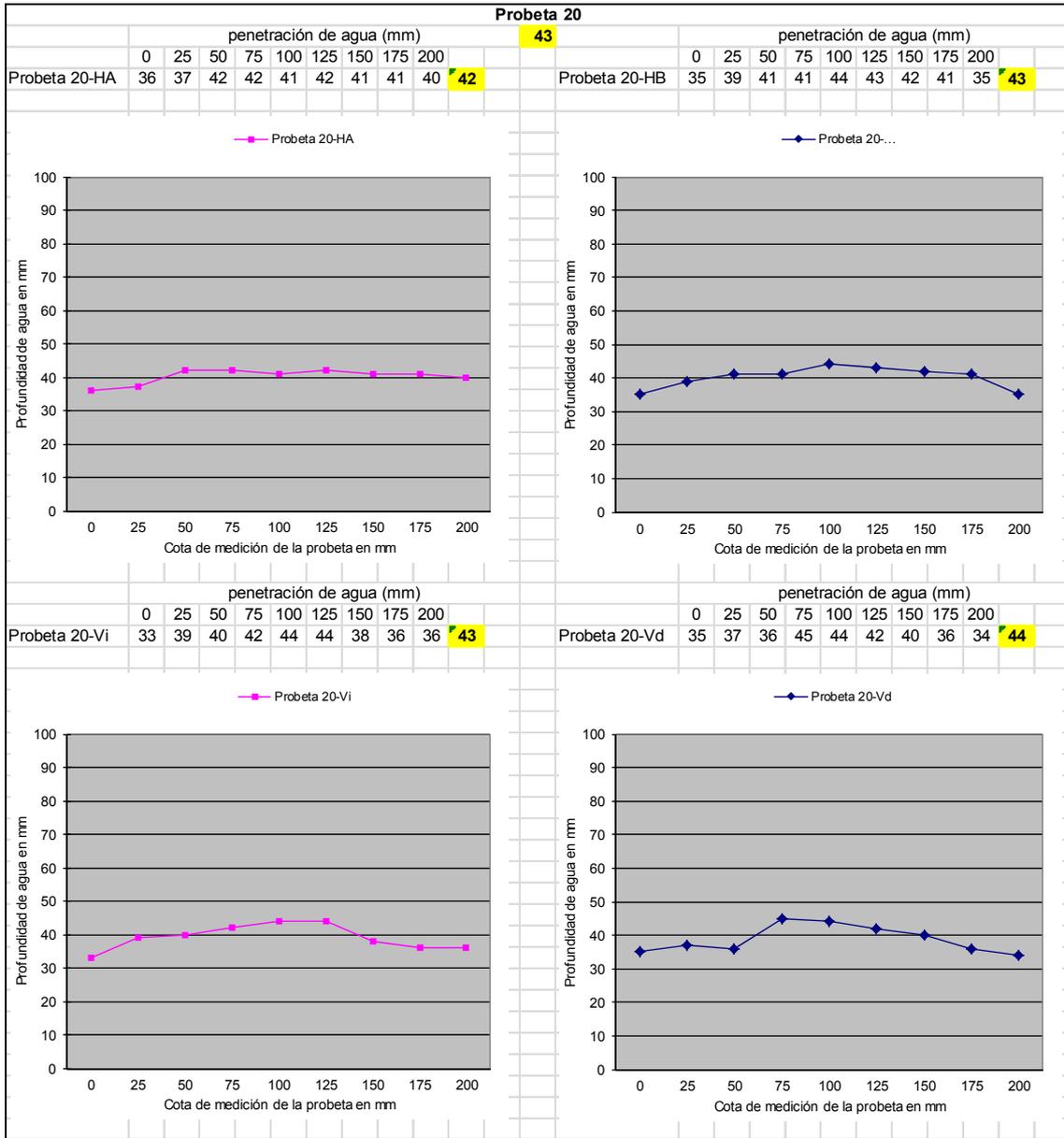


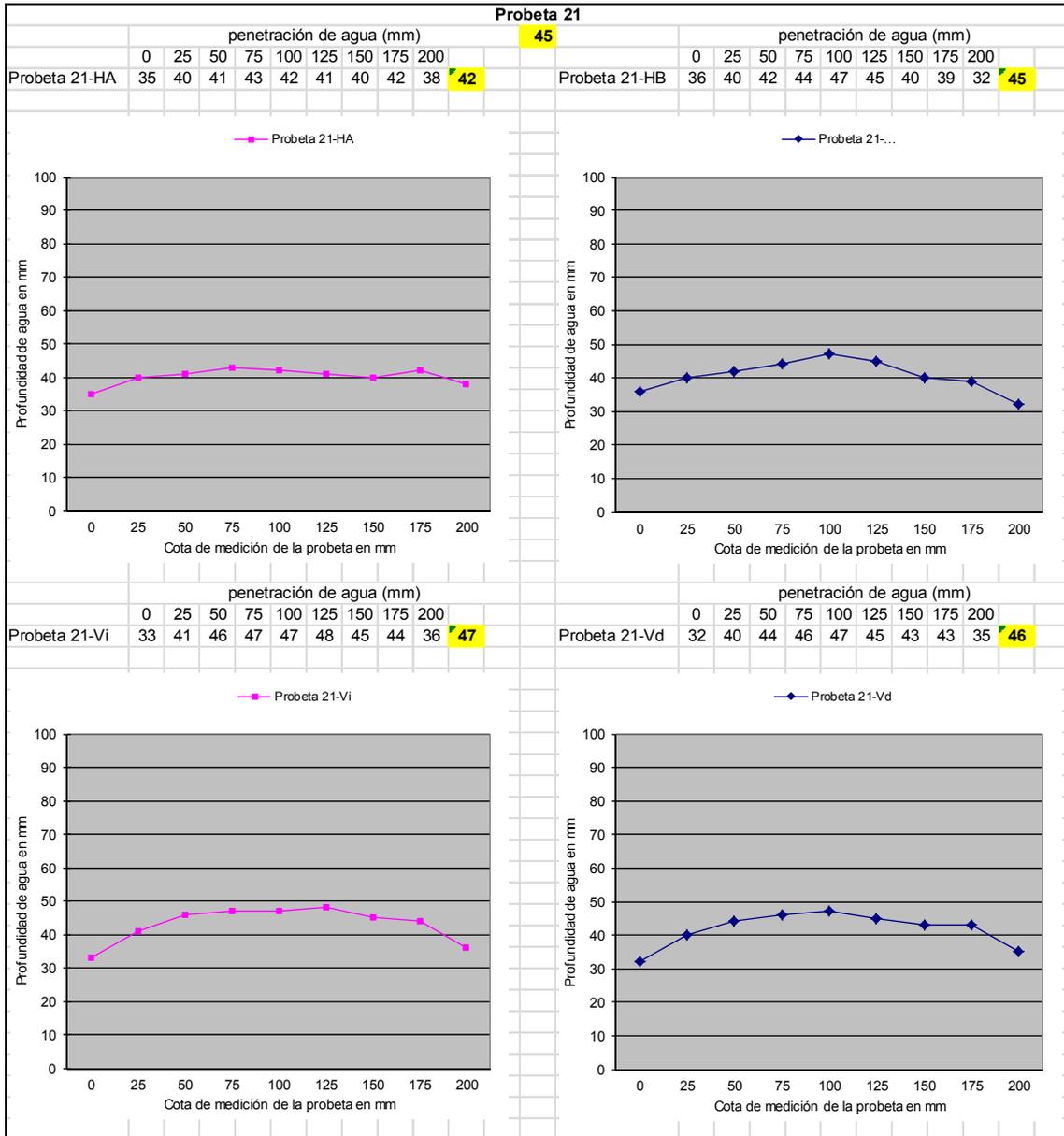


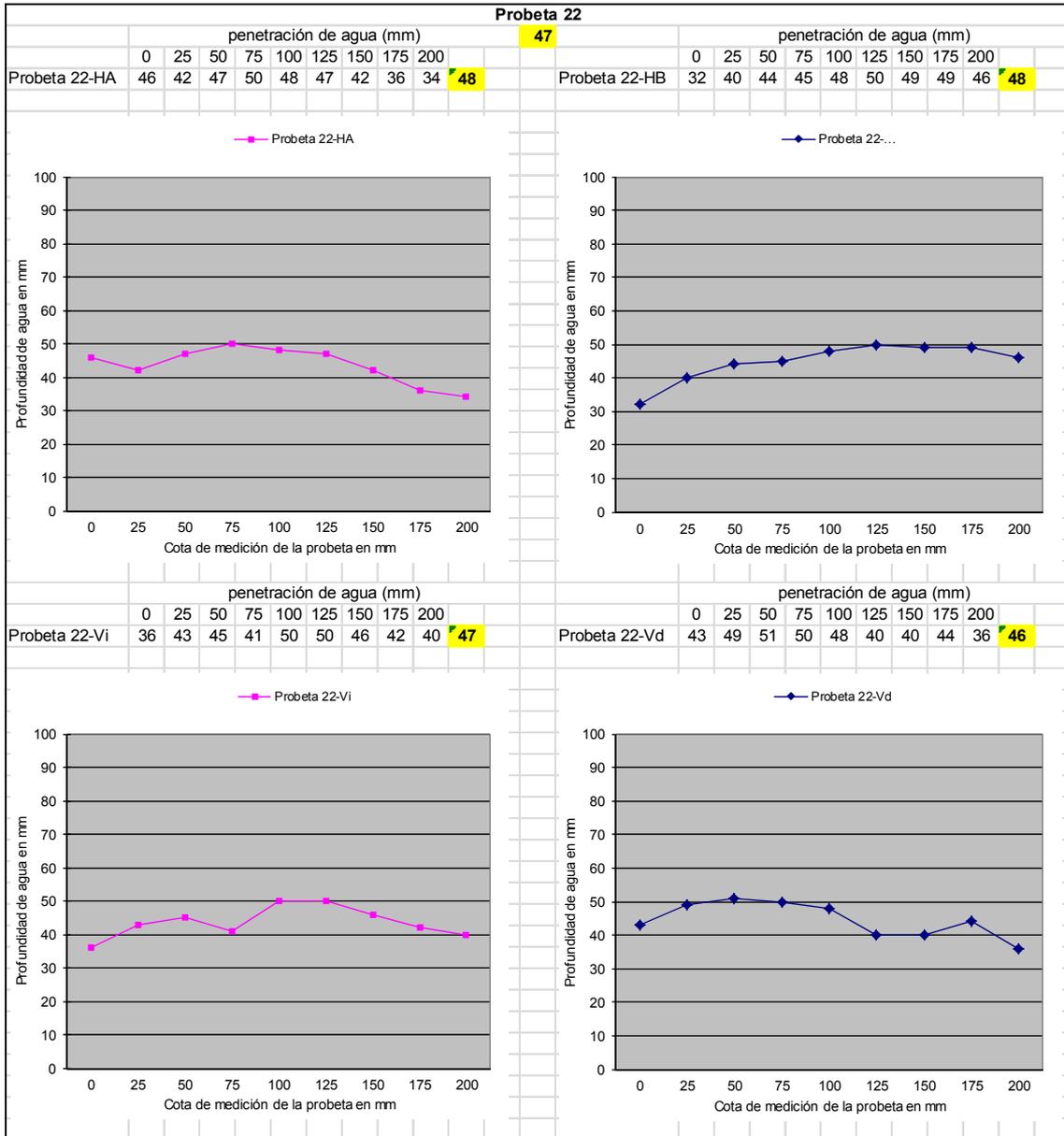


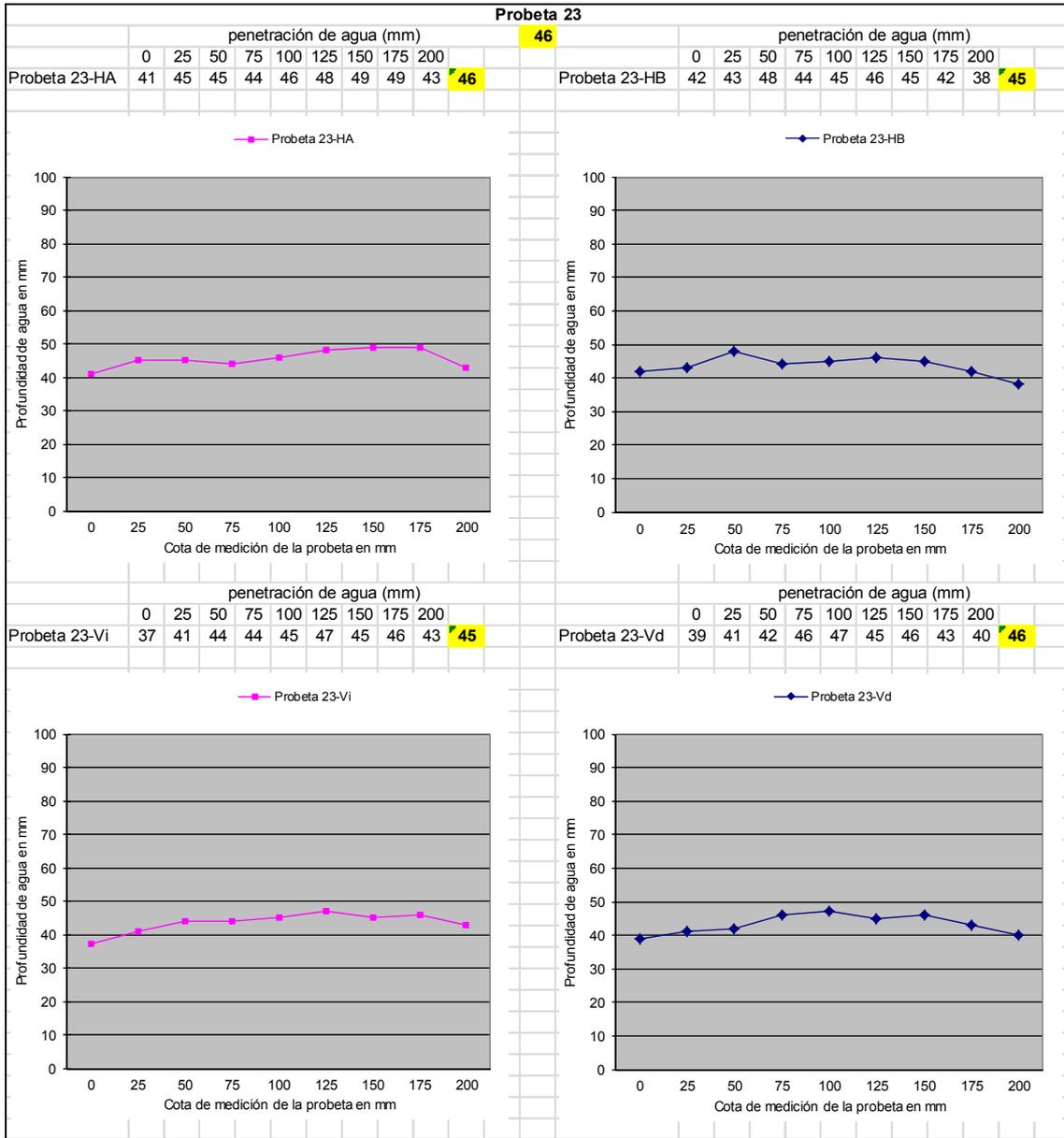


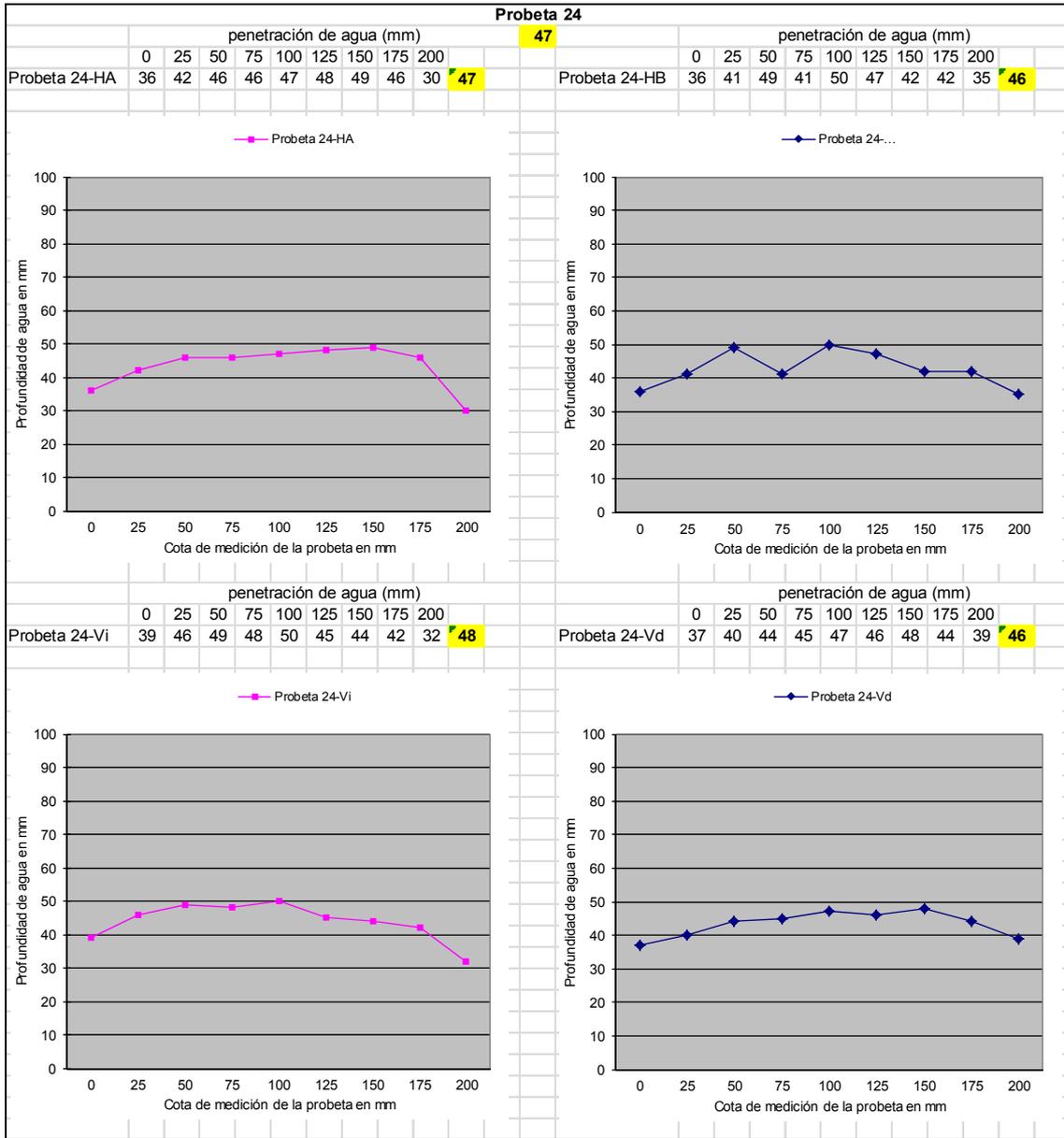












9.4. Anexo 4: Algoritmos de cálculo

9.4.1. Algoritmo de cálculo de los tiempos de propagación

```
Public Sub Calculo_tiempos()

j = 0
cont = 1
resul = 521

For j = 1 To 9

    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 260
        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

    Max_t = 0
    posmax_t = 0
    For i = posmin_t To 260
        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

    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
```

```
Min_t = 0
posmin_t = 0
For i = 260 To 333
  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 = 260 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 = 260 To posmax_t
  If Cells(i, cont + 9) < Min_t2 Then
    Min_t2 = Cells(i, cont + 9)
    posmin_t2 = i
  End If
Next i
posmin_time2 = posmin_t2 * dt
Cells(resul, 6) = posmin_time2

resul = resul + 1
cont = cont + 1

Next j

End Sub
```

9.4.2. 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

9.4.3. Algoritmo de cálculo de amplitudes

```
Public Sub Calculo_amplitudes()

j = 0
cont = 1
resul = 546

For j = 1 To 9

    dt = 7 / 512
    Min_t = 0
    posmin_t = 0

    For i = 2 To 260
        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 = 0
    posmax_t = 0
    For i = posmin_t To 260
        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, 3) = Cells(posmax_t2, cont + 9)

    Min_t = 0
    posmin_t = 0
    For i = 260 To 333
        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)

End Sub
```

```
    Max_t = 0
    posmax_t = 0

    For i = 260 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 = 260 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
```

9.4.4. 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
```

9.5. Anexo 5: Incrementos de velocidad de propagación de las ondas en cm/ns

9.5.1. Intervalo R1-D1

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,17	-0,26	-0,26	-0,34	-0,34	-0,34	-0,43	-0,43	-0,43
P2	-0,34	-0,43	-0,43	-0,52	-0,43	-0,51	-0,43	-0,43	-0,43
P3	-0,60	-0,51	-0,52	-0,59	-0,59	-0,59	-0,59	-0,50	-0,59
P4	-0,52	-0,60	-0,69	-0,60	-0,69	-0,69	-0,52	-0,52	-0,52
P5	-0,59	-0,68	-0,59	-0,67	-0,67	-0,50	-0,42	-0,51	-0,50
P6	-0,50	-0,58	-0,66	-0,58	-0,75	-0,66	-0,50	-0,51	-0,58
P7	-0,59	-0,43	-0,51	-0,50	-0,50	-0,59	-0,59	-0,34	-0,59
P8	-0,59	-0,52	-0,51	-0,59	-0,68	-0,68	-0,59	-0,43	-0,68
P9	-0,67	-0,34	-0,67	-0,67	-0,67	-0,75	-0,76	-0,76	-0,67
P10	-0,76	-0,53	-0,86	-0,76	-0,85	-0,85	-0,85	-0,93	-0,93
P11	-0,82	-0,82	-0,90	-0,66	-0,75	-0,82	-0,90	-0,90	-0,82
P12	-0,90	-0,99	-1,16	-1,07	-1,07	-1,08	-1,07	-1,07	-0,99
P13	-1,40	-1,30	-1,30	-1,16	-1,14	-1,14	-1,23	-1,21	-1,21
P14	-1,29	-1,38	-1,30	-1,23	-1,23	-1,14	-1,38	-1,38	-1,30
P15	-1,23	-1,32	-1,40	-1,25	-1,23	-1,32	-1,32	-1,23	-1,25
P16	-1,38	-1,47	-1,40	-1,47	-1,47	-1,47	-1,45	-1,40	-1,47
P17	-1,21	-1,29	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,38	-1,47
P18	-1,59	-1,36	-1,45	-1,64	-1,79	-1,66	-1,45	-1,38	-1,30
P19	-1,45	-1,36	-1,38	-1,68	-1,59	-1,50	-1,61	-1,45	-1,29
P20	-1,43	-1,38	-1,54	-1,52	-1,68	-1,52	-1,38	-1,38	-1,38
P21	-1,50	-1,34	-1,43	-1,57	-1,55	-1,64	-1,36	-1,36	-1,36
P22	-1,59	-1,25	-1,54	-1,79	-1,73	-1,52	-1,59	-1,38	-1,38
P23	-1,38	-1,23	-1,40	-1,59	-1,59	-1,66	-1,47	-1,30	-1,54
P24	-1,45	-1,30	-1,54	-1,59	-1,68	-1,75	-1,38	-1,40	-1,47

9.5.2. Intervalo R1-D2

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,36	-0,48	-0,48	-0,47	-0,46	-0,36	-0,59	-0,47	-0,47
P2	-0,59	-0,72	-0,71	-0,83	-0,71	-0,82	-0,71	-0,71	-0,71
P3	-0,71	-0,58	-0,59	-0,80	-0,69	-0,69	-0,69	-0,69	-0,80
P4	-0,71	-0,82	-0,83	-0,83	-0,94	-0,94	-0,72	-0,83	-0,83
P5	-0,82	-0,93	-0,69	-0,80	-1,03	-0,80	-0,69	-0,82	-0,69
P6	-0,80	-0,68	-0,90	-0,91	-1,03	-1,02	-0,80	-0,69	-0,91
P7	-0,93	-0,71	-0,82	-0,80	-0,80	-0,80	-0,93	-0,47	-0,93
P8	-0,80	-0,71	-0,69	-0,80	-0,93	-1,05	-0,93	-0,59	-1,05
P9	-0,93	-0,36	-0,91	-1,03	-1,03	-1,14	-1,03	-1,03	-1,03
P10	-1,05	-0,73	-1,18	-1,16	-1,29	-1,16	-1,16	-1,27	-1,27
P11	-1,12	-1,12	-1,23	-1,02	-1,02	-1,12	-1,23	-1,23	-1,25
P12	-1,35	-1,47	-1,57	-1,35	-1,57	-1,60	-1,57	-1,57	-1,47
P13	-1,80	-1,67	-1,77	-1,57	-1,55	-1,55	-1,80	-1,77	-1,65
P14	-1,77	-1,77	-1,77	-1,67	-1,67	-1,55	-1,87	-1,87	-1,77
P15	-1,80	-1,80	-1,80	-1,70	-1,80	-1,80	-1,80	-1,67	-1,70
P16	-1,90	-1,90	-1,90	-1,90	-2,13	-2,00	-1,87	-1,90	-2,00
P17	-1,65	-1,65	-1,77	-1,87	-2,00	-1,87	-1,87	-1,77	-2,00
P18	-2,19	-1,96	-1,96	-2,33	-2,33	-2,24	-1,96	-1,87	-1,77
P19	-1,96	-1,87	-1,87	-2,19	-2,06	-2,06	-2,19	-1,96	-1,87
P20	-1,96	-2,00	-2,09	-2,06	-2,28	-2,19	-1,87	-1,87	-1,90
P21	-2,15	-1,93	-1,96	-2,24	-2,21	-2,24	-1,84	-1,84	-1,84
P22	-2,19	-1,70	-2,09	-2,33	-2,46	-2,06	-2,15	-1,77	-1,87
P23	-1,77	-1,80	-1,90	-2,28	-2,28	-2,28	-2,00	-1,80	-2,00
P24	-2,00	-1,90	-2,00	-2,19	-2,28	-2,37	-2,00	-1,90	-2,00

9.5.3. Intervalo R1-D3

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,36	-0,54	-0,54	-0,71	-0,70	-0,71	-0,71	-0,71	-0,88
P2	-0,73	-1,09	-0,88	-1,26	-1,05	-1,21	-0,88	-0,88	-0,88
P3	-1,07	-0,88	-1,09	-1,05	-1,05	-1,05	-1,05	-1,21	-1,21
P4	-1,26	-1,07	-1,26	-1,23	-1,40	-1,40	-1,07	-1,07	-1,26
P5	-1,23	-1,23	-1,05	-1,21	-1,53	-1,21	-0,88	-1,05	-1,03
P6	-1,03	-1,19	-1,34	-1,19	-1,53	-1,34	-1,03	-1,03	-1,19
P7	-1,40	-1,07	-1,05	-1,03	-1,03	-1,21	-1,21	-0,88	-1,21
P8	-1,21	-1,07	-1,05	-1,21	-1,40	-1,40	-1,21	-1,07	-1,40
P9	-1,37	-0,71	-1,56	-1,53	-1,37	-1,71	-1,56	-1,53	-1,37
P10	-1,75	-1,11	-1,78	-1,75	-1,78	-1,75	-1,75	-1,91	-1,91
P11	-1,68	-1,68	-1,68	-1,53	-1,53	-1,68	-1,83	-1,83	-1,68
P12	-2,02	-2,21	-2,36	-2,02	-2,36	-2,21	-2,36	-2,36	-2,21
P13	-2,84	-2,51	-2,65	-2,36	-2,31	-2,17	-2,70	-2,46	-2,46
P14	-2,65	-2,65	-2,65	-2,65	-2,65	-2,46	-2,79	-2,79	-2,65
P15	-2,55	-2,70	-2,70	-2,55	-2,51	-2,70	-2,70	-2,51	-2,51
P16	-2,98	-2,84	-2,84	-2,84	-2,98	-2,84	-2,79	-2,84	-2,98
P17	-2,46	-2,60	-2,84	-2,79	-2,79	-2,98	-2,79	-2,65	-2,84
P18	-3,26	-2,74	-3,12	-3,27	-3,58	-3,14	-2,93	-2,79	-2,65
P19	-2,93	-2,79	-2,93	-3,26	-3,01	-3,20	-3,26	-2,93	-2,79
P20	-2,87	-2,79	-3,12	-3,06	-3,39	-3,06	-2,79	-2,65	-2,98
P21	-3,01	-2,68	-2,87	-3,14	-3,27	-3,33	-2,74	-2,74	-2,74
P22	-3,20	-2,55	-3,12	-3,58	-3,52	-3,06	-3,20	-2,79	-2,79
P23	-2,65	-2,51	-2,84	-3,26	-3,39	-3,33	-2,98	-2,65	-3,12
P24	-2,79	-2,65	-2,93	-3,20	-3,33	-3,33	-2,84	-2,70	-3,12

9.5.4. Intervalo R2-D1

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,14	-0,22	-0,22	-0,21	-0,29	-0,21	-0,21	-0,29	-0,21
P2	-0,35	-0,36	-0,35	-0,35	-0,36	-0,29	-0,28	-0,35	-0,35
P3	-0,42	-0,42	-0,42	-0,49	-0,50	-0,49	-0,48	-0,42	-0,49
P4	-0,42	-0,56	-0,64	-0,56	-0,57	-0,57	-0,50	-0,42	-0,50
P5	-0,55	-0,63	-0,56	-0,62	-0,56	-0,55	-0,48	-0,56	-0,55
P6	-0,48	-0,61	-0,61	-0,61	-0,61	-0,61	-0,41	-0,56	-0,55
P7	-0,48	-0,49	-0,56	-0,55	-0,48	-0,62	-0,62	-0,48	-0,48
P8	-0,56	-0,49	-0,56	-0,62	-0,56	-0,62	-0,55	-0,56	-0,56
P9	-0,61	-0,69	-0,69	-0,69	-0,62	-0,76	-0,62	-0,62	-0,62
P10	-0,76	-0,78	-0,70	-0,76	-0,77	-0,77	-0,77	-0,84	-0,84
P11	-0,75	-0,75	-0,75	-0,68	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75
P12	-0,75	-0,83	-0,96	-0,95	-0,95	-0,89	-0,74	-0,89	-0,89
P13	-1,15	-1,09	-1,15	-0,89	-1,09	-1,01	-1,07	-1,07	-1,07
P14	-1,13	-1,21	-1,15	-1,01	-1,09	-1,03	-1,13	-1,21	-1,15
P15	-1,01	-1,22	-1,22	-1,03	-1,03	-1,09	-1,15	-1,15	-1,09
P16	-1,19	-1,34	-1,28	-1,27	-1,28	-1,28	-1,40	-1,40	-1,34
P17	-1,13	-1,19	-1,25	-1,21	-1,21	-1,21	-1,27	-1,27	-1,27
P18	-1,43	-1,44	-1,44	-1,37	-1,50	-1,44	-1,37	-1,44	-1,39
P19	-1,33	-1,31	-1,39	-1,33	-1,39	-1,25	-1,39	-1,39	-1,25
P20	-1,31	-1,33	-1,46	-1,25	-1,40	-1,33	-1,39	-1,39	-1,39
P21	-1,35	-1,30	-1,43	-1,24	-1,35	-1,35	-1,31	-1,37	-1,37
P22	-1,43	-1,52	-1,44	-1,56	-1,43	-1,21	-1,56	-1,44	-1,33
P23	-1,33	-1,27	-1,34	-1,46	-1,33	-1,39	-1,39	-1,33	-1,39
P24	-1,44	-1,39	-1,44	-1,39	-1,46	-1,52	-1,39	-1,33	-1,39

9.5.5. Intervalo R2-D2

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,29	-0,38	-0,38	-0,28	-0,38	-0,19	-0,29	-0,29	-0,19
P2	-0,57	-0,58	-0,57	-0,57	-0,58	-0,48	-0,47	-0,57	-0,57
P3	-0,47	-0,47	-0,47	-0,65	-0,57	-0,56	-0,55	-0,56	-0,65
P4	-0,56	-0,75	-0,76	-0,76	-0,76	-0,76	-0,66	-0,66	-0,76
P5	-0,74	-0,84	-0,65	-0,74	-0,84	-0,82	-0,74	-0,84	-0,74
P6	-0,73	-0,73	-0,81	-0,91	-0,82	-0,91	-0,64	-0,74	-0,82
P7	-0,74	-0,75	-0,84	-0,82	-0,74	-0,82	-0,92	-0,65	-0,74
P8	-0,74	-0,65	-0,74	-0,82	-0,74	-0,92	-0,82	-0,75	-0,84
P9	-0,82	-0,82	-0,91	-1,01	-0,92	-1,11	-0,82	-0,82	-0,92
P10	-1,02	-1,04	-0,94	-1,11	-1,12	-1,02	-1,02	-1,11	-1,11
P11	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	-1,09
P12	-1,09	-1,19	-1,27	-1,17	-1,36	-1,27	-1,08	-1,27	-1,27
P13	-1,44	-1,36	-1,52	-1,17	-1,44	-1,34	-1,52	-1,52	-1,42
P14	-1,52	-1,52	-1,52	-1,34	-1,44	-1,36	-1,50	-1,60	-1,52
P15	-1,44	-1,62	-1,54	-1,36	-1,46	-1,44	-1,52	-1,52	-1,44
P16	-1,60	-1,70	-1,70	-1,60	-1,80	-1,70	-1,77	-1,85	-1,77
P17	-1,50	-1,50	-1,57	-1,60	-1,70	-1,60	-1,67	-1,60	-1,67
P18	-1,90	-2,00	-1,90	-1,90	-1,90	-1,90	-1,80	-1,90	-1,82
P19	-1,75	-1,75	-1,82	-1,67	-1,75	-1,67	-1,82	-1,82	-1,75
P20	-1,75	-1,85	-1,93	-1,65	-1,85	-1,85	-1,82	-1,82	-1,85
P21	-1,87	-1,80	-1,90	-1,72	-1,87	-1,80	-1,72	-1,80	-1,80
P22	-1,90	-2,00	-1,90	-1,97	-1,97	-1,60	-2,05	-1,82	-1,75
P23	-1,67	-1,77	-1,77	-2,03	-1,85	-1,85	-1,82	-1,77	-1,75
P24	-1,93	-1,93	-1,82	-1,85	-1,93	-2,00	-1,93	-1,75	-1,82

9.5.6. Intervalo R2-D3

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,27	-0,41	-0,41	-0,41	-0,55	-0,41	-0,27	-0,41	-0,41
P2	-0,69	-0,84	-0,68	-0,82	-0,82	-0,68	-0,54	-0,68	-0,68
P3	-0,68	-0,68	-0,82	-0,81	-0,82	-0,81	-0,79	-0,93	-0,93
P4	-0,95	-0,95	-1,10	-1,08	-1,08	-1,08	-0,93	-0,81	-1,10
P5	-1,06	-1,08	-0,93	-1,06	-1,18	-1,18	-0,93	-1,06	-1,04
P6	-0,90	-1,16	-1,16	-1,16	-1,16	-1,16	-0,78	-1,04	-1,04
P7	-1,06	-1,08	-1,06	-1,04	-0,92	-1,18	-1,18	-1,06	-0,92
P8	-1,06	-0,93	-1,06	-1,18	-1,06	-1,18	-1,04	-1,20	-1,06
P9	-1,16	-1,30	-1,45	-1,42	-1,18	-1,59	-1,18	-1,16	-1,18
P10	-1,59	-1,50	-1,35	-1,59	-1,50	-1,47	-1,47	-1,59	-1,59
P11	-1,42	-1,42	-1,30	-1,42	-1,42	-1,42	-1,42	-1,42	-1,42
P12	-1,56	-1,71	-1,83	-1,68	-1,94	-1,68	-1,54	-1,83	-1,83
P13	-2,17	-1,94	-2,17	-1,68	-2,05	-1,80	-2,17	-2,02	-2,02
P14	-2,17	-2,17	-2,17	-2,02	-2,17	-2,05	-2,13	-2,28	-2,17
P15	-1,94	-2,31	-2,20	-1,94	-1,94	-2,05	-2,17	-2,17	-2,02
P16	-2,38	-2,42	-2,42	-2,28	-2,42	-2,31	-2,53	-2,64	-2,53
P17	-2,13	-2,24	-2,38	-2,28	-2,28	-2,42	-2,38	-2,28	-2,28
P18	-2,70	-2,70	-2,84	-2,55	-2,80	-2,55	-2,55	-2,70	-2,59
P19	-2,49	-2,49	-2,70	-2,38	-2,45	-2,49	-2,59	-2,59	-2,49
P20	-2,45	-2,49	-2,74	-2,34	-2,64	-2,49	-2,59	-2,49	-2,74
P21	-2,51	-2,41	-2,65	-2,30	-2,65	-2,55	-2,45	-2,55	-2,55
P22	-2,65	-2,84	-2,70	-2,90	-2,70	-2,28	-2,90	-2,70	-2,49
P23	-2,38	-2,38	-2,53	-2,79	-2,64	-2,59	-2,59	-2,49	-2,59
P24	-2,59	-2,59	-2,55	-2,59	-2,70	-2,70	-2,64	-2,38	-2,70

9.5.7. Intervalo R3-D1

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,06	-0,17	-0,06	-0,12	-0,18	-0,12	0,06	-0,12	-0,06
P2	-0,34	-0,46	-0,22	-0,23	-0,30	-0,29	-0,17	-0,29	-0,11
P3	-0,33	-0,34	-0,28	-0,40	-0,47	-0,40	-0,27	-0,34	-0,33
P4	-0,45	-0,52	-0,45	-0,40	-0,53	-0,47	-0,28	-0,51	-0,34
P5	-0,33	-0,63	-0,44	-0,51	-0,51	-0,45	-0,27	-0,51	-0,33
P6	-0,32	-0,56	-0,43	-0,56	-0,56	-0,50	-0,27	-0,44	-0,38
P7	-0,33	-0,40	-0,39	-0,50	-0,45	-0,62	-0,56	-0,16	-0,50
P8	-0,39	-0,46	-0,51	-0,56	-0,63	-0,56	-0,27	-0,51	-0,39
P9	-0,55	-0,74	-0,61	-0,56	-0,63	-0,61	-0,43	-0,50	-0,50
P10	-0,50	-0,70	-0,56	-0,62	-0,69	-0,63	-0,61	-0,80	-0,62
P11	-0,49	-0,67	-0,54	-0,56	-0,74	-0,73	-0,43	-0,78	-0,72
P12	-0,72	-0,74	-0,61	-0,78	-0,79	-0,73	-0,38	-0,67	-0,55
P13	-0,80	-0,93	-0,70	-0,78	-0,90	-0,83	-0,70	-0,98	-0,80
P14	-0,80	-0,98	-0,76	-0,83	-0,90	-0,84	-0,91	-1,10	-0,75
P15	-0,98	-1,13	-1,04	-0,89	-0,85	-0,89	-0,86	-0,99	-0,81
P16	-1,05	-1,15	-0,92	-1,04	-1,11	-1,05	-1,01	-1,26	-0,96
P17	-1,03	-1,14	-1,07	-0,93	-1,00	-0,94	-0,90	-1,09	-0,97
P18	-1,16	-1,40	-1,28	-1,08	-1,25	-1,14	-0,94	-1,17	-1,00
P19	-1,13	-1,23	-1,05	-1,09	-1,26	-1,03	-0,90	-1,31	-1,07
P20	-1,00	-1,19	-1,11	-1,03	-1,16	-1,09	-1,05	-1,25	-1,00
P21	-0,97	-1,16	-0,93	-1,02	-1,19	-1,13	-0,94	-1,22	-1,10
P22	-1,09	-1,25	-1,07	-1,22	-1,30	-0,94	-1,24	-1,34	-1,07
P23	-1,13	-1,09	-1,10	-1,14	-1,21	-1,14	-1,23	-1,20	-1,00
P24	-1,27	-1,23	-1,11	-1,14	-1,21	-1,20	-1,05	-1,20	-1,01

9.5.8. Intervalo R3-D2

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,15	-0,30	-0,15	-0,15	-0,23	-0,08	0,07	-0,08	0,00
P2	-0,52	-0,67	-0,36	-0,38	-0,46	-0,45	-0,29	-0,44	-0,22
P3	-0,36	-0,37	-0,29	-0,52	-0,53	-0,44	-0,28	-0,44	-0,42
P4	-0,58	-0,67	-0,52	-0,52	-0,68	-0,60	-0,36	-0,74	-0,51
P5	-0,43	-0,81	-0,50	-0,59	-0,74	-0,65	-0,42	-0,73	-0,43
P6	-0,48	-0,65	-0,56	-0,79	-0,73	-0,72	-0,42	-0,57	-0,56
P7	-0,50	-0,59	-0,58	-0,72	-0,65	-0,80	-0,80	-0,21	-0,72
P8	-0,50	-0,59	-0,65	-0,72	-0,81	-0,80	-0,42	-0,66	-0,57
P9	-0,71	-0,88	-0,78	-0,80	-0,89	-0,87	-0,56	-0,65	-0,71
P10	-0,65	-0,90	-0,72	-0,88	-0,97	-0,81	-0,78	-1,03	-0,80
P11	-0,63	-0,86	-0,70	-0,79	-0,95	-0,93	-0,56	-1,00	-1,00
P12	-1,00	-1,03	-0,78	-0,93	-1,09	-1,01	-0,56	-0,95	-0,78
P13	-0,96	-1,13	-0,89	-1,00	-1,16	-1,06	-0,96	-1,33	-1,03
P14	-1,04	-1,19	-0,98	-1,06	-1,16	-1,08	-1,16	-1,41	-0,96
P15	-1,33	-1,45	-1,27	-1,14	-1,17	-1,14	-1,10	-1,27	-1,04
P16	-1,36	-1,41	-1,18	-1,27	-1,51	-1,35	-1,22	-1,62	-1,22
P17	-1,32	-1,40	-1,30	-1,19	-1,37	-1,21	-1,15	-1,33	-1,24
P18	-1,50	-1,88	-1,64	-1,46	-1,54	-1,46	-1,19	-1,50	-1,27
P19	-1,44	-1,60	-1,34	-1,33	-1,56	-1,33	-1,15	-1,68	-1,44
P20	-1,28	-1,60	-1,42	-1,32	-1,49	-1,48	-1,34	-1,60	-1,28
P21	-1,31	-1,56	-1,19	-1,38	-1,60	-1,46	-1,19	-1,56	-1,40
P22	-1,40	-1,60	-1,36	-1,50	-1,74	-1,21	-1,58	-1,66	-1,36
P23	-1,38	-1,48	-1,40	-1,54	-1,64	-1,48	-1,58	-1,56	-1,21
P24	-1,64	-1,66	-1,36	-1,48	-1,56	-1,54	-1,42	-1,54	-1,28

9.5.9. Intervalo R3-D3

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,10	-0,31	-0,10	-0,21	-0,32	-0,21	0,20	-0,10	-0,10
P2	-0,61	-0,93	-0,39	-0,52	-0,63	-0,61	-0,30	-0,51	-0,20
P3	-0,49	-0,51	-0,49	-0,61	-0,73	-0,61	-0,38	-0,70	-0,58
P4	-0,90	-0,83	-0,71	-0,71	-0,93	-0,82	-0,48	-0,91	-0,70
P5	-0,59	-1,02	-0,69	-0,81	-1,01	-0,90	-0,48	-0,90	-0,58
P6	-0,56	-0,98	-0,76	-0,98	-0,99	-0,89	-0,48	-0,77	-0,67
P7	-0,68	-0,82	-0,69	-0,89	-0,79	-1,10	-0,99	-0,38	-0,89
P8	-0,68	-0,82	-0,90	-0,99	-1,12	-0,99	-0,48	-1,01	-0,68
P9	-0,96	-1,30	-1,17	-1,08	-1,12	-1,19	-0,76	-0,87	-0,87
P10	-0,99	-1,25	-0,99	-1,21	-1,25	-1,12	-1,07	-1,41	-1,10
P11	-0,86	-1,17	-0,86	-1,08	-1,30	-1,28	-0,76	-1,37	-1,26
P12	-1,37	-1,41	-1,07	-1,28	-1,50	-1,28	-0,76	-1,30	-1,07
P13	-1,40	-1,54	-1,21	-1,37	-1,59	-1,37	-1,31	-1,71	-1,40
P14	-1,42	-1,63	-1,33	-1,54	-1,68	-1,57	-1,58	-1,93	-1,31
P15	-1,74	-1,99	-1,74	-1,57	-1,50	-1,57	-1,50	-1,74	-1,40
P16	-1,93	-1,93	-1,61	-1,74	-1,96	-1,77	-1,66	-2,21	-1,66
P17	-1,80	-1,99	-1,88	-1,63	-1,77	-1,77	-1,56	-1,82	-1,61
P18	-2,04	-2,45	-2,34	-1,88	-2,18	-1,88	-1,62	-2,04	-1,72
P19	-1,96	-2,18	-1,90	-1,82	-2,10	-1,91	-1,56	-2,29	-1,96
P20	-1,72	-2,07	-1,93	-1,80	-2,05	-1,91	-1,83	-2,10	-1,83
P21	-1,67	-2,01	-1,60	-1,77	-2,18	-1,99	-1,62	-2,12	-1,90
P22	-1,88	-2,18	-1,85	-2,12	-2,29	-1,65	-2,13	-2,34	-1,85
P23	-1,88	-1,91	-1,90	-2,02	-2,25	-1,99	-2,15	-2,10	-1,72
P24	-2,12	-2,15	-1,83	-1,99	-2,10	-1,99	-1,85	-2,02	-1,83

9.6. Anexo 6: Incrementos de nivel de energía de las ondas

9.6.1. Punto D1

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	0,37	0,53	0,19	0,53	0,67	0,98	0,92	0,73	0,29
P2	0,32	-0,03	0,18	0,03	0,57	0,32	-0,18	-0,08	-0,19
P3	-0,34	-0,38	0,00	-0,46	-0,67	-0,41	-0,54	-0,39	-0,31
P4	0,10	-0,33	-0,05	0,17	0,02	0,00	-0,13	-0,19	0,00
P5	-0,19	-0,46	-0,18	-0,13	-0,42	0,21	0,13	-0,10	-0,13
P6	-0,10	0,02	-0,33	-0,54	-0,60	0,13	-0,06	0,02	0,05
P7	-0,32	-0,40	-0,02	-0,11	-0,08	0,27	-0,49	-0,02	-0,08
P8	-0,47	-0,61	-0,18	-0,40	-0,10	0,24	-0,51	-0,19	-0,11
P9	-0,46	-0,63	-0,56	-0,63	-0,68	-0,61	0,03	-0,08	-0,10
P10	0,06	0,42	0,40	0,29	0,10	0,50	0,21	0,13	0,02
P11	-0,15	-0,23	0,11		0,13	0,05	-0,02	-0,02	0,11
P12	-0,23	0,11	0,03	0,16	0,67	0,37	0,05	0,39	0,29
P13	-0,29	-0,08	0,06	-0,19	-0,32	0,15	-0,50	-0,02	0,10
P14	-0,26	-0,08	-0,10	-0,02	-0,08	0,06	-0,24	0,00	0,05
P15	-0,34	-0,27	-0,30	-0,32	-0,03	-0,17	-0,29	0,02	-0,10
P16	-0,18	-0,11	-0,19	-0,54	-0,59	-0,64	-0,29	-0,30	-0,42
P17	-0,14	0,13	-0,07	-0,06	-0,03	-0,11	-0,12	-0,34	0,00
P18	0,42	-0,60	-0,78	-0,21	-0,02	-0,10	-0,22	-0,18	-0,24
P19	-1,07	-0,68	-0,90	-0,86	-0,41	-0,76	-0,47	-0,73	-0,37
P20	-0,75	-0,75	-0,08	-0,61	-0,40	-0,36	-0,21	-0,11	0,07
P21	-0,36	-0,41	-0,42	-0,42	-0,25	-0,39	0,02	-0,06	0,11
P22	-0,27	-0,36	-0,13	-0,45	-0,31	-0,59	-0,32	-0,34	-0,33
P23	-0,26	-0,11	-0,05	-0,78	-0,46	-0,24	-0,77	-0,81	-0,73
P24	-0,16	-0,05	0,16	0,16	-0,13	-0,26	-0,24	-0,50	-0,31

9.6.2. Punto D2

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,13	-0,33	-0,48	-0,13	0,10	0,42	-0,15	0,16	-0,55
P2	0,16	0,38	0,76	0,23	0,74	0,88	0,22	0,04	0,04
P3	-0,31	-0,20	0,21	-0,37	-0,47	-0,16	-0,32	-0,18	-0,03
P4	0,32	-0,05	-0,08	0,38	0,31	0,10	0,48	0,10	0,17
P5	0,30	-0,06	0,26	0,38	0,19	0,50	0,61	0,47	0,23
P6	0,12	0,34	-0,24	-0,33	-0,06	0,46	0,38	0,39	0,16
P7	0,12	0,16	0,46	0,44	0,64	-0,24	0,16	0,60	0,11
P8	-0,04	0,10	0,64	-0,01	0,49	0,08	-0,05	0,85	0,18
P9	0,18	0,01	0,04	0,08	0,06	0,08	0,63	0,35	0,42
P10	0,39	0,76	0,78	0,86	0,42	0,77	0,32	0,73	0,44
P11	0,28	0,28	0,50		0,37	0,32	0,30	0,14	0,28
P12	0,19	0,28	0,01	0,50	0,68	0,61	0,25	0,48	0,92
P13	0,10	0,19	0,15	0,15	-0,08	0,25	-0,22	0,22	0,46
P14	0,20	0,20	0,20	0,31	0,41	0,43	0,24	0,16	0,30
P15	-0,15	-0,11	0,03	-0,05	0,07	0,09	-0,17	0,15	0,15
P16	-0,14	-0,05	-0,06	-0,20	-0,26	-0,48	-0,07	-0,13	-0,33
P17	0,26	0,26	-0,04	0,31	0,08	0,11	0,18	-0,10	-0,01
P18	0,77	-0,15	-0,42	0,03	0,30	0,06	0,01	0,11	0,01
P19	-0,57	-0,36	-0,47	-0,49	-0,29	-0,49	-0,08	-0,29	-0,19
P20	-0,62	-0,50	0,00	-0,31	-0,13	-0,17	-0,06	-0,07	0,00
P21	0,00	-0,13	-0,08	-0,08	-0,11	-0,12	0,14	0,11	0,27
P22	0,01	-0,25	-0,01	-0,20	-0,06	-0,18	-0,06	0,01	0,07
P23	0,20	0,12	-0,17	-0,42	-0,32	0,05	-0,34	-0,53	-0,61
P24	0,11	0,04	-0,16	-0,02	-0,41	-0,13	-0,02	-0,20	-0,35

9.6.3. Punto D3

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-0,04	-0,24	-0,18	-0,32	-0,01	0,34	-0,55	0,08	-0,56
P2	0,99	0,90	1,07	0,43	0,87	1,16	0,23	-0,12	-0,03
P3	0,08	0,00	0,07	-0,83	-0,54	-0,31	-0,38	-0,21	-0,54
P4	-0,04	0,00	-0,29	0,31	0,41	0,46	0,28	0,25	0,14
P5	0,05	-0,20	0,38	0,22	0,24	0,41	0,17	0,28	0,08
P6	-0,10	0,06	-0,45	-0,39	-0,16	0,01	0,28	0,17	0,19
P7	0,21	0,00	-0,03	0,29	0,08	-0,23	-0,31	0,88	-0,66
P8	0,52	0,50	-0,52	1,11	0,82	0,18	-0,50	0,93	-0,27
P9	0,15	0,15	0,05	0,40	0,07	0,32	0,45	0,14	-0,13
P10	0,54	0,23	0,46	0,50	-0,48	0,16	0,37	0,18	0,19
P11	0,10	0,19	0,22		0,10	0,14	0,15	-0,12	-0,03
P12	0,00	-0,42	-0,22	0,24	0,17	0,11	-0,08	-0,44	0,63
P13	0,58	-0,01	0,17	-0,03	-0,15	-0,02	-0,38	-0,06	0,19
P14	0,19	0,19	0,31	0,43	0,35	0,33	0,35	0,27	0,26
P15	0,05	0,20	0,15	0,04	0,13	0,51	-0,16	0,33	0,50
P16	0,44	0,12	-0,16	0,06	-0,43	-0,44	-0,15	0,00	-0,25
P17	0,09	-0,10	0,06	-0,09	0,09	-0,23	-0,09	0,00	-0,29
P18	0,62	0,04	-0,16	0,72	0,21	-0,10	-0,02	0,03	0,02
P19	0,32	-0,30	0,05	-0,07	0,17	-0,26	0,04	-0,13	-0,11
P20	-0,30	-0,19	0,11	-0,02	0,04	0,14	0,24	-0,20	0,08
P21	-0,26	-0,09	-0,18	-0,03	-0,12	-0,21	0,08	-0,01	-0,10
P22	-0,09	-0,03	0,00	0,11	0,00	0,03	0,13	0,11	0,27
P23	0,23	0,20	0,27	0,33	0,26	0,02	0,01	-0,25	-0,07
P24	0,19	0,55	-0,09	0,20	-0,02	-0,18	-0,02	-0,18	0,02

9.6.4. Punto R1

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-13,17	-14,17	-13,64	-13,10	-12,11	-11,61	-13,41	-13,66	-15,27
P2	-7,83	-6,72	-4,21	-3,85	-3,23	-1,31	-3,15	-1,83	-1,43
P3	-1,46	0,56	-1,08	1,47	-0,88	0,40	-2,47	-1,86	-1,45
P4	2,42	2,90	3,42	3,49	4,53	6,91	-0,69	1,12	0,19
P5	-0,22	1,54	1,49	7,00	5,61	4,50	0,92	-0,52	0,12
P6	-2,58	-1,53	-4,21	4,26	3,52	4,09	-1,82	-1,24	-3,88
P7	-3,80	0,91	0,47	6,33	5,35	4,79	-0,75	-2,57	-1,79
P8	-2,62	2,07	0,14	4,19	2,06	5,99	-2,99	-4,00	-3,14
P9	-6,91	-14,13	-14,29	-2,25	-4,44	-1,97	-9,74	-6,50	-11,01
P10	-11,91	-19,61	-15,69	-6,42	-13,72	-8,12	-7,23	-10,37	-11,88
P11	-14,30	-13,64	-11,23	-20,49	-11,11	-7,73	-10,36	-17,79	-15,11
P12	-21,84	-23,63	-8,96	-7,67	-15,98	-9,62	-7,19	-17,79	-16,71
P13	-5,85	-9,69	-6,49	-11,08	-15,60	-9,14	2,46	-4,66	-8,43
P14	-0,60	-4,48	-2,10	-9,05	-16,18	-11,40	-4,19	-4,74	-0,44
P15	-12,00	-2,94	-2,34	-26,26	-20,60	-13,03	-5,56	-5,35	-4,03
P16	-1,48	-0,32	-3,27	-21,36	-22,87	-20,41	-2,95	-4,25	-2,52
P17	-1,98	-1,92	-2,37	-16,44	-13,16	-19,25	0,99	0,18	-0,53
P18	-1,18	-7,27	-4,16	-12,53	-18,25	-17,01	-1,69	-3,53	-7,96
P19	-2,83	-5,46	-1,33	-18,06	-22,12	-18,96	2,44	-4,00	-1,84
P20	-4,16	-3,66	-3,36	-22,83	-13,40	-12,02	-4,10	-6,13	-7,56
P21	-7,77	-10,27	-7,45	-14,43	-12,99	-17,06	-4,97	-7,82	-7,28
P22	-11,98	-18,59	-15,04	-4,67	-6,40	-15,74	-10,55	-8,44	-4,33
P23	-5,08	-8,86	-7,23	-8,28	-16,01	-16,26	-2,99	-10,40	-6,07
P24	-9,53	-12,40	-8,97	-11,98	-12,11	-14,77	-11,72	-11,36	-9,34

9.6.5. Punto R2

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-3,83	-3,78	-0,33	-2,84	-3,93	-3,59	-3,10	-3,69	-4,61
P2	-3,30	-2,78	-1,13	-5,25	-6,33	-5,02	-4,55	-2,28	-1,35
P3	-2,05	-1,21	-1,96	-2,71	-5,39	-6,80	-2,54	-1,97	-3,25
P4	-3,61	-0,18	-0,45	-3,01	-2,47	-1,53	-3,05	-1,82	-1,68
P5	-1,35	0,20	-3,28	-0,48	0,50	-1,72	-3,45	-1,69	-4,13
P6	-3,61	-2,20	-3,57	-2,26	-0,34	-1,46	-6,40	-4,31	-4,98
P7	-4,02	-2,37	-2,87	-1,96	-2,90	0,04	-2,46	-5,80	-3,41
P8	-4,26	-0,48	-1,77	-4,20	-1,81	-0,19	-4,19	-4,32	-3,97
P9	-4,69	-6,99	-4,85	-1,09	-2,84	-0,29	-6,34	-3,05	-6,62
P10	-4,60	-6,16	-7,71	-0,84	-2,65	-2,42	-6,48	-6,32	-5,34
P11	-5,95	-3,31	-6,85	-18,26	-4,05	-3,62	-4,73	-6,07	-7,37
P12	-8,06	-7,22	1,36	-1,52	-3,30	-1,17	-0,21	-2,98	-3,06
P13	-8,77	-7,92	-6,03	-5,77	-7,42	-3,14	-1,72	-6,41	-9,08
P14	-5,85	-6,81	-6,02	-6,47	-8,97	-5,72	-7,69	-5,59	-2,96
P15	-12,40	-5,91	-4,72	-9,56	-8,93	-6,10	-9,63	-7,65	-6,28
P16	-8,36	-4,38	-4,67	-8,09	-10,93	-10,05	-3,27	-3,01	-3,13
P17	-6,86	-5,55	-5,73	-10,65	-9,17	-12,58	-5,07	-3,58	-3,95
P18	-2,78	-5,00	-5,75	-6,89	-9,37	-12,72	-4,26	-5,26	-6,24
P19	-8,80	-4,61	-4,57	-11,75	-16,31	-15,37	-1,04	-5,59	-7,40
P20	-7,49	-4,45	-5,82	-13,91	-9,13	-9,68	-7,16	-5,29	-7,59
P21	-6,90	-4,19	-4,74	-11,88	-9,46	-13,47	-7,69	-6,23	-6,32
P22	-7,71	-6,20	-9,71	-9,88	-7,48	-12,84	-7,54	-6,49	-7,43
P23	-6,16	-6,29	-11,11	-14,76	-15,29	-16,11	-7,36	-6,09	-5,87
P24	-9,25	-6,66	-8,09	-14,83	-12,87	-14,23	-8,59	-6,26	-4,15

9.6.6. Punto R3

	PUNTO DE MEDICIÓN								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1	-2,69	1,86	6,27	-1,68	-2,83	-2,47	-1,34	3,77	1,25
P2	3,73	5,54	6,32	-4,79	-8,27	-4,03	-3,23	-2,83	0,23
P3	1,18	-0,91	-0,04	-3,35	-8,00	-6,93	0,87	0,32	-0,29
P4	0,11	3,31	2,02	-6,60	-7,86	-5,11	1,93	1,55	1,52
P5	2,08	3,06	-2,99	-3,03	-4,47	-4,19	1,93	2,17	-3,46
P6	1,22	3,41	2,64	-3,59	-2,83	-4,38	-9,71	-3,68	-4,83
P7	-2,35	-1,18	-1,34	-2,55	-9,58	1,38	-3,59	-13,46	4,06
P8	-3,10	3,27	0,85	-5,04	-5,62	-3,93	-4,25	-2,38	-3,95
P9	0,08	-5,12	2,64	-0,54	-5,53	-1,79	-6,16	0,71	-4,04
P10	-2,09	-1,53	-1,61	-0,07	-2,74	-2,74	0,90	0,11	-1,14
P11	-2,54	7,12	-4,43	-17,67	-5,04	-3,90	-0,34	2,19	-1,94
P12	-4,87	-3,37	5,92	-1,28	-3,05	-2,19	-0,85	2,72	0,97
P13	-9,14	-4,09	-1,88	-4,52	-7,12	-2,45	1,87	-5,01	-8,56
P14	-7,11	-4,01	-5,22	-4,43	-8,50	-5,46	-4,14	-0,82	-1,02
P15	-11,52	-7,01	-3,51	-6,45	-7,19	-4,97	-10,94	-7,02	-2,93
P16	-6,28	-3,47	-3,52	-5,87	-9,63	-6,21	3,12	4,09	0,02
P17	-5,79	-1,92	-4,33	-8,43	-6,24	-8,65	-3,31	-1,05	-2,68
P18	1,16	-0,94	0,81	-3,36	-8,61	-10,80	-4,99	-2,94	-6,13
P19	-6,23	2,31	-3,19	-8,19	-14,55	-11,35	-0,20	-2,23	-5,88
P20	-4,91	0,50	-0,52	-11,07	-8,36	-7,54	-1,86	-0,68	-4,18
P21	-4,98	2,66	-0,17	-9,32	-8,89	-10,89	-5,07	0,72	-2,35
P22	-5,74	-0,69	-9,33	-9,18	-7,92	-10,19	-2,17	-1,57	-5,74
P23	-4,05	-4,89	-15,27	-11,91	-14,18	-12,73	-5,36	-3,78	-8,49
P24	-6,19	-1,06	-8,00	-12,54	-13,32	-12,90	-4,02	-1,43	-0,64

9.7. Anexo 7: Listado completo de velocidades de propagación en cm/ns

		SECA								
	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 1	1	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,05	11,48	13,38
	2	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,23	11,71	13,69
	3	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,05	11,48	13,38
	4	12,53	14,71	18,16	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69
	5	12,45	14,59	17,98	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90
	6	12,53	14,71	18,16	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69
	7	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,00	11,41	13,28
	8	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,23	11,63	13,69
	9	12,53	14,71	18,16	11,34	13,09	15,75	10,11	11,48	13,48
PROBETA 2	1	12,53	14,83	18,35	11,41	13,28	16,03	10,23	11,71	13,80
	2	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,35	11,86	14,01
	3	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,05	11,48	13,38
	4	12,62	14,95	18,54	11,41	13,28	16,03	10,29	11,79	13,90
	5	12,53	14,83	18,16	11,48	13,38	16,03	10,41	11,94	14,01
	6	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	7	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,05	11,48	13,38
	8	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,23	11,71	13,69
	9	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,00	11,41	13,28
PROBETA 3	1	12,62	14,83	18,35	11,41	13,18	15,89	10,11	11,48	13,48
	2	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	3	12,62	14,83	18,54	11,41	13,18	16,03	10,05	11,41	13,48
	4	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	5	12,53	14,71	18,16	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01
	6	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	7	12,53	14,71	18,16	11,34	13,09	15,75	10,00	11,34	13,28
	8	12,45	14,71	18,16	11,34	13,18	15,89	10,17	11,63	13,69
	9	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,05	11,41	13,38

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 4	1	12,62	14,83	18,54	11,41	13,18	16,03	10,23	11,63	13,80
	2	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01
	3	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,29	11,71	13,80
	4	12,62	14,95	18,35	11,48	13,38	16,03	10,29	11,79	13,80
	5	12,71	14,95	18,35	11,56	13,38	16,03	10,47	11,94	14,01
	6	12,71	14,95	18,35	11,56	13,38	16,03	10,41	11,86	13,90
	7	12,71	14,95	18,35	11,48	13,28	15,89	10,11	11,48	13,38
	8	12,62	14,95	18,35	11,41	13,28	15,89	10,35	11,86	13,90
	9	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,17	11,63	13,69
PROBETA 5	1	12,53	14,83	18,35	11,34	13,18	15,89	10,05	11,48	13,48
	2	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01
	3	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,17	11,56	13,59
	4	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	5	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,35	11,86	13,90
	6	12,45	14,71	18,16	11,34	13,18	15,89	10,23	11,71	13,80
	7	12,45	14,71	18,16	11,34	13,18	15,89	9,94	11,34	13,28
	8	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	9	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,05	11,48	13,38
PROBETA 6	1	12,45	14,71	17,98	11,26	13,09	15,61	9,94	11,34	13,18
	2	12,45	14,59	17,98	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69
	3	12,45	14,59	17,98	11,34	13,09	15,75	10,05	11,41	13,38
	4	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,23	11,71	13,69
	5	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,29	11,79	13,80
	6	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,23	11,71	13,69
	7	12,45	14,71	17,98	11,26	13,09	15,61	10,00	11,41	13,28
	8	12,53	14,71	17,98	11,41	13,18	15,75	10,17	11,56	13,48
	9	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,05	11,48	13,38
PROBETA 7	1	12,53	14,83	18,35	11,34	13,18	15,89	10,05	11,48	13,48
	2	12,53	14,83	18,35	11,41	13,28	16,03	10,29	11,79	13,90
	3	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,17	11,63	13,59
	4	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,23	11,71	13,69
	5	12,45	14,71	17,98	11,34	13,18	15,75	10,23	11,71	13,69
	6	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90
	7	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	8	12,45	14,71	18,16	11,34	13,18	15,89	9,94	11,34	13,28
	9	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,23	11,71	13,69

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 8	1	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,11	11,48	13,48
	2	12,62	14,83	18,35	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90
	3	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	4	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	5	12,62	14,83	18,35	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01
	6	12,62	14,95	18,35	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	7	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,00	11,41	13,28
	8	12,53	14,83	18,35	11,41	13,28	16,03	10,29	11,79	13,90
	9	12,62	14,95	18,35	11,41	13,28	15,89	10,11	11,56	13,48
PROBETA 9	1	12,53	14,83	18,16	11,34	13,18	15,75	10,17	11,63	13,59
	2	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01
	3	12,53	14,71	18,35	11,41	13,18	16,03	10,23	11,63	13,80
	4	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	5	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,41	11,94	14,01
	6	12,53	14,83	18,35	11,48	13,38	16,18	10,29	11,79	13,90
	7	12,62	14,83	18,35	11,41	13,18	15,89	10,05	11,41	13,38
	8	12,62	14,83	18,16	11,41	13,18	15,75	10,23	11,63	13,59
	9	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,17	11,63	13,59
PROBETA 10	1	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,23	11,71	13,80
	2	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,53	12,02	14,24
	3	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,29	11,71	13,80
	4	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,35	11,86	14,01
	5	12,71	15,08	18,73	11,56	13,48	16,33	10,47	12,02	14,24
	6	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	7	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	9	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
PROBETA 11	1	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,11	11,48	13,48
	2	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80
	3	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,11	11,48	13,48
	4	12,45	14,71	18,16	11,34	13,18	15,89	10,23	11,71	13,80
	5	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01
	6	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90
	7	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,05	11,41	13,38
	8	12,53	14,71	18,16	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90
	9	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 12	1	12,53	14,83	18,35	11,41	13,28	16,03	10,29	11,79	13,90
	2	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,41	11,94	14,12
	3	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	4	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	5	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,41	11,94	14,12
	6	12,71	15,08	18,54	11,48	13,38	16,03	10,35	11,86	13,90
	7	12,62	14,95	18,54	11,34	13,18	15,89	10,00	11,41	13,38
	8	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,35	11,86	14,01
	9	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,17	11,63	13,69
PROBETA 13	1	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59
	2	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	3	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,11	11,48	13,48
	4	12,71	14,95	18,54	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	5	12,62	14,83	18,35	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	6	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	7	12,71	15,08	18,73	11,48	13,38	16,18	10,11	11,56	13,59
	8	12,62	14,95	18,35	11,48	13,38	16,03	10,35	11,86	13,90
	9	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,17	11,56	13,59
PROBETA 14	1	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,17	11,63	13,69
	2	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	3	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	4	12,71	14,95	18,54	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	5	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	6	12,62	14,83	18,35	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	7	12,71	14,95	18,54	11,48	13,28	16,03	10,23	11,63	13,69
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	9	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59
PROBETA 15	1	12,71	15,08	18,73	11,48	13,38	16,18	10,35	11,86	14,01
	2	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,59	12,11	14,35
	3	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,41	11,86	14,01
	4	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	5	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,47	12,02	14,12
	6	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	7	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	9	12,80	15,08	18,54	11,56	13,38	16,03	10,23	11,63	13,59

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 16	1	12,71	15,08	18,73	11,48	13,38	16,18	10,23	11,71	13,80
	2	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,47	11,94	14,12
	3	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,29	11,71	13,80
	4	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	5	12,80	15,21	18,73	11,63	13,59	16,33	10,53	12,11	14,24
	6	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,47	11,94	14,12
	7	12,71	14,95	18,54	11,63	13,48	16,33	10,23	11,63	13,69
	8	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,53	12,02	14,24
	9	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,23	11,63	13,69
PROBETA 17	1	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	2	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01
	3	12,71	14,95	18,73	11,48	13,28	16,18	10,29	11,71	13,90
	4	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	5	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,47	12,02	14,12
	6	12,71	14,95	18,73	11,56	13,38	16,33	10,41	11,86	14,12
	7	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	9	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,29	11,71	13,80
PROBETA 18	1	12,71	15,08	18,73	11,48	13,38	16,18	10,29	11,79	13,90
	2	12,62	14,95	18,35	11,56	13,48	16,18	10,53	12,11	14,24
	3	12,71	14,95	18,73	11,56	13,38	16,33	10,41	11,86	14,12
	4	12,62	14,95	18,35	11,48	13,38	16,03	10,35	11,86	13,90
	5	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	6	12,71	14,95	18,35	11,56	13,38	16,03	10,41	11,86	13,90
	7	12,71	14,95	18,54	11,48	13,28	16,03	10,11	11,48	13,48
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	9	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59
PROBETA 19	1	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	2	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,41	11,94	14,12
	3	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	4	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	5	12,71	14,95	18,35	11,56	13,38	16,03	10,53	12,02	14,12
	6	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,35	11,86	14,01
	7	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,53	12,02	14,24
	9	12,62	14,95	18,54	11,48	13,38	16,18	10,29	11,79	13,90

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 20	1	12,62	14,95	18,35	11,48	13,38	16,03	10,17	11,63	13,59
	2	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	3	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,29	11,71	13,80
	4	12,71	14,95	18,54	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	5	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,53	12,02	14,24
	6	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	7	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	9	12,71	15,08	18,73	11,56	13,48	16,33	10,17	11,63	13,69
PROBETA 21	1	12,62	14,95	18,35	11,41	13,28	15,89	10,05	11,48	13,38
	2	12,53	14,83	18,16	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	3	12,62	14,95	18,35	11,48	13,38	16,03	10,05	11,48	13,38
	4	12,62	14,95	18,35	11,41	13,28	15,89	10,29	11,79	13,80
	5	12,53	14,83	18,35	11,41	13,28	16,03	10,41	11,94	14,12
	6	12,62	14,95	18,54	11,41	13,28	16,03	10,35	11,86	14,01
	7	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,11	11,48	13,48
	8	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,35	11,79	13,90
	9	12,62	14,83	18,35	11,48	13,28	16,03	10,23	11,63	13,69
PROBETA 22	1	12,71	15,08	18,54	11,48	13,38	16,03	10,17	11,63	13,59
	2	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,47	11,94	14,12
	3	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,29	11,71	13,80
	4	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	5	12,71	15,08	18,73	11,48	13,38	16,18	10,47	12,02	14,24
	6	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	7	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69
	8	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	9	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,29	11,71	13,80
PROBETA 23	1	12,71	14,95	18,54	11,56	13,38	16,18	10,35	11,79	13,90
	2	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	3	12,80	15,08	18,73	11,63	13,48	16,33	10,23	11,63	13,69
	4	12,71	15,08	18,73	11,63	13,59	16,48	10,41	11,94	14,12
	5	12,71	15,08	18,73	11,56	13,48	16,33	10,53	12,11	14,35
	6	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	7	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,41	11,86	14,01
	8	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,47	12,02	14,12
	9	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,17	11,56	13,59

	PTO	R1-	R1-	R1-	R2-	R2-	R2-	R3-	R3-	R3-
		D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
PROBETA 24	1	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,35	11,86	13,90
	2	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	3	12,80	15,08	18,54	11,56	13,38	16,03	10,29	11,71	13,69
	4	12,71	15,08	18,54	11,56	13,48	16,18	10,41	11,94	14,01
	5	12,80	15,08	18,54	11,63	13,48	16,18	10,53	12,02	14,12
	6	12,80	15,08	18,54	11,63	13,48	16,18	10,47	11,94	14,01
	7	12,71	15,08	18,73	11,56	13,48	16,33	10,23	11,71	13,80
	8	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,47	11,94	14,12
	9	12,80	15,08	18,73	11,56	13,38	16,18	10,23	11,63	13,69

		HUMEDA								
	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 1	1	12,27	14,35	17,62	11,19	12,90	15,48	10,00	11,34	13,28
	2	12,27	14,35	17,62	11,19	12,90	15,48	10,05	11,41	13,38
	3	12,27	14,35	17,62	11,19	12,90	15,48	10,00	11,34	13,28
	4	12,19	14,24	17,45	11,12	12,80	15,34	10,11	11,48	13,48
	5	12,11	14,12	17,28	11,12	12,80	15,34	10,17	11,56	13,59
	6	12,19	14,35	17,45	11,12	12,90	15,34	10,11	11,56	13,48
	7	12,11	14,24	17,45	11,12	12,90	15,48	10,05	11,48	13,48
	8	12,11	14,24	17,45	11,12	12,90	15,48	10,11	11,56	13,59
	9	12,11	14,24	17,28	11,12	12,90	15,34	10,05	11,48	13,38
PROBETA 2	1	12,19	14,24	17,62	11,05	12,71	15,34	9,89	11,19	13,18
	2	12,19	14,24	17,45	11,12	12,80	15,34	9,89	11,19	13,09
	3	12,11	14,12	17,28	11,05	12,71	15,21	9,83	11,12	12,99
	4	12,11	14,12	17,28	11,05	12,71	15,21	10,05	11,41	13,38
	5	12,11	14,12	17,11	11,12	12,80	15,21	10,11	11,48	13,38
	6	12,02	14,01	16,95	11,12	12,80	15,21	10,00	11,34	13,18
	7	12,11	14,12	17,28	11,05	12,71	15,21	9,89	11,19	13,09
	8	12,11	14,12	17,28	11,05	12,71	15,21	9,94	11,26	13,18
	9	12,11	14,12	17,28	11,05	12,71	15,21	9,89	11,19	13,09
PROBETA 3	1	12,02	14,12	17,28	10,99	12,71	15,21	9,78	11,12	12,99
	2	12,02	14,12	17,28	10,99	12,71	15,21	9,94	11,34	13,28
	3	12,11	14,24	17,45	10,99	12,71	15,21	9,78	11,12	12,99
	4	11,94	13,90	17,11	10,92	12,53	15,08	9,89	11,19	13,18
	5	11,94	14,01	17,11	10,99	12,71	15,21	9,94	11,34	13,28
	6	11,94	14,01	17,11	10,92	12,62	15,08	9,89	11,26	13,18
	7	11,94	14,01	17,11	10,85	12,53	14,95	9,72	11,05	12,90
	8	11,94	14,01	16,95	10,92	12,62	14,95	9,83	11,19	12,99
	9	11,94	13,90	16,95	10,92	12,53	14,95	9,72	10,99	12,80
PROBETA 4	1	12,11	14,12	17,28	10,99	12,62	15,08	9,78	11,05	12,90
	2	12,02	14,01	17,28	10,92	12,53	15,08	9,89	11,19	13,18
	3	12,02	14,12	17,28	10,92	12,62	15,08	9,83	11,19	13,09
	4	12,02	14,12	17,11	10,92	12,62	14,95	9,89	11,26	13,09
	5	12,02	14,01	16,95	10,99	12,62	14,95	9,94	11,26	13,09
	6	12,02	14,01	16,95	10,99	12,62	14,95	9,94	11,26	13,09
	7	12,19	14,24	17,28	10,99	12,62	14,95	9,83	11,12	12,90
	8	12,11	14,12	17,28	10,99	12,62	15,08	9,83	11,12	12,99
	9	12,11	14,12	17,28	10,99	12,62	15,08	9,83	11,12	12,99

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 5	1	11,94	14,01	17,11	10,79	12,45	14,83	9,72	11,05	12,90
	2	11,94	13,90	17,11	10,85	12,45	14,95	9,78	11,05	12,99
	3	11,94	14,01	17,11	10,85	12,53	14,95	9,72	11,05	12,90
	4	11,86	13,90	16,95	10,79	12,45	14,83	9,78	11,12	12,99
	5	11,86	13,80	16,63	10,85	12,45	14,71	9,83	11,12	12,90
	6	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,78	11,05	12,90
	7	12,02	14,01	17,28	10,85	12,45	14,95	9,67	10,92	12,80
	8	12,02	14,01	17,11	10,85	12,45	14,83	9,78	11,05	12,90
	9	11,94	14,01	16,95	10,79	12,45	14,71	9,72	11,05	12,80
PROBETA 6	1	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,62	10,85	12,62
	2	11,86	13,90	16,79	10,72	12,36	14,59	9,67	10,99	12,71
	3	11,79	13,69	16,63	10,72	12,27	14,59	9,62	10,85	12,62
	4	11,86	13,80	16,79	10,72	12,27	14,59	9,67	10,92	12,71
	5	11,79	13,80	16,63	10,72	12,36	14,59	9,72	11,05	12,80
	6	11,79	13,69	16,63	10,72	12,27	14,59	9,72	10,99	12,80
	7	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80
	8	12,02	14,01	16,95	10,85	12,45	14,71	9,72	10,99	12,71
	9	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,67	10,92	12,71
PROBETA 7	1	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80
	2	12,11	14,12	17,28	10,92	12,53	14,95	9,89	11,19	13,09
	3	12,02	14,01	17,11	10,85	12,45	14,83	9,78	11,05	12,90
	4	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	5	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,78	11,05	12,90
	6	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	7	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	8	12,11	14,24	17,28	10,85	12,53	14,83	9,78	11,12	12,90
	9	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80
PROBETA 8	1	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80
	2	12,11	14,12	17,28	10,92	12,53	14,95	9,89	11,19	13,09
	3	12,02	14,01	17,11	10,85	12,45	14,83	9,78	11,05	12,90
	4	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	5	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,78	11,05	12,90
	6	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	7	11,94	13,90	16,95	10,79	12,36	14,71	9,72	10,99	12,80
	8	12,11	14,24	17,28	10,85	12,53	14,83	9,78	11,12	12,90
	9	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 9	1	11,86	13,90	16,79	10,72	12,36	14,59	9,62	10,92	12,62
	2	12,19	14,35	17,45	10,72	12,36	14,59	9,67	10,99	12,71
	3	11,86	13,80	16,79	10,72	12,27	14,59	9,62	10,85	12,62
	4	11,86	13,80	16,63	10,72	12,27	14,47	9,72	10,99	12,71
	5	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,78	11,05	12,90
	6	11,79	13,69	16,63	10,72	12,27	14,59	9,67	10,92	12,71
	7	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,62	10,85	12,62
	8	11,86	13,80	16,63	10,79	12,36	14,59	9,72	10,99	12,71
	9	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,67	10,92	12,71
PROBETA 10	1	11,86	13,90	16,79	10,72	12,36	14,59	9,72	11,05	12,80
	2	12,27	14,35	17,62	10,85	12,45	14,83	9,83	11,12	12,99
	3	11,94	13,90	16,95	10,85	12,45	14,83	9,72	10,99	12,80
	4	11,86	13,80	16,79	10,72	12,27	14,59	9,72	10,99	12,80
	5	11,86	13,80	16,95	10,79	12,36	14,83	9,78	11,05	12,99
	6	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,78	11,05	12,90
	7	11,86	13,80	16,79	10,79	12,36	14,71	9,62	10,85	12,62
	8	11,79	13,69	16,63	10,72	12,27	14,59	9,67	10,92	12,71
	9	11,79	13,69	16,63	10,72	12,27	14,59	9,72	10,99	12,80
PROBETA 11	1	11,71	13,59	16,48	10,66	12,19	14,47	9,62	10,85	12,62
	2	11,71	13,59	16,48	10,66	12,19	14,47	9,62	10,85	12,62
	3	11,63	13,48	16,48	10,66	12,19	14,59	9,57	10,79	12,62
	4	11,79	13,69	16,63	10,66	12,19	14,47	9,67	10,92	12,71
	5	11,79	13,69	16,63	10,66	12,19	14,47	9,67	10,92	12,71
	6	11,71	13,59	16,48	10,66	12,19	14,47	9,62	10,85	12,62
	7	11,63	13,48	16,33	10,66	12,19	14,47	9,62	10,85	12,62
	8	11,63	13,48	16,33	10,66	12,19	14,47	9,57	10,79	12,53
	9	11,71	13,59	16,48	10,66	12,19	14,47	9,57	10,79	12,53
PROBETA 12	1	11,63	13,48	16,33	10,66	12,19	14,47	9,57	10,79	12,53
	2	11,63	13,48	16,33	10,66	12,19	14,47	9,67	10,92	12,71
	3	11,56	13,38	16,18	10,59	12,11	14,35	9,62	10,85	12,62
	4	11,56	13,48	16,33	10,53	12,11	14,35	9,57	10,85	12,62
	5	11,56	13,38	16,18	10,53	12,02	14,24	9,62	10,85	12,62
	6	11,63	13,48	16,33	10,59	12,11	14,35	9,62	10,85	12,62
	7	11,56	13,38	16,18	10,59	12,11	14,35	9,62	10,85	12,62
	8	11,56	13,38	16,18	10,59	12,11	14,35	9,67	10,92	12,71
	9	11,63	13,48	16,33	10,59	12,11	14,35	9,62	10,85	12,62

	PTO	R1- D1	R1- D2	R1- D3	R2- D1	R2- D2	R2- D3	R3- D1	R3- D2	R3- D3
PROBETA 13	1	11,41	13,28	15,89	10,41	11,94	14,01	9,37	10,59	12,19
	2	11,41	13,28	16,03	10,47	12,02	14,24	9,42	10,66	12,36
	3	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01	9,42	10,59	12,27
	4	11,56	13,38	16,18	10,59	12,11	14,35	9,57	10,79	12,53
	5	11,48	13,28	16,03	10,47	11,94	14,12	9,57	10,79	12,53
	6	11,48	13,28	16,18	10,47	11,94	14,24	9,52	10,72	12,53
	7	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01	9,42	10,59	12,27
	8	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01	9,37	10,53	12,19
	9	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01	9,37	10,53	12,19
PROBETA 14	1	11,34	13,18	15,89	10,35	11,86	14,01	9,37	10,59	12,27
	2	11,34	13,18	15,89	10,35	11,86	14,01	9,37	10,59	12,27
	3	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01	9,47	10,66	12,36
	4	11,48	13,28	15,89	10,47	11,94	14,01	9,52	10,72	12,36
	5	11,48	13,28	15,89	10,47	11,94	14,01	9,57	10,79	12,45
	6	11,48	13,28	15,89	10,53	12,02	14,12	9,57	10,79	12,45
	7	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,32	10,47	12,11
	8	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,37	10,53	12,19
	9	11,41	13,18	15,89	10,41	11,86	14,01	9,42	10,59	12,27
PROBETA 15	1	11,48	13,28	16,18	10,47	11,94	14,24	9,37	10,53	12,27
	2	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01	9,47	10,66	12,36
	3	11,41	13,28	16,03	10,41	11,94	14,12	9,37	10,59	12,27
	4	11,56	13,38	16,18	10,53	12,02	14,24	9,52	10,72	12,45
	5	11,48	13,28	16,03	10,53	12,02	14,24	9,62	10,85	12,62
	6	11,48	13,28	16,03	10,47	11,94	14,12	9,52	10,72	12,45
	7	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01	9,37	10,53	12,19
	8	11,48	13,28	16,03	10,41	11,86	14,01	9,42	10,59	12,27
	9	11,56	13,38	16,03	10,47	11,94	14,01	9,42	10,59	12,19
PROBETA 16	1	11,34	13,18	15,75	10,29	11,79	13,80	9,17	10,35	11,86
	2	11,34	13,18	15,89	10,29	11,79	13,90	9,32	10,53	12,19
	3	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90	9,37	10,53	12,19
	4	11,34	13,18	15,89	10,29	11,79	13,90	9,37	10,59	12,27
	5	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,42	10,59	12,27
	6	11,34	13,09	15,89	10,35	11,79	14,01	9,42	10,59	12,36
	7	11,26	13,09	15,75	10,23	11,71	13,80	9,22	10,41	12,02
	8	11,41	13,18	15,89	10,23	11,63	13,69	9,27	10,41	12,02
	9	11,34	13,09	15,75	10,29	11,71	13,80	9,27	10,41	12,02

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 17	1	11,41	13,18	15,89	10,35	11,79	13,90	9,32	10,47	12,11
	2	11,34	13,18	15,75	10,29	11,79	13,80	9,27	10,47	12,02
	3	11,34	13,18	15,89	10,23	11,71	13,80	9,22	10,41	12,02
	4	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,42	10,59	12,27
	5	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,47	10,66	12,36
	6	11,34	13,09	15,75	10,35	11,79	13,90	9,47	10,66	12,36
	7	11,34	13,09	15,75	10,29	11,71	13,80	9,27	10,41	12,02
	8	11,34	13,18	15,89	10,29	11,79	13,90	9,32	10,53	12,19
	9	11,34	13,09	15,89	10,29	11,71	13,90	9,32	10,47	12,19
PROBETA 18	1	11,12	12,90	15,48	10,05	11,48	13,48	9,13	10,29	11,86
	2	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,13	10,23	11,79
	3	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,13	10,23	11,79
	4	10,99	12,62	15,08	10,11	11,48	13,48	9,27	10,41	12,02
	5	10,92	12,62	14,95	10,05	11,48	13,38	9,22	10,41	11,94
	6	11,05	12,71	15,21	10,11	11,48	13,48	9,27	10,41	12,02
	7	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,17	10,29	11,86
	8	11,34	13,09	15,75	10,11	11,48	13,48	9,17	10,29	11,86
	9	11,41	13,18	15,89	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
PROBETA 19	1	11,26	12,99	15,61	10,23	11,63	13,69	9,22	10,35	11,94
	2	11,26	13,09	15,75	10,17	11,63	13,69	9,17	10,35	11,94
	3	11,34	13,09	15,61	10,17	11,56	13,48	9,17	10,29	11,79
	4	11,12	12,90	15,48	10,23	11,71	13,80	9,32	10,53	12,19
	5	11,12	12,90	15,34	10,17	11,63	13,59	9,27	10,47	12,02
	6	11,12	12,90	15,34	10,23	11,71	13,69	9,32	10,53	12,11
	7	11,19	12,90	15,48	10,17	11,56	13,59	9,27	10,41	12,02
	8	11,26	12,99	15,61	10,17	11,56	13,59	9,22	10,35	11,94
	9	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69	9,22	10,35	11,94
PROBETA 20	1	11,19	12,99	15,48	10,17	11,63	13,59	9,17	10,35	11,86
	2	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69	9,22	10,35	11,94
	3	11,26	12,99	15,61	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
	4	11,19	12,90	15,48	10,23	11,63	13,69	9,32	10,47	12,11
	5	11,12	12,80	15,34	10,23	11,63	13,69	9,37	10,53	12,19
	6	11,19	12,90	15,48	10,23	11,63	13,69	9,32	10,47	12,11
	7	11,34	13,09	15,75	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
	8	11,34	13,09	15,89	10,17	11,56	13,69	9,22	10,35	12,02
	9	11,34	13,18	15,75	10,17	11,63	13,59	9,17	10,35	11,86

	PTO	R1-D1	R1-D2	R1-D3	R2-D1	R2-D2	R2-D3	R3-D1	R3-D2	R3-D3
PROBETA 21	1	11,12	12,80	15,34	10,05	11,41	13,38	9,08	10,17	11,71
	2	11,19	12,90	15,48	10,11	11,48	13,48	9,13	10,23	11,79
	3	11,19	12,99	15,48	10,05	11,48	13,38	9,13	10,29	11,79
	4	11,05	12,71	15,21	10,17	11,56	13,59	9,27	10,41	12,02
	5	10,99	12,62	15,08	10,05	11,41	13,38	9,22	10,35	11,94
	6	10,99	12,71	15,21	10,05	11,48	13,48	9,22	10,41	12,02
	7	11,26	12,99	15,61	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
	8	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,13	10,23	11,79
	9	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,13	10,23	11,79
PROBETA 22	1	11,12	12,90	15,34	10,05	11,48	13,38	9,08	10,23	11,71
	2	11,56	13,38	16,18	10,11	11,48	13,48	9,22	10,35	11,94
	3	11,26	12,99	15,61	10,11	11,48	13,48	9,22	10,35	11,94
	4	10,92	12,62	14,95	10,00	11,41	13,28	9,13	10,29	11,79
	5	10,99	12,62	15,21	10,05	11,41	13,48	9,17	10,29	11,94
	6	11,19	12,90	15,48	10,35	11,79	13,90	9,47	10,66	12,36
	7	11,12	12,80	15,34	10,00	11,34	13,28	8,99	10,05	11,56
	8	11,34	13,18	15,75	10,11	11,56	13,48	9,13	10,29	11,79
	9	11,34	13,09	15,75	10,23	11,63	13,69	9,22	10,35	11,94
PROBETA 23	1	11,34	13,18	15,89	10,23	11,71	13,80	9,22	10,41	12,02
	2	11,48	13,28	16,03	10,29	11,71	13,80	9,32	10,47	12,11
	3	11,41	13,18	15,89	10,29	11,71	13,80	9,13	10,23	11,79
	4	11,12	12,80	15,48	10,17	11,56	13,69	9,27	10,41	12,11
	5	11,12	12,80	15,34	10,23	11,63	13,69	9,32	10,47	12,11
	6	11,05	12,80	15,21	10,17	11,63	13,59	9,27	10,47	12,02
	7	11,34	13,09	15,75	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
	8	11,41	13,28	15,89	10,23	11,71	13,69	9,27	10,47	12,02
	9	11,26	13,09	15,61	10,17	11,63	13,59	9,17	10,35	11,86
PROBETA 24	1	11,26	13,09	15,75	10,11	11,56	13,59	9,08	10,23	11,79
	2	11,41	13,18	15,89	10,17	11,56	13,59	9,17	10,29	11,86
	3	11,26	13,09	15,61	10,11	11,56	13,48	9,17	10,35	11,86
	4	11,12	12,90	15,34	10,17	11,63	13,59	9,27	10,47	12,02
	5	11,12	12,80	15,21	10,17	11,56	13,48	9,32	10,47	12,02
	6	11,05	12,71	15,21	10,11	11,48	13,48	9,27	10,41	12,02
	7	11,34	13,09	15,89	10,17	11,56	13,69	9,17	10,29	11,94
	8	11,41	13,18	16,03	10,23	11,63	13,80	9,27	10,41	12,11
	9	11,34	13,09	15,61	10,17	11,56	13,48	9,22	10,35	11,86

9.8. Anexo 8: Listado completo de amplitudes

		SECA					
	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 1	1	-17,85	1,06	-8,07	-14,95	7,91	14,29
	2	-17,83	0,99	-7,47	-12,98	5,58	1,99
	3	-17,65	1,33	-7,84	-13,84	4,66	6,51
	4	-17,60	1,06	-7,94	-18,41	5,40	10,82
	5	-17,98	1,01	-7,34	-15,76	4,66	5,23
	6	-18,20	0,63	-7,90	-18,20	4,36	9,94
	7	-18,03	1,08	-7,22	-15,84	5,69	10,20
	8	-18,06	0,92	-7,27	-13,92	4,63	-1,06
	9	-17,83	1,66	-7,08	-13,57	5,19	5,87
PROBETA 2	1	-17,31	0,97	-7,75	-16,17	5,30	5,98
	2	-17,59	1,22	-8,04	-15,11	2,29	-5,29
	3	-17,68	0,86	-8,07	-16,47	2,23	3,02
	4	-17,57	1,29	-7,50	-19,79	5,83	10,53
	5	-17,56	0,85	-8,03	-17,72	3,40	4,46
	6	-17,80	1,12	-7,94	-20,79	2,58	6,19
	7	-17,56	1,08	-7,92	-16,42	8,08	14,63
	8	-17,65	1,05	-6,65	-15,02	4,29	4,28
	9	-17,56	1,06	-6,22	-14,41	3,94	6,74
PROBETA 3	1	-17,43	1,01	-8,08	-16,87	5,45	8,51
	2	-17,22	1,07	-7,82	-16,17	3,56	-1,04
	3	-17,54	0,55	-8,16	-14,23	3,73	5,86
	4	-17,68	0,74	-7,20	-20,40	3,51	9,30
	5	-17,46	0,87	-7,09	-17,03	3,59	5,39
	6	-17,77	0,64	-7,22	-20,23	3,41	8,95
	7	-17,56	0,94	-7,41	-17,54	5,71	11,13
	8	-17,62	0,58	-7,86	-15,31	4,25	0,64
	9	-17,44	0,71	-7,75	-16,39	4,34	7,56
PROBETA 4	1	-17,47	0,98	-7,88	-16,81	5,90	7,44
	2	-16,98	1,14	-8,43	-15,43	3,21	-3,32
	3	-17,72	0,91	-7,09	-15,38	3,47	3,26
	4	-17,16	1,08	-8,25	-18,51	5,01	9,55
	5	-17,38	1,23	-9,23	-18,67	3,95	5,58
	6	-17,43	1,07	-7,07	-21,43	2,89	8,90
	7	-16,95	1,06	-8,40	-16,17	5,14	7,40
	8	-17,31	1,05	-8,35	-13,41	4,12	-1,23
	9	-17,23	0,80	-7,92	-14,04	4,44	6,11

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 5	1	-17,19	0,91	-7,61	-16,86	4,82	6,25
	2	-17,12	0,94	-7,11	-16,35	1,77	-5,88
	3	-17,56	0,46	-7,91	-16,29	3,50	4,12
	4	-17,38	0,56	-8,34	-21,35	4,11	8,81
	5	-17,22	0,84	-8,23	-18,74	2,21	3,60
	6	-17,82	0,78	-7,67	-19,52	2,67	8,10
	7	-17,73	0,44	-7,19	-16,35	5,03	8,41
	8	-17,72	0,21	-8,22	-15,11	2,22	-2,42
	9	-17,16	0,58	-8,20	-15,78	4,85	8,93
PROBETA 6	1	-17,39	0,87	-7,38	-15,50	4,78	6,60
	2	-17,43	0,64	-8,08	-16,76	2,94	-2,06
	3	-17,80	0,74	-8,63	-13,54	5,19	6,57
	4	-17,54	1,29	-7,55	-19,17	4,35	7,88
	5	-17,28	1,12	-8,00	-19,17	2,69	3,58
	6	-17,57	0,63	-7,52	-17,64	4,71	9,92
	7	-17,64	0,47	-8,36	-15,38	7,38	14,27
	8	-17,31	1,00	-7,94	-16,87	4,44	3,50
	9	-17,54	0,76	-7,69	-15,73	5,49	10,02
PROBETA 7	1	-17,39	0,78	-7,04	-15,46	4,71	6,22
	2	-17,28	0,69	-7,02	-14,92	3,57	-1,46
	3	-17,43	1,10	-7,69	-14,53	4,54	5,32
	4	-17,38	0,89	-7,09	-21,00	3,99	8,51
	5	-17,33	0,98	-7,02	-20,47	3,89	8,33
	6	-17,39	1,10	-7,05	-17,96	2,73	4,04
	7	-17,03	0,79	-7,57	-17,35	4,25	9,70
	8	-17,44	0,78	-7,89	-16,90	5,56	10,02
	9	-17,28	1,25	-7,10	-17,73	2,51	-2,45
PROBETA 8	1	-17,25	0,94	-7,35	-16,64	4,95	6,97
	2	-17,08	0,74	-7,53	-16,08	1,67	-5,90
	3	-17,27	0,93	-7,21	-14,20	3,43	3,13
	4	-17,09	1,33	-7,91	-18,86	6,22	11,01
	5	-17,31	1,14	-7,77	-17,19	2,80	4,36
	6	-17,36	0,77	-7,47	-19,17	2,95	9,35
	7	-17,01	1,00	-7,37	-15,11	5,99	10,37
	8	-17,27	0,54	-7,94	-15,47	4,09	-1,05
	9	-17,25	1,18	-7,50	-16,38	3,08	5,55

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 9	1	-17,57	0,96	-7,77	-17,64	4,41	5,05
	2	-17,22	0,82	-7,81	-15,35	2,47	-3,85
	3	-17,22	0,69	-7,89	-15,66	3,22	0,20
	4	-17,09	1,13	-7,31	-19,59	4,00	7,67
	5	-17,23	1,08	-7,34	-19,12	3,62	5,36
	6	-17,11	0,82	-7,52	-19,19	2,10	7,38
	7	-17,57	0,78	-8,10	-15,27	5,44	9,59
	8	-17,41	1,24	-7,62	-16,23	2,50	-2,18
	9	-17,56	1,10	-7,41	-14,71	5,20	6,97
PROBETA 10	1	-17,46	1,06	-7,90	-19,22	3,07	3,18
	2	-17,67	0,72	-7,87	-16,12	2,42	-3,57
	3	-17,68	0,81	-7,29	-16,18	3,29	3,15
	4	-17,30	0,73	-8,52	-18,45	4,62	8,63
	5	-17,47	0,58	-8,20	-16,84	4,24	5,61
	6	-17,82	0,52	-7,71	-18,25	4,47	9,75
	7	-17,22	0,87	-7,56	-18,30	4,91	7,15
	8	-17,77	0,83	-7,49	-16,39	3,68	0,05
	9	-17,57	0,69	-7,19	-15,49	4,01	5,63
PROBETA 11	1	-17,64	0,82	-7,84	-14,49	6,60	7,62
	2	-17,49	0,87	-7,86	-15,10	3,83	-1,72
	3	-17,60	0,57	-7,67	-14,81	4,69	7,63
	4	-17,86	0,73	-8,35	-17,62	6,08	10,55
	5	-17,46	0,79	-7,79	-17,28	4,96	6,84
	6	-17,28	0,49	-7,65	-15,85	5,72	10,22
	7	-17,44	0,54	-7,56	-14,88	5,71	6,18
	8	-17,57	0,63	-7,53	-15,73	3,40	-3,49
	9	-17,56	1,12	-6,91	-15,51	4,11	3,10
PROBETA 12	1	-17,44	0,76	-8,00	-14,01	6,89	7,04
	2	-17,43	0,82	-7,81	-15,50	3,21	-2,09
	3	-17,68	0,90	-7,54	-16,18	3,16	3,08
	4	-17,68	0,54	-7,85	-17,36	6,08	10,27
	5	-18,00	0,41	-8,46	-16,23	4,14	5,32
	6	-17,52	0,76	-7,77	-19,45	2,94	9,36
	7	-17,60	0,76	-7,56	-18,31	5,18	10,65
	8	-17,68	0,74	-7,79	-14,66	3,84	-0,52
	9	-17,49	0,47	-8,44	-12,92	4,65	6,03

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 13	1	-17,25	1,15	-6,84	-18,35	5,41	9,26
	2	-17,70	0,82	-7,03	-14,46	3,59	-2,30
	3	-17,68	0,91	-6,82	-16,38	3,86	5,53
	4	-16,98	0,87	-7,60	-20,08	5,23	9,43
	5	-17,49	0,67	-7,23	-16,98	4,21	5,94
	6	-17,70	0,55	-7,10	-20,45	3,17	8,53
	7	-17,09	1,28	-7,01	-17,52	4,51	7,31
	8	-17,65	1,02	-7,03	-15,17	2,42	-2,60
	9	-17,68	0,73	-6,98	-15,28	4,07	5,16
PROBETA 14	1	-17,43	0,81	-7,30	-15,12	7,08	11,94
	2	-17,22	1,33	-6,63	-14,94	4,40	2,52
	3	-17,28	1,22	-7,09	-14,49	4,99	7,56
	4	-17,20	1,53	-7,62	-19,94	5,31	9,91
	5	-16,90	1,15	-7,21	-17,31	3,72	5,13
	6	-17,36	1,06	-7,07	-18,35	4,34	10,20
	7	-17,04	1,24	-8,16	-17,06	5,48	7,32
	8	-17,70	1,19	-7,74	-14,87	2,54	-3,44
	9	-17,28	1,01	-7,63	-15,60	2,60	3,41
PROBETA 15	1	-17,47	0,47	-6,75	-14,59	6,70	7,78
	2	-17,23	1,27	-7,12	-17,01	3,08	-2,21
	3	-17,25	1,25	-7,00	-15,21	4,76	4,57
	4	-17,41	1,15	-7,28	-17,98	5,22	9,56
	5	-17,23	1,43	-7,04	-17,06	3,64	4,02
	6	-17,14	1,17	-7,85	-19,01	3,27	8,86
	7	-17,20	1,17	-6,94	-15,50	6,82	12,27
	8	-17,12	1,48	-6,64	-14,95	4,39	2,48
	9	-17,47	1,61	-6,03	-15,38	3,93	7,30
PROBETA 16	1	-17,47	1,14	-7,28	-15,90	5,99	8,28
	2	-17,54	1,15	-7,52	-16,24	2,40	-3,51
	3	-17,54	0,75	-6,59	-14,02	4,44	4,23
	4	-17,49	1,33	-7,23	-20,57	3,71	8,86
	5	-17,00	0,90	-8,21	-17,68	2,59	3,54
	6	-17,43	0,82	-7,69	-17,30	4,64	8,73
	7	-17,52	1,08	-6,84	-15,50	4,54	4,02
	8	-16,92	1,22	-6,53	-15,10	2,41	-4,69
	9	-17,31	1,38	-6,83	-16,33	3,13	4,76

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 17	1	-16,90	1,39	-7,71	-16,00	6,69	7,61
	2	-17,62	1,41	-6,65	-14,98	3,98	-1,72
	3	-17,78	1,19	-6,96	-14,78	4,75	5,05
	4	-16,83	1,09	-6,23	-19,01	5,14	9,93
	5	-17,46	1,14	-6,82	-18,62	2,74	3,64
	6	-17,49	0,87	-7,52	-18,50	4,05	9,44
	7	-16,81	1,21	-7,80	-17,46	5,27	7,40
	8	-17,19	0,96	-7,13	-16,17	3,50	-0,67
	9	-17,43	1,08	-7,29	-15,30	4,38	6,32
PROBETA 18	1	-17,86	0,41	-7,52	-16,36	4,90	6,12
	2	-17,41	0,64	-8,03	-14,34	3,65	0,78
	3	-17,33	1,07	-8,35	-14,27	3,42	1,00
	4	-17,64	0,39	-8,29	-17,82	4,71	7,55
	5	-17,64	0,29	-8,56	-17,08	3,34	4,93
	6	-17,47	1,02	-7,90	-18,40	3,28	8,89
	7	-17,17	1,09	-8,21	-16,41	5,22	11,27
	8	-17,28	1,09	-7,58	-16,06	4,09	3,73
	9	-17,35	1,20	-6,49	-17,28	4,03	10,59
PROBETA 19	1	-16,73	1,10	-8,01	-15,38	7,25	9,52
	2	-17,25	0,78	-6,86	-16,11	2,19	-4,37
	3	-16,98	0,97	-7,93	-17,27	3,51	6,21
	4	-17,11	0,96	-8,35	-19,38	4,36	8,68
	5	-17,59	0,78	-7,97	-17,44	3,69	4,13
	6	-17,54	0,87	-7,25	-19,01	4,11	9,70
	7	-17,52	1,09	-7,68	-19,05	3,05	5,05
	8	-17,35	0,80	-7,32	-16,20	3,09	-2,65
	9	-17,49	0,89	-7,20	-16,27	4,95	6,87
PROBETA 20	1	-17,68	0,98	-6,03	-17,00	4,80	6,56
	2	-17,49	0,91	-7,07	-18,03	1,38	-4,70
	3	-17,75	0,63	-7,69	-16,20	2,90	1,76
	4	-17,14	1,17	-6,59	-19,20	4,68	10,20
	5	-17,28	1,23	-7,07	-20,57	1,53	2,88
	6	-17,70	0,84	-7,43	-20,70	2,02	7,42
	7	-17,22	0,97	-7,50	-14,52	6,10	7,09
	8	-17,44	0,72	-6,58	-15,18	3,13	-1,76
	9	-17,91	0,91	-6,17	-15,72	3,25	4,75

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 21	1	-17,52	0,33	-7,45	-16,14	5,00	7,73
	2	-17,60	0,70	-7,78	-16,17	2,37	-4,99
	3	-17,47	0,60	-8,07	-16,06	2,04	1,91
	4	-17,46	0,66	-7,67	-21,21	3,85	8,60
	5	-17,65	0,64	-7,51	-17,70	2,69	3,85
	6	-17,72	0,45	-7,25	-16,05	4,49	9,30
	7	-17,39	1,20	-8,02	-14,97	6,65	10,27
	8	-17,39	0,78	-7,50	-14,62	3,73	-1,80
	9	-17,90	0,93	-7,17	-14,00	4,73	5,35
PROBETA 22	1	-17,43	0,93	-6,89	-16,61	5,44	7,37
	2	-17,51	0,91	-7,32	-15,01	2,26	-3,94
	3	-17,46	1,03	-7,67	-14,88	4,61	7,24
	4	-17,23	0,96	-7,14	-20,91	3,71	8,08
	5	-17,59	0,63	-8,18	-20,06	1,53	2,84
	6	-17,41	0,63	-8,40	-18,05	2,87	9,87
	7	-17,35	0,82	-7,73	-15,76	4,44	4,59
	8	-17,46	1,02	-7,60	-16,08	2,44	-3,04
	9	-17,03	1,05	-7,77	-15,43	4,28	5,63
PROBETA 23	1	-17,36	0,54	-8,08	-15,69	6,11	7,62
	2	-17,39	0,66	-7,32	-16,03	2,61	-2,37
	3	-17,35	0,96	-6,40	-16,05	4,02	6,41
	4	-16,90	1,12	-8,26	-19,92	4,64	7,87
	5	-17,59	0,84	-7,69	-15,05	4,84	5,94
	6	-17,56	0,61	-7,06	-16,46	4,34	7,44
	7	-17,14	1,34	-8,20	-18,15	5,86	8,45
	8	-17,49	0,69	-7,34	-14,23	4,24	0,67
	9	-17,20	1,15	-7,10	-15,85	4,31	9,88
PROBETA 24	1	-17,16	0,32	-6,90	-15,54	6,34	6,42
	2	-17,47	0,97	-7,45	-15,47	2,27	-3,66
	3	-17,16	1,08	-7,05	-16,95	3,90	6,79
	4	-17,68	1,14	-7,25	-18,21	5,94	9,67
	5	-17,28	1,07	-7,00	-17,04	3,95	5,43
	6	-17,28	0,95	-6,99	-17,17	4,13	10,22
	7	-17,27	0,73	-7,70	-14,39	5,17	4,71
	8	-17,27	0,76	-7,11	-15,02	3,52	-1,86
	9	-17,44	1,22	-7,07	-14,59	3,37	5,48

		HUMEDA					
	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 1	1	-17,47	0,93	-8,11	-28,12	4,08	11,60
	2	-17,30	0,66	-7,70	-27,16	1,80	3,85
	3	-17,46	0,85	-8,02	-27,47	4,34	12,78
	4	-17,08	0,93	-8,26	-31,52	2,57	9,14
	5	-17,31	1,11	-7,35	-27,87	0,73	2,41
	6	-17,22	1,05	-7,57	-29,80	0,78	7,47
	7	-17,11	0,93	-7,76	-29,25	2,59	8,85
	8	-17,33	1,08	-7,20	-27,58	0,94	2,70
	9	-17,54	1,11	-7,64	-28,84	0,58	7,12
PROBETA 2	1	-17,00	1,13	-6,76	-24,00	2,00	9,70
	2	-17,62	1,60	-7,14	-21,83	-0,49	0,25
	3	-17,51	1,62	-7,01	-20,68	1,10	9,35
	4	-17,54	1,51	-7,06	-23,65	0,58	5,75
	5	-16,98	1,59	-7,16	-20,94	-2,93	-3,81
	6	-17,47	2,00	-6,78	-22,11	-2,44	2,16
	7	-17,73	1,31	-7,69	-19,58	3,53	11,40
	8	-17,73	1,08	-6,77	-16,86	2,01	1,45
	9	-17,75	1,10	-6,25	-15,84	2,59	6,97
PROBETA 3	1	-17,77	0,70	-8,00	-18,33	3,40	9,69
	2	-17,60	0,87	-7,82	-15,60	2,35	-1,95
	3	-17,54	0,76	-8,09	-15,31	1,77	5,82
	4	-18,15	0,37	-8,02	-18,93	0,80	5,95
	5	-18,13	0,40	-7,63	-17,91	-1,81	-2,61
	6	-18,18	0,48	-7,53	-19,83	-3,39	2,02
	7	-18,10	0,62	-7,79	-20,01	3,18	12,00
	8	-18,01	0,40	-8,07	-17,17	2,28	0,96
	9	-17,75	0,69	-8,29	-17,85	1,09	7,28
PROBETA 4	1	-17,38	1,30	-7,92	-14,39	2,29	7,55
	2	-17,31	1,09	-8,43	-12,53	3,03	-0,01
	3	-17,77	0,82	-7,38	-11,97	3,02	5,28
	4	-16,98	1,46	-7,94	-15,02	2,00	2,95
	5	-17,36	1,54	-8,82	-14,13	1,48	-2,27
	6	-17,43	1,17	-6,61	-14,52	1,36	3,79
	7	-17,08	1,54	-8,11	-16,86	2,08	9,33
	8	-17,51	1,15	-8,09	-12,29	2,31	0,33
	9	-17,23	0,97	-7,78	-13,85	2,76	7,63

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 5	1	-17,38	1,21	-7,56	-17,08	3,46	8,33
	2	-17,59	0,88	-7,31	-14,81	1,97	-2,82
	3	-17,73	0,73	-7,54	-14,80	0,22	1,14
	4	-17,51	0,94	-8,11	-14,35	3,64	5,78
	5	-17,64	1,02	-7,99	-13,12	2,72	-0,86
	6	-17,60	1,29	-7,26	-15,02	0,94	3,92
	7	-17,60	1,06	-7,01	-15,43	1,58	10,34
	8	-17,82	0,69	-7,94	-15,63	0,53	-0,25
	9	-17,28	0,81	-8,12	-15,66	0,72	5,46
PROBETA 6	1	-17,49	0,99	-7,48	-18,08	1,17	7,83
	2	-17,41	0,98	-8,02	-18,30	0,74	1,36
	3	-18,13	0,50	-9,08	-17,75	1,62	9,21
	4	-18,08	0,96	-7,93	-14,91	2,09	4,28
	5	-17,88	1,07	-8,16	-15,65	2,35	0,75
	6	-17,44	1,10	-7,51	-13,54	3,24	5,55
	7	-17,70	0,85	-8,07	-17,20	0,98	4,56
	8	-17,30	1,39	-7,77	-18,11	0,13	-0,18
	9	-17,49	0,92	-7,51	-19,61	0,50	5,20
PROBETA 7	1	-17,72	0,90	-6,83	-19,26	0,69	3,87
	2	-17,68	0,84	-7,02	-14,01	1,20	-2,63
	3	-17,44	1,56	-7,72	-14,07	1,67	3,99
	4	-17,49	1,33	-6,81	-14,67	2,02	5,96
	5	-17,41	1,62	-6,95	-15,12	0,99	-1,25
	6	-17,12	0,85	-7,28	-13,18	2,76	5,42
	7	-17,52	0,95	-7,87	-18,10	1,79	6,12
	8	-17,46	1,39	-7,01	-19,47	-0,24	-3,44
	9	-17,36	1,36	-7,76	-19,52	-0,89	1,61
PROBETA 8	1	-17,72	0,90	-6,83	-19,26	0,69	3,87
	2	-17,68	0,84	-7,02	-14,01	1,20	-2,63
	3	-17,44	1,56	-7,72	-14,07	1,67	3,99
	4	-17,49	1,33	-6,81	-14,67	2,02	5,96
	5	-17,41	1,62	-6,95	-15,12	0,99	-1,25
	6	-17,12	0,85	-7,28	-13,18	2,76	5,42
	7	-17,52	0,95	-7,87	-18,10	1,79	6,12
	8	-17,46	1,39	-7,01	-19,47	-0,24	-3,44
	9	-17,36	1,36	-7,76	-19,52	-0,89	1,61

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 9	1	-18,03	1,14	-7,62	-24,54	-0,28	5,13
	2	-17,85	0,82	-7,66	-29,48	-4,52	-8,98
	3	-17,78	0,73	-7,84	-29,95	-1,63	2,84
	4	-17,72	1,21	-6,91	-21,85	2,91	7,13
	5	-17,91	1,14	-7,27	-23,56	0,77	-0,18
	6	-17,72	0,91	-7,20	-21,16	1,81	5,60
	7	-17,54	1,41	-7,65	-25,00	-0,90	3,43
	8	-17,49	1,59	-7,48	-22,72	-0,55	-1,47
	9	-17,65	1,52	-7,54	-25,72	-1,42	2,93
PROBETA 10	1	-17,39	1,45	-7,36	-31,13	-1,53	1,08
	2	-17,25	1,48	-7,64	-35,73	-3,74	-5,11
	3	-17,28	1,59	-6,83	-31,88	-4,42	1,54
	4	-17,01	1,59	-8,02	-24,86	3,78	8,56
	5	-17,38	1,00	-8,69	-30,56	1,59	2,87
	6	-17,31	1,29	-7,56	-26,36	2,05	7,01
	7	-17,01	1,19	-7,19	-25,53	-1,57	8,05
	8	-17,64	1,56	-7,30	-26,77	-2,65	0,16
	9	-17,56	1,13	-7,00	-27,37	-1,33	4,50
PROBETA 11	1	-17,78	1,09	-7,74	-28,79	0,65	5,08
	2	-17,72	1,15	-7,67	-28,73	0,52	5,39
	3	-17,49	1,07	-7,46	-26,04	-2,16	3,20
	4	-35,65	-16,84	-26,06	-38,11	-12,18	-7,12
	5	-17,33	1,16	-7,69	-28,40	0,91	1,80
	6	-17,23	0,81	-7,52	-23,58	2,10	6,32
	7	-17,46	0,84	-7,41	-25,24	0,98	5,84
	8	-17,59	0,77	-7,64	-33,53	-2,68	-1,30
	9	-17,44	1,41	-6,94	-30,63	-3,26	1,16
PROBETA 12	1	-17,67	0,95	-8,00	-35,85	-1,17	2,17
	2	-17,31	1,10	-8,23	-39,13	-4,01	-5,46
	3	-17,65	0,91	-7,75	-25,15	4,52	9,00
	4	-17,52	1,04	-7,62	-25,03	4,56	8,99
	5	-17,33	1,08	-8,28	-32,21	0,84	2,27
	6	-17,16	1,38	-7,66	-29,07	1,77	7,17
	7	-17,56	1,01	-7,63	-25,50	4,97	9,80
	8	-17,30	1,22	-8,23	-32,45	0,86	2,20
	9	-17,20	1,39	-7,80	-29,63	1,59	7,00

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 13	1	-17,54	1,25	-6,27	-24,20	-3,36	0,12
	2	-17,78	1,01	-7,04	-24,16	-4,32	-6,39
	3	-17,62	1,06	-6,65	-22,87	-2,17	3,65
	4	-17,17	1,02	-7,62	-31,16	-0,54	4,90
	5	-17,82	0,60	-7,38	-32,58	-3,21	-1,18
	6	-17,56	0,80	-7,12	-29,60	0,03	6,08
	7	-17,59	1,07	-7,38	-15,07	2,79	9,18
	8	-17,67	1,24	-7,09	-19,83	-3,99	-7,61
	9	-17,59	1,19	-6,79	-23,71	-5,00	-3,40
PROBETA 14	1	-17,68	1,01	-7,11	-15,72	1,23	4,83
	2	-17,30	1,53	-6,44	-19,42	-2,42	-1,49
	3	-17,38	1,42	-6,78	-16,59	-1,03	2,34
	4	-17,22	1,84	-7,20	-28,99	-1,16	5,48
	5	-16,98	1,56	-6,85	-33,49	-5,25	-3,37
	6	-17,30	1,49	-6,74	-29,75	-1,38	4,74
	7	-17,28	1,48	-7,81	-21,25	-2,21	3,18
	8	-17,70	1,34	-7,48	-19,61	-3,05	-4,26
	9	-17,23	1,31	-7,37	-16,05	-0,36	2,39
PROBETA 15	1	-17,82	0,32	-6,70	-26,59	-5,70	-3,74
	2	-17,51	1,16	-6,92	-19,96	-2,84	-9,22
	3	-17,56	1,27	-6,84	-17,56	0,05	1,06
	4	-17,73	1,10	-7,25	-44,24	-4,33	3,11
	5	-17,27	1,49	-6,91	-37,66	-5,29	-3,17
	6	-17,31	1,27	-7,34	-32,04	-2,83	3,89
	7	-17,49	1,00	-7,10	-21,06	-2,81	1,33
	8	-17,11	1,62	-6,30	-20,30	-3,26	-4,54
	9	-17,57	1,76	-5,53	-19,42	-2,35	4,37
PROBETA 16	1	-17,65	1,00	-6,84	-17,38	-2,38	2,00
	2	-17,65	1,10	-7,40	-16,56	-1,98	-6,98
	3	-17,73	0,69	-6,75	-17,30	-0,23	0,71
	4	-18,03	1,12	-7,17	-41,93	-4,38	2,98
	5	-17,59	0,64	-8,64	-40,55	-8,34	-6,08
	6	-18,06	0,33	-8,13	-37,71	-5,41	2,52
	7	-17,82	1,01	-7,00	-18,45	1,26	7,14
	8	-17,22	1,08	-6,53	-19,35	-0,60	-0,60
	9	-17,73	1,05	-7,07	-18,86	0,00	4,79

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 17	1	-17,04	1,65	-7,62	-17,98	-0,16	1,82
	2	-17,49	1,67	-6,75	-16,90	-1,57	-3,64
	3	-17,85	1,15	-6,90	-17,16	-0,98	0,73
	4	-16,89	1,40	-6,32	-35,45	-5,51	1,50
	5	-17,49	1,22	-6,72	-31,78	-6,43	-2,59
	6	-17,60	0,98	-7,74	-37,75	-8,53	0,79
	7	-16,93	1,39	-7,89	-16,47	0,19	4,09
	8	-17,52	0,86	-7,13	-15,99	-0,08	-1,72
	9	-17,43	1,07	-7,59	-15,82	0,43	3,64
PROBETA 18	1	-17,44	1,18	-6,90	-17,54	2,11	7,28
	2	-18,01	0,49	-7,99	-21,61	-1,35	-0,16
	3	-18,11	0,65	-8,51	-18,43	-2,33	1,80
	4	-17,85	0,41	-7,58	-30,35	-2,18	4,19
	5	-17,65	0,58	-8,36	-35,33	-6,03	-3,68
	6	-17,57	1,08	-8,00	-35,41	-9,45	-1,91
	7	-17,39	1,10	-8,23	-18,10	0,96	6,27
	8	-17,46	1,20	-7,55	-19,59	-1,17	0,79
	9	-17,59	1,21	-6,47	-25,24	-2,21	4,46
PROBETA 19	1	-17,80	0,53	-7,69	-18,21	-1,54	3,29
	2	-17,93	0,42	-7,16	-21,57	-2,42	-2,06
	3	-17,88	0,50	-7,88	-18,60	-1,05	3,02
	4	-17,96	0,47	-8,42	-37,44	-7,39	0,49
	5	-18,00	0,49	-7,80	-39,56	-12,63	-10,42
	6	-18,30	0,38	-7,52	-37,97	-11,26	-1,65
	7	-18,00	1,01	-7,64	-16,61	2,01	4,85
	8	-18,08	0,51	-7,45	-20,19	-2,50	-4,87
	9	-17,86	0,69	-7,30	-18,11	-2,45	1,00
PROBETA 20	1	-18,43	0,36	-6,33	-21,16	-2,69	1,66
	2	-18,25	0,41	-7,26	-21,69	-3,07	-4,21
	3	-17,83	0,63	-7,59	-19,56	-2,92	1,24
	4	-17,75	0,86	-6,61	-42,04	-9,23	-0,87
	5	-17,68	1,10	-7,03	-33,96	-7,60	-5,48
	6	-18,06	0,67	-7,29	-32,72	-7,65	-0,12
	7	-17,43	0,91	-7,25	-18,62	-1,05	5,22
	8	-17,56	0,65	-6,78	-21,31	-2,16	-2,44
	9	-17,85	0,91	-6,08	-23,28	-4,34	0,57

	PTO	D1	D2	D3	R1	R2	R3
PROBETA 21	1	-17,88	0,33	-7,70	-23,91	-1,90	2,76
	2	-18,01	0,57	-7,87	-26,44	-1,82	-2,33
	3	-17,90	0,51	-8,25	-23,51	-2,70	1,74
	4	-17,88	0,58	-7,70	-35,65	-8,03	-0,72
	5	-17,90	0,53	-7,62	-30,69	-6,77	-5,05
	6	-18,11	0,33	-7,47	-33,10	-8,98	-1,59
	7	-17,38	1,34	-7,94	-19,94	-1,05	5,20
	8	-17,46	0,89	-7,51	-22,43	-2,50	-1,08
	9	-17,78	1,19	-7,26	-21,27	-1,59	3,00
PROBETA 22	1	-17,70	0,94	-6,98	-28,59	-2,27	1,62
	2	-17,86	0,65	-7,35	-33,60	-3,94	-4,63
	3	-17,59	1,01	-7,67	-29,92	-5,10	-2,09
	4	-17,68	0,76	-7,02	-25,58	-6,17	-1,10
	5	-17,90	0,58	-8,18	-26,46	-5,96	-5,07
	6	-18,00	0,45	-8,37	-33,78	-9,97	-0,32
	7	-17,67	0,76	-7,61	-26,31	-3,10	2,43
	8	-17,80	1,03	-7,49	-24,52	-4,05	-4,61
	9	-17,36	1,12	-7,51	-19,76	-3,15	-0,11
PROBETA 23	1	-17,62	0,73	-7,97	-20,77	-0,05	3,58
	2	-17,51	0,78	-7,28	-24,89	-3,68	-7,26
	3	-17,39	0,79	-6,56	-23,28	-7,09	-8,85
	4	-17,68	0,71	-8,28	-28,20	-10,12	-4,04
	5	-18,05	0,51	-8,10	-31,07	-10,45	-8,24
	6	-17,80	0,66	-7,20	-32,72	-11,77	-5,29
	7	-17,91	1,01	-8,22	-21,14	-1,50	3,09
	8	-18,30	0,15	-7,55	-24,63	-1,85	-3,10
	9	-17,93	0,54	-7,45	-21,93	-1,56	1,39
PROBETA 24	1	-17,31	0,55	-6,71	-25,08	-2,91	0,23
	2	-17,52	1,17	-6,90	-27,87	-4,39	-4,72
	3	-17,00	1,34	-7,14	-25,92	-4,18	-1,21
	4	-17,52	1,46	-7,04	-30,20	-8,89	-2,87
	5	-17,41	1,33	-7,01	-29,16	-8,92	-7,89
	6	-17,54	0,97	-7,17	-31,94	-10,10	-2,68
	7	-17,51	0,73	-7,72	-26,11	-3,42	0,69
	8	-17,77	0,52	-7,29	-26,39	-2,74	-3,29
	9	-17,75	1,15	-7,05	-23,93	-0,78	4,84