

Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos



Vicente Pellicer LLopis
[Seleccione la fecha]

ÍNDICE:

1.- INTRODUCCIÓN	3
1.1.- Antecedentes.....	4
1.2.- Objetivos.....	6
1.3.- Descripción del trabajo.....	7
2.- ENSAYO NO DESTRUCTIVO, GEORRADAR	8
2.1.- Introducción, historia del georradar y campo de aplicación	9
2.2.- Principio de funcionamiento del georradar	11
2.2.1.- Parámetros característicos de las ondas electromagnéticas	11
2.2.2.- Fenómenos de la propagación de las ondas electromagnéticas	14
2.3.- Elementos que componen el georradar.....	16
2.3.1.- Antenas.....	16
2.3.2.- Unidad central.....	17
2.3.3.- Accesorios.....	18
2.4.- Parametros de un registro.....	20
2.5.- Equipo empleado en nuestro ensayo	22
3.- ENSAYO NO DESTRUCTIVO, ULTRASONIDOS.....	25
3.1.- Historia de los ultrasonidos y campo de aplicación	26
3.2.- Principio de funcionamiento del ensayo con ultrasonidos.....	27
3.2.1.- Factores que afectan a los ultrasonidos	29
3.2.2.- Modo de empleo del equipo de ultrasonidos	30
4.- EL HORMIGÓN.....	33
4.1.- Introducción y historia del hormigón	34
4.2.- Componentes del hormigón	35
4.3.- Propiedades y características del hormigón endurecido.....	40
4.3.1.- Importancia de la dosificación en el hormigón.....	43
4.3.2.- Importancia de la relación agua/cemento	44

5.- PROGRAMA EXPERIMENTAL	47
5.1.-Descripción de las piezas ensayadas.....	48
5.2.- Hormigón empleado en nuestros ensayos	51
5.3.- Protocolo de medidas.....	52
5.3.1- Medición con georradar	52
5.3.2- Medición con ultrasonidos.....	55
6.- RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS ENSAYOS	58
6.1.- Georradar	59
6.1.1.- Descripción de una traza tipo	59
6.1.2.- Códigos de colores de las tablas y ejemplo.....	60
6.1.3.- Resultado de las mediciones de georradar.....	61
6.1.4.- Interpretación de las mediciones de georradar.....	76
6.2.- Ultrasonidos.....	89
6.2.1.- Códigos de colores de las tablas y ejemplo.....	89
6.2.2.- Resultados de las mediciones con ultrasonidos	89
6.2.3.- Interpretaciones de las mediciones con ultrasonidos	91
7.- CONCLUSIONES.....	99
8.- BIBLIOGRAFIA	101
9.- ANEXOS.....	104

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

El hormigón es el material de construcción por excelencia de nuestros tiempos. En efecto, hoy en día resulta casi imposible encontrar una construcción en la que no esté presente en alguna parte de la misma; desde tuberías, traviesas de ferrocarril y pavimentos de carreteras, hasta las grandes obras de la ingeniería civil como los puentes, los túneles o las presas, el hormigón forma parte de nuestra vida.

Sin embargo, pocas veces nos paramos a pensar en cómo se ha proyectado tal hormigón, o de qué manera se ha puesto en obra, o en otras cuestiones relacionadas con un material que tanto servicio proporciona. Es, en general, frente a las grandes estructuras de hormigón, aquellas que nos impresionan (Fig. 1.1), cuando solemos plantearnos cuál es el secreto de tal fantástico logro.



Figura 1.1. Presa de Adeadávila, Adeadávila (Salamanca), Castilla León. Imagen del periódico El País.

Y es aquí donde el diseño de mezclas juega un papel primordial. Efectivamente, la dosificación y la relación A/C tiene una gran importancia en el resultado final del hormigón y, por lo tanto, de la estructura.

Es importante tener en cuenta que una de las principales ventajas del hormigón como material de construcción es su capacidad de adaptación a las circunstancias de cada caso concreto, que en gran parte puede obtenerse, también, mediante el dominio de la relación agua/cemento y de la dosificación.

Con todo, parece lógico que un material formado por agua, cemento y áridos, aún correctamente dosificado, pueda presentar limitaciones en determinadas situaciones, que se acentúan ante una exigencia cada vez mayor del uso del hormigón en nuevos retos tecnológicos. Esto implica que deban introducirse ciertas modificaciones en su constitución o en su tecnología, básicamente a través de la incorporación de otros materiales que permitan mejorar las propiedades del hormigón en la dirección deseada.

En la literatura se pueden hallar decenas de métodos de dosificación para hormigones convencionales. Sin embargo, no todos los métodos son válidos para cualquier mezcla que se desee diseñar, es decir, en función de los requisitos que deba cumplir el

hormigón en cada caso, de las condiciones locales, de las costumbres del lugar, entre otros aspectos, se elegirá un método u otro de dosificación.

Por otra parte, en la dosificación de hormigones no convencionales, como los de alta resistencia, proyectados, deslizados, compactados con rodillo, y, en definitiva, todos aquellos que salgan de una dosificación típica, se puede constatar la no existencia, en general, de procedimientos de dosificación universalmente aceptados, por lo que su diseño se basa en indicaciones contenidas en alguna normativa, cuando las haya, y, sobre todo, en la experiencia personal y de otros.

Hoy en día, los ensayos del hormigón tienen un papel relevante para conocer mejor la estructura interna del hormigón. A partir de estos ensayos podremos crear hormigones de mayor calidad para cada situación en la que se desee utilizar.

Los ensayos del hormigón pueden ser de dos tipos:

- **Destructivos:** Se denomina ensayo destructivo a los que determinan la resistencia del hormigón por medio de la rotura de probetas o de piezas de hormigón.
- **No destructivos:** se denomina ensayo no destructivo del hormigón (también llamado END, o en inglés NTD non destructive testing) a los que permiten conocer la calidad del hormigón sin destruir o afectar a la estructura interna del hormigón.

La importancia de los ensayos no destructivos reside en que podemos realizar inspecciones de piezas en servicio y controles de calidad de estas sin destruir o influir en las propiedades del hormigón ensayado.

Nos centraremos en los no destructivos, en concreto en los métodos de *georradar* y de *ultrasonidos*.

1.2.- OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto de fin de grado es estudiar y analizar las diferencias registradas en los parámetros medidos con dos técnicas no destructivas: georradar y ultrasonidos en piezas de hormigón con dos relaciones agua/cemento (0,45 y 0,65), durante el proceso de curado en una cámara seca a temperatura constante de 30 °C y humedad del 60%.

Para desarrollar este objetivo general, será necesario cumplir los siguientes objetivos particulares:

- Conocer el fundamento teórico y el manejo de las dos técnicas no destructivas, georradar y ultrasonidos.
- Analizar la importancia de la relación agua/cemento (A/C) en la elaboración del hormigón y su influencia en la durabilidad y la resistencia del hormigón.
- Planificar y desarrollar la fase experimental en forma y tiempo de las técnicas no destructivas: georradar y ultrasonidos.
- Conocer y aplicar un software específico para analizar los registros de georradar obtenidos en la fase experimental.
- Analizar y comparar los datos obtenidos en las dos técnicas no destructivas, georradar y ultrasonidos.
- Comprobar la capacidad de las dos técnicas no destructivas para detectar diferencias en el hormigón como consecuencia de las distintas relaciones agua/cemento durante el curado en cámara seca a 30 °C y humedad del 60%.

1.3.- DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Para conseguir los objetivos propuestos en el apartado anterior 1.2 se han desarrollado una serie de trabajos que han servido para elaborar los distintos capítulos de los que consta el presente estudio. Seguidamente se describe brevemente los contenidos tratados en cada uno de ellos.

En el capítulo 2 de este proyecto, se describirán los principios de funcionamiento de la técnica no destructiva del georradar, las partes que componen un georradar, los distintos tipos y sus campos de aplicación.

El capítulo 3 está dedicado a la técnica de ultrasonidos. En éste se expondrá su sistema de funcionamiento, sus aplicaciones, las partes que lo componen y cómo usar un equipo de ultrasonidos. También explicaremos las ventajas y desventajas de este tipo de ensayo no destructivo.

Ya en el capítulo 4 nos centraremos en el hormigón en sí, su composición, sus propiedades cuando el hormigón está endurecido, así como la importante misión de la relación agua/cemento y de la dosificación en la durabilidad y resistencia del hormigón.

En el siguiente capítulo, el 5, se describe el proceso de fabricación de las probetas de hormigón para su posterior ensayo con el georradar y los ultrasonidos. También se muestra gráficamente los puntos escogidos para realizar los ensayos, se explica detalladamente cómo se han realizado los ensayos con el georradar y ultrasonidos, mostrando ejemplos de los registros obtenidos.

En el capítulo 6 se explicarán mediante tablas y gráficas los resultados de los ensayos realizados. Observaremos cómo afecta a las variables analizadas las distintas relaciones agua/cemento en distintos días de toma de datos durante el proceso de curado.

En el capítulo 7 se expondrán las conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados de nuestra experiencia con los equipos de ultrasonidos y georradar, así como de la documentación revisada para realizar este proyecto.

La bibliografía y documentación examinada figura en el capítulo 8 y finalmente en el capítulo 9 se adjunta todas las tablas de la toma de datos de los distintos días y también las tablas con las cuales nos hemos apoyado para realizar las gráficas y comparaciones entre los resultados.

CAPITULO 2.- ENSAYO NO DESTRUCTIVO: GEORRADAR

2.1.- INTRODUCCIÓN, HISTORIA DEL GEORRADAR Y CAMPO DE APLICACIÓN

Según el informe “Utilización del georradar para la localización de nidos de galápagos”, (García - García, 2011), el georradar es un método de investigación geofísica basado en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (entre 1 ns y 10 ns) en la banda de frecuencias de UHF-VHF (normalmente entre 8 MHz y 2,6 GHz). La técnica de georradar se basa en el principio de reflexión de ondas electromagnéticas que se propagan en un medio. La propagación de estos pulsos electromagnéticos por un medio se puede definir teóricamente a partir de las ecuaciones de Maxwell para ondas electromagnéticas.

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

El actual modus operandi del georradar genera secciones verticales continuas (llamadas registros radar o radargramas) del subsuelo, similares en apariencia e interpretación a una sección sísmica. Las operaciones de campo con georradar son sencillas y la adquisición de datos es muy rápida.

Dependiendo del tipo de problema a resolver, es decir de la auscultación hasta la profundidad deseada (por ejemplo 25 cm, 50 cm, 1 m, 5 m, 10 m, 30 m,...), debe utilizarse una o varias antenas de emisión y recepción. Estas antenas tienen frecuencias de emisión generalmente de 2,6 GHz, 1,6 GHz, 1 GHz, 900 MHz, 500 MHz, 400 MHz, 200 MHz, 100 MHz, 80 MHz hasta 8 MHz.

La técnica del georradar o Ground Penetrating Radar (GPR) es una técnica no destructiva, relativamente reciente, pues pese a que los primeros ensayos datan de las primeras décadas del siglo XX, solo hasta la década de los 70 se logró un desarrollo de un método práctico. Los primeros estudios fueron realizados en el área de la geología y glaciología, pero rápidamente se pasó a otros muchos campos incluidos el que nos interesa verdaderamente “La construcción”.

Las primeras etapas de la investigación fueron encaminadas a determinar las propiedades electromagnéticas de los materiales a investigar y los rangos de frecuencia (de 2600 MHz a 8 MHz) a con un funcionamiento óptimo en resolución y penetración. Ya a finales de los 80 y principio de 90 se completa el diseño y la construcción de los primeros equipos, tales como se conocen en la actualidad.

El campo de aplicación del georradar es muy amplio, siendo utilizado por empresas constructoras, empresas de telefonía, arqueólogos, compañías eléctricas etc. La utilización de una metodología de investigación no destructiva, como el georradar, con elevada resolución permite un mejor conocimiento para la planificación de la restauración, la conservación y del mantenimiento de edificaciones.

Las aplicaciones más usuales son:

a) Ingeniería civil:

Localización de:

- Canalizaciones y tuberías
- Cavidades
- Estructuras metálicas

Definición de estructura de hormigón armado

Espesores en firme

b) Medio-ambiente:

Localización de:

- Depósitos enterrados
- Fugas
- Contaminantes
- Acuíferos

c) Arqueología:

Localización de:

- Objetos
- Restos
- Asentamientos Urbanos

d) Geología y geotecnia:

Caracterización y localización de:

- Fallas superficiales
- Estratigrafía glacial

2.2.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

2.2.1.- PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Basándonos en el informe de (García – García, 2011) nombrado en el punto anterior, la radiación electromagnética o EMR es una forma de energía que puede ser únicamente observada por su interacción con la materia. La EMR está hecha de componentes eléctricos y magnéticos y es afectada por las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia con la cual entra en contacto.

La figura 2.1 ilustra una onda electromagnética viajando a través del espacio. Los componentes eléctricos y magnéticos están en fase siempre perpendiculares entre sí a la vez que perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

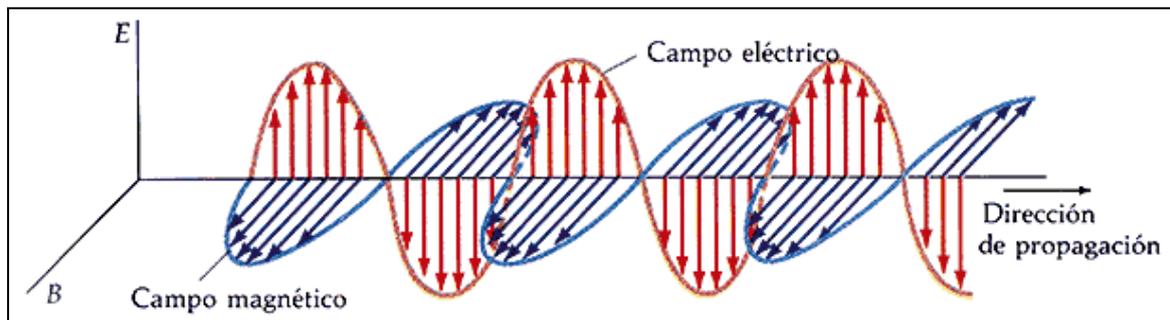


Figura 2.1. Esquema de una onda EM viajando a través de un medio. <http://www.investigacionyciencia.es>

La distancia física de la cresta de una onda a la siguiente es denominada **longitud de onda** (λ). El número de longitudes de onda pasando a través de un punto del espacio en un período específico de tiempo, es la **frecuencia** (f). Dado que cada longitud de onda representa un ciclo completo de la onda, la frecuencia es generalmente expresada como el número de ciclos por segundo o Hertz (Hz).

La **amplitud de onda** (Fig. 2.2), es la medida de la magnitud de la máxima perturbación del medio producida por la onda.

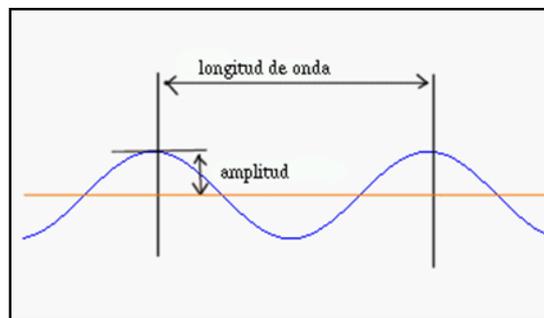


Figura 2.2. Amplitud y longitud de una onda.
Imagen extraída de <http://partner.cab.inta-csic.es>

La orientación de la onda (esto es, el plano a lo largo del cual viaja) es referida como la **polarización**. La EMR producida naturalmente contiene ondas que son polarizadas de forma aleatoria. Se pueden emplear filtros polarizantes para seleccionar aquellas ondas que tienen una orientación particular. Fuentes de EMR construidas por el

hombre, tales como los sistemas de radar, producen ondas con una polarización vertical u horizontal con respecto a la superficie. Algunos tipos de materiales pueden ser distinguidos por su tendencia a despolarizar estas ondas.

Como describe la tesis doctoral de (Rodríguez - Abad, 2009) "Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera", los parámetros electromagnéticos (**conductividad**, **permitividad dieléctrica** y **permeabilidad magnética**) son los que definen un medio al paso de una onda electromagnética.

a) CONDUCTIVIDAD

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica. Es decir, expresa la respuesta de las cargas libres de un medio en presencia de un campo eléctrico externo, siendo el factor de proporcionalidad entre el campo libre aplicado y la densidad de volumen de corriente debido al movimiento de estas cargas libres. Según la ley de Ohm:

$$\vec{J}_f = \sigma \vec{E}$$

(ec. 1)

Siendo:

- \vec{E} , campo eléctrico externo aplicado.
- \vec{J}_f , densidad volúmica de corriente debido a las cargas libres.
- σ , conductividad del material (S/m).

La conductividad de un material se expresa en $(\Omega\text{m})^{-1}$ o Siemens/m y es la inversa de su resistividad (Ωm).

En función de su conductividad, los materiales se clasifican como:

- Conductores, valores de conductividad superiores a 10^5 S / m.
- Aislantes, valores de conductividad inferiores a 10^{-8} S / m.
- Semiconductores, Valores comprendidos entre los dos anteriores.

En muchos medios, es el contenido de agua en los poros del material el factor que determina su conductividad.

La conducción eléctrica se debe básicamente a la existencia de fluido (con iones disueltos) en poros y fisuras. Es decir, cuanto mayor la porosidad del medio, mayor será el contenido en agua e iones y, en consecuencia, mayor será su conductividad.

b) PERMITIVIDAD DIELECTRICA

La permitividad dieléctrica absoluta, ϵ es una constante de proporcionalidad entre la intensidad del campo eléctrico externo aplicado y el vector desplazamiento eléctrico, D:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

(ec. 2)

La permitividad absoluta, ϵ (F/m en el S.I.) se define como el producto entre una permitividad relativa del material (ϵ_r) y la permitividad dieléctrica del vacío ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m):

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

(ec. 3)

La permitividad dieléctrica relativa es una constante adimensional que expresa la capacidad de polarización de un material en presencia de un campo eléctrico. En el vacío tiene valor 1. Para la mayoría de los materiales que podemos encontrar en el subsuelo al realizar una prospección electromagnética, los valores de la permitividad dieléctrica relativa se encontrarán entre 1 (la del aire) y 81, siendo esta última la del agua a 20° C de temperatura.

Para altas frecuencias (entre 10 MHz y 1000 MHz), en la mayor parte de los materiales del subsuelo, los fenómenos de desplazamiento (o polarización) dominan sobre los fenómenos de conductividad. De modo que, **los medios suelen caracterizarse a partir de su constante dieléctrica.**

c) PERMEABILIDAD MAGNETICA

La permeabilidad magnética es la capacidad que presenta un material para atraer o hacer pasar a través suyo un campo magnético. Este parámetro (μ) relaciona la inducción magnética, B, con la intensidad de campo magnético, H:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

(ec. 4)

La permeabilidad absoluta μ se puede escribir como el producto entre la permeabilidad magnética del vacío ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m) y la permeabilidad relativa del material:

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

(ec. 5)

En la mayor parte de los materiales que nos encontremos en los estudios con georradar (excepto en aquellos que contengan materiales ferromagnéticos) se cumple que la permeabilidad magnética es próxima a 1, no dependiendo de la frecuencia del campo magnético.

La **velocidad** de propagación de una onda electromagnética en un medio material no magnético (los más frecuentes en los estudios con georradar) y de baja conductividad eléctrica, la expresión que se emplea para la obtención de la velocidad de propagación de la onda es la siguiente:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

(ec. 6)

Donde (c) es la propagación de una onda electromagnética en el vacío ($c= 30 \text{ cm/ns}$) y (ϵ_r) es el valor de la constante dieléctrica del medio.

2.2.2.- FENOMENOS DE LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

2.2.2.1.- REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Cuando la energía electromagnética alcanza una discontinuidad en los parámetros electromagnéticos del medio, se producen los fenómenos de reflexión y de refracción (Fig. 2.3). Cuando la interfase es plana, la frecuencia de las ondas reflejadas y refractadas es la misma que la frecuencia de la onda incidente, siendo también el ángulo de reflexión igual al de incidencia.

En los estudios que se realizan con georradar, la reflexión es de ángulo pequeño, es decir, que se trabaja con incidencia normal (en el caso de que la superficie reflectora sea plana). En estas condiciones, los coeficientes de reflexión y de refracción sólo dependen de la relación entre impedancias complejas. Si además se trabaja en medios no magnéticos, una aproximación adecuada para la mayoría de los estudios con georradar, la expresión de los coeficientes queda como:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}$$

(ec. 7)

Donde:

- R (coeficiente de reflexión), porcentaje de energía reflejada respecto de la energía incidente.

De estas expresiones se puede deducir que, cuanto mayor sea la diferencia entre las constantes dieléctricas de los medios, mayor será el coeficiente de reflexión, es decir, a mayor contraste entre los dos medios en contacto, mayor porcentaje de la energía incidente será reflejado en la discontinuidad y, por lo tanto, un menor porcentaje de energía será transmitido al medio inferior.

En un estudio con georradar, valores de R elevados implican que se va a observar con más facilidad la onda reflejada en los registros. Pero, a su vez, la penetración del método disminuye y las reflexiones producidas en contrastes posteriores son de menor amplitud, pues el porcentaje de energía refractada es menor.

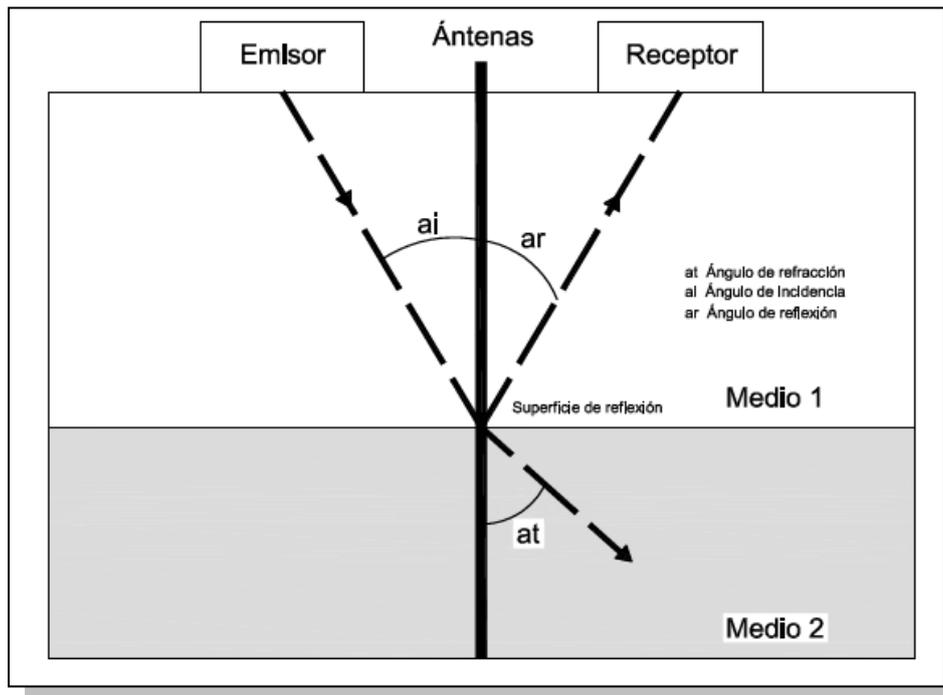


Figura 2.3. Emisión y recepción de una onda EM.

También es consecuencia de la ec.7 que si $\epsilon_{r2} > \epsilon_{r1}$ lo que sucede cuando se coloca un reflector metálico en la parte posterior de una muestra, $R < 0$. Esto implica que la onda que se refleja cambia su polaridad. Si por el contrario $\epsilon_{r2} < \epsilon_{r1}$, lo que sucede cuando el segundo medio es aire, $R > 0$ y la onda se refleja sin cambiar la polaridad. Como se detallará más adelante este efecto lo observaremos en las mediciones realizadas.

2.2.2.2.- FENOMENOS ASOCIADOS A LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS EN MEDIOS MATERIALES

Los parámetros que influyen en la velocidad de propagación de la onda son: la **permitividad dieléctrica** relativa del medio, la **conductividad**, la **permeabilidad magnética** y la **frecuencia de emisión**. Los tres primeros son característicos del medio, tal y como se ha descrito anteriormente, mientras que el último depende del aparato utilizado.

Durante la propagación de una onda electromagnética por un medio se producen pérdidas de energía debido a diferentes causas. Esta disminución de la amplitud de la onda determina la profundidad máxima teórica que se podrá alcanzar en cada caso. Otros efectos tales como una mala relación señal/ruido, problemas con los equipos o un tratamiento incorrecto harán que este valor sea, en la práctica, todavía menor que el esperado.

La disminución de energía es consecuencia de:

- Las pérdidas producidas en la reflexión y refracción en cada una de las interfaces electromagnéticas que atraviese la onda.
- La dispersión geométrica del frente de ondas.
- La dispersión de la energía en elementos del orden de la longitud de onda.

2.3.- ELEMENTOS QUE COMPONEN EL GEORRADAR

(Perez-Gracia, 2001), en su tesis doctoral “radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones en arqueología en patrimonio histórico-artístico” en el capítulo 5, instrumentación, equipos y métodos de adquisición de datos detalla que un GPR está compuesto de tres grupos esenciales: las antenas que son las encargadas de emitir y recibir las ondas electromagnéticas, la unidad central encargada de controlar estas emisiones y recepciones de las antenas y un ordenador encargado de registrar, almacenar y procesar la información recibida por las antenas y gestionadas por la unidad de control.

Hay diferentes tipos de equipos y antenas según la aplicación que vayamos a darle al georradar. También hay diferentes marcas de fabricantes de georradares. No obstante nos vamos a centrar en los de la casa GSSI ya que para nuestros ensayos hemos utilizado uno de esta marca.

2.3.1.- ANTENAS

Son las encargadas de transmitir y recibir la energía que nos proporcionará la información necesaria, es decir, transmiten el pulso electromagnético al medio y reciben la energía de la reflexión.

Hay distintos tipos de antena que se pueden clasificar en función de sus características, por ejemplo atendiendo a su direccionalidad se clasifican en:

- Isotrópicas: si radian la energía en todas las direcciones del espacio por igual sin tener ninguna dirección privilegiada. Si se considera que el medio en el que la antena radia la energía es homogéneo e infinito (sin discontinuidades), el frente de ondas que se propaga a partir de su radiación es esférico. Estas antenas son llamadas ideales.
- Direccionales: son aquellas que tienen una dirección privilegiada de radiación. La emisión que producen no es homogénea para todas las direcciones.

Una forma muy común de caracterizar a las antenas es por la frecuencia central de su emisión. La longitud de onda del pulso emitido depende de esta frecuencia y de la velocidad de onda en el medio a través de la expresión:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

(ec.8)

Donde:

- λ es la longitud de onda
- v es la velocidad de la onda
- f es la frecuencia.

A mayor frecuencia de emisión, la onda sufre una mayor atenuación en su propagación. Por esta razón dependiendo de la frecuencia, la profundidad de penetración varía. En la tabla 2.1 se muestra la profundidad para distintas frecuencias y su aplicación según la página web de GSSI, www.geophysical.com.

Centro de frecuencia	Profundidad de penetración	Aplicaciones típicas
2600 MHz	a 0.4 m	Evaluación hormigón
2000 MHz Palm	a 0.4 m	Evaluación hormigón
1600 MHz	a 0.5 m	Evaluación hormigón
1000 MHz	a 0.6 m	Evaluación hormigón
900 MHz	0-1 m	Evaluación hormigón, Detección huecos, Arqueología
400 MHz	0-4 m	Detección huecos, Arqueología, Ingeniería, Medioambiente
270 MHz	0-6 m	Ingeniería, Geotécnica
200 MHz	0-9 m	Geotécnica, Ingeniería, Medioambiente
100 MHz	2-15 m	Geotecnia, Ingeniería, Minería
16-80 MHz	0-50 m	Geotécnica
2.0 GHz	0-75 m	Espesor de pavimento y evaluación estado de carreteras
1.0 GHz	0-9 m	Carreteras y evaluación de puentes

Tabla 2.1. Tipos de antenas según profundidad de penetración y frecuencia. Tabla extraída de www.geophysical.com/antennas.html

También se pueden diferenciar entre:

- Monoestáticas (Fig. 2.4a) que existe solo una antena que hace tanto de emisora como de receptora. Estas también se pueden dividir en dos tipos de conmutación o de dos dipolos.
- Biestática (Fig. 2.4b) existen dos antenas una receptora y otra emisora.

Dentro de los dos grupos comentados anteriormente se pueden dividir en dos tipos distintos:

- Apantalladas están envueltas con un escudo que no permite el paso de ondas residuales.
- Sin apantallar, no existe este escudo protector.

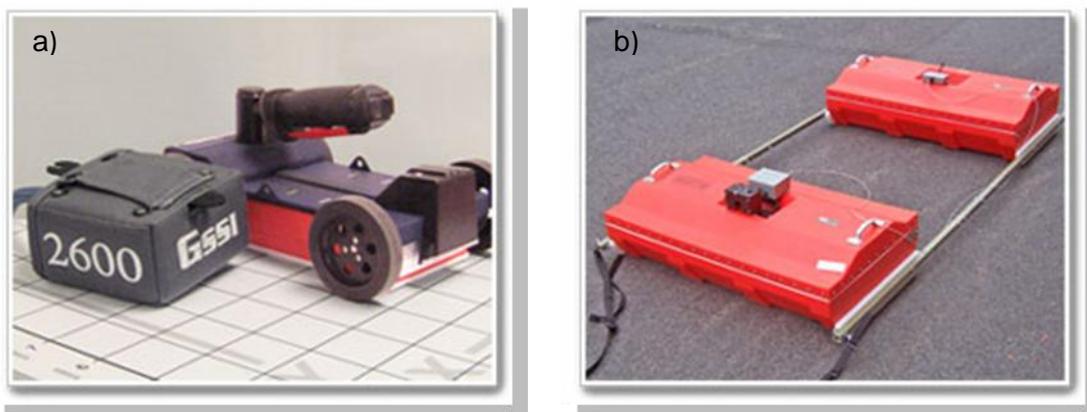


Figura 2.4. (a) Antena modelo 52600, de 2600 MHz, (b) Antena modelo 3207F, Biestático, 100 MHz, (www.geophysical.com).

2.3.2.- UNIDAD CENTRAL

La unidad central de un georradar es donde se realiza la coordinación y control de las antenas, de los diversos accesorios que se pueden añadir al equipo básico y de la señal emitida. También coordina el almacenamiento de la señal en algún tipo de soporte (magnético, fotográfico, en papel) y, en algunos casos, permite realizar el tratamiento básico de las señales durante la adquisición de datos. Esta unidad lleva implementado un programa informático (RADAN en nuestro caso) que realiza el procesado básico de la señal e incorpora utilidades que permiten actuar sobre la señal emitida y sobre los registros que se adquieren: filtrados y modificación de las ganancias del registro, entre otros procesados.

La unidad de control suele ir conectada a un monitor para visualizar la señal que se está adquiriendo. Se puede seleccionar la forma de visualización del registro en campo, optando por un registro de trazas de amplitud o bien por una serie de escalas de colores o de tonos de gris, donde cada tono engloba un intervalo de amplitudes de la onda registrada. En los casos de georradares más sencillos únicamente se puede visualizar la señal, sin poder efectuar ningún tipo de tratamiento que mejore la calidad de imagen durante la adquisición de datos de campo. En otros equipos esta unidad central es un ordenador personal portátil al que se le ha cargado un programa para efectuar el control de las antenas y el procesado básico de señales.

La fuente de alimentación de la unidad central es de corriente continua. Consiste en muchos casos, en una batería de 12 voltios.

En la figura 2.5a y b podemos ver diferentes unidades centrales de la marca GSSI:

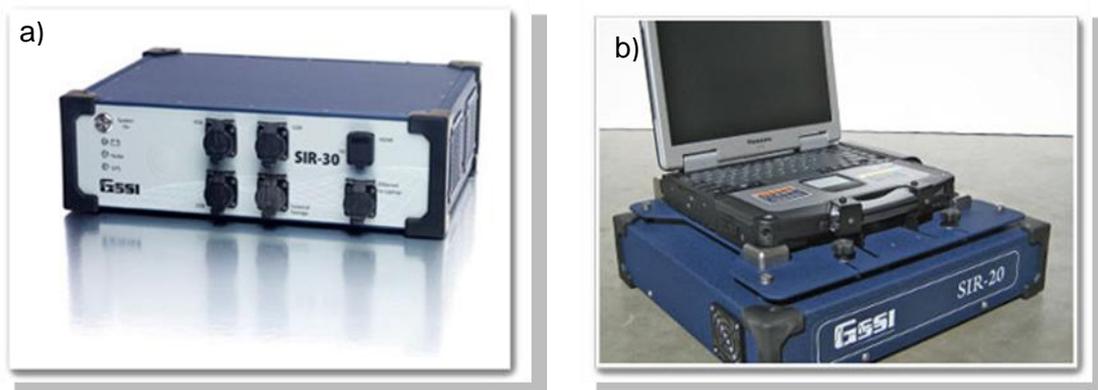


Figura 2.5. (a) Equipo SIR-30, (b) Equipo SIR-20, (www.geophysical.com).

2.3.3.- ACCESORIOS

Los accesorios que pueden complementar este equipo básico son diversos. Podemos separarlos en dos grupos: los complementos para la visualización y almacenamiento de los registros y los accesorios para situar los perfiles.

Dentro de los complementos de visualización se incluyen los siguientes: impresoras, pantallas, programas informáticos y unidades de registro de datos en soporte magnético (cinta o disco) u óptico.

Para situar los perfiles se suelen utilizar dos tipos de accesorios: **marcadores** y **odómetros**.

Marcadores: Se conectan tanto a la unidad central como a las antenas y permiten introducir una marca en el registro cada vez que se presiona un pulsador. Esto permite introducir marcas para indicar el inicio y el final del perfil y para advertir sobre algún elemento especial dentro del perfil.

Odómetros: Conectados a la unidad central se añaden a las antenas. En ocasiones están implementados en un soporte con ruedas (Fig. 2.6) sobre el que se sitúa la antena. Este sistema permite determinar la posición de los distintos puntos del radargrama con mayor precisión que en los casos de los marcadores.

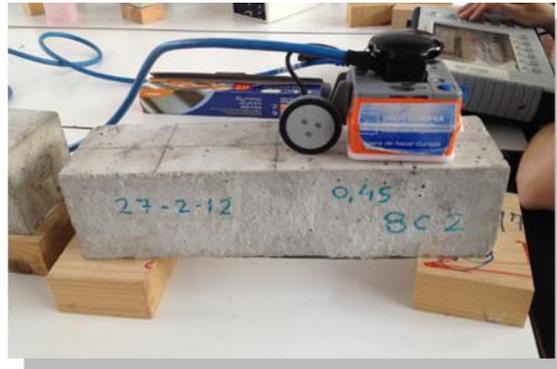


Figura 2.6. Antena 2000 MHz palm con rueda (odómetro).

2.4.- PARAMETROS DE UN REGISTRO

los parámetros de la medida que sean los más adecuados, estos parámetros son los siguientes como se ve en la figura 2.7: **rango**, **posición**, **puntos por traza**, **velocidad de transmisión y registro**, la **ganancia** y los **filtros**.

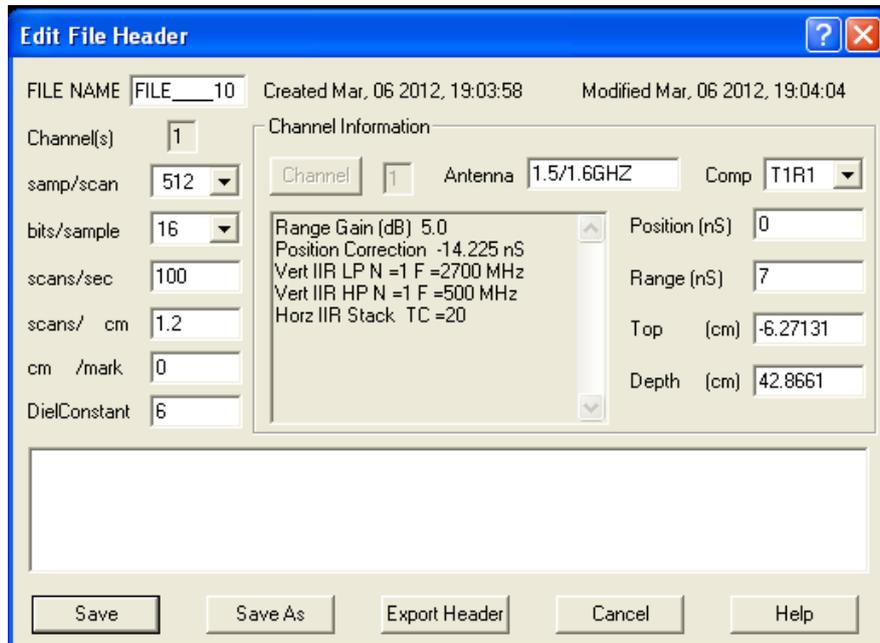


Figura 2.7. Cabecera de un registro obtenido con el georradar SIR 3000 (GSSI), en el que se detallan los principales parámetros del registro.

Después de consultar la tesis doctoral de (Rodríguez – Abad, 2009) interpretamos:

Rango (R) El rango de un registro define su longitud temporal, es decir, la máxima coordenada vertical que se alcanza en el radargrama. El tiempo límite se selecciona de tal forma que el registro de la anomalía que se busca quede incluido. El ajuste de R requiere el conocimiento preliminar de la posible profundidad máxima de estudio y de la velocidad aproximada a la que se propaga la onda electromagnética por el medio.

Position (P) Este parámetro permite seleccionar el tiempo de inicio de la ventana temporal. El tiempo final viene determinado por la suma del tiempo de inicio y del rango del registro. Este parámetro se debe ajustar 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.

Puntos por traza (Samples/scan) 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 valores de 128, 256, 512, 1024 o 2048 puntos por traza. Normalmente, para obtener una buena representación de la traza, cuanto mayor seas la ventana temporal de registro (rango), más elevado tiene que ser el número de puntos de muestreo. Conviene asegurar que el muestreo permita detectar aquellos eventos de interés, registrando los puntos necesarios para poder dibujar correctamente la traza.

Velocidad de transmisión y de registro (scans/s) es el número de pulsos por segundo que pueden 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. Los equipos de georradar habituales pueden transmitir 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. Este problema se solventa efectuando un muestreo de la señal obteniendo información de varios pulsos emitidos para reconstruir una única traza.

Una vez seleccionada la velocidad de transmisión de pulsos al medio se puede estimar la velocidad de registro teniendo en cuenta el muestreo deseado. Si se pretende que cada traza recibida se reconstruya a partir de 512 puntos y la velocidad de transmisión es de 500 MHz, el número máximo de trazas registradas cada segundo resulta ser de 97 scans/s, valor obtenido efectuando el cociente entre la velocidad de transmisión y el número de puntos de muestreo.

A partir de esta velocidad de registro máxima se selecciona la velocidad de registro que se utiliza en el estudio.

Range gain (G) la ganancia consiste en amplificar la señal que se recibe. Este proceso puede realizarse durante la adquisición de datos o durante el procesado posterior. El objetivo que se busca al amplificarla es el de disminuir los efectos de atenuación que se producen. Para ello, se aumentan la amplitud de las reflexiones procedentes de tiempos de propagación mayores.

Filtros frecuenciales aplicados durante la adquisición de datos, hay dos tipos de filtros que se pueden aplicar usualmente durante la adquisición de datos son los denominados filtros verticales y filtros horizontales. Los verticales son los denominados filtros F-k o filtros temporales, ya que se aplican a cada una de las trazas del registro, en la coordenada temporal (eje vertical) de los registros. Los filtros horizontales se denominan también filtros espaciales, ya que se trata de un filtrado en la dirección horizontal y su objetivo es eliminar el ruido de fondo que se observa en el radargrama.

2.5.- EQUIPO UTILIZADO EN NUESTRO ENSAYO

La **antena** empleada en los ensayos realizados sobre las probetas de hormigón con georradar es la antena de la marca GSSI el modelo de 2000 MHz Palm (Fig. 2.8).



Figura 2.8. Antena 2000 MHz palm.

Las características de esta antena son:

- Diseño compacto, fácil maniobrabilidad en espacios reducidos.
- Herramienta integrada, todo en uno antena GPR, cable y odómetro.
- Carcasa de plástico y placa de deslizamiento sustituibles.
- Alta durabilidad.
- Antena ligera, peso de antena y cable inferior a 1,5 kg.
- Frecuencia 2000 MHz.
- Rango de profundidad 0,4 m.
- Peso de antena 0,49 kg.
- Peso de cable 0,95 kg.
- Dimensiones 104,5 X 91,5 X 154,7 mm.
- Modelo 62000.

La **unidad central** empleada en nuestros ensayos es el modelo SIR-3000 (Fig. 2.9) de la casa GSSI.



Figura 2.9. Unidad central SIR-3000.

Las características del SIR-3000 son:

- Diseño modular.
- Ligero y portátil.
- Compatible con todas las antenas de GSSI.
- Batería extraíble y recargable.
- Interfaz de usuario de Windows.
- GPS integración.
- Resistente al clima y sus variaciones.
- Tarjeta de memoria extraíble.
- Gran capacidad de almacenamiento interno de datos.

Este equipo está especialmente diseñado para las siguientes aplicaciones:

- Inspección de hormigón.
- Ubicación de elementos.
- Investigación geológica.
- Arqueología.
- Forense.
- Minería.
- Ingeniería civil.

Elementos que forman el equipo SIR-3000 son:

- Unidad de control SIR-3000.
- Caja de transporte.
- 2 baterías.
- Cargador de baterías.
- Manual de usuario.
- Adaptador CA (también funciona como cargador).
- Parasol.

El **software** empleado es de la marca GSSI, el RADAN. Radan es el software de post-procesamiento para datos GPR de GSSI. Este programa almacena los datos recogidos en campo para posteriormente poderlos interpretar. Los datos almacenados, se pueden visualizar como se ve en la figura 2.10. El formato de visualización de la izquierda (B-scan) recibe el nombre de radargrama. En horizontal se representan 400 escanes y en vertical el tiempo en ns.

El formato de visualización de la derecha (A-scan) corresponde a una de las trazas. Se puede observar que los máximos positivos de la traza coinciden con los colores más claros en el radargrama (líneas azules de la figura) y los máximos negativos con los colores más oscuros (líneas rojas de la figura). En la imagen también se aprecia la llegada de dos ondas con mayor energía. La primera en llegar corresponde a la onda directa que se propaga en los primeros centímetros de la muestra entre el emisor y el receptor. La segunda es la onda reflejada en la parte inferior de la muestra.

A partir de esa representación de la onda con el programa radan podemos anotar los diferentes tiempos de llegada y las amplitudes de onda con las que podemos hacer las pertinentes comparaciones entre los ensayos realizados con el georradar.

Las características del software son:

- Diseñado para todos los niveles.
- Interfaz basada en Windows
- Opción de aplicación de los módulos específicos.
- Visualización de funciones de ayuda.
- Identificación, aclaración e interpretación de datos.
- Mejora en las capacidades de 3D.
- Calidad de datos.
- GPS automático de integración.
- Los archivos ASCII genéricos para la exportación de datos simple.
- Funciones de procesamiento automatizado de interpretación rápida.
- Nueva ubicación y mejora de vista con cuadrícula y superposición de mapa.
- Ideal para los datos de uno o múltiples canales.

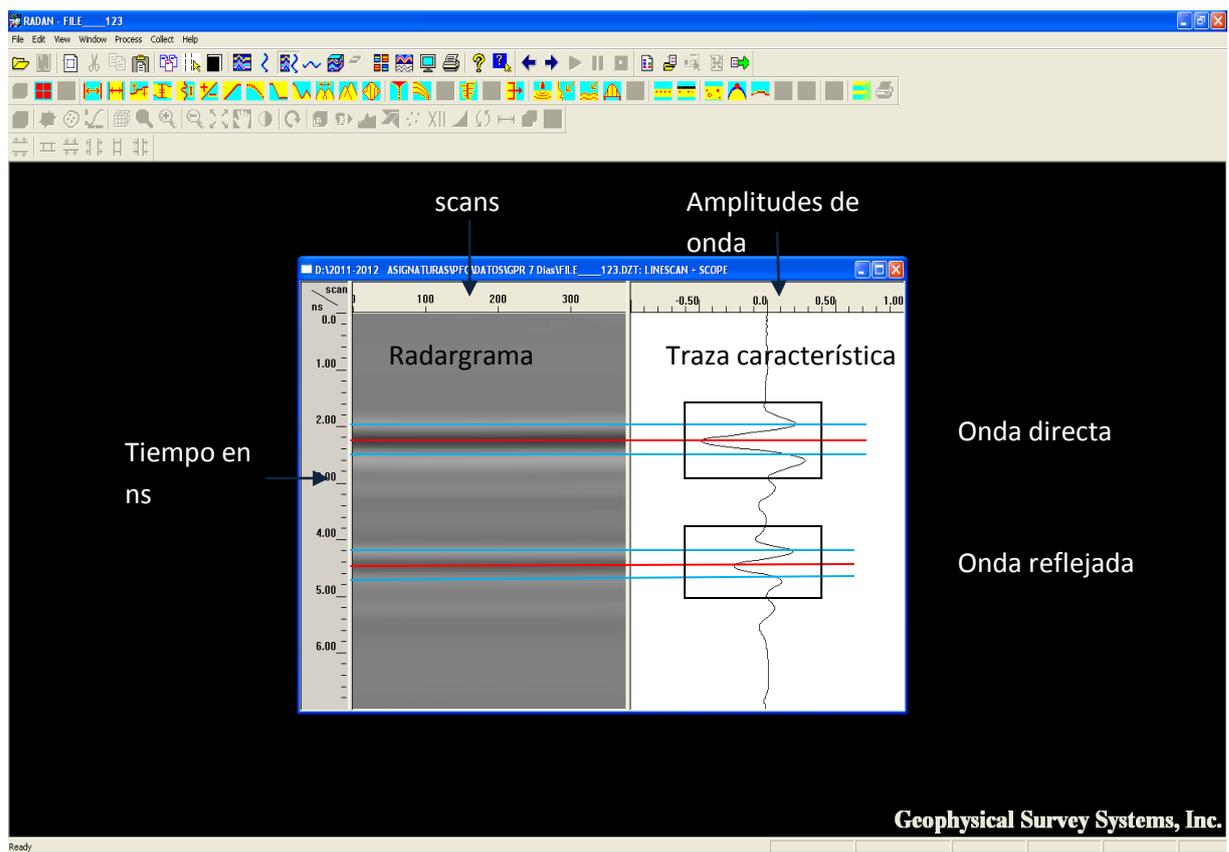


Figura 2.10. Programa Radan, representación radargrama y traza característica.

CAPITULO 3.- ENSAYO NO DESTRUCTIVO: ULTRASONIDO

3.1.- HISTORIA DE LOS ULTRASONIDOS Y CAMPO DE APLICACIÓN

(Gomez - Leon, 2010) en su libro "Ultrasonidos Nivel II" de la Asociación de ensayos no destructivos (AEND) se detalla que la primera utilización importante conocida de los ultrasonidos fue realizada por Langvin durante la primera guerra mundial, para sondeos subacuáticos.

En 1929 el profesor S. Sokolov descubre que las vibraciones ultrasónicas pueden penetrar en grandes espesores de metal y ser transmitidas por alambres a grandes distancias. Entonces pensó que podrían utilizarse para descubrir imperfecciones en los metales. Esto llevo a idear un instrumento que denominó defectoscopio. Aplicó su aparato al estudio de las cualidades estructurales de los metales y el temple de los aceros. También lo utilizó para revelar la presencia de objetos contenidos en bloques opacos de material.

Para ello ideó un aparato que enviaba sobre una pantalla especial, la imagen de objetos ocultos que podían encontrarse en los cuerpos metálicos. Hasta 1942, con el descubrimiento y aplicación del sonar por Firestone, para localización de buques y medida de profundidades marinas, no empezó el despegue en la utilización de los ultrasonidos en la detección de heterogeneidades en los materiales con la técnica de impulso-eco.

3.2.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ULTRASONIDOS

Según (Gómez - León, 2010) "Ultrasonidos Nivel II, Editorial Fundación Confemetal" a la hora de clasificar las fuentes de generación de ultrasonidos parece apropiado realizarla en función de su frecuencia pudiéndose establecer entonces tres grandes grupos a saber:

- Baja frecuencia: (comprendidos entre 10 y 100 KHz) siendo los que desde el punto de vista industrial tienen mayores aplicaciones.
- Media frecuencia: (de un rango de 100 KHz a 10 MHz) de uso en aplicaciones terapéuticas.
- Alta frecuencia: (abarca desde 1 MHz a 10 MHz) estando sus aplicaciones principales en fines médicos y aparatos de control no destructivo.

A partir de la documentación consultada y conociendo los tres grandes grupos de las aplicaciones de los ultrasonidos, a continuación se detallan las aplicaciones típicas en diferentes campos:

- En procesos industriales como: comunicaciones, navegación y pesca, química, biología, soldadura, mecanizado, colada-modelo.
- Utilizadas en control de calidad, para ensayos de: defectología, metrología y caracterización.
- En construcciones navales y metálicas, para el control de productos semielaborados, y de uniones.
- En la industria metalúrgica, para el control de productos fundidos, forjados y laminados, como por ejemplo: chapas, tubos y alambres.
- En comunicaciones, para el control de material rodante, aeronáutico y vías de comunicación (raíles).
- En instalaciones de potencia, para inspección de recipientes solicitados por presión y temperaturas elevadas.
- En la industria química, para la inspección de instalaciones susceptibles de ser atacadas por sustancias químicas.

Los ultrasonidos son ondas del mismo tipo que los sonidos audibles, diferenciándose únicamente en la frecuencia de operación. Los ultrasonidos operan con frecuencias por encima de la zona audible del espectro acústico.

Estas ondas pueden ser:

- *Infrasónicas* - o sonidos no audibles por el oído humano. Corresponden a esta zona, las oscilaciones cuya frecuencia es menor de 16 Hz.
- *Sónica* - o sonidos audibles, comprendida en la gama de frecuencia de oscilación, de 16 a 20.000 Hz.

Para conocer cuando una onda sonora se aproxima al máximo de frecuencia soportable por el oído (20 KHz), es el momento en el que el sonido empieza a molestar en el oído: "Umbral de dolor".

- *Ultrasónica* - es aquella donde la frecuencia de las oscilaciones es superior a 20 KHz.

El ensayo de ultrasonidos es un método de ensayo no destructivo que se basa en el uso de una onda acústica de alta frecuencia, no perceptible por el oído humano, que

se transmite a través de un medio físico, para la detección de discontinuidades internas y superficiales o para medir el espesor de paredes entre otras aplicaciones.

Para llevarlo a cabo se utiliza un material piezoeléctrico insertado dentro de un palpador (Fig.3.1). Ese cristal piezoeléctrico transmite a la pieza una onda ultrasónica que se propaga a través de la pieza y que es detectada por el receptor, originando una señal eléctrica que es amplificada e interpretada por el equipo de medida.

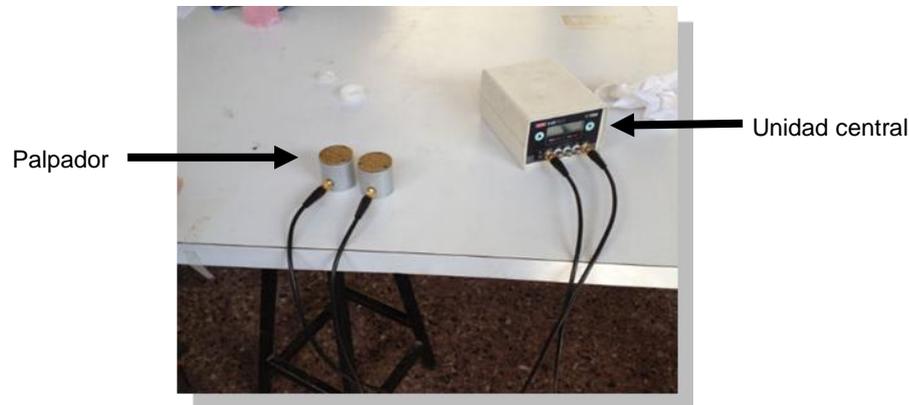


Figura 3.1. Equipo de ultrasonidos.

Los parámetros que caracterizan los ultrasonidos son los mismos que para las ondas electromagnéticas. Solo detallar que la **velocidad de propagación (v)**: Es la velocidad de propagación de la onda. La velocidad de propagación de los ultrasonidos en el aire a la temperatura ambiental es igual a la de los sonidos audibles, considerándose un valor del orden de 343 m/s, en tanto que su velocidad de propagación en un medio líquido como es el agua es mayor, pudiéndose considerar aproximadamente un valor de 1.500 m/s.

Los ensayos no destructivos de ultrasonidos pueden realizarse con diferentes métodos o técnicas, las principales según el libro "Ensayos no destructivos por ultrasonidos" de (Fernández - Hatre, 1994), IFR centro para la calidad en Asturias, son: método de **resonancia**, método de **transparencia o de sombra** y el método de **impulso eco**.

Método de resonancia: Se utiliza para la medición muy precisa de espesores de chapas de superficies paralelas y requiere un equipo determinado con excitación continua.

El ensayo consiste en variar la frecuencia de excitación de un cristal aplicado a una cara plana de una chapa hasta que se detecte la resonancia. Podremos asegurar entonces que el espesor de la chapa que queremos medir es un múltiplo de la semilongitud de onda aplicada, la cual es función de la frecuencia de orden n que ha producido la resonancia.

Método de transparencia o de sombra: En este método el oscilador emisor genera un haz de ondas ultrasónicas que es recibido por otro oscilador receptor.

Cuando el haz de ondas ultrasónicas es interceptado por un obstáculo, disminuye la intensidad acústica del haz ultrasónico captada por el receptor y de la apreciación de dicha reducción de señal se puede deducir la magnitud del obstáculo interceptado.

El sistema debe calibrarse en una zona exenta de defectos y los palpadores, con excitación continua, pueden ser de incidencia normal, situados uno a cada lado de la pieza o de incidencia angular cuando las condiciones de accesibilidad de la pieza hacen necesario el ensayo por reflexión.

Método de impulso eco: Esta técnica de ensayo es la más utilizada en la práctica por su utilidad y sencillez de aplicación e interpretación.

Cuando un haz de ultrasonidos que se transmite por el interior de un objeto sólido encuentra una superficie exterior de fondo, se refleja casi en su totalidad. Igualmente se reflejará cuando encuentre un obstáculo reflector. En ambos casos, el eco producido por el haz ultrasónico reflejado será captado por el oscilador receptor.

La interferencia de las ondas emitidas con las reflejadas impide la utilización de ondas continuas, por lo que se utiliza la excitación por impulsos. De esta forma resulta posible el uso de palpadores que sean a la vez emisores y receptores de la señal ultrasónica con lo cual se facilita sobremanera la operación, aunque lógicamente estará sometida a unas reglas operativas determinadas.

Midiendo solamente el tiempo de recorrido del haz y de su eco, podemos determinar la distancia a la que se encuentra un determinado reflector. De esta forma se pueden determinar espesores entre 2 y 400 mm.

Por otra parte, se puede medir también la intensidad acústica del eco producida por un defecto o por el fondo de la pieza, ya que la señal eléctrica generada podrá representarse en una pantalla de rayos catódicos en donde la altura de la señal será proporcional a la presión acústica del eco.

El método del impulso-eco con medida de intensidad y de tiempo es el más extendido en el campo de la detección de defectos.

3.2.1.- FACTORES QUE AFECTAN A LOS ULTRASONIDOS

Los métodos ultrasónicos son afectados por algunos factores, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- **Contacto entre superficies del hormigón y transductores.** Debe haber un íntimo contacto acústico; las superficies moldeadas, en general no presentan problemas y si presentan alguna rugosidad, se puede eliminar frotando con piedra de pulir. Los transductores deben apretarse contra el hormigón y, para mejorar el contacto, se suele colocar una película de vaselina entre hormigón y transductor.
- **Longitud del recorrido.** Debido a la heterogeneidad del hormigón y, para evitar sus efectos, es conveniente que el recorrido sea más bien extenso. Para un mismo hormigón, se han encontrado diferencias de velocidad de propagación, al medir distintos espesores.
- **Humedad del hormigón.** En general, la velocidad de propagación del sonido en el hormigón aumenta a medida que su contenido de humedad es mayor, ya que la velocidad del sonido en el agua es mayor que en el aire.
- **Armaduras metálicas.** Las armaduras metálicas presentes en el hormigón, afectan considerablemente las medidas de velocidad, debido a que en el acero, la velocidad de propagación puede ser hasta 2 veces mayor que en el hormigón.

3.2.2.- MODO DE EMPLEO DEL EQUIPO DE ULTRASONIDOS

3.2.2.1.- CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE ENSAYO

Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos y fisuras que afectarán nuestra prueba.

Es necesario quitar el acabado de la superficie (yeso, cemento, pintura, etc) con el fin de evitar resultados erróneos por la posible separación entre el acabado y el elemento que se va a ensayar. Cuando la superficie es rugosa, es necesario pulirla con una piedra de pulir, con el fin de evitar que los transductores obtengan una señal defectuosa.

En la figura se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba de la probeta. La transmisión puede ser **directa**, **semidirecta** o **indirecta** (Fig.3.2).

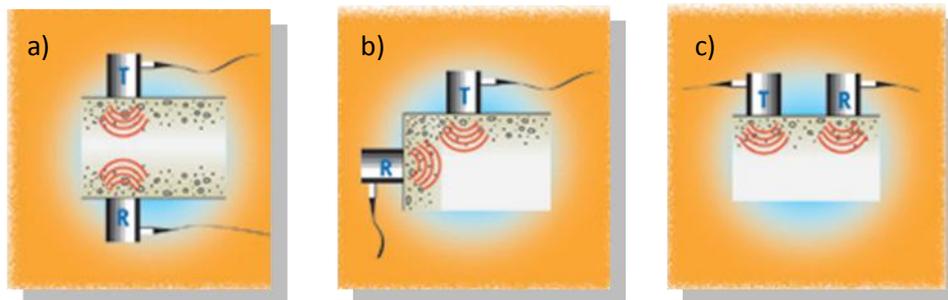


Figura 3.2. (a) Transmisión "Directa". (b) Transmisión "Semidirecta". (c) Transmisión "Indirecta".

Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el hormigón mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, la semidirecta puede usarse teniendo en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal.

La transmisión indirecta es la menos satisfactoria, ya que además de su relativa insensibilidad, nos da medidas de la velocidad de pulso que usualmente tienen la influencia de la capa de hormigón cercana a la superficie, que no serán representativas del hormigón en estratos más profundo.

La documentación de este apartado 3.2.2.1 ha sido extraída de la tesis doctoral de (Monroy - Martín, 2007) de "Patologías en estructuras de hormigón armado aplicado a marquesinas del parque Saval", Universidad Austral de Chile.

3.2.2.2.- COMO USAR EL EQUIPO DE ULTRASONIDOS

Cuidadosamente se elige la muestra o el elemento que se va a ensayar y se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el hormigón y la distancia entre transductores o terminales; estas distancias no deben exceder de 400 mm y se recomienda que sean lo más constantes posibles para asegurarse de que las lecturas obtenidas sean uniformes.

Una vez que la onda se transmite a través del hormigón, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de propagación de la onda en el hormigón que, junto con la distancia entre transductores, nos ayudará a saber la velocidad de pulso. Esta velocidad se compara con diferentes criterios existentes y es así como se conocerá el estado del hormigón ensayado.

Se debe asegurar que los transductores tengan un buen acoplamiento sobre la superficie del hormigón. Esto se logra colocando entre la superficie de hormigón y los transductores vaselina (Fig. 3.3). En superficies muy rugosas se deberá efectuar un tratamiento previo. Al colocar los transductores sobre la superficie del hormigón se debe:

- Procurar no moverlos, ya que se puede generar ruido y consecuentemente lecturas erróneas.
- Mantener firmes los transductores hasta que la lectura sea definida.



Figura 3.3. Vaselina para transductores.

3.2.2.3.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El primer resultado que se obtiene de los datos recopilados es la velocidad de pulso al atravesar el elemento ensayado, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$\text{Velocidad de Pulso} = \frac{\text{Distancia entre transductores}}{\text{Lectura de tiempo}}$$

(ec.9)

La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio. Esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes (tabla 3.1, 3.2 y 3.3) extraídas de (Solís-Carcaño, 2.004) “predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados”, Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, España y Portugal, Mérida (México),.

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda.	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Tabla 3.1. Clasificación según Leslie y Cheesman.

Evaluación la calidad mediante la velocidad de pulso	
Velocidad de pulso m/seg	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Tabla 3.2. Clasificación según Agraval.

Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.	
Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación m/seg
Selecciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Tabla 3.3. Velocidad mínima en estructuras típicas.

CAPITULO 4.- EL HORMIGÓN

4.1.- INTRODUCCIÓN E HISTORIA DEL HORMIGÓN

El **hormigón** es el producto resultante de la mezcla de un conglomerate; arena, grava o piedra machacada (denominados áridos) y agua.

Antiguamente se empleó en Asia y en Egipto. En Grecia existieron acueductos y depósitos de agua hechos con este material, cuyos vestigios aún se conservan. Los romanos lo emplearon en sus grandes obras públicas, como el puerto de Nápoles, y lo extendieron por todo su imperio.

Antes del descubrimiento de los cementos se emplearon como aglomerantes la cal grasa, la cal hidráulica, y los cementos naturales. Desde mediados del s.XIX comenzó a utilizarse en obras marítimas, y a finales del mismo, asociado con el hierro en forma de hormigón armado, en puentes y depósitos, habiéndose extendido su empleo tanto en obras públicas como privadas.

Es un material de bajo precio respecto al acero, de resistencia similar o mayor a la del ladrillo, que brinda la posibilidad de construir elementos de casi cualquier forma. También es buen aislante acústico y resistente al fuego.

La consistencia o fluidez del hormigón dependerá del contenido de agua de la mezcla. La plasticidad dependerá del contenido de áridos finos de diámetro inferior a 0,1mm, haciendo más fácil la colocación en obra.

4.2.- COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Los principales componentes de hormigón son: el **cimento**, el **agua**, los **áridos**, las **adiciones** y los **aditivos**.

4.2.1.- EL CEMENTO

Se denomina **cimento** a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua.

Según la EHE-08 artículo 26 los cementos que pueden utilizarse en los distintos tipos de hormigón son (tabla 4.1):

TIPO DE HORMIGÓN	TIPO DE CEMENTO
Hormigón en masa	Cementos Comunes
	Cementos para usos especiales
Hormigón armado	Cementos Comunes
Hormigón pretensado	Cementos comunes de tipo CEM I y CEMII/A-D

Tabla 4.1. Tipos de cemento utilizables para diferentes tipos de hormigón.

Los cementos comunes son según la norma UNE-EN 197-1:2.011 (tabla 4.2):

TIPO DE CEMENTO	DENOMINACIÓN	DESIGNACIÓN
CEM I	Cemento portland	CEMI
CEM II	Cemento portland con escoria	CEMII/A-S
		CEMII/B-S
CEM II	Cemento portland con humo sílice	CEMII/A-D
CEM II	Cemento portland con puzolana	CEMII/A-P
		CEMII/B-P
CEM II	Cemento portland ceniza volante	CEMII/A-V
		CEMII/B-V
CEM II	Cemento portland con caliza	CEMII/A-L
CEM II	Cemento portland mixto	CEMII/A-M
		CEMII/B-M
CEM III	Cemento de alto horno	CEMIII/A
		CEMIII/B
	Cemento puzolanico	CEM IV/A
		CEMIV/B
	Cemento compuesto	CEMV/A

Tabla 4.2. Tipo de cemento, designación y denominación de los cementos.

Su tipificación completa se compone, según la norma UNE-EN 197-1:2.011 de la designación que consta en la tabla anterior, más la clase resistente del cemento (32,5-42,5-52,5 N/mm²) seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal. Para más información en la designación y tipos de cemento se puede consultar la EHE-08, RC-08 y la norma UNE-EN 197-1:2.011.

4.2.2.- EL AGUA

El artículo 27 de la EHE-08 dice que el agua es un componente esencial en las mezclas de hormigón y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas.

El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el hormigón va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH (UNE 83952:2.008) ≥ 5 .
- Sustancias disueltas (UNE 83956:2.008) ≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m).
- Sulfatos, expresados en $\text{SO}_4^{=}$ (UNE 83956:2.008), excepto para el cemento SR en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m) ≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
- Ión cloruro, Cl^- (UNE 7178:1.960):
 - a) Para hormigones pretensados ≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m).
 - b) Para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración ≤ 3 gramos por litro (3.000 p.p.m)
- Hidratos de carbono (UNE 7132:1.958) = 0.
- Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235:1.971) ≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)

Realizándose la toma de muestras según la UNE 83951:2.008 y los análisis por los métodos de las normas indicadas.

Podrán emplearse aguas de mar o aguas salinas análogas para el amasado o curado de hormigones que no tengan armadura alguna. Salvo estudios especiales, se prohíbe expresamente el empleo de estas aguas para el amasado o curado de hormigón armado o pretensado.

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas. Además se deberá cumplir que el valor de densidad del agua reciclada no supere el valor $1,3 \text{ g/cm}^3$ y que la densidad del agua total no supere el calor de $1,1 \text{ g/cm}^3$.

El agua del curado tiene por objeto mantener el hormigón saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia.

Las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el hormigón y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes. Las causas más frecuentes de manchas son: el hierro o la materia orgánica disuelta en el agua.

4.2.3.- LOS ARIDOS

Los áridos para la fabricación de hormigones cumplirán las prescripciones impuestas en el artículo 28 de la Instrucción de hormigón estructural (EHE-08).

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 4 mm y arena o árido fino a la menor de 4 mm. Aparte, es clásico encontrar en cada país y región denominaciones diversas más específicas para la grava, en función del tamaño de las piedras. La arena suele dividirse, a partir de los 2 mm, en arena gruesa y arena fina, llamándose polvo o finos de la arena a la fracción inferior a 0,063 mm.

Los áridos se suministran en fracciones y se designan por su tamaño mínimo (d) y máximo (D) expresados en milímetros. Para ello se utiliza la expresión “árido d/D”.

Los áridos se oponen a la retracción del hormigón, tanto más cuanto más resistentes son. En general, la retracción disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo del árido.

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general, en una mayor resistencia química.

Al emplear árido rodado suelto se tiene la garantía de que se trata de piedras duras y limpias, salvo contaminación de la gravera. Pero si se encuentra mezclado con arcilla es imprescindible lavarlo, para eliminar la camisa que envuelve a los granos y que haría disminuir grandemente su adherencia con la pasta.

Este lavado debe ser enérgico, realizado con máquinas de lavar, no sirviendo de nada el simple rociado en obra.

Análogamente, el árido machacado debe estar desprovisto del polvo de machaqueo, que supone un incremento de finos en el hormigón y, por tanto, mayor cantidad de agua de amasado, menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades. No obstante, numerosos ensayos han demostrado que cuando se trata de áridos calizos el polvo de machaqueo no es tan perjudicial, pudiendo admitirse en este caso un mayor porcentaje de finos.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas. Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. No deben emplearse áridos

que provengan de calizas blandas, feldspatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas. Tampoco deben emplearse áridos que contengan sulfuros oxidables, dado el gran riesgo existente de que tales sulfuros se oxiden a largo plazo, lo que entraña un gran aumento de volumen y la consiguiente fisuración y cuarteamiento del hormigón.

Cuando se tengan dudas acerca de la resistencia de los áridos a la helada, debe encargarse a un laboratorio la realización del ensayo UNE EN 1367-2:2.010, según el cual se somete al árido a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico, las cuales provocan un efecto expansivo análogo al ocasionado por los ciclos de hielo-deshielo. El árido se considera satisfactorio si, tras estos cinco ciclos, su pérdida de peso no supera el 15% para la arena, o el 18% para la grava.

Por último, los áridos deben cumplir las siguientes condiciones físico-mecánicas: absorción de agua no superior al 5 % (Normas UNE-EN 1097-6:2.001); friabilidad de la arena no superior a 40 (Norma UNE EN 1097-1:2.011, ensayo micro-Deval), y resistencia al desgaste de la grava no superior a 40 (Norma UNE EN 1097-2:2.010, ensayo de Los Ángeles).

4.2.4.- ADICIONES Y ADITIVOS

En la EHE-08 en los artículos 29 y 30 vienen las prescripciones de las adiciones y los aditivos del hormigón:

Los **aditivos** son aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón antes de, o durante, el amasado (o durante un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada en estado fresco y/o endurecido de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

En los hormigones armados o pretensados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico ni, en general, productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras.

En los elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia no podrán utilizarse aditivos que tengan carácter de aireantes.

Sin embargo, en la prefabricación de elementos con armaduras pretensadas elaborados con máquinas de fabricación continua, podrán usarse aditivos plastificantes que tengan un efecto secundario de inclusión de aire, siempre que se compruebe que no perjudica sensiblemente la adherencia entre el hormigón y la armadura, afectando al anclaje de ésta. En cualquier caso, la cantidad total de aire ocluido no excederá del 6% en volumen, medido según la UNE-EN 12350-7:2010.

Figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en la UNE EN 934-2:2010, así como el certificado de garantía del fabricante de que las características y especialmente, el comportamiento del aditivo agregado en las proporciones y condiciones previstas, son tales que produce la función principal deseada sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón, ni representar peligro para las armaduras.

Los aditivos se transportarán y almacenarán de manera que se evite su contaminación y que sus propiedades no se vean afectadas por factores físicos o químicos (heladas,

altas temperaturas, etc.). El fabricante suministrará el aditivo correctamente etiquetado, según la UNE-EN 934-6:2002.

Los aditivos que modifiquen el comportamiento reológico del hormigón deberán cumplir la UNE EN 934-2:2010. Los aditivos que modifiquen el tiempo de fraguado deberán cumplir la UNE EN 934-2:2010.

Las **adiciones** son aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle propiedades especiales. La EHE-08 recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación.

Con la única excepción del humo de sílice, se prohíbe el uso de adiciones de cualquier tipo, y en particular, las cenizas volantes, como componentes del hormigón pretensado.

Las cenizas volantes son los residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.

El humo de sílice es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio.

Se podrán utilizar cenizas volantes o humo de sílice como adición en el momento de la fabricación del hormigón, únicamente cuando se utilice cemento tipo CEM I.

En estructuras de edificación la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no excederá del 35% del peso de cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento.

En aplicaciones concretas de hormigón de alta resistencia, fabricado con cemento tipo CEM I, se permite la adición simultánea de cenizas volantes y humo de sílice, siempre que el porcentaje de humo de sílice no sea superior al 10% y que el porcentaje total de adiciones (cenizas volantes y humo de sílice) no sea superior al 20%, en ambos casos respecto al peso de cemento. En este caso la ceniza volante sólo se contempla a efecto de mejorar la compacidad y reología del hormigón, sin que se contabilice como parte del conglomerante mediante su coeficiente de eficacia K.

En elementos no pretensados en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no excederá del 35% del peso de cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento.

4.3.- PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de las fases de colocación en obra y de uso.

Nos centraremos en las propiedades del hormigón endurecido ya que los ensayos que hemos realizado han sido ensayos con métodos no destructivos en probetas de hormigón en masa en el proceso de endurecimiento. Después de consultar el libro de Materiales de construcción II de 2.007, escuela de Arquitectura técnica de la UPV, las principales propiedades que analizaremos son: la **densidad**, la **compacidad**, la **permeabilidad**, la **resistencia**, la **durabilidad** y la **retracción**.

1. LA DENSIDAD:

La densidad o masa específica del hormigón endurecido es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado y depende de muchos factores. Depende principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto mayor sea la de los áridos utilizados y mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de densidad del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor 2.300 kg/m^3 para los hormigones en masa y 2.500 kg/m^3 para los armados.

Los valores indicados corresponden a hormigones normales (según peso específico). Los hormigones pesados fabricados con áridos de barita (BaSO_4) material opaco de estructura laminar, derivado del bario) o metálicos, tienen densidades de 3.000 a 3.500 kg/m^3 y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiaciones. Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez u otros áridos de pequeña masa específica, tienen densidades del orden de 1.300 kg/m^3 e incluso inferiores a mil.

Mención aparte merece el hormigón estructural ligero, fabricado con áridos a base de arcillas o escorias expandidas, cuya densidad es del orden de 1800 kg/m^3 . Este tipo de hormigón se emplea profusamente en Norteamérica para placas macizas de forjados, consiguiéndose un ahorro de peso propio de hasta un 30% y resistencias del orden de 28 N/mm^2 .

2. COMPACIDAD:

La compacidad, íntimamente ligada a la densidad, depende de los mismos factores que ésta, sobre todo del método de consolidación empleado. Estos métodos de consolidación tienen por objeto introducir, en un volumen determinado, la mayor cantidad posible de áridos y, al mismo tiempo, que los huecos dejados por éstos se rellenen con la pasta de cemento, eliminando por completo las burbujas de aire.

Es evidente la relación directa que existe entre la compacidad de un hormigón y sus resistencias mecánicas, por cuanto dicha compacidad aumenta con el volumen de materias sólidas que componen el hormigón, en relación con los volúmenes ocupados

por el agua y el aire. Una buena compacidad no sólo proporciona una mayor resistencia mecánica (frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, etc.), sino también una mayor resistencia física (efecto de la helada) y química frente a las acciones agresivas, ya que, al contener una cantidad mínima de huecos o porosidades, las vías de penetración de los agentes exteriores son también mínimas.

3. PERMEABILIDAD:

Las dos formas en que el agua puede penetrar en el hormigón son: por presión y por capilaridad. Los factores que influyen en la permeabilidad son los mismos que hacen variar su red capilar. El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad: mientras que para una relación agua/cemento igual a 0,5 el factor de permeabilidad es aproximadamente 15, para 0,8 es alrededor de 450, o sea, treinta veces mayor.

Medir la permeabilidad de un hormigón es un problema difícil, que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen diversos métodos, unos dedicados a la permeabilidad bajo presión (UNE-EN 12390-8:2009) y otros a la permeabilidad por succión (absorción). Las medidas se efectúan por diferencia de pesada, o por el tiempo requerido para que el agua atraviese de una cara a otra, o por medición de superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc. Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón.

Por otra parte, los ensayos sólo pueden efectuarse sobre probetas obtenidas in situ del hormigón endurecido, no sirviendo de nada utilizar probetas en moldadas, que nunca son representativas desde el punto de vista de la permeabilidad.

Existen distintos procedimientos para aumentar la impermeabilidad de un hormigón. En todos ellos es imprescindible partir de un hormigón muy compacto. Aparte del empleo de impermeabilizantes de masa o de superficie, cabe aplicar recubrimientos a base de chapas metálicas, fieltro asfaltado, etc., o simplemente, enlucir la superficie con un buen mortero de cemento, de 10 a 20 mm de espesor.

Todo lo dicho, que se refiere a la permeabilidad al agua, puede aplicarse igualmente a la permeabilidad al aire, característica que interesa en hormigones para protección contra radiaciones nucleares.

4. RESISTENCIA:

El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. Siendo la más importante la resistencia a compresión que es unas 10 veces mayor que la de tracción.

La principal es la **resistencia a compresión (F_{ck})** que lo convierte en el importante material que es. La resistencia a compresión del hormigón depende de muchos factores, unos inherentes a la calidad del mismo y otros a la forma y dimensiones de las probetas y a las condiciones en que se lleva a efecto el ensayo.

Siempre que se realiza un ensayo de compresión sobre varias probetas, procedentes de la misma masa de hormigón, se presentan variaciones entre los resultados obtenidos en la rotura de las mismas, aunque lo normal es que estas estén comprendidas dentro del 10%, a menos que existan diferencias imputables al propio ensayo.

Dada la variación existente entre los resultados obtenidos por rotura de probetas procedentes de la misma masa, no puede identificarse la resistencia a compresión de un hormigón como la dada por la rotura de una única probeta, sino que hay que proceder a la rotura de una serie de ellas, a fin de tener mayor certeza sobre el verdadero valor a tomar como resistencia representativa. Aquí aparecen entonces los conceptos de resistencia media y resistencia característica.

La **resistencia media** del hormigón está definida como la suma de las resistencias individuales de cada probeta, dividida por el número de probetas ensayadas, obteniéndose un valor que no tiene en cuenta la dispersión entre los resultados individuales. A fin de paliar este inconveniente, aparece la **resistencia característica**, que se basa en un estudio estadístico en base a una distribución normal y que tiene en cuenta la dispersión de los resultados individuales del ensayo. Así, la resistencia característica se define como el valor estadístico de la resistencia, que corresponde a la probabilidad que el noventa y cinco por ciento (95%) de todos los resultados de ensayos de la población supere dicho valor. En España, la resistencia característica del hormigón se refiere a probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, rotas a la edad de 28 días, aunque si el hormigón no va a entrar en servicio antes de los 3 meses, puede referirse la resistencia a los 90 días. Se mide en MPa (MegaPascuales) y llegan hasta 50 MPa en hormigones normales y 100 MPa en hormigones de alta resistencia. De acuerdo a la vigente Instrucción EHE-08 el hormigón deberá tener una resistencia característica no menor a 25 MPa, aunque en algunos casos dicho valor mínimo sube a 30 o 35 MPa, dependiendo de la clase de exposición que tendrá el hormigón.

La **resistencia a tracción**. Normalmente no se requiere que el hormigón resista fuerzas directas de tracción; sin embargo, esta resistencia es importante con respecto al agrietamiento, debido a la limitación de las contracciones. La formación y propagación de las grietas, en el lado de tracción de elementos de hormigón armado sometidos a flexión, dependen principalmente de la resistencia a la tracción. También ocurren esfuerzos de tracción en el hormigón como resultado de cortante, torsión y otras acciones, y en la mayoría de los casos el comportamiento del elemento cambia después de ocurrido el agrietamiento. Existen 3 formas de obtener la resistencia a la tracción: por flexión (modulo de rotura), por hendimiento (tracción indirecta) y por tracción axial (tracción directa); esta última no se realiza con frecuencia por las dificultades que se presentan en la aplicación de fuerzas de tracción directa. Los resultados de todos los tipos de ensayos para determinar la resistencia a la tracción muestran una dispersión considerablemente mayor que la de los ensayos a compresión.

5. DURABILIDAD:

Es la capacidad del hormigón de resistir el paso del tiempo sin perder sus otras propiedades. La durabilidad del hormigón depende de los agentes que pueden agredir el material, ya sean: mecánicos, físicos o químicos.

Los que mayor daño producen al hormigón son: el agua, las sales que arrastra, el calor o variaciones bruscas de temperatura y los agentes contaminantes.

En la tabla 4.3 se expresan los factores que pueden producir deterioros en el hormigón:

Factores agresivos al hormigón	
Mecánicos	Impactos o choques, vibraciones, sobrecargas.
Físicos	Ciclos de hielo/deshielo (grandes diferencias térmicas), fuego, causas higrotérmicas
Químicos	Terrenos agresivos, contaminación atmosférica, filtración de aguas.
Biológicos	Vegetación, microorganismos.

Tabla 4.3. Factores agresivos al hormigón. www.construmatica.es

6. RETRACCIÓN:

Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación.

4.3.1.- **IMPORTANCIA DE LA DOSIFICACIÓN EN EL HORMIGÓN**

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, de manera de obtener las condiciones previstas para el hormigón.

Para este objeto es básico establecer previamente cuales son las condiciones esperadas que debe cumplir el hormigón y, tomando en consideración las propiedades generales en estado fresco y endurecido, determinar las proporciones óptimas que las satisfacen.

Estas proporciones son particulares de cada obra o parte de la obra, pero generalmente corresponden a las que se señalan en la siguiente tabla (Tabla 4.4):

TIPO DE CONDICIÓN	CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS	PARAMETROS CONDICIONANTES
Condiciones de diseño	Resistencia	Tipo de cemento Razón agua/cemento
Condiciones de uso en obra	Docilidad Fluidez Consistencia Características elemento	Dosis de agua Granulometría Tamaño máximo
Condiciones de durabilidad	Condiciones ambientales Ataques agresivos	Tipo de cemento Uso aditivos Dosis mínima cemento

Tabla 4.4. Condiciones esperadas de un hormigón. <http://www3.ucn.cl>

Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres factores fundamentales, a partir de los cuales se han de determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos para obtener el hormigón deseado al más bajo coste posible. Estos factores son:

- La resistencia.
- La consistencia.
- El tamaño máximo del árido.

El orden a seguir en la dosificación de hormigones:

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las condiciones previstas para la ejecución de la obra.

2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.
3. Determinar la relación agua/cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón, según el tipo de cemento y áridos empleados.
4. Determinar el tamaño máximo del árido, en función de los distintos elementos de la obra.
5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón, según la forma de compactación en obra y, como consecuencia, fijar la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.
6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la más conveniente al hormigón en estudio.
7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarias al hormigón en estudio.
8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y, en caso contrario, hacer las correcciones necesarias.

Existen diversos métodos de dosificación que se clasifican según el parámetro que se fija de partida. Estos son:

- Métodos en los que se fija la cantidad de cemento por m³:
 - Método de Fuller.
 - Método de Bolomey.
 - Método de Faury.
- Métodos en los que se fija la resistencia a compresión f_{ck}:
 - Método del American Concrete Institute (ACI).
 - Método de Carlos de la Peña.
- Métodos simplificados:
 - Válidos para dosificar hormigones de poca importancia.

4.3.2.- IMPORTANCIA DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL HORMIGÓN

Consultado en la web del instituto del cemento portland argentino (www.icpa.org.ar), la relación agua / cemento (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

$$R = \frac{a}{c}$$

(ec.10)

Donde:

R Relación agua / cemento

a Masa del agua del hormigón fresco

c Masa del cemento del hormigón fresco

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida (Fig. 4.1).

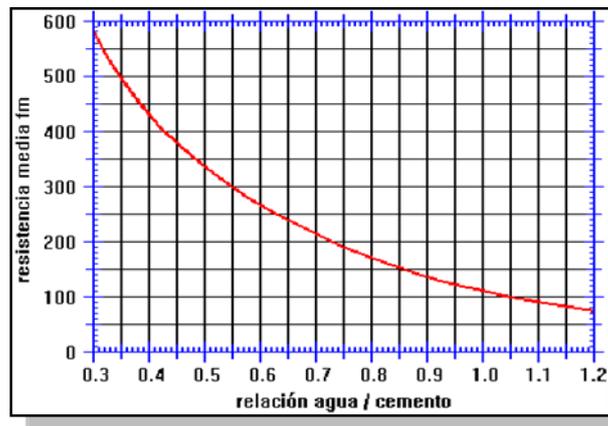


Figura 4.1. Grafica relación agua/cemento y resistencia media. Imagen de <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon02-b.htm>.

La importancia de la relación agua / cemento fue descubierta hace 60 años por Duff A. Abrams especialista de EE. UU. Después de haber estudiado un gran número de hormigones de diferentes composiciones, anunció la ley que expresa que con un agregado dado, la resistencia depende sólo de la relación agua / cemento del hormigón fresco. Este descubrimiento ha provocado desarrollos importantes puesto que otras propiedades de gran valor del hormigón, también dependen de la relación agua / cemento.

Los trabajos realizados posteriormente por T.C. Powers, han permitido comprender las causas de esta fuerte influencia de la relación agua / cemento.

Estas razones están ligadas al endurecimiento del cemento portland, el que como se sabe se debe a la absorción química de agua por los constituyentes del cemento, especialmente por el silicato tricálcico (3 CaOSiO_2) y el silicato bicálcico (2 CaOSiO_2). La pasta de cemento se endurece entonces formando un gel progresivamente más estable. Como en la mayoría de las transformaciones químicas, las cantidades de elementos que participan en esta relación están en proporción fija. La hidratación completa de 100 g de cemento portland requiere 20 g de agua, aproximadamente, lo que corresponde a una relación agua / cemento = 0,2. En los minúsculos intersticios del gel en formación se fijan por, por adsorción, otras moléculas de agua, a razón también de 20 g de agua por 100 g de cemento, aproximadamente, al final del proceso.

En consecuencia el cemento portland fija, para su endurecimiento, una cantidad de agua correspondiente a una relación agua / cemento = 0,4.

El agua suplementaria no está fijada y ocupa en la pasta de cemento endurecido cierto volumen en forma de poros capilares.

Cuanto mayor sea la existencia de agua en exceso habrá mayor cantidad de capilares en la pasta de cemento. Cuando la cantidad total de capilares corresponde a una

relación $a/c = 0,7$, los capilares son tan numerosos que están unidos entre si formando una red permeable.

En consecuencia, si se agregan 70 g de agua a 100 g de cemento ($a/c = 0,7$)

- Los primeros 20 g son fijados químicamente.
- Los 20 g siguientes son fijados por adsorción
- Los 30 g restantes quedan libres en la red de capilares

En consecuencia se constata que:

- La influencia de la relación agua / cemento sólo concierne a la pasta de cemento endurecida y no depende ni del ligante del cemento ni de las propiedades de los agregados del hormigón.
- La disminución de la resistencia del hormigón debida al aumento de la relación agua / cemento se explica por la disminución de la compacidad de la pasta de cemento.
- La porosidad incrementada debido a un aumento de la relación agua / cemento acarrea una disminución de la compacidad y en consecuencia de la resistencia química del hormigón.
- La cantidad suplementaria de agua, libre y móvil en la pasta de cemento endurecida, provoca un aumento del coeficiente de retracción del hormigón.

La resistencia química del hormigón está relacionada con su porosidad. Un material compacto que absorba pocos gases o líquidos agresivos debe naturalmente ser más estable. En consecuencia la relación agua/cemento también tiene una influencia determinante en este aspecto. La resistencia y la durabilidad están pues íntimamente correlacionadas. Una modificación de una de ellas implica también una modificación de la otra. Es necesario tomar en cuenta esta concomitancia cuando se pretenda, por ejemplo, disminuir una resistencia, que parece excesiva, reduciendo el contenido de cemento.

El mejoramiento de la resistencia y de la durabilidad por el aumento del ligante del cemento tiene en principio por consecuencia un aumento de la retracción debido al más alto contenido de finos del hormigón. Se puede aceptar, por otra parte, que la disminución de la relación agua / cemento provoca la reducción del coeficiente de retracción. El problema consiste en saber si esos efectos antagónicos se compensan.

CAPITULO 5.- PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS ENSAYADAS

Para la realización del PFG se fabricaron las siguientes piezas de hormigón en masa:

- 5 probetas con una relación A/C de 0,45 con dimensiones 40x10x10 cm, 4 se utilizan para las mediciones y la restante para el ensayo de rotura.
- 5 probetas con una relación A/C de 0,65 con dimensiones 40x10x10 cm, 4 se utilizan para las mediciones y la restante para el ensayo de rotura.

El proceso de fabricación de estas piezas fue el siguiente:

1.- Empezamos aplicando el aceite a los moldes (Fig. 5.1) para facilitar el desmoldado de las probetas.

2.- A continuación pesamos la arena (Fig. 5.2), grava, cemento y el agua para conseguir la dosificación pedida de relación A/C de 0,45 y A/C de 0,65.



Figura 5.1. Aplicación de aceite a los moldes.

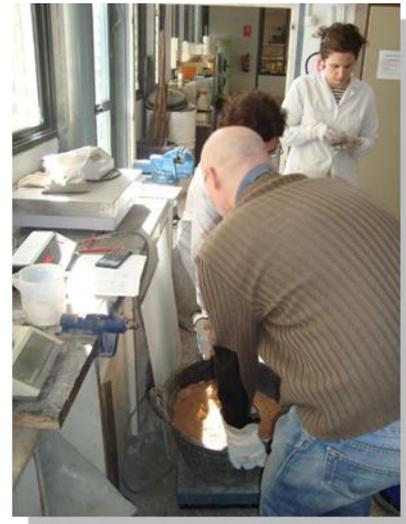


Figura 5.2. Pesado de los áridos.

3.- Introducimos los materiales previamente pesados en la amasadora de hormigón (Fig. 5.3a) y le añadimos un aditivo de la marca sika (Fig. 5.4) para la consistencia del mismo.

4.- Una vez realizado el hormigón se vierte en los moldes para la realización de las probetas (Fig. 5.3b).



Figura 5.3. (a) Amasado del hormigón. (b) Vertido del hormigón en los moldes.



Figura 5.4. Aditivo utilizado para confección del hormigón.

5.- Vertido el hormigón en los moldes realizamos el vibrado para conseguir una buena compactación (Fig. 5.5a).

6.- Se realizó el ensayo del cono de Abrahams para medir los asentos del hormigón y confirmar que su consistencia fuera la correcta (Fig. 5.5b).



Figura 5.5. (a) Vibrado del hormigón. (b) Ensayo de cono Abrams.

7.- Realizadas las probetas se cubrieron con plásticos para desmoldar al siguiente día (Fig. 5.6) y evitar la evaporación de agua.



Figura 5.6. Probetas cubiertas de plástico.

8.- Desmoldadas las piezas, a las 24 h, se numeraron para identificarlas y se pesaron. Seguidamente se introdujeron en una cámara seca con humedad del 60% a temperatura constante de 30°C (Fig. 5.7a y b).

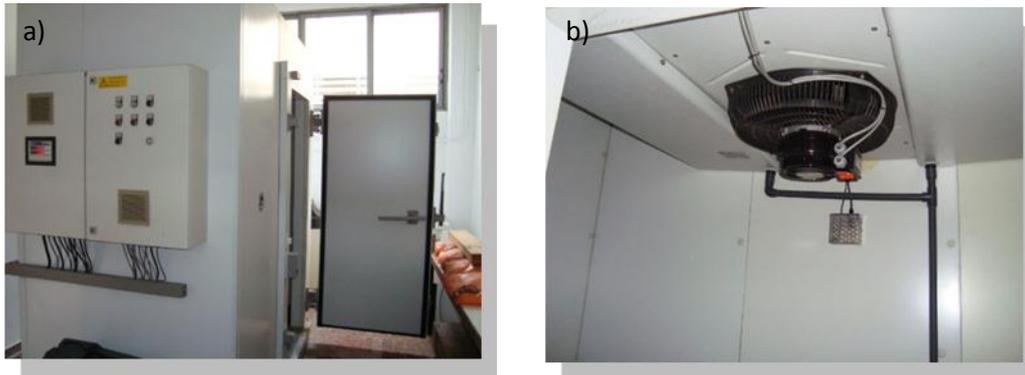


Figura 5.7. (a) Cámara seca 30 °C y 60% de humedad. (b) Ventilador cámara seca.

9.- Se fabricaron 5 probetas mas para cada relación agua/cemento 0,45 y 0,65 de tamaño más pequeño 10x10x4 cm (Fig. 5.8a) y se rompieron por la mitad con lo que nos quedaron 10 de A/C 0,45 y 10 de A/C 0,65. Se hizo el curado de 5 de cada relación A/C en cámara seca y las restantes en cámara húmeda. Nos centramos en las de la cámara seca que son las que nos importan para nuestro PFG. Cuando realizábamos los ensayos de georradar y ultrasonidos se medía la masa de una muestra (Fig. 5.8b) y luego se sometía al secado en horno a 100 °C durante 48 horas secándola completamente y se volvía a medir su masa para poder medir el grado de humedad de dichas muestras en el día de su ensayo.



Figura 5.8. (a) Probetas ensayos compresión. (b) Pesado probetas para conocer su masa.

5.2.- HORMIGON EMPLEADO EN NUESTROS ENSAYOS

Para la realización de los ensayos con georradar y ultrasonidos hemos confeccionado dos hormigones con diferente relación agua/cemento, una de 0,45 y otra de 0,65. Se utilizó el mismo volumen de áridos en las dos mezclas con un porcentaje de un 35% de gravas y un 65% de arenas y el mismo volumen de pasta.

Las dosificaciones exactas de los dos hormigones son:

A/C 0,45 - Cemento 375 kg/m³
Agua 168,8 kg/m³
Arena 1206 kg/m³
Grava 650 kg/m³

A/C 0,65 - Cemento 298 kg/m³
Agua 193,7 kg/m³
Arena 1206 kg/m³
Grava 649 kg/m³

Con el hormigón recién fabricado se realizaron dos ensayos:

- El asentamiento en cono de Abrams. Este ensayo se encuentra regulado en la norma UNE-EN 12350-2:2009. Sirve para medir la consistencia del hormigón a emplear. El método consiste en medir la disminución de altura que experimenta un tronco de cono de hormigón fresco, de medidas y elaboración estandarizada, cuando éste se deja libre. A mayor disminución de altura, menor consistencia del hormigón. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Hormigón a/c 0,45: 17 cm.

Hormigón a/c 0,65: 8 cm.

- El contenido de aire ocluido. Este ensayo se encuentra regulado por las normas UNE-EN 12350-7:2010. Esta prueba determina la cantidad de aire que puede contener el hormigón recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Hormigón a/c 0,45: 2,2 %.

Hormigón a/c 0,65: 2,7%.

Tras 24 h las probetas fueron desmoldadas e introducidas en una cámara seca a 30°C y una humedad del 60%. Se realizaron ensayos de rotura a los 28 días de la fabricación. El valor medio de las 3 roturas realizadas para cada relación a/c fue el siguiente:

Hormigón a/c 0,45: 53,39 MPa.

Hormigón a/c 0,65: 37,44 MPa.

5.3.- PROTOCOLO DE MEDIDAS

Las mediciones se realizaron en 5 sesiones que corresponden a los 7, 28, 56, 70 y 90 días a partir de la fabricación del hormigón.

A continuación en cada sesión de medida se extrajeron las muestras de la cámara y se realizaron las siguientes operaciones:

1. El primer día de medición se procedió al marcado de dos caras contiguas en cada probeta (cara A y B) y tres puntos en cada una de estas caras (punto 1, 2 y 3) como se observa en la figura 5.9, además las dos testas (4 y 5). Esta operación solo se llevó el primer día de medida.

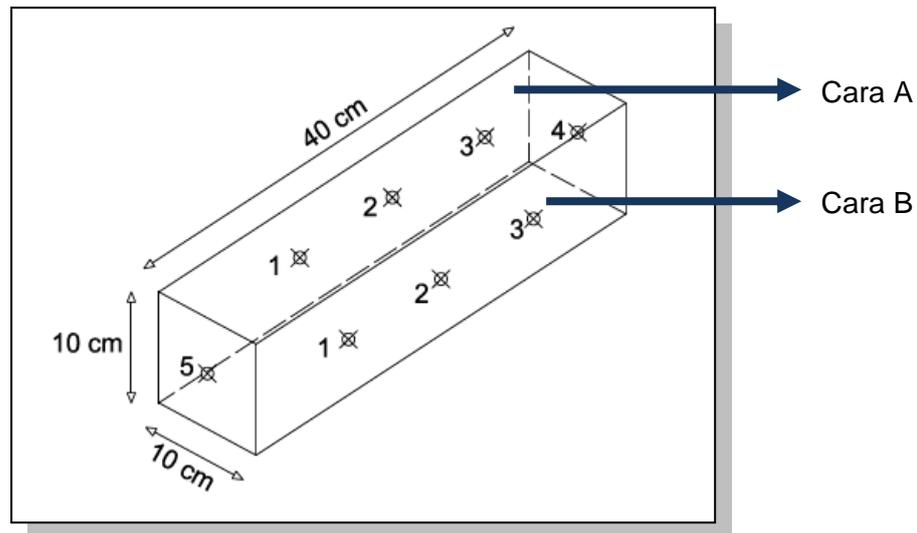


Figura 5.9. Tamaño probetas y puntos ensayados.

2. Se sacaban las probetas de la cámara seca a 30°C y 60% de humedad.
3. Se medía la masa de las probetas de 40x10x10 cm y se anotaban en una hoja específica para ello.
4. Colocábamos las probetas sobre unos listoncillos de madera para que quedaran en el aire. (Fig 5.12)
5. Realizábamos la medición y toma de datos con el georradar.
6. Realizábamos la misma operación anterior pero con el ensayo de ultrasonidos.
7. Mediamos la masa de las muestras de 10x10x4 cm para el control de humedad.
8. Se introducía una de las muestras de 10x10x4 cm en el horno a 100°C durante 48h y posteriormente se medía su masa desecada.
9. Y por último las probetas se volvían a colocar en la cámara seca a 30°C.

5.3.1.- MEDICIÓN CON GEORRADAR

5.3.1.1.- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

En estos ensayos los valores seleccionados fueron:

- Rango (R)= 7 ns
- Position (P)= 0 ns
- Puntos por traza (Samples/scan)= 512
- Scans/second= 100
- Range gain (G) = 5 dB
- Vert IIR LP N= 2F= 2700 MHz
- Vert IIR HP N= 2F= 500 MHz
- Static Stacking N= 20
- Scans/second= 100
- Bits/sample= 16

Como se ha comentado anteriormente, en cada una de las sesiones de medida con georradar se realizaba en primer lugar una medición al aire para poder normalizar los valores obtenidos en diferentes días. En la tabla 5.1 se muestran los valores de las tres amplitudes de la onda directa (en una medición al aire no hay onda reflejada) que se van a estudiar en todos los registros.

Como se puede observar en la figura 5.11, donde se representa la porción de la onda que comprende las amplitudes A1, A2 y A3 (Fig. 5.10), las amplitudes varían muy poco en los diferentes días de medición. Al diferir tan poco los valores en los distintos días, se ha decidido no normalizar las amplitudes puesto que en este caso son perfectamente comparables.

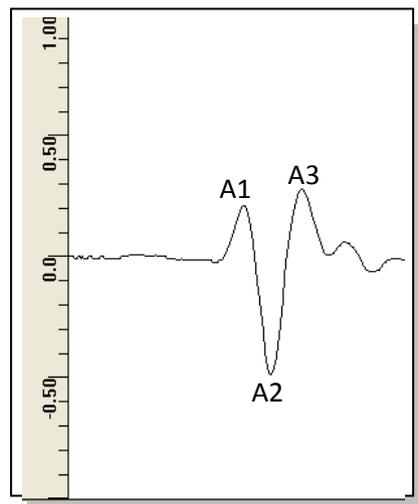


Figura 5.10. Amplitudes a ensayar.

Días	7	28	56	70	90	promedio
A1	3073	2811	3073	2811	2881	2930
A2	-6214	-6214	-5952	-6083	-6083	-6109
A3	4381	4120	4120	4120	4120	4172

Tabla 5.1. Amplitudes en las tres posiciones de la onda directa al aire para los cinco días de ensayo.

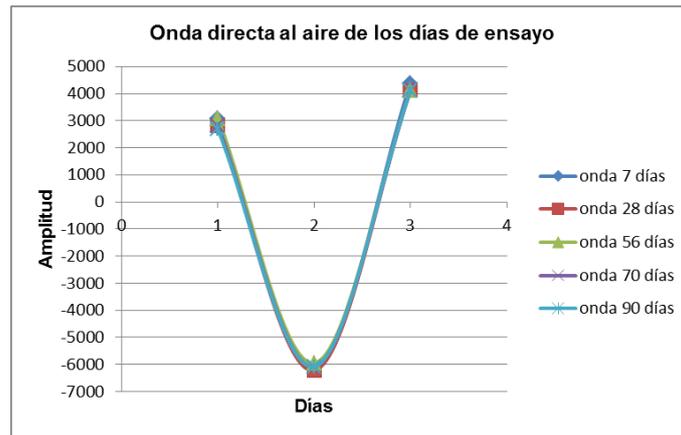


Figura 5.11. Amplitudes en las tres posiciones de la onda directa al aire para los cinco días de ensayo.

5.3.1.2.- PROTOCOLO DE MEDIDAS CON GEORRADAR

Para este ensayo hemos realizado mediciones **estáticas** y **dinámicas**:

Las **estáticas** se realizan en cada punto (1, 2, 3, 4 y 5) de las dos caras (A y B) de las probetas como se ve en la figura 5.9, 3 en cada cara ensayada y las 2 testas. Las mediciones estáticas se realizan poniendo la antena del georradar encima de los puntos mencionados (Fig. 5.12a). Se realizan mediciones colocando papel de aluminio en la cara opuesta de la cara que estamos ensayando y sin colocarlo.

Las **dinámicas** (Fig. 5.12b) que sólo se realizan sobre las 2 caras ensayadas A y B recorriendo con la antena la longitud de la cara a ensayar. Este proceso se realiza con las 8 probetas de relación A/C de 0,45 y 0,65 dos veces, una vez poniendo papel de aluminio en la cara opuesta a la que estamos ensayando para poder recibir la onda reflejada y otra vez sin poner nada en la cara opuesta (en las testas se realiza sin aluminio solamente). Este proceso se ha realizado 5 veces: a los 7, 28, 56, 70 y 90 días de la fabricación del hormigón.

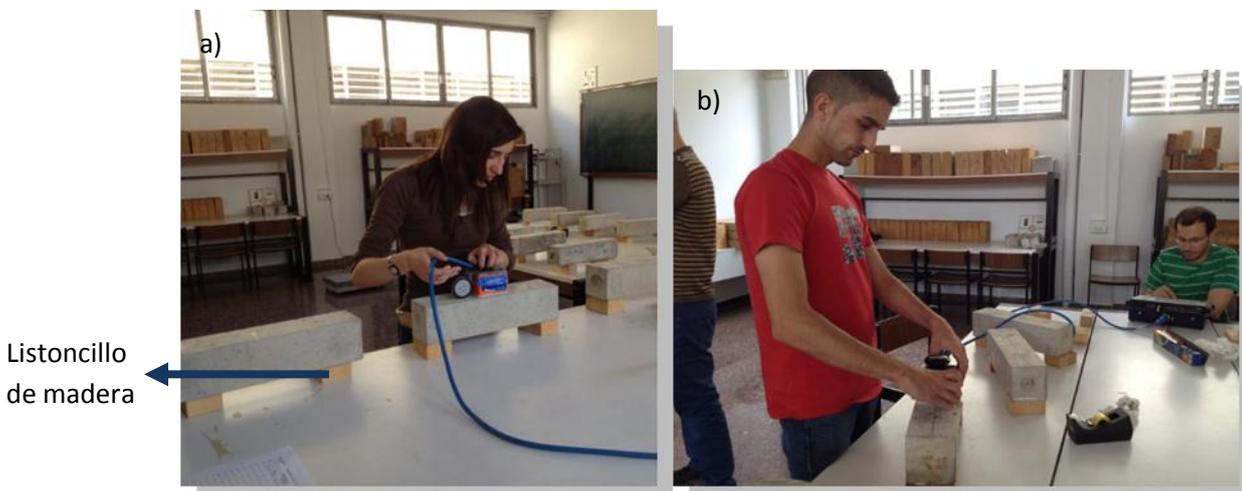


Figura 5.12. (a) Ensayo georradar punto estatico. (b) Ensayo georradar dinamico.

La toma de datos se ha realizado con el siguiente formato (Fig. 5.13a y 5.13b):

a)

Medición con GPR Día de medida: 21/01/2012

5

Número de archivos
Sin alumnos

AL BAS	Cara A			Cara B			Totales			
	Dir	Est 1	Est 2	Dir	Est 1	Est 2	4	5		
1c1	34	2	3	4	35	5	6	7	8	9
2c1	36	10	11	12	37	13	14	15	16	17
3c1	38	18	19	20	39	21	22	23	24	25
4c1	40	26	27	28	41	29	30	31	32	33
5c2	250	216	217	220	251	221	222	223	224	225
6c2	252	226	227	228	253	229	230	231	232	233
7c2	254	234	235	236	255	237	238	239	240	241
8c2	256	242	243	244	257	245	246	247	248	249

Medición al aire:
Observación:

b)

Medición con GPR Día de medida: 21/01/2012

5

Número de archivos
Con alumnos

AL BAS	Cara A			Cara B				
	Dir	Est 1	Est 2	Dir	Est 1	Est 2	3	4
1c1	90	94	95	96	86	74	75	76
2c1	91	97	98	99	87	77	78	79
3c1	92	100	101	102	88	80	81	82
4c1	93	103	104	105	89	83	84	85
5c2	286	274	275	276	258	262	263	264
6c2	287	277	278	279	259	265	266	267
7c2	288	280	281	282	260	268	269	270
8c2	289	283	284	285	261	271	272	273

Medición al aire:
Observación:

Figura 5.13. (a) Hoja de toma de datos con georradar relación A/C 0,45. (b) Hoja de toma de datos con georradar relación A/C 0,65.

Cada medición realizada corresponde a un número de los recogidos en la hoja de toma de datos. Estos números serán los archivos del programa RADAN para cada adquisición de perfil realizada.

A partir del análisis de estos archivos podremos conocer los tiempos de llegada de las ondas directas y reflejadas, así como sus amplitudes. Cada archivo corresponde a una onda que se divide en: onda directa y onda reflejada. Cada onda tiene 3 crestas tanto la directa como la reflejada donde anotaremos en cada una de ellas el tiempo y la amplitud para que después podamos analizar y comparar los resultados obtenidos. Las crestas de las ondas, es decir, las amplitudes de la onda directa y de la onda reflejada son de signo contrario unas de otras, en el capítulo 6 en el primer apartado 6.1 queda todo debidamente explicado. Con todos estos datos haremos las pertinentes comparaciones y deducciones del ensayo.

5.3.2.- MEDICIÓN CON ULTRASONIDOS

5.3.2.1.- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

El equipo cuenta con una barra de calibración. Esta tiene grabado en su costado el tiempo de propagación del pulso para dicha barra. Para calibrarse se colocarán los transductores debidamente engrasados en los extremos de la barra calibradora y por medio del botón de ajuste, que se encuentra al frente del aparato, se iguala la lectura de la barra calibradora. Esta operación se efectuará al iniciar las mediciones y estando en operación durante períodos de una hora.

5.3.2.2.- PROTOCOLO DE MEDIDAS CON ULTRASONIDOS

Este ensayo se realiza en los 3 puntos de la cara A y en las testas. Se coloca un transductor en el punto a ensayar y el otro en la cara opuesta ya que utilizamos el método de transparencia o de sombra directa. Como se ve en la imagen tienen que estar impregnados de vaselina y por eso las manchas de las probetas en las fotos siguientes (Fig. 5.14a y b):



Figura 5.14. (a) Manchas de vaselina en la testa de la probeta. (b) Equipo ultrasonidos y probetas.

A diferencia de la toma de datos del georradar con los ultrasonidos cogemos 3 medidas de tiempo que nos da el equipo de ultrasonidos de cada punto ensayado.

La hoja de toma de datos se muestra en la figura siguiente (Fig. 5.15a y b):

a) Medición con US

Dia de medida: 21/01/2012

Alt	Dim	Longitudinal	Dim	Punto1	Dim	Punto2	Dim	Punto3
0,45		Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo
1c1		107,3	27,4	27,2	26,2	27,9		
		101,7	27,7	26,2	26,2	27,9		
		100,3	27,7	26,2	26,2	27,9		
2c1		99,3	26,7	27,6	26,4			
		95,4	26,9	27,1	26,1			
		95,2	26,3	27,9	26,3			
3c1		101,2	27,8	27,9	26,4			
		99,9	26,2	26,2	26,1			
		97,7	25,8	27,9	27,9			
4c1		102,6	27,9	27,7	27,2			
		99,3	26,1	26,1	26,5			
		97,7	27,9	27,3	26,3			
5c2		91,6	24,9	27,2	24,7			
		90,1	24,2	27,2	24,8			
		89,6	24,9	27,4	24,7			
6c2		92,7	28,2	27,6	27,2			
		91,1	24,7	27,2	27,3			
		92,2	27	24,7	27,1			
7c2		91,4	27,7	24,0	26,2			
		91,2	28,2	24,2	27,2			
		91,3	28,2	24,1	26,7			
8c2		91,8	26,7	27,7	26,2			
		90,3	27,3	24,5	26,1			
		90,8	28,1	27,7	26,2			

b) Medición con US

Dia de medida: 21/01/2012

Alt	Dim	Longitudinal	Dim	Punto1	Dim	Punto2	Dim	Punto3
0,65		Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo
1c1		107	27,9	26,9	27,3			
		106	27,8	27,7	27,3			
		102	28,1	27,4	27,5			
2c1		102,7	27	26,7	27,7			
		101,7	27,4	26,7	27,8			
		101	27,3	26,4	27,6			
3c1		107	27,6	27,2	27,3			
		105,7	27,6	27,2	27,2			
		104,2	27,4	27,3	27,3			
4c1		102	27	27,3	27,7			
		101,8	27,1	27,6	27,7			
		101,7	27,1	27,2	27,7			
5c2		96,1	26,7	26,3	27,2			
		92,7	26,8	27,9	26,9			
		91,5	26,6	25,2	27,3			
6c2		97,3	27,2	27,2	26,2			
		95,8	26,3	26	26,1			
		94,7	26,8	26,4	26,4			
7c2		96,9	27,7	27,7	27,9			
		92,7	28,3	27,2	27,7			
		92,6	27,6	27,9	26,3			
8c2		93,8	27,9	26,7	27,7			
		93,7	26,8	28,2	27,7			
		94	26,7	27,8	26,6			

Figura 5.15. (a) Hoja toma de datos ultrasonidos 0,45. (b) Hoja toma de datos ultrasonidos 0,65

Con los 3 tiempos recogidos de cada punto ensayado sacaremos una media, con la cual sacaremos la velocidad mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de Pulso} = \frac{\text{Distancia entre transductores}}{\text{Lectura de tiempo}}$$

(ec. 11)

Con esto sacaremos la velocidad longitudinal al ensayar las testas y la velocidad transversal al ensayar los puntos de la cara A.

Una vez tengamos todos los resultados podemos hacer las pertinentes comparaciones e interpretaciones de este ensayo.

CAPITULO 6.- RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS ENSAYOS

6.1.- GEORRADAR

6.1.1.- DESCRIPCIÓN DE UNA TRAZA TIPO

Se van a analizar los registros efectuados siempre con un reflector metálico en la parte posterior de la muestra ya que de este modo es más fácil detectar la reflexión.

Como vemos en la siguiente figura 6.1, la onda se divide en dos partes: onda directa y onda reflejada. Cada parte de estas tiene 3 picos, la onda directa empieza el primer pico con una amplitud en valor positivo, el segundo con valor negativo y el tercero con valor positivo. En cambio, en la onda reflejada ocurre lo contrario ya que el metal produce un cambio de polarización. La onda empieza el primer pico con una amplitud de onda en valor negativo, el segundo en positivo y el tercero en negativo. Como se ve en la figura a la izquierda se encuentra el radargrama recogido por el equipo de GPR y se aprecia visualmente la discontinuidad que existe en el lugar donde la onda tiene su mayor amplitud negativa (línea roja) el radargrama es más oscuro y mayor amplitud positiva (línea azul) el radargrama es más claro.

Para este estudio nos vamos a centrar en el valor de las tres amplitudes máximas (positivas y negativas) de la onda directa y la reflejada, registradas de forma estática en las dos caras (A y B) y en las testas (en este caso sólo la onda directa) cuando en la cara opuesta de la pieza hay un reflector metálico.

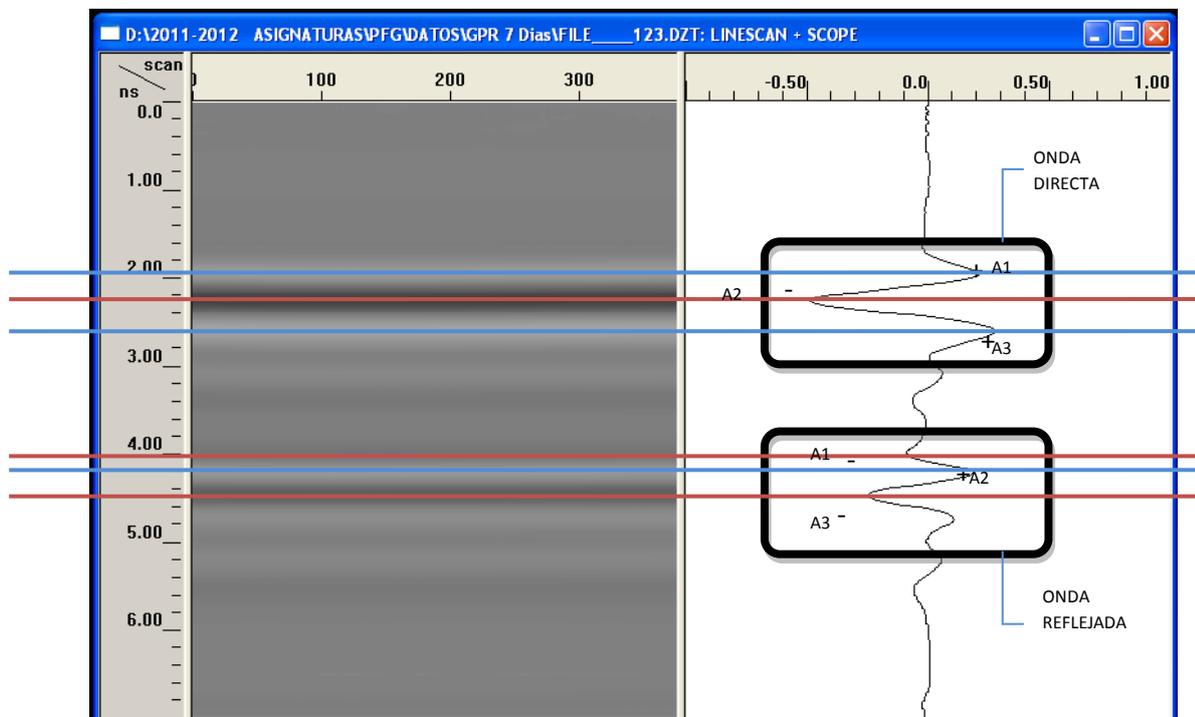


Figura 6.1. Radargrama e imagen de onda electromagnética realizada a los 7 días de la fabricación del hormigón.

6.1.2.- CODIGOS DE COLORES DE LAS TABLAS Y EJEMPLOS

A continuación se muestra el código de colores que se utiliza en las tablas para los resultados de las dos relaciones A/C con la técnica no destructiva del georradar:

CÓDIGO COLORES LEYENDA	
	Relación agua cemento
	Estático 1
	Estático 2
	Estático 3
	Estático 4 testa
	Estático 5 testa
	Identificación probeta
	Promedio de las 2 caras
	Desviación típica

Tabla 6.1. Código de colores para tablas de la toma de datos de la amplitud de la onda (directa o reflejada) a los (7, 28, 56, 70 o 90) días de la relación (0,45 o 0,65) A/C.

6.1.3.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE GEORRADAR

1. Amplitud onda directa a los 7 días para las 2 relaciones de A/C.

Caso A: Relación 0,45 A/C

0,45 A/C		Puntos	est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	6942	6997	7128	6867	7259	7039	6868	
	A1 cara B	5951	6605	6807	6867	7259	6698		
	A2 cara A	-16028	-17071	-16679	-16286	-17464	-16706	-16627	
	A2 cara B	-16156	-16548	-16286	-16286	-17464	-16548		
	A3 cara A	9148	10006	9744	8698	9352	9390	9201	
	A3 cara B	8960	9090	8960	8698	9352	9012		
probeta 2c1	A1 cara A	6997	6997	6997	6867	7390	7050	6854	
	A1 cara B	6343	6736	5951	6867	7390	6657		
	A2 cara A	-16286	-16940	-16286	-16025	-16548	-16417	-16077	
	A2 cara B	-15632	-15763	-14717	-16025	-16548	-15737		
	A3 cara A	8698	9875	9090	9483	8960	9221	9104	
	A3 cara B	9221	9221	8044	9483	8960	8986		
probeta 3c1	A1 cara A	7128	7128	6997	7128	6967	7070	6978	
	A1 cara B	6867	6867	6605	7128	6967	6887		
	A2 cara A	-16940	-16025	-16025	-17333	-16417	-16548	-16430	
	A2 cara B	-16156	-15894	-15763	-17333	-16417	-16313		
	A3 cara A	9221	10006	9483	9352	9221	9457	9260	
	A3 cara B	9614	8698	8436	9352	9221	9064		
probeta 4c1	A1 cara A	6736	7128	6867	7128	7259	7024	6919	
	A1 cara B	6474	6736	6474	7128	7259	6814		
	A2 cara A	-16156	-16286	-16286	-15502	-17202	-16286	-16051	
	A2 cara B	-15109	-15763	-15502	-15502	-17202	-15816		
	A3 cara A	8960	8436	9221	8175	9483	8855	8816	
	A3 cara B	8960	8829	8436	8175	9483	8777		

Tabla 6.2. Amplitudes de la onda directa a los 7 días de la relación 0,45 A/C.

En la tabla 6.2 se recogen los valores de las amplitudes de la onda directa registrados en los 3 puntos (1, 2 y 3) de cada cara (A y B) y 2 puntos (4 y 5), uno de cada testa, de cada una de las cuatro probetas de la relación A/C 0,45 a los siete días de su fabricación.

Se observa en la tabla 6.2 que para cada cara no hay gran diferencia en los valores de las amplitudes (A1, A2 y A3) en cada uno de los puntos. Por esta razón se halla el valor medio para cada cara, obteniéndose en este caso valores también muy similares. Se opta por tomar el valor medio como representativo de cada una de las piezas.

En la tabla 6.3 se recogen los valores de las tres amplitudes para las cuatro probetas. Se puede observar en la figura 6.2, donde se representan estos valores, la gran coincidencia entre las cuatro probetas. De este modo se decide tomar como valor para cada amplitud (A1, A2 y A3), el promedio de los valores tomados en las cuatro probetas.

0,45 A/C	Probetas						
	7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1		6868	6854	6978	6919	6905	56,44
A2		-16627	-16077	-16430	-16051	-16296	280,15
A3		9201	9104	9260	8816	9095	197,13

Tabla 6.3. Valores promedio de las amplitudes de la onda directa para cada probeta de la relación 0,45 A/C a los 7 días de su fabricación. Valor medio y desviación típica de las cuatro probetas.

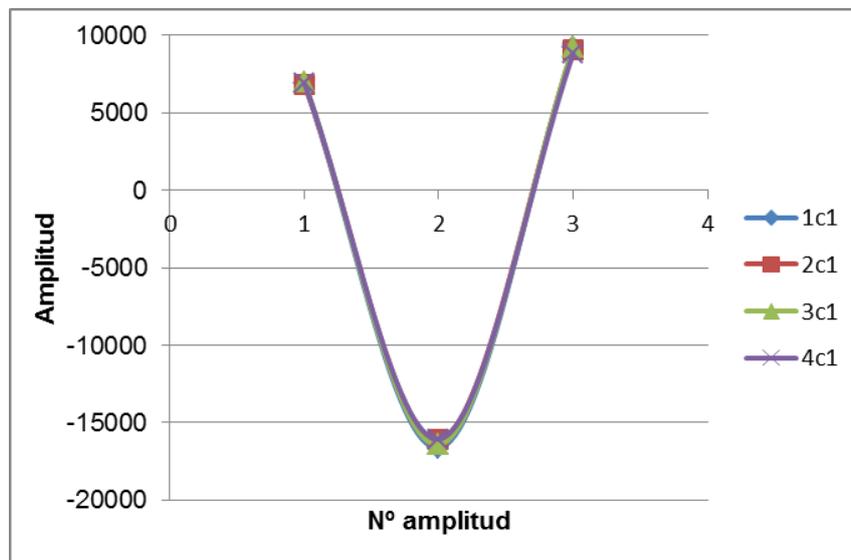


Figura 6.2. Amplitud onda directa de las probetas a los 7 días de la relación 0,45 A/C.

Caso B: Relación 0,65 A/C

El valor de las amplitudes registradas para las probetas cuya relación es 0,65 A/C sigue el mismo patrón que el de relación 0,45 A/C, como puede apreciarse en las tablas 6.4 y 6.5 y en la figura 6.3.

0,65 A/C								
Puntos		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	6605	6867	6867	6867	6736	6788	6697
	A1 cara B	6474	6605	6343	6867	6736	6605	
	A2 cara A	-15632	-15894	-15894	-15371	-15109	-15580	-15279
	A2 cara B	-14193	-15371	-14847	-15371	-15109	-14978	
	A3 cara A	8175	8436	8960	9090	8305	8593	8462
	A3 cara B	7913	8175	8175	9090	8305	8332	
probeta 2c1	A1 cara A	7259	6997	6736	6997	6867	6971	6749
	A1 cara B	5951	6343	6474	6997	6867	6526	
	A2 cara A	-15502	-15763	-15894	-15502	-16025	-15737	-15541
	A2 cara B	-14978	-14978	-15240	-15502	-16025	-15345	
	A3 cara A	7913	8696	8175	8698	8567	8410	8318
	A3 cara B	7390	7913	8567	8698	8567	8227	
probeta 3c1	A1 cara A	6997	7521	6867	6736	6867	6998	6814
	A1 cara B	6474	6736	6343	6736	6867	6631	
	A2 cara A	-16286	-16025	-15763	-15632	-15371	-15815	-15528
	A2 cara B	-15109	-15240	-14847	-15632	-15371	-15240	
	A3 cara A	8436	8829	7390	8698	8960	8463	8554
	A3 cara B	8698	8436	8436	8698	8960	8646	
probeta 4c1	A1 cara A	6867	6867	6867	6867	6997	6893	6762
	A1 cara B	6343	6343	6605	6867	6997	6631	
	A2 cara A	-15632	-15894	-15371	-15894	-15502	-15659	-15515
	A2 cara B	-15109	-15240	-15109	-15894	-15502	-15371	
	A3 cara A	8175	9483	8436	9090	7913	8619	8397
	A3 cara B	8305	8567	6997	9090	7913	8174	

Tabla 6.4. Amplitudes de la onda directa a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	6697	6749	6814	6762	6755	48,35
A2	-15279	-15541	-15528	-15515	-15466	124,78
A3	8462	8318	8554	8397	8433	99,94

Tabla 6.5. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

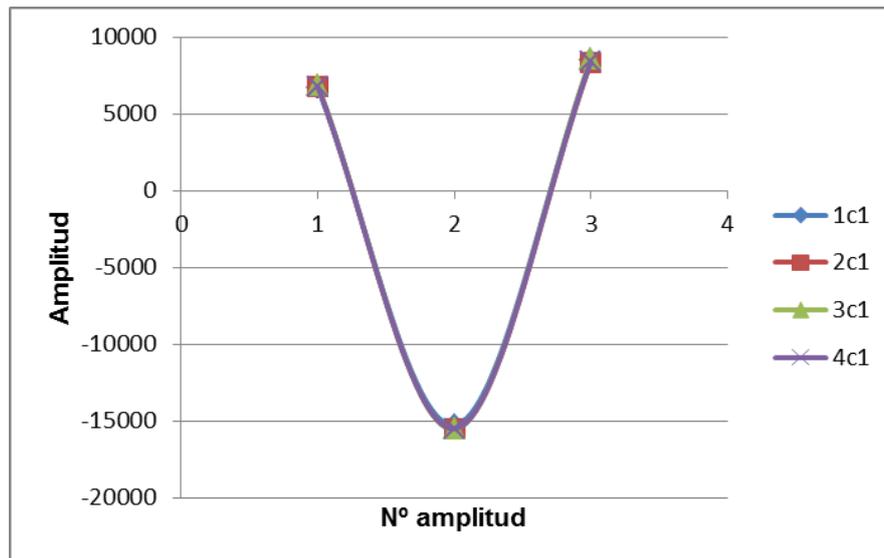


Figura 6.3. Amplitud onda directa de las probetas a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

2. Amplitudes onda directa a los 28, 56, 70 y 90 días para las 2 relaciones A/C.

Se procede del mismo modo con las mediciones de la onda directa registrados en los posteriores días de ensayo para todas las probetas analizadas. Las tablas que recogen todos los valores registrados se encuentran en el anexo 1.

A continuación se muestran para cada relación A/C, 0,45 en el caso A y 0,65 en el caso B, los valores medios de los picos de la onda directa (A1, A2 y A3) de cada una de las probetas para los siguientes días de ensayo. En las tablas quedan recogidos los valores. En las figuras se observa la similitud de los valores medios, en todos los casos, para las cuatro probetas analizadas.

Caso A: Relación 0,45 A/C.

	0,45 A/C	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
28 Días	A1	8018	7926	8083	7939	7992	73,14
	A2	-19583	-19400	-19504	-19269	-19439	135,85
	A3	11772	11563	11720	11262	11579	229,42
56 Días	A1	8698	8776	8511	8750	8684	119,86
	A2	-21558	-21532	-21571	-21440	-21525	59,02
	A3	13473	13329	13564	12714	13270	383,12
70 Días	A1	8842	8777	8868	8829	8829	38,54
	A2	-21885	-21924	-21924	-21872	-21901	26,99
	A3	14061	14153	14271	13656	14035	267,10
90 Días	A1	8907	8960	9017	8960	8961	44,92
	A2	-22382	-22539	-22670	-22304	-22474	163,30
	A3	14451	14310	14427	13682	14218	362,27

Tabla 6.6. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 28, 56, 70 y 90 días de la relación 0,45 A/C.

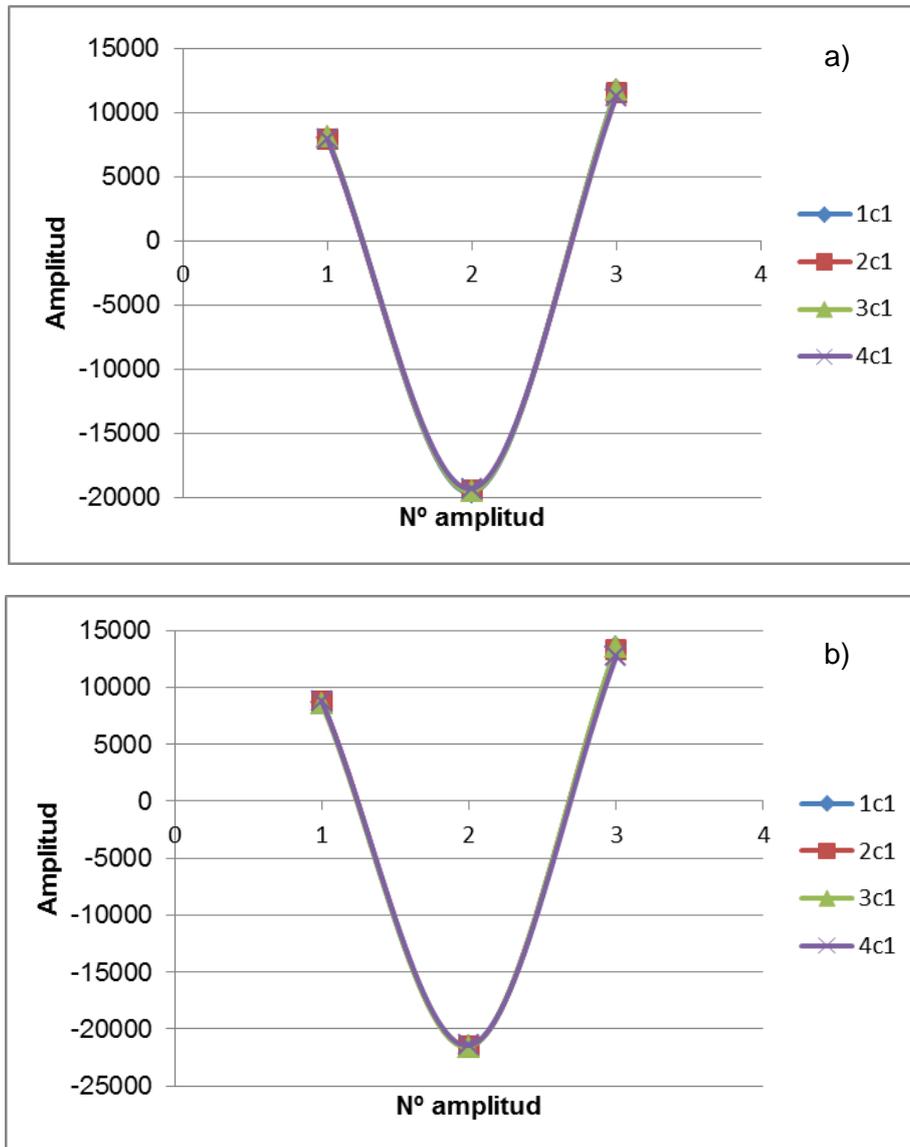


Figura 6.4. Amplitud onda directa de las probetas a los 28 días (a) y a los 56 días (b) de la relación 0,45 A/C.

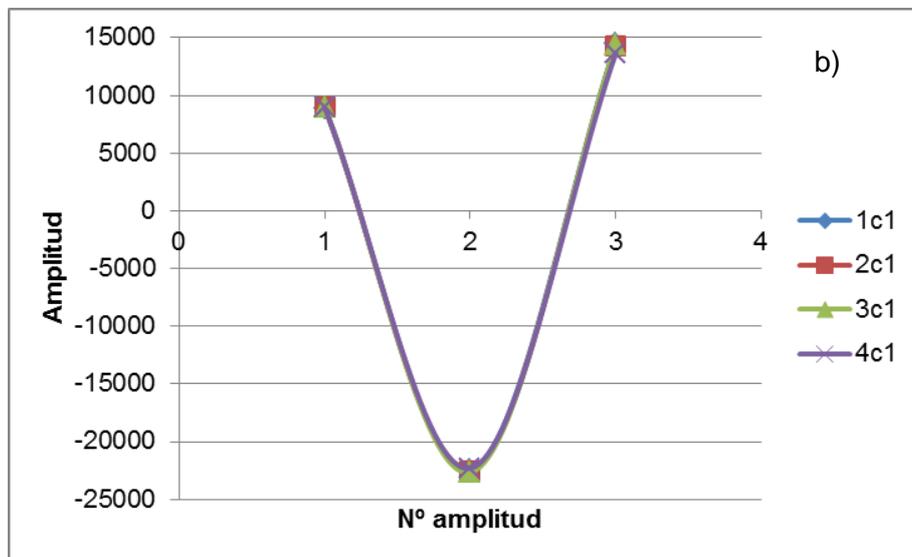
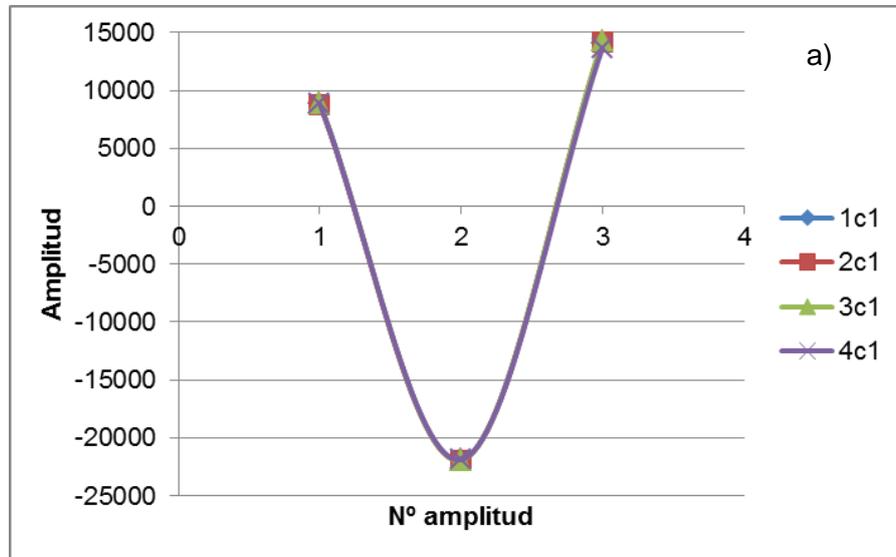


Figura 6.5. Amplitud onda directa de las probetas a los 70 días (a) y a los 90 días (b) de la relación 0,45 A/C.

Caso B: Relación 0,65 A/C.

	0,65 A/C	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
28 Días	A1	8162	8253	8266	8188	8217	50,48
	A2	-19426	-19818	-19805	-19962	-19753	229,28
	A3	11667	11837	11838	11851	11798	87,53
56 Días	A1	8904	8907	9104	9045	8990	100,36
	A2	-21951	-21990	-21911	-22212	-22016	134,64
	A3	13525	13551	13490	13917	13620	199,27
70 Días	A1	9221	9130	9195	9117	9166	50,41
	A2	-22644	-22526	-22342	-22526	-22509	124,74
	A3	14532	14375	14375	14558	14460	98,74
90 Días	A1	9300	9287	9352	9274	9303	34,41
	A2	-22866	-23075	-22932	-23023	-22974	93,16
	A3	14715	14569	14323	14663	14567	173,94

Tabla 6.7. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 28, 56, 70 y 90 días de la relación 0,65 A/C.

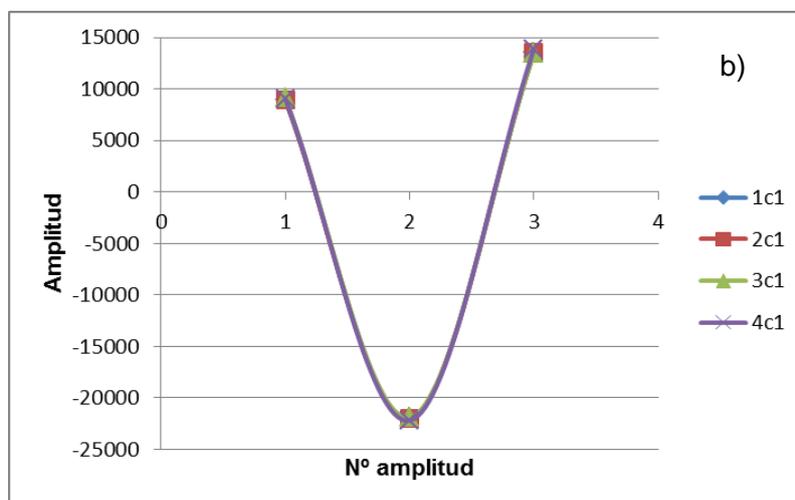
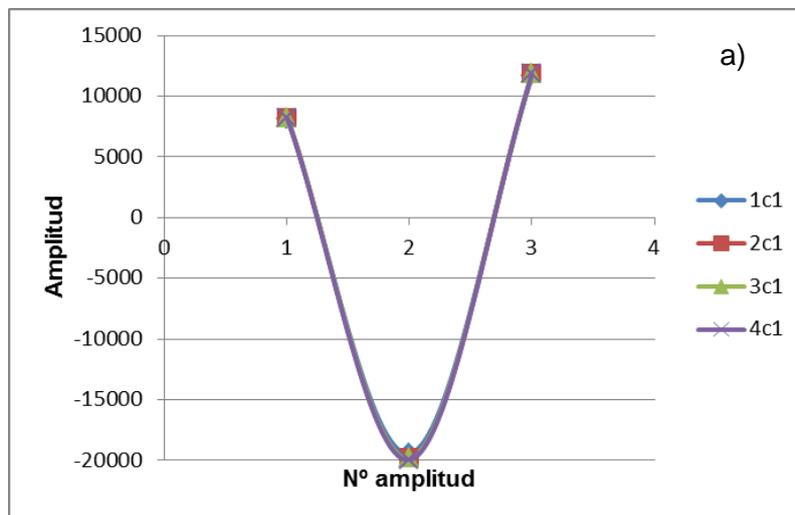


Figura 6.6. Amplitud onda directa de las probetas a los 28 días (a) y 56 días (b) de la relación 0,65 A/C.

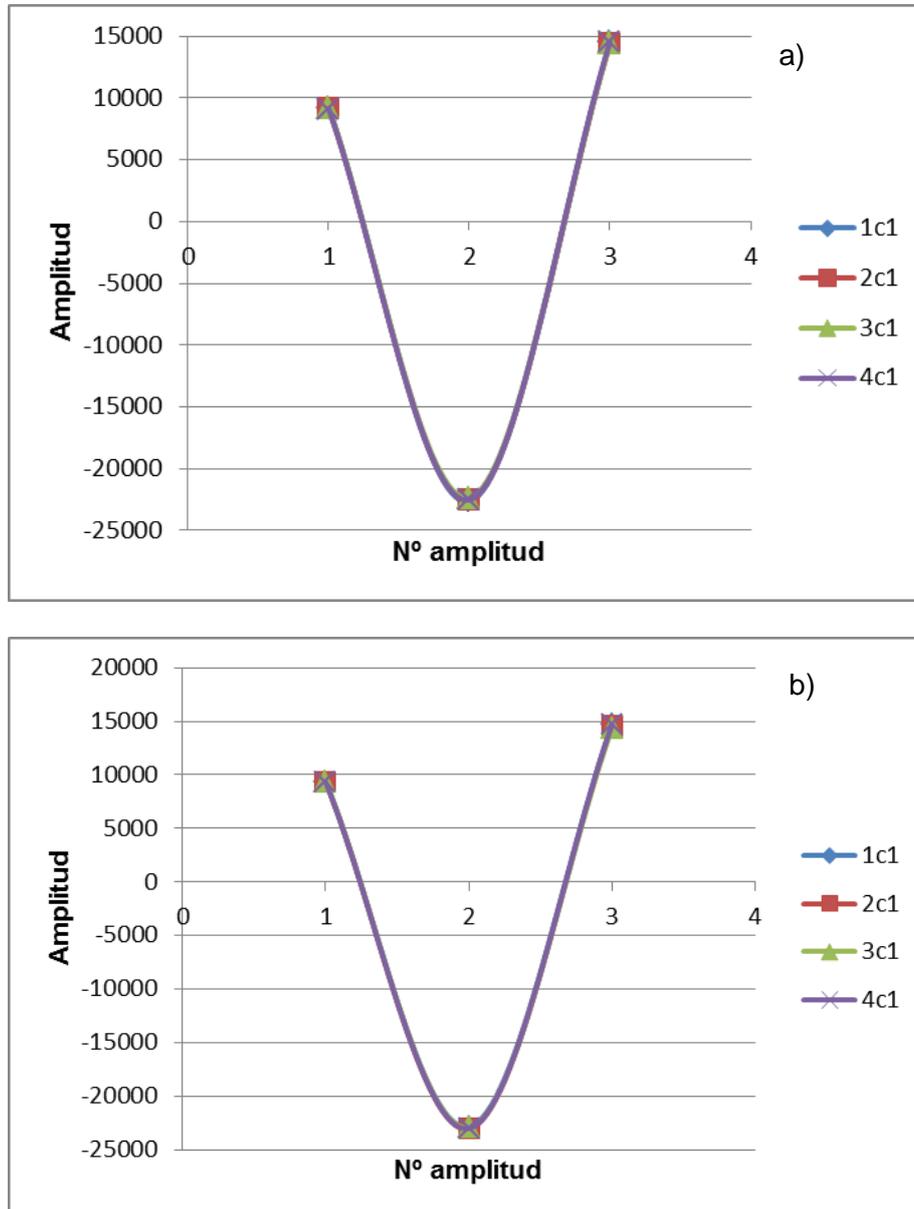


Figura 6.7. Amplitud onda directa de las probetas a los 70 días (a) y 90 días (b) de la relación 0,65 A/C.

3. Amplitudes de onda reflejada a los 7 días para las 2 relaciones A/C.

Para la onda reflejada solo se toman los valores de las tres amplitudes en los puntos 1, 2 y 3 de cada cara (A y B) ya que en las testas no hay reflexión.

Caso A: Relación 0,45 A/C.

0,45 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-2920	-2944	-2813	-2892	-2722
	A1 cara B	-2682	-2420	-2551	-2551	
	A2 cara A	6163	6212	6867	6414	5048
	A2 cara B	5428	5558	58	3681	
	A3 cara A	-8111	-8830	-8307	-8416	-8383
	A3 cara B	-8045	-9092	-7915	-8351	
probeta 2c1	A1 cara A	-3075	-2420	-2682	-2726	-2530
	A1 cara B	-2420	-2290	-2290	-2333	
	A2 cara A	6082	6343	5820	6082	5428
	A2 cara B	5035	4512	4774	4774	
	A3 cara A	-8176	-8699	-7915	-8263	-7915
	A3 cara B	-7656	-7915	-7130	-7567	
probeta 3c1	A1 cara A	-3205	-2551	-2813	-2856	-2726
	A1 cara B	-2813	-2159	-2813	-2595	
	A2 cara A	6343	5558	6605	6169	5907
	A2 cara B	6212	4904	5820	5645	
	A3 cara A	-8830	-8307	-8438	-8525	-8220
	A3 cara B	-8307	-7915	-7522	-7915	
probeta 4c1	A1 cara A	-2813	-2813	-2944	-2857	-2442
	A1 cara B	-2290	-1766	-2028	-2028	
	A2 cara A	5820	5558	6082	5820	5384
	A2 cara B	5558	4250	5035	4948	
	A3 cara A	-7130	-8045	-7784	-7653	-7304
	A3 cara B	-7260	-6868	-6737	-6955	

Tabla 6.8. Amplitudes de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,45 A/C.

Al igual que sucede con la onda directa, observamos que los valores de las amplitudes A1, A2 y A3 de la onda reflejada difieren muy poco, independientemente de la cara analizada (A y B), del punto de la probeta (tabla 6.8) e incluso de la probeta (figura 6.8). Por esta razón se calcula el valor medio y se opta por tomar este valor medio como representativo de cada una de las piezas (tabla 6.9).

0,45 A/C		Probetas				
7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-2722	-2530	-2726	-2442	-2605	141,81
A2	5048	5428	5907	5384	5442	353,69
A3	-8383	-7915	-8220	-7304	-7956	475,74

Tabla 6.9. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,45 A/C.

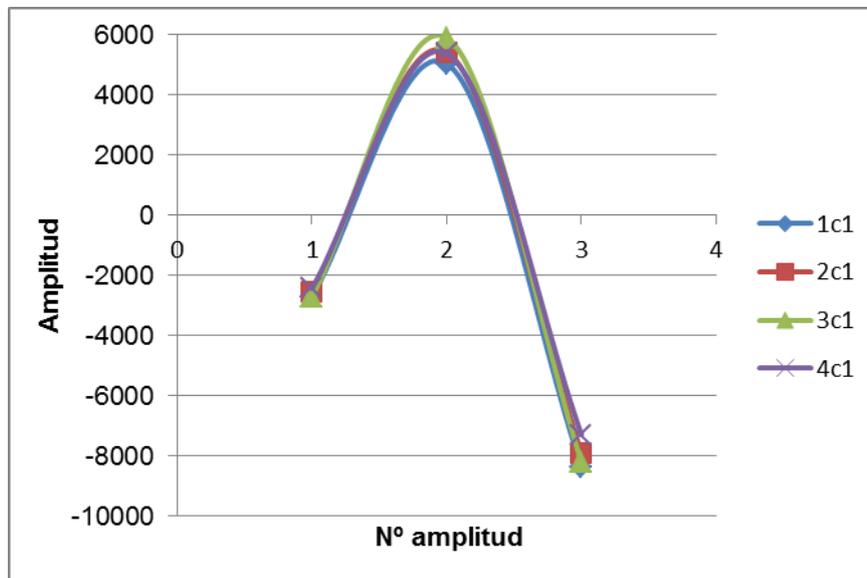


Figura 6.8. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 7 días de la relación 0,45 A/C.

Caso B: Relación 0,65 A/C.

El patrón es el mismo que en el caso anterior como se observa en la figura 6.9, por tanto, se adopta el valor medio como se muestra en la tabla 6.11

0,65 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-2420	-1897	-2682	-2333	-2399
	A1 cara B	-2420	-2682	-2290	-2464	
	A2 cara A	4643	4120	4904	4556	4642
	A2 cara B	4120	5160	4904	4728	
	A3 cara A	-6083	-6737	-6606	-6475	-6432
	A3 cara B	-5822	-6868	-6476	-6389	
probeta 2c1	A1 cara A	-1766	-2159	-2290	-2072	-2006
	A1 cara B	-1636	-2028	-2159	-1941	
	A2 cara A	4643	4381	5166	4730	4381
	A2 cara B	3335	4381	4381	4032	
	A3 cara A	-6345	-6737	-6868	-6650	-6410
	A3 cara B	-5429	-6606	-6476	-6170	

probeta 3c1	A1 cara A	-2290	-2420	-2290	-2333	-2312
	A1 cara B	-2159	-2551	-2159	-2290	
	A2 cara A	5166	4904	5166	5079	4817
	A2 cara B	4381	4904	4381	4555	
	A3 cara A	-7391	-7391	-6606	-7129	-6999
	A3 cara B	-6737	-7130	-6737	-6868	
probeta 4c1	A1 cara A	-2028	-2028	-2290	-2115	-2028
	A1 cara B	-1897	-1766	-2159	-1941	
	A2 cara A	4643	4120	5166	4643	4316
	A2 cara B	3596	3727	4643	3989	
	A3 cara A	-5822	-5822	-6999	-6214	-6062
	A3 cara B	-5168	-6083	-6476	-5909	

Tabla 6.10. Amplitudes de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-2399	-2006	-2312	-2028	-2186	198,45
A2	4642	4381	4817	4316	4539	232,79
A3	-6432	-6410	-6999	-6062	-6476	387,78

Tabla 6.11. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

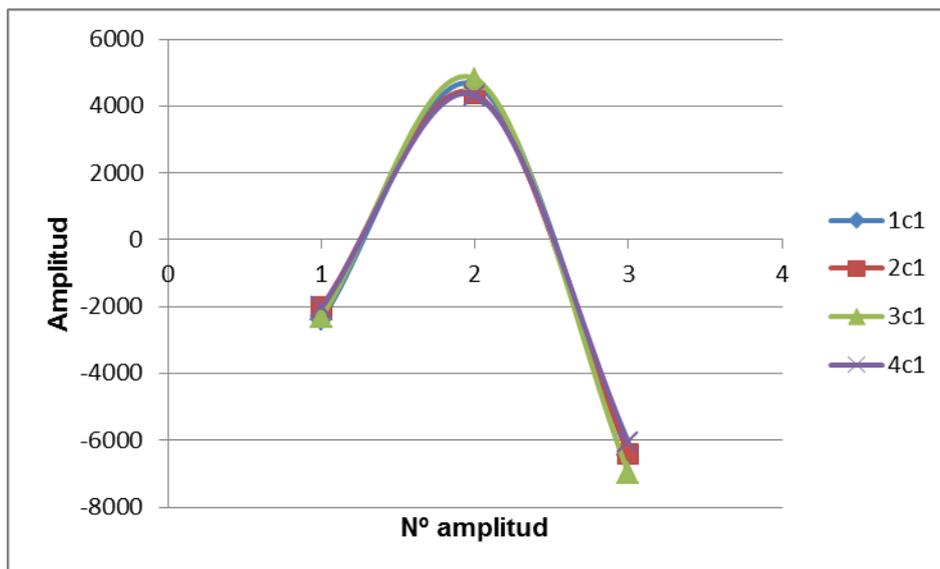


Figura 6.9. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

4. Amplitudes onda reflejada a los 28, 56, 70 y 90 días para las 2 relaciones A/C.

Caso A: Relación 0,45 A/C.

En la tabla 6.12 se recogen los valores medios obtenidos para las amplitudes de cada uno de los picos (A1, A2 y A3) analizados en la onda reflejada. Estos valores se representan en las figuras 6.10, 6.11 y 6.12.

	0,45 A/C	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
28 Días	A1	-3968	-3489	-3860	-3685	-3750	209,85
	A2	9853	9069	9374	9417	9428	323,10
	A3	-14499	-13910	-13256	-13103	-13692	641,58
56 Días	A1	-3903	-3990	-4448	-4099	-4110	239,04
	A2	12950	13233	14170	12862	13304	599,03
	A3	-19818	-20389	-21235	-19077	-20130	911,82
70 Días	A1	-4470	-4252	-4644	-4186	-4388	209,46
	A2	15827	15457	15609	14323	15304	671,55
	A3	-24288	-23874	-23765	-21955	-23470	1035,05
90 Días	A1	-4208	-4056	-4802	-4274	-4335	324,44
	A2	17004	16634	17217	16459	16829	344,53
	A3	-25836	-25683	-26054	-24593	-25542	650,40

Tabla 6.12. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 28, 56, 70 y 90 días de la relación 0,45 A/C.

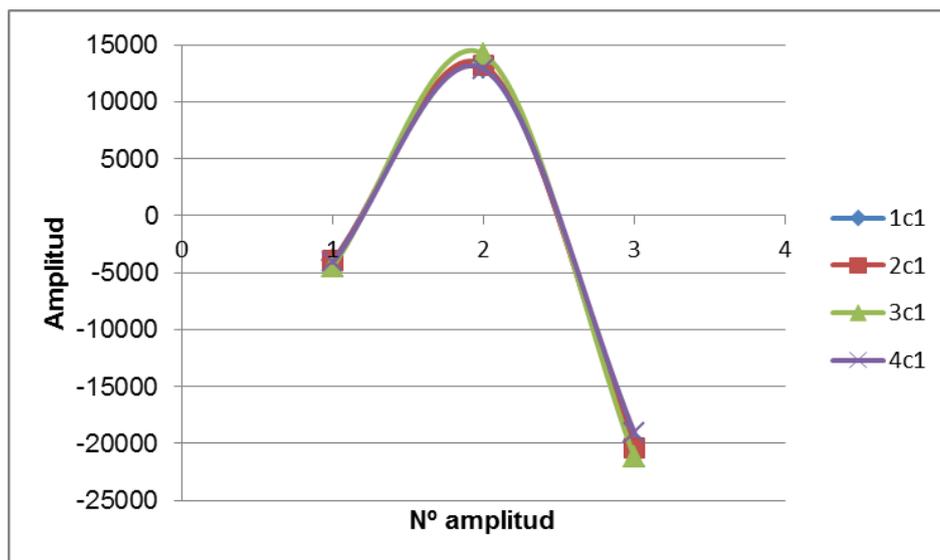


Figura 6.10. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

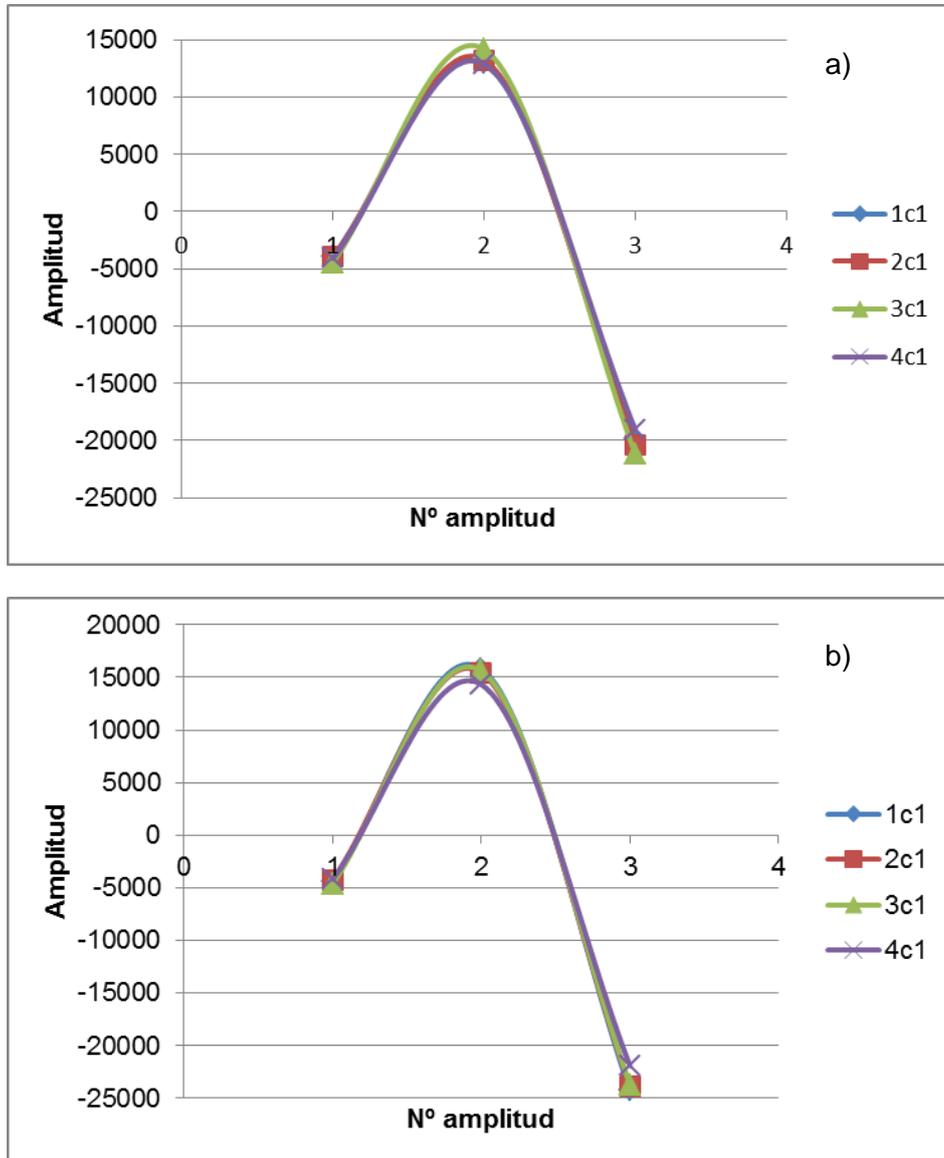


Figura 6.11. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 56 días (a) y 70 días (b) de la relación 0,45 A/C.

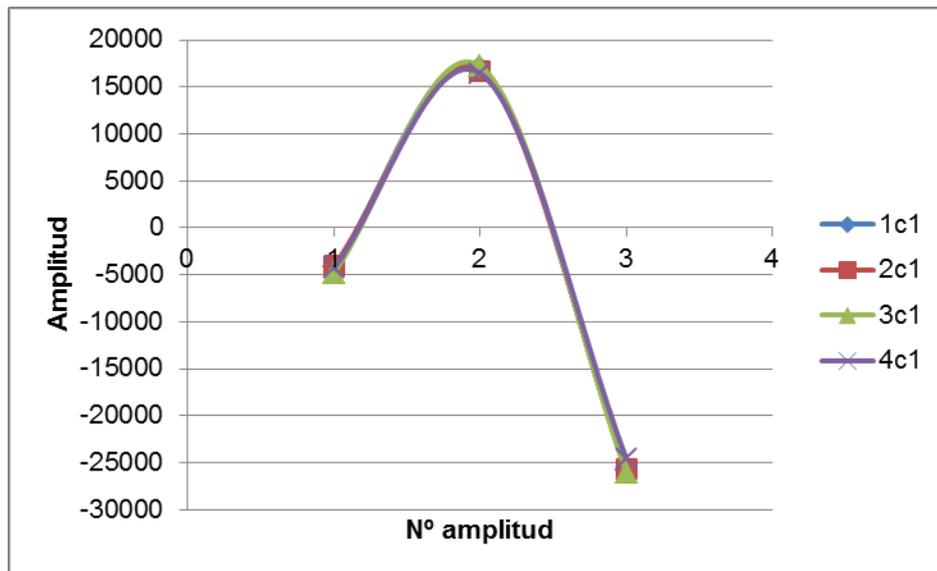


Figura 6.12. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

Caso B: Relación 0,65 A/C.

En la tabla 6.13 se recogen los valores medios obtenidos para las amplitudes de cada uno de los picos (A1, A2 y A3) analizados en la onda reflejada. Estos valores se representan en las figuras 6.13. y 6.14.

	0,65 A/C	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
28 Días	A1	-3729	-3315	-3402	-3641	-3522	195,29
	A2	9221	9069	9199	8988	9119	110,46
	A3	-13823	-13278	-14651	-13343	-13774	633,48
56 Días	A1	-4339	-4331	-4121	-4056	-4212	144,86
	A2	14939	15413	15566	13778	14924	809,24
	A3	-22028	-23198	-24200	-21732	-22789	1133,61
70 Días	A1	-4666	-3990	-4470	-4121	-4312	311,07
	A2	16939	15696	17078	15108	16205	959,98
	A3	-26730	-25683	-26956	-23983	-25838	1355,34
90 Días	A1	-5364	-4644	-4817	-4448	-4818	393,70
	A2	20863	19337	20166	18116	19621	1181,09
	A3	-31242	-29869	-30349	-27362	-29705	1662,88

Tabla 6.13. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 28, 56, 70 y 90 días de la relación 0,65 A/C.

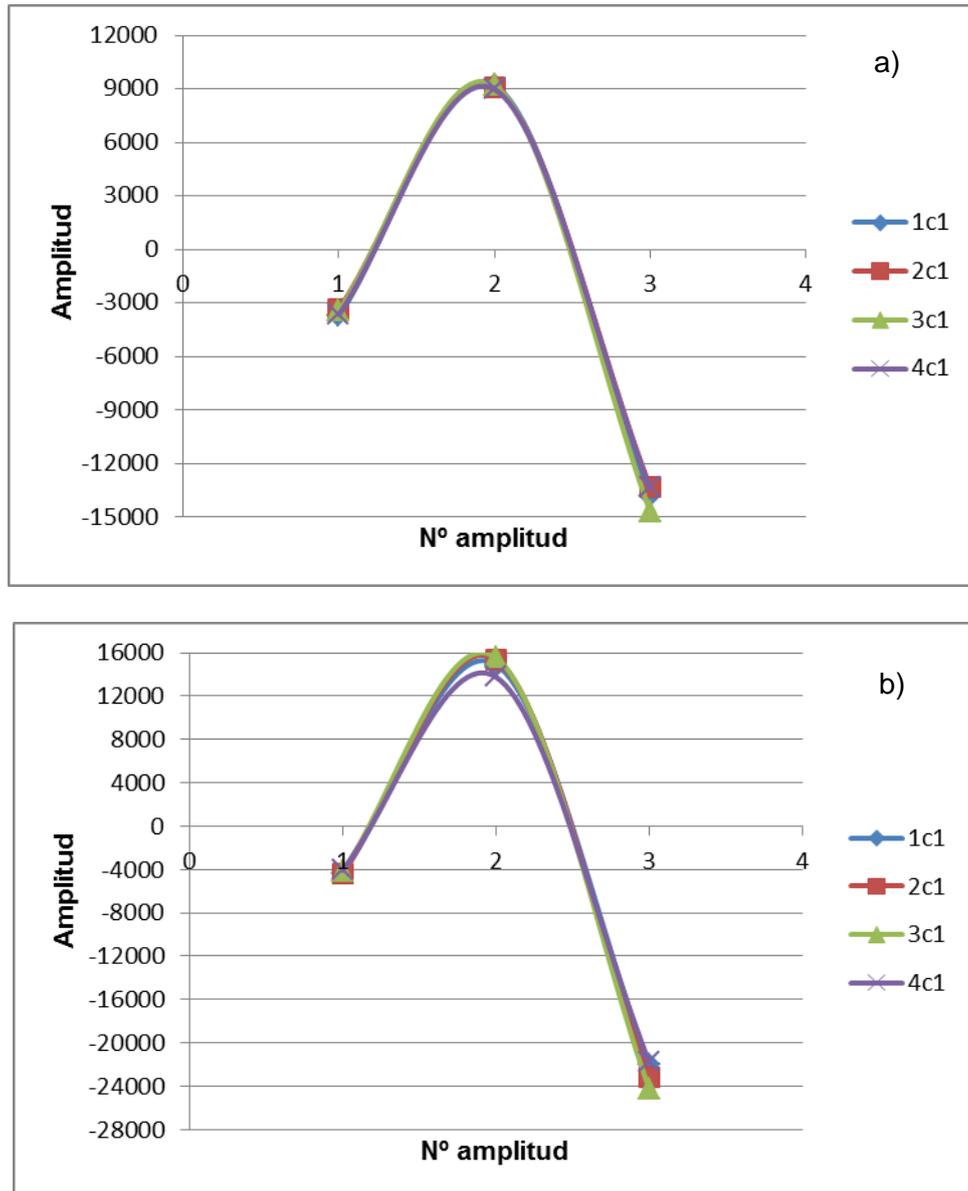


Figura 6.13. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 28 días (a) y 56días (b) de la relación 0,65 A/C.

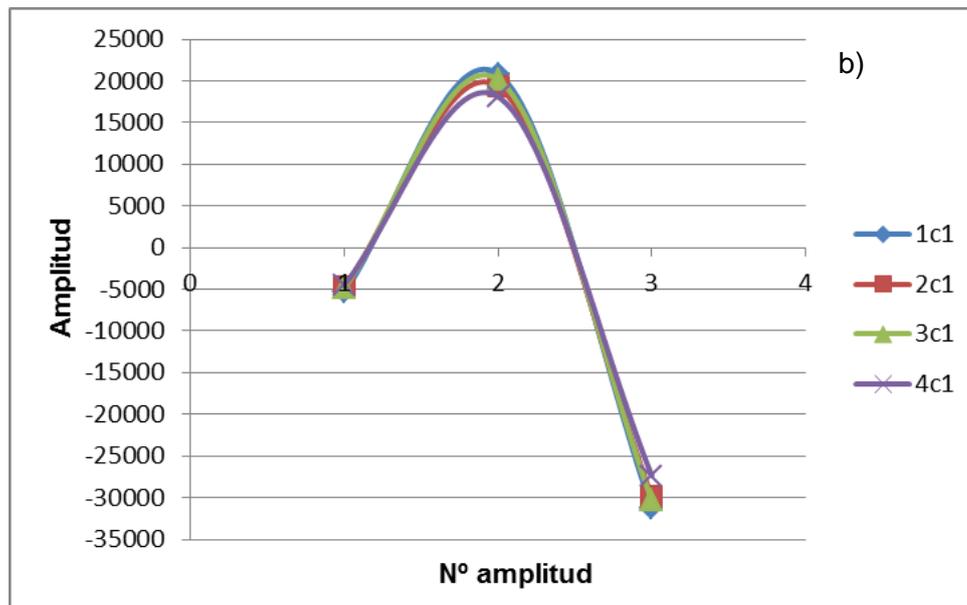
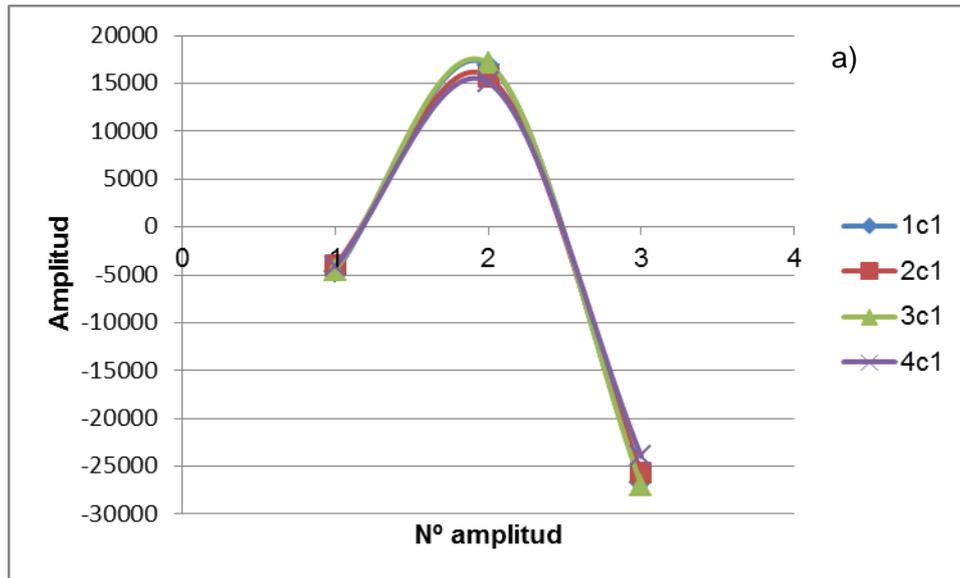


Figura 6.14. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 70 días (a) y 90 días (b) de la relación 0,65 A/C.

6.1.4 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE GEORRADAR

En este apartado se analizará la evolución de las amplitudes de las ondas directas y reflejadas a lo largo de los días de medición.

Comparación 1: Promedios de las amplitudes de la onda directa y de la reflejada de la relación 0,45 A/C.

Días	7	28	56	70	90
A1	6905	7992	8684	8829	8961
A2	-16296	-19432	-21525	-21901	-22474
A3	9095	11579	13270	14035	14218

Tabla 6.14. Promedio de las amplitudes de la onda directa de 0,45 A/C en todos los ensayos.

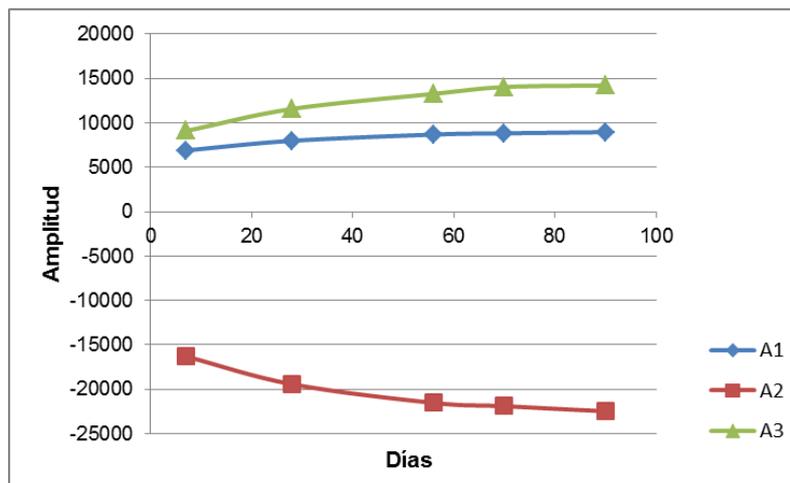


Figura 6.15. Promedio de la amplitud de la onda directa de la relación 0,45 A/C.

En la figura 6.15 se observa que a medida que transcurre el tiempo la amplitud de los picos de la onda directa van aumentando. Vemos que la amplitud A1 es la que menos varía respecto a las demás. El incremento de las amplitudes parece ser mayor en las tres primeras sesiones y es más similar en las dos últimas.

Días	7	28	56	70	90
A1	-2605	-3750	-4110	-4388	-4335
A2	5442	9428	13304	15304	16829
A3	-7956	-13692	-20130	-23470	-25541

Tabla 6.15. Promedio de las amplitudes de la onda reflejada de 0,45 A/C en todos los ensayos.

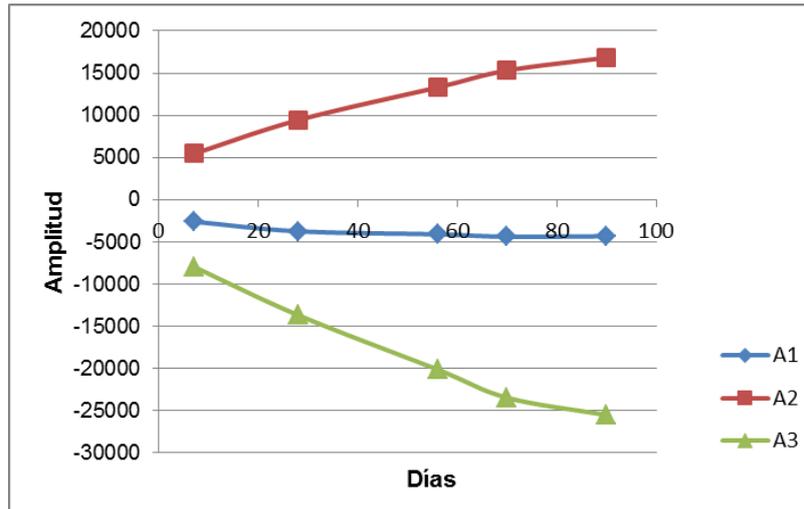


Figura 6.16. Promedio de la amplitud onda reflejada de la relación 0,45 A/C.

En la figura 6.16 se contempla como la amplitud A1 de la onda reflejada permanece casi constante. Sin embargo, en las otras amplitudes observamos un mayor aumento. Este aumento es casi lineal y en los días finales sigue aumentando, no sabemos hasta qué días sigue el aumento al no ser estudiadas más tiempo. También podemos observar como para la onda reflejada el incremento de las amplitudes es mayor que para la onda directa.

Comparación 2: Promedios de las amplitudes de la onda directa y de la reflejada de la relación 0,65 A/C.

Días	7	28	56	70	90
A1	6755	8217	8990	9166	9303
A2	-15466	-19753	-22016	-22509	-22974
A3	8433	11798	13620	14460	14567

Tabla 6.16. Promedio de las amplitudes de la onda directa de 0,65 A/C en todos los ensayos.

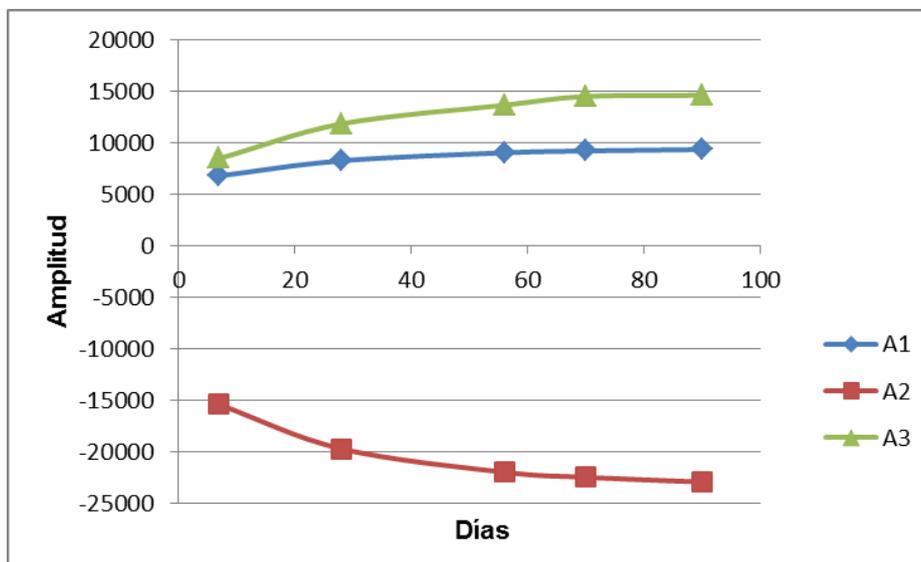


Figura 6.17. Promedio de la amplitud de la onda directa de la relación 0,65 A/C.

En la figura 6.17. y 6.18. vemos que los gráficos son muy similares a los de la relación de 0,45 A/C. Las amplitudes de los picos aumentan a medida que transcurre los días y este aumento es más notorio en los picos A2 y A3 de la onda reflejada

Días	7	28	56	70	90
A1	-2186	-3522	-4212	-4312	-4818
A2	4539	9119	14924	16205	19621
A3	-6476	-13774	-22789	-25838	-29705

Tabla 6.17. Promedio de la amplitud de la onda reflejada de 0,65 A/C en todos los ensayos.

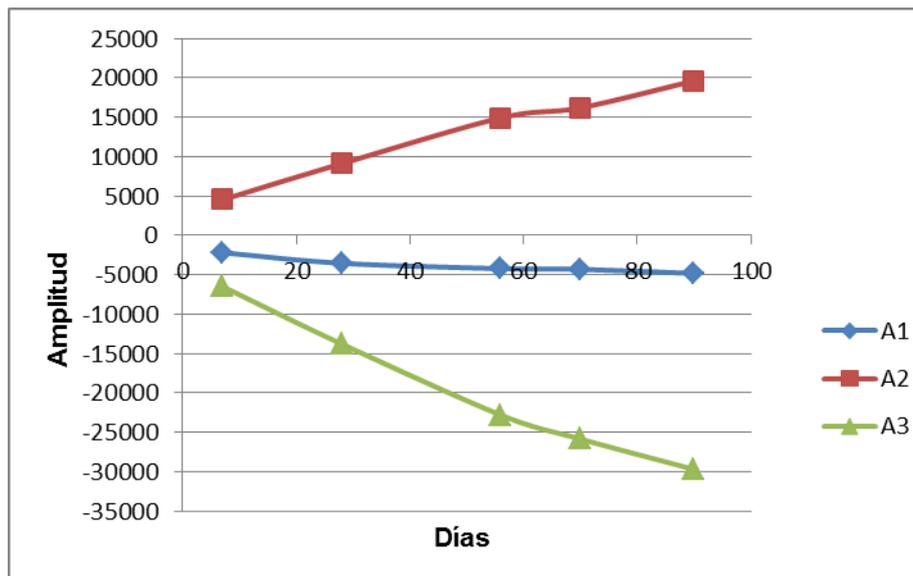


Figura 6.18. Promedio de la amplitud de la onda reflejada de la relación 0,65 A/C.

Comparación 3: Comparación A1 de onda directa de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A1 A/C 0.45	6905	7992	8684	8829	8961
A1 A/C 0.65	6755	8217	8990	9166	9303

Tabla 6.18. Amplitud A1 de la onda directa de las 2 relaciones A/C.

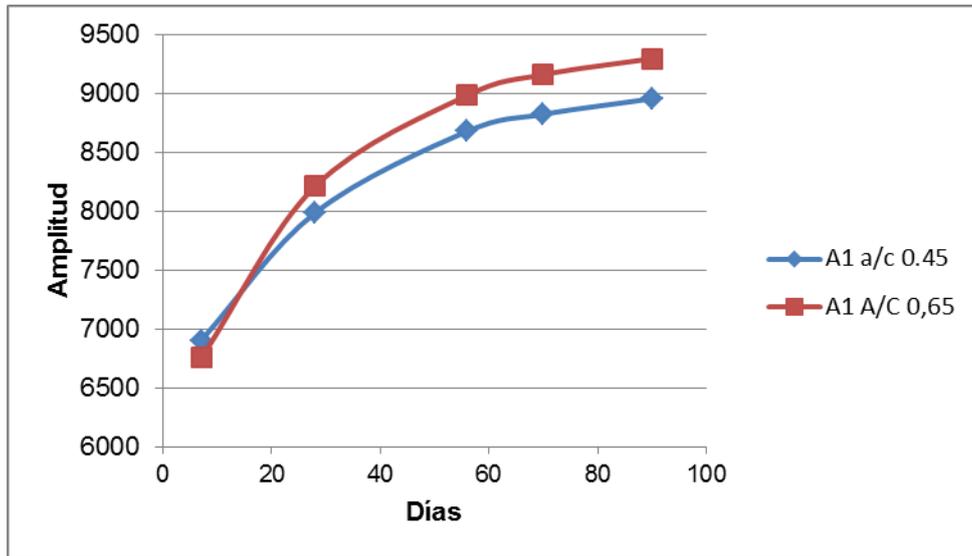


Figura 6.19. Amplitud A1 de la onda directa de 0,45 A/C y 0,65 A/C.

La figura 6.19 representa el valor del pico A1 de la onda directa para las 2 relaciones A/C. Se observa que a los 7 días, la amplitud de 0,45 es mayor que la de 0,65, sin embargo a partir del ensayo realizado a los 28 días los valores obtenidos de la amplitud de la 0,65 A/C pasa a ser mayor, hasta la última sesión de medidas. En ambas relaciones A/C el aumento de las amplitudes es mayor en las tres primeras sesiones que las dos últimas.

Comparación 4: Comparación A2 de la onda directa de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A2 A/C 0.45	-16296	-19432	-21525	-21901	-22474
A2 A/C 0.65	-15466	-19753	-22016	-22509	-22974

Tabla 6.19. Amplitud A2 de la onda directa de las 2 relaciones A/C.

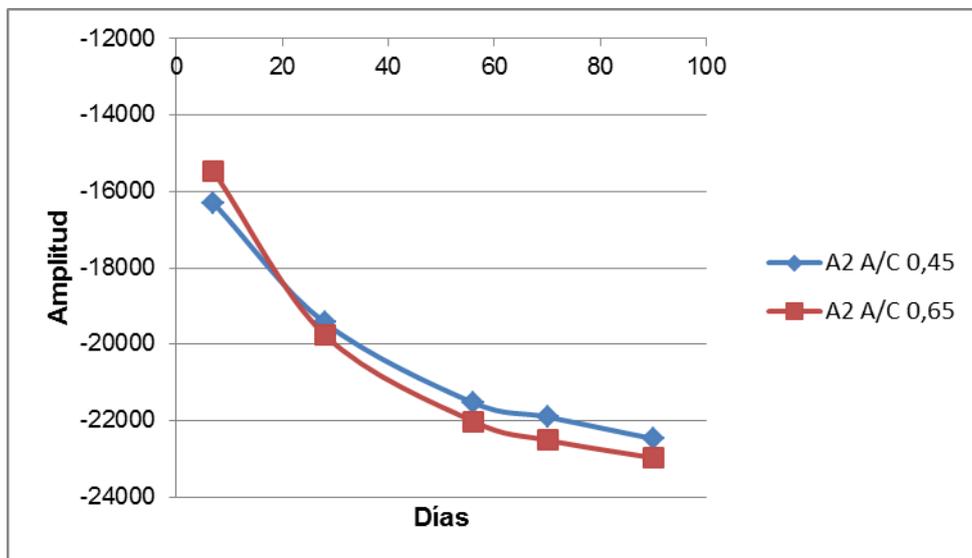


Figura 6.20. Amplitud A2 de la onda directa de 0,45 y 0,65 A/C.

Se observa en la figura 6.20 como en el día 28 el aumento de la amplitud es del 19%, en la sesión correspondiente a los 56 días el aumento es 10% mientras que en los días 70 y 90 el aumento varía entre 1% y 2 %. Interpretamos que la amplitud de onda para estos últimos ensayos ya se está estabilizando porque su crecimiento es muy leve.

Comparación 5: Comparación A3 de onda directa de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A3 A/C 0.45	9095	11579	13270	14035	14218
A3 A/C 0.65	8433	11798	13620	14460	14567

Tabla 6.20. Amplitud A3 de la onda directa de las 2 relaciones A/C.

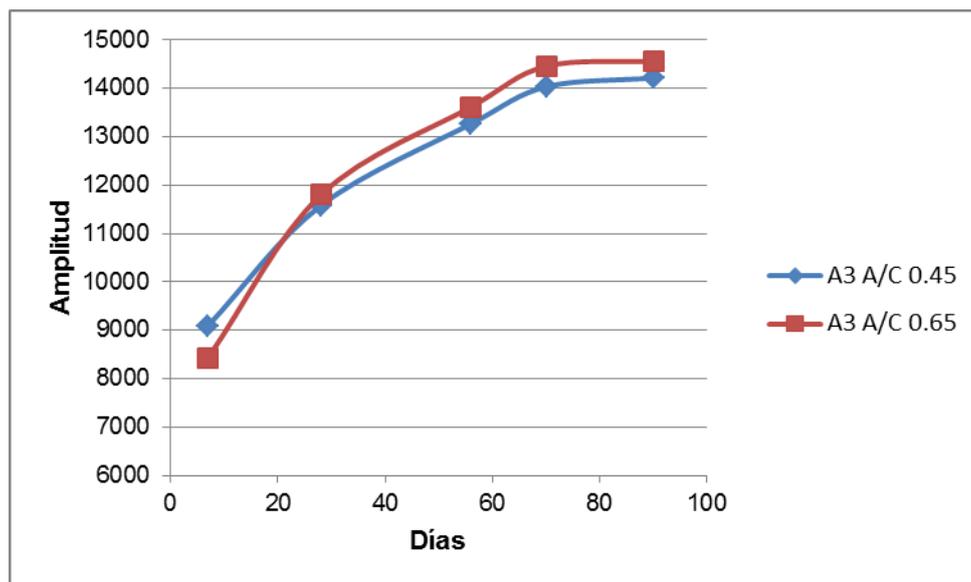


Figura 6.21. Amplitud A3 de la onda directa de relación 0,45 y 0,65 A/C.

En la figura 6.21, que recoge el valor de la amplitud A3 en los días 7, 28 y 56, vemos que la amplitud ha tenido un aumento considerable de un 27% de 7 a los 28 días y de un 15 % de los 28 a 56 días, mientras las siguientes varían 5% de 56 a 70 y 1% de 70 a 90 días. Parece ser que va estabilizándose la amplitud de onda según el tiempo de curado. En este pico, al igual que en A1 y A2, la amplitud en la relación 0,65 A/C es ligeramente superior que la de relación 0,45 A/C a partir de la 2ª sesión.

Comparación 6: Comparación A1 de onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A1 A/C 0.45	-2605	-3750	-4110	-4388	-4335
A1 A/C 0.65	-2186	-3522	-4212	-4312	-4818

Tabla 6.21. Amplitud A1 de la onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

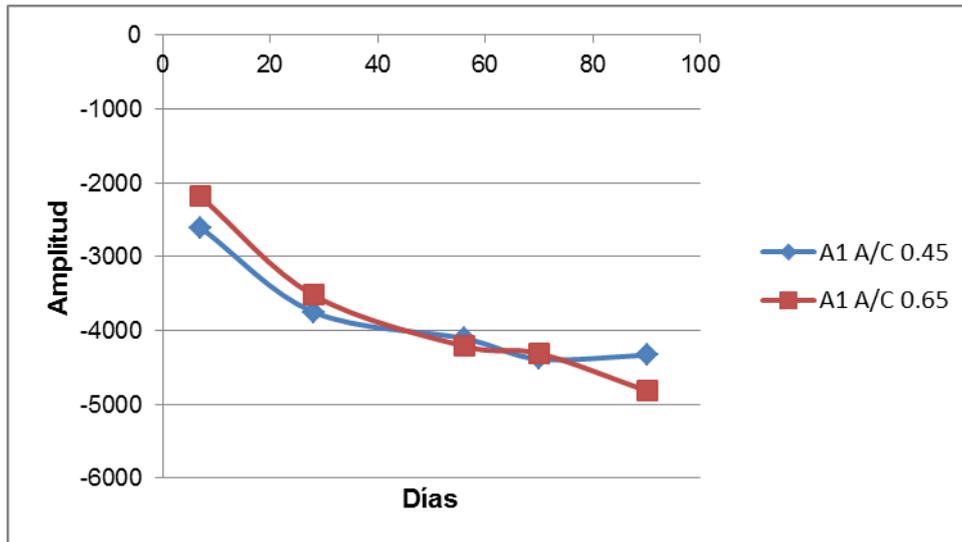


Figura 6.22. Amplitud A1 de la onda reflejada de las relaciones 0,45 y 0,65 A/C.

En la figura 6.22 se puede observar que la amplitud del pico A1 de la onda reflejada es bastante similar para las dos relaciones A/C y en todas las sesiones.

Comparación 7: Comparación A2 de onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A2 A/C 0.45	5442	9428	13304	15304	16829
A2 A/C 0.65	4539	9119	14924	16205	19621

Tabla 6.22. Amplitud A2 de onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

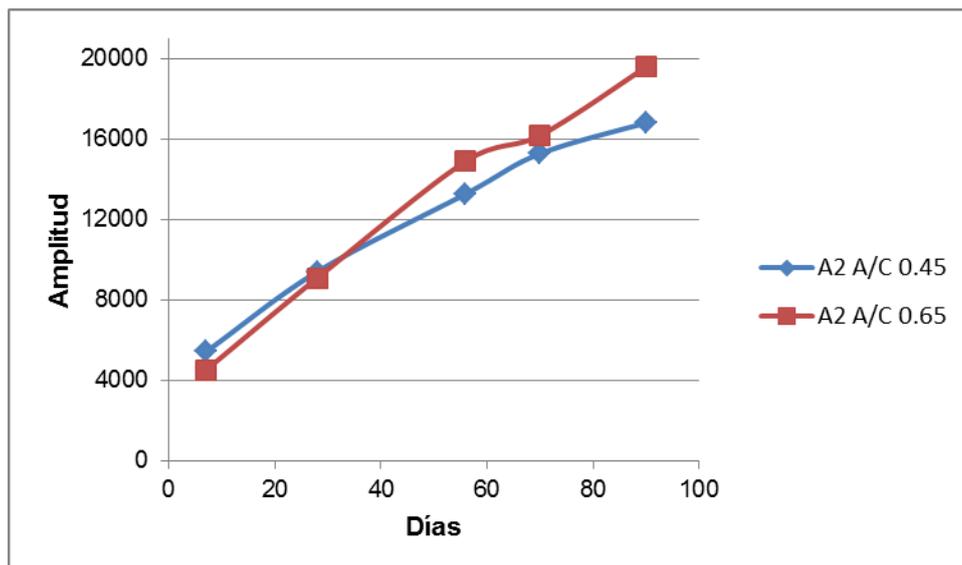


Figura 6.23. Amplitud A2 de la onda reflejada de 0,45 y 0,65 A/C.

En la figura 6.23 se observa que como sucedía en el caso de la onda directa, los valores de las amplitudes del pico A2 son ligeramente superiores en la relación de 0,65 A/C a partir de la tercera sesión de medida.

Comparación 8: Comparación A3 de onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

Días	7	28	56	70	90
A3 A/C 0.45	-7956	-13692	-20130	-23470	-25541
A3 A/C 0.65	-6476	-13774	-22789	-25838	-29705

Tabla 6.23. Amplitud A3 de la onda reflejada de las 2 relaciones A/C.

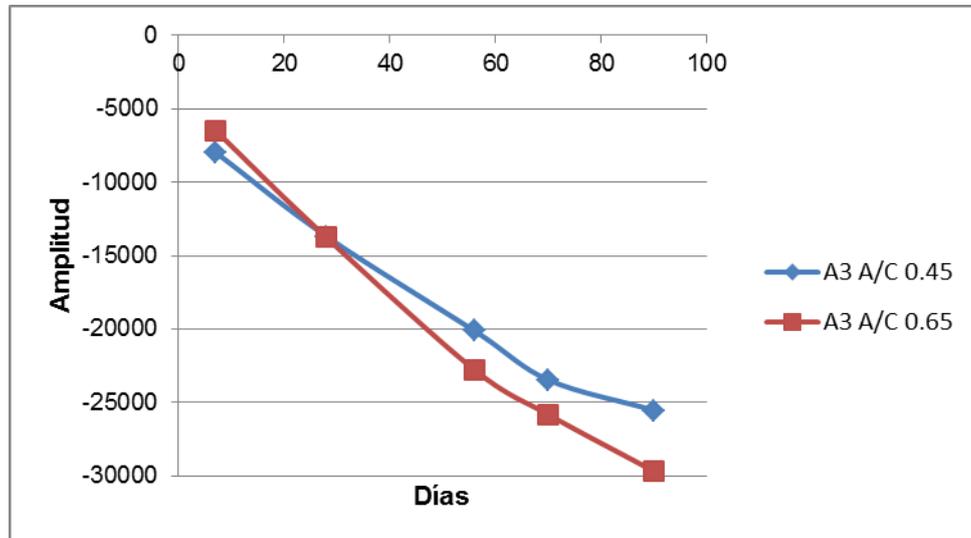


Figura 6.24. Amplitud A3 de la onda reflejada de 0,45 y 0,65 A/C.

De nuevo observamos en la figura 6.24 que los valores de los picos de amplitud A3 son mayores para la relación A/C 0,65 a partir de la tercera sesión.

Comparación 9: Contenido de humedad (CH) de las probetas de la relación 0,45 A/C.

Masa de las muestras en g 0,45 A/C							
Días	1	7	28	56	70	90	masa seca
1c1	1083,3	1044,2					1016,1
2c1	1061,3	1022,3	1009,9				996,8
3c1	1059,9	1021,4	1008,6	1004,7			996,0
4c1	1013,8	977,3	965,2	961,6	961,2		953,8
5c1	1064,7	1026,1	1013,6	1010,1	1009,6	1010,0	1006,8

Tabla 6.24. Masa de las muestras fabricadas para la obtención de contenido de humedad. De la relación 0,45 A/C.

Cada día de ensayo se pesaron las muestras y los valores obtenidos se recogen en la tabla 6.24 en cada sesión de medida se secó una de las muestras en horno a 100°C durante 48 horas. Por ejemplo, a los 7 días se introdujo en el horno la muestra 1c1 y con la masa seca de esta medición se calculó el CH a los 7 días. Los valores obtenidos del CH de estas muestras son los que figuran en la tabla 6.25.

0,45 A/C contenido en % de humedad						
Días	1	7	28	56	70	90
1c1	6,61	2,77				
2c1	6,47	2,56	1,31			
3c1	6,42	2,55	1,27	0,87		
4c1	6,29	2,46	1,20	0,82	0,78	
5c1	5,75	1,92	0,68	0,33	0,28	0,32

Tabla 6.25. Contenido de humedad en tanto por cien de la relación 0,45 A/C.

Tomaremos el valor marcado en rojo en la tabla 6.25 para el CH de las probetas en ese día de ensayo.

Comparación 10: Contenido de humedad con amplitud de la onda directa de 0,45 A/C.

Días	7	28	56	70	90
CH %	2,77	1,31	0,87	0,78	0,32
A1	6905	7992	8684	8829	8961
A2	-16296	-19432	-21525	-21901	-22474
A3	9095	11579	13270	14035	14218

Tabla 6.26. Contenido de humedad de la onda directa de la relación 0,45 A/C.

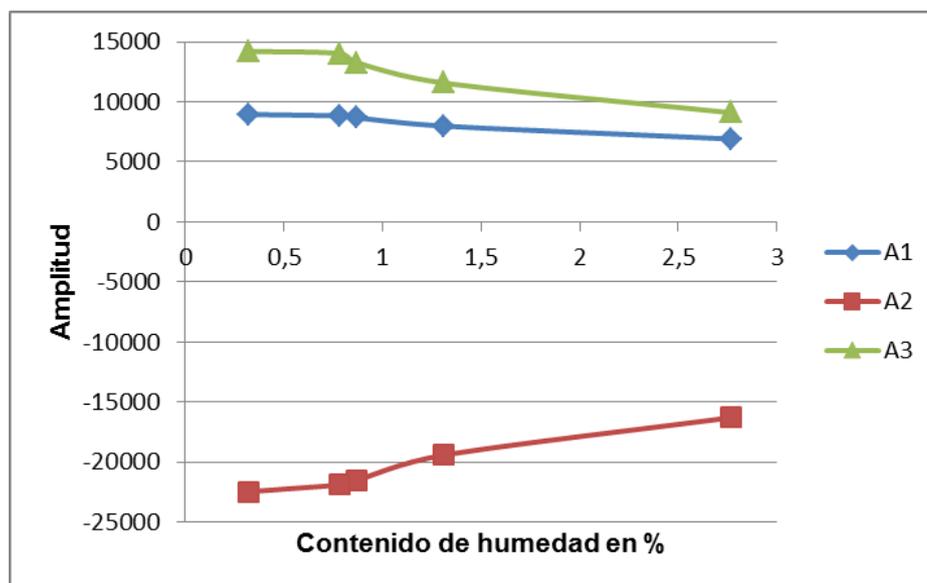


Figura 6.25. Contenido de la humedad en % de la relación de 0,45 A/C y amplitud de la onda directa.

Como podemos observar en la figura 6.25, el CH afecta a la amplitud de onda, a mayor CH menor es la amplitud. Se puede apreciar, así mismo, que la variación de los tres picos A1, A2 y A3, sin tener en cuenta su magnitud o signo, tiene la misma tendencia.

Comparación 11: Contenido humedad con amplitud de la onda reflejada de 0,45 A/C.

Días	7	28	56	70	90
CH %	2,77	1,31	0,87	0,78	0,32
A1	-2605	-3750	-4110	-4388	-4335
A2	5442	9428	13304	15304	16829
A3	-7956	-13692	-20130	-23470	-25541

Tabla 6.27. Contenido de humedad de la onda reflejada de la relación 0,45 A/C.

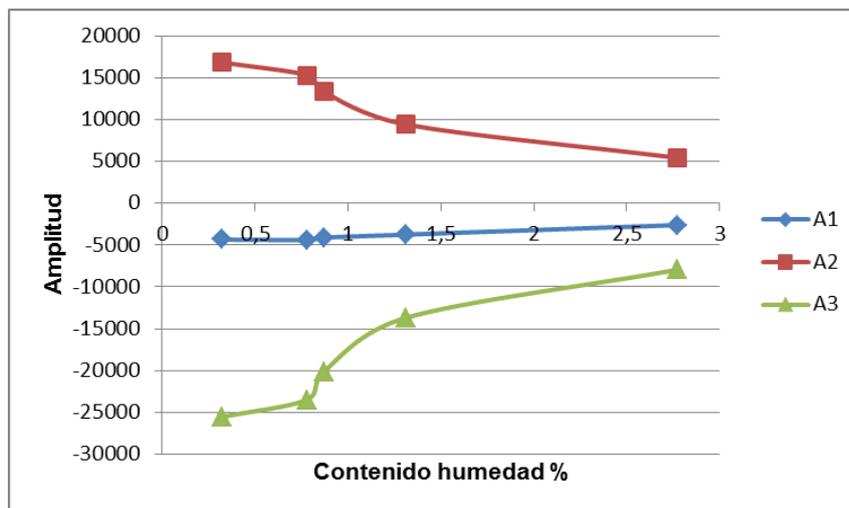


Figura 6.26. Contenido de humedad en % de la relación de 0,45 A/C y amplitud de la onda reflejada.

En el caso de la amplitud de los picos de la onda reflejada la tendencia es similar a la de la onda directa. A mayor CH, menor es la amplitud. Esta tendencia es más acusada para los picos A2 y A3. Y sobre todo entre las sesiones de 28 días, 56 días y 70 días.

Comparación 12: Contenido de humedad de las probetas de la relación 0,65 A/C.

Días	Masa de las muestras en g 0,65 A/C						masa seca
	1	7	28	56	70	90	
1c1	1006,6	991,2					966,9
2c1	1008,4	994,8	982,0				973,6
3c1	954,0	941,5	926,0	924,0			916,8
4c1	990,9	977,0	964,9	964,4	964,6		958,4
5c1	987,2	975,3	961,3	959,8	960,0	960,4	958,7

Tabla 6.28. Peso probetas en gramos para la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C contenido en % de humedad						
Días	1	7	28	56	70	90
1c1	4,11	2,51				
2c1	3,57	2,18	0,86			
3c1	4,06	2,69	1,00	0,79		
4c1	3,39	1,94	0,68	0,63	0,65	
5c1	2,97	1,73	0,27	0,11	0,14	0,18

Tabla 6.29. Contenido de humedad en tanto por cien de la relación 0,65 A/C.

Como sucede con la relación A/C 0,45, la mayor variación del CH se produce entre las sesiones a los 7 y 28 días. Siendo en este caso el CH siempre ligeramente inferior al de las probetas de relación A/C 0,45. Esto se debe a que una mayor relación A/C genera una red de poros conectados mayor, que favorece la evaporación del agua, por lo tanto las probetas tienen un menor contenido de humedad.

Comparación 13: Contenido de humedad con amplitud de la onda directa de 0,65 A/C.

Días	7	28	56	70	90
CH %	2,51	0,86	0,79	0,65	0,18
A1	6755	8217	8990	9166	9303
A2	-15466	-19753	-22016	-22509	-22974
A3	8433	11798	13620	14460	14567

Tabla 6.30. Contenido humedad onda directa de la relación 0,65 A/C.

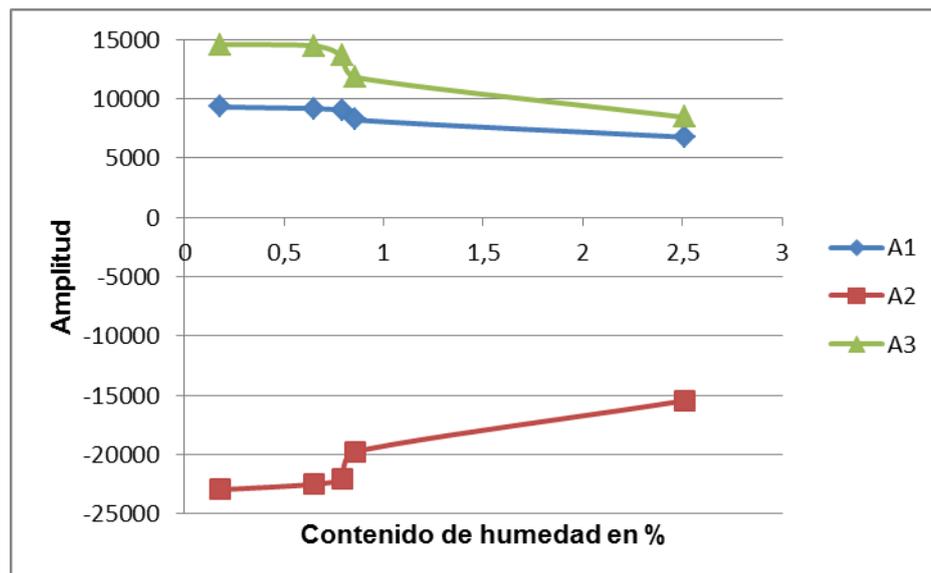


Figura 6.27. Contenido de humedad en % de la relación de 0,65 A/C y amplitud de la onda directa.

Para esta relación A/C 0,65 la tendencia es igual a la observada en la relación A/C 0,45, ya que a mayor CH menor es la amplitud de los tres picos analizados (figura 6.27). En este caso se produce una variación más abrupta de las amplitudes entre las sesiones correspondientes a los 28 y 56 días, ya que, aunque la variación del CH es pequeña se produce una variación notable de las amplitudes.

Comparación 14: Contenido humedad con amplitud de la onda reflejada de 0,65 A/C.

Días	7	28	56	70	90
CH %	2,51	0,86	0,79	0,65	0,18
A1	-2186	-3522	-4212	-4312	-4818
A2	4539	9119	14924	16205	19621
A3	-6476	-13774	-22789	-25838	-29705

Tabla 6.31. Contenido humedad onda reflejada de la relación 0,65 A/C.

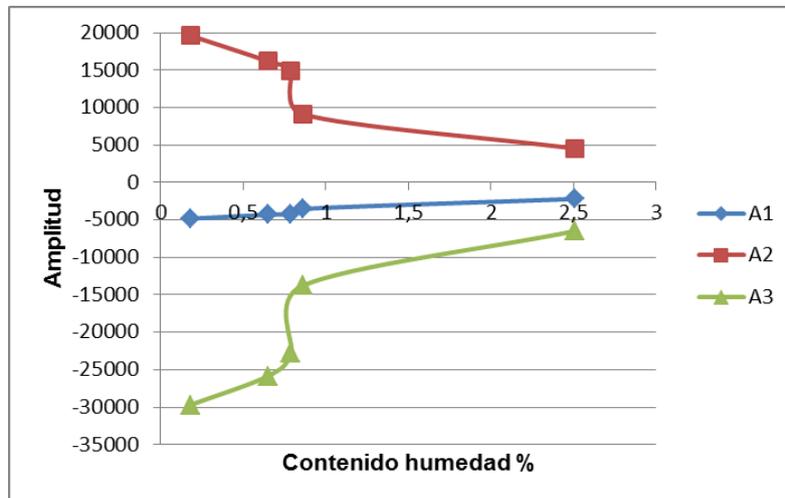


Figura 6.28. Contenido de humedad en % de la relación de 0,65 A/C y amplitud de la onda reflejada.

En la figura 6.28 vemos que el comportamiento de las amplitudes es el mismo observado en la relación A/C 0,45.

Comparación 15: Contenido humedad para las 2 relaciones 0,45 y 0,65 A/C con amplitud de la onda directa y reflejada.

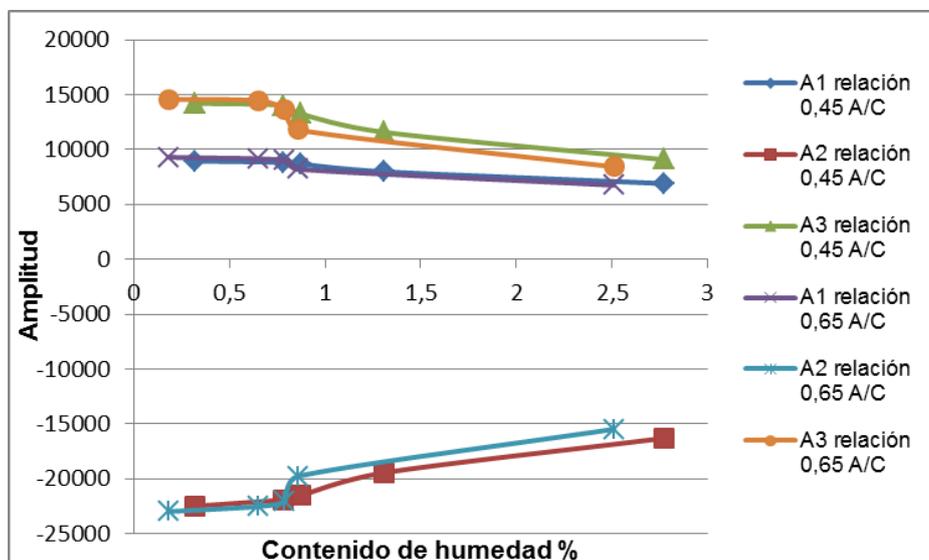


Figura 6.29. Contenido humedad y amplitudes para las 2 relaciones 0,45 y 0,65 A/C de la onda directa.

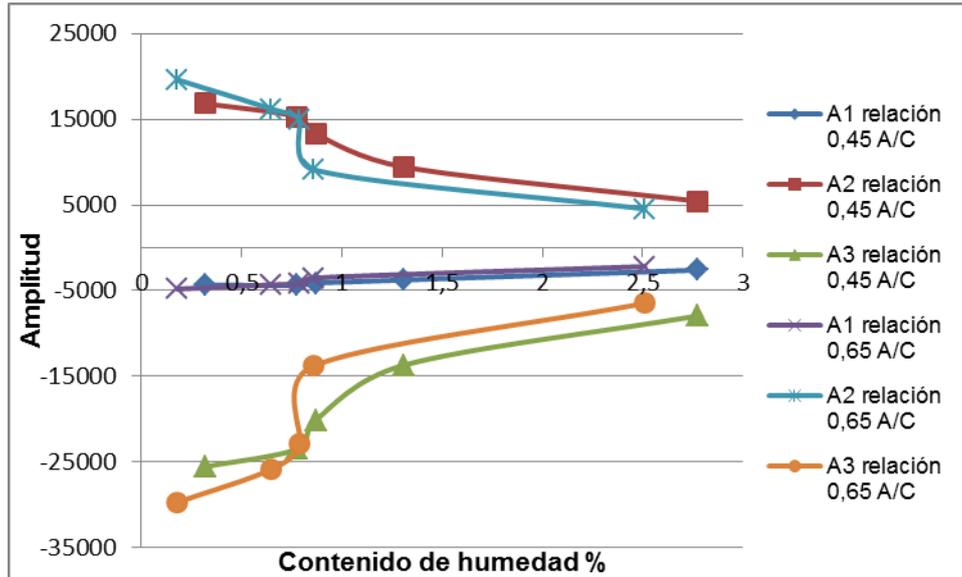


Figura 6.30. Contenido humedad y amplitudes para las 2 relaciones 0,45 y 0,65 A/C de la onda reflejada.

La tendencia general para los tres picos A1, A2 y A3, tanto para la onda directa como para la onda reflejada, es la misma. El valor de estos picos de amplitud aumenta a medida que el CH en el hormigón disminuye para las dos relaciones A/C analizadas.

Comparando el valor de estos picos para las dos relaciones A/C en función del CH se observa:

El valor del pico A1 de la OD y de la OR es prácticamente igual para las dos relaciones A/C.

El valor de los picos A2 y A3 de la OD es mayor para la relación A/C 0.45, si el CH es superior a 0.8% y prácticamente igual si el CH es inferior al 0.8%.

El valor de los picos A2 y A3 de la OR es mayor para la relación A/C 0.45, si el CH es superior a 0.8% y ligeramente mayor el de la relación A/C 0.65 si el CH es inferior al 0.8%.

6.2.- ULTRASONIDOS

6.2.1.- CODIGOS DE COLORES DE LAS TABLAS Y EJEMPLOS

A continuación se muestra en la tabla 6.32 los códigos de colores y las abreviaturas que se han utilizado, tanto en los apartados siguientes y en los anexos.

	Día de medición
	Relación agua cemento
	Medida longitudinal
	Medida transversal estático 1
	Medida transversal estático 2
	Medida transversal estático 3
Dim Longitudinal	Dimensión longitudinal de la probeta
Longit tiempo	3 medidas de tiempo longitudinales
V. Long	Velocidad longitudinal (m/s)
Dim Pto (1,2,3)	Dimensión de la probeta en el Punto ensayado
V(1,2,3)	Velocidad en el Punto ensayado
Pto (1,2,3) tiempo	3 medidas de tiempo transversales en el punto ensayado

Tabla 6.32. Código de colores y significado de las abreviaturas utilizadas.

6.2.2.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE ULTRASONIDOS

Una vez obtenidas todas las velocidades, pasamos a hallar la media de éstas, para poder hacer las representaciones gráficas. Hemos realizado las medias de las velocidades transversales de los puntos 1, 2 y 3. En las testas (velocidad longitudinal) como solo hay una toma de datos de velocidad no se ha hallado la media.

7 Días	a/c 0,45	V. Long	V. 1	V. 2	V.3	V media (1,2 y 3)
	1 c1	4,319	3,942	3,956	4,198	4,032
	2 c1	4,318	4,027	3,922	4,030	3,993
	3 c1	4,324	4,198	4,131	4,080	4,136
	4 c1	4,287	4,069	4,141	4,164	4,125
	a/c 0,65					
	1 c1	4,083	3,851	3,886	3,745	3,827
	2 c1	4,058	3,906	3,807	3,906	3,873
	3 c1	4,071	3,943	3,866	3,901	3,903
	4 c1	4,012	3,953	3,836	3,891	3,894

28 Días	a/c 0,45					
	1 c1	4,068	3,947	4,024	4,102	4,024
	2 c1	4,272	3,937	3,984	3,976	3,966
	3 c1	4,248	4,175	4,023	3,995	4,064
	4 c1	4,313	4,037	4,113	4,104	4,084
	a/c 0,65					
	1 c1	3,881	3,831	3,802	3,901	3,845
	2 c1	3,997	3,886	3,797	3,891	3,858
	3 c1	3,870	3,938	3,836	3,654	3,810
	4 c1	3,913	3,864	3,802	3,731	3,799
56 Días	a/c 0,45					
	1 c1	4,168	3,871	3,792	3,938	3,867
	2 c1	4,186	3,846	3,916	3,842	3,868
	3 c1	4,191	4,064	4,023	3,750	3,946
	4 c1	4,190	4,000	3,953	3,977	3,977
	a/c 0,65					
	1 c1	3,828	3,623	3,645	3,676	3,648
	2 c1	3,728	3,807	3,704	3,736	3,749
	3 c1	3,808	3,825	3,636	3,788	3,750
	4 c1	3,720	3,759	3,628	3,628	3,671
70 Días	a/c 0,45					
	1 c1	4,213	3,9735099	4,008	4,026	4,003
	2 c1	4,269	3,8709677	3,995	3,923	3,930
	3 c1	4,183	4,0316206	4,153	3,923	4,036
	4 c1	4,212	3,933162	4,010	3,977	3,973
	a/c 0,65					
	1 c1	3,862	3,778	3,690	3,641	3,703
	2 c1	3,911	3,695	3,788	3,641	3,708
	3 c1	4,013	3,792	3,788	3,713	3,764
	4 c1	3,900	3,727	3,736	3,695	3,719
90 Días	a/c 0,45					
	1c1	3,973	3,916	3,855	3,908	3,893
	2c1	4,158	3,788	3,968	3,769	3,842
	3c1	4,003	3,933	3,962	3,903	3,933
	4c1	3,933	3,928	3,782	3,820	3,843
	a/c 0,65					
	1c1	3,750	3,580	3,584	3,645	3,603
	2c1	3,736	3,686	3,769	3,610	3,688
	3c1	3,748	3,705	3,695	3,517	3,639
	4c1	3,913	3,669	3,654	3,529	3,618

Tabla 6.33. Velocidad longitudinal y transversal en (m/s) de ultrasonidos de las 2 relaciones A/C a los 7, 28, 56, 70 y 90 días.

6.2.3.- INTERPRETACIÓN DE LAS MEDICIONES CON ULTRASONIDOS

Caso A: Velocidad longitudinal para la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C					
Días	7	28	56	70	90
1c1	4,319	4,068	4,168	4,213	3,973
2c1	4,318	4,272	4,186	4,269	4,158
3c1	4,324	4,248	4,191	4,183	4,003
4c1	4,287	4,313	4,190	4,212	3,933
Medias V	4,312	4,225	4,184	4,219	4,017

Tabla 6.34. Velocidad longitudinal en (m/s) y medias de velocidad en (m/s) durante los ensayos de ultrasonidos para relación 0,45 A/C.

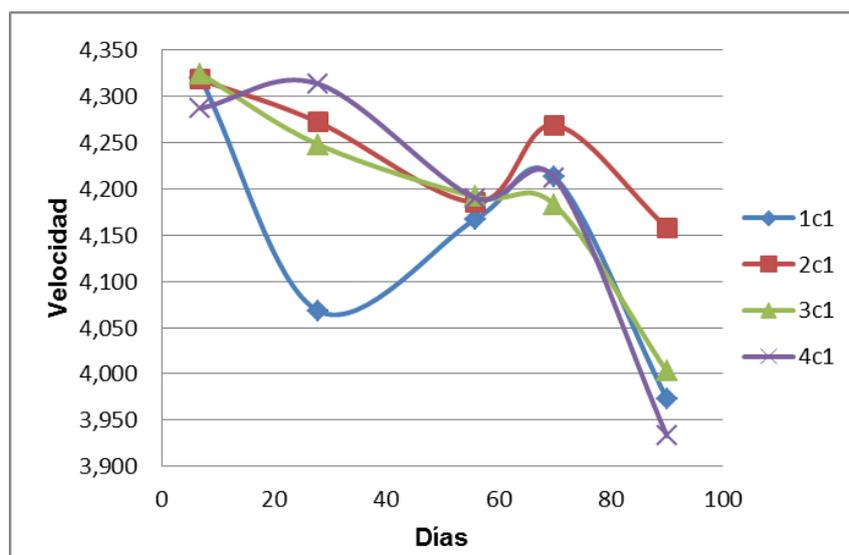


Figura 6.31. Velocidad longitudinal en (m/s) de las probetas de 0,45 A/C para los distintos días de ensayo.

La tabla 6.34 recoge las velocidades longitudinales de todas las probetas. Como podemos ver en la figura 6.31 en el hormigón fabricado con relación A/C 0,45 las velocidades son mayores los primeros días de ensayo. También se puede observar que en el ensayo realizado a los 70 días hay un aumento de la velocidad respecto a los ensayos anteriores realizados. Por esta razón hemos decidido descartar los datos del ensayo a los 70 días, porque consideramos que hubo un error en el equipo ese día ya que las velocidades van decreciendo a medida que transcurre el tiempo excepto en este caso que aumenta.

También se observa que el valor de la velocidad de la probeta 1C1 es diferente a las de las demás, a los 28 días.

En la figura 6.32 se representa los valores de la velocidad longitudinal obtenidos a partir del valor medio de las cuatro probetas y se observa, que una vez descartados los resultados a 70 días, la velocidad desciende a medida que transcurre el tiempo de curado del hormigón.

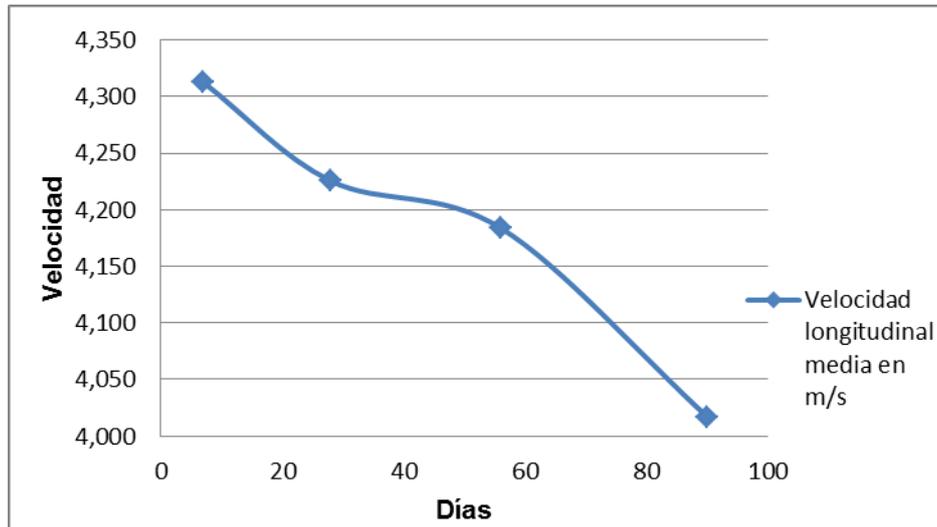


Figura 6.32. Velocidad media longitudinal en (m/s) ultrasonidos de las probetas 0,45 A/C sin ensayo 70 días.

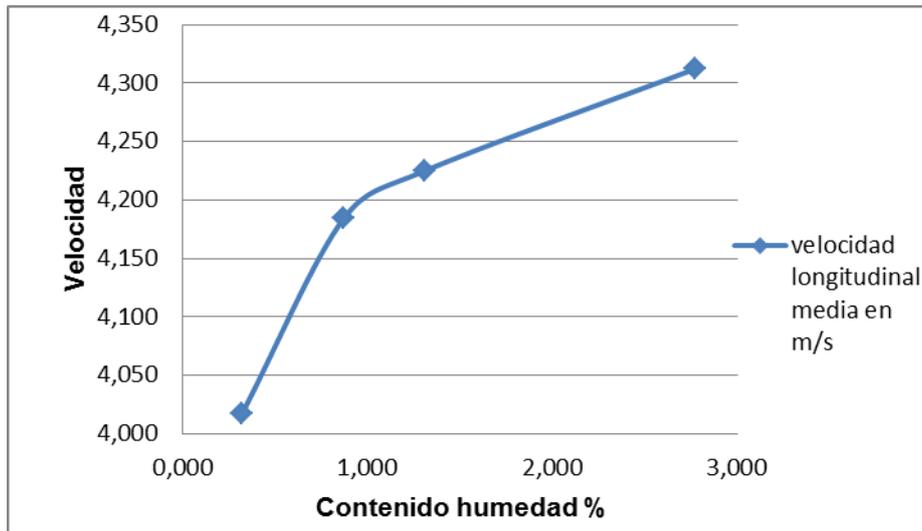


Figura 6.33. Velocidad longitudinal media en (m/s), en función del contenido de humedad para 0,45 A/C sin ensayo 70 días.

En la figura 6.33 se representa la velocidad longitudinal en función del contenido de humedad. Como podemos observar cuando el contenido de humedad es mayor, la velocidad aumenta. Por esta razón en los primeros días de ensayo las probetas registran velocidades más elevadas.

Caso B: Velocidad longitudinal para la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C					
Días	7	28	56	70	90
1c1	4,083	3,881	3,828	3,862	3,750
2c1	4,058	3,997	3,728	3,911	3,736
3c1	4,071	3,870	3,808	4,013	3,748
4c1	4,012	3,913	3,720	3,900	3,913
Medias V	4,056	3,915	3,771	3,922	3,787

Tabla 6.35. Velocidad longitudinal (m/s) y medias de velocidad durante los ensayos de ultrasonidos para relación 0,65 A/C.

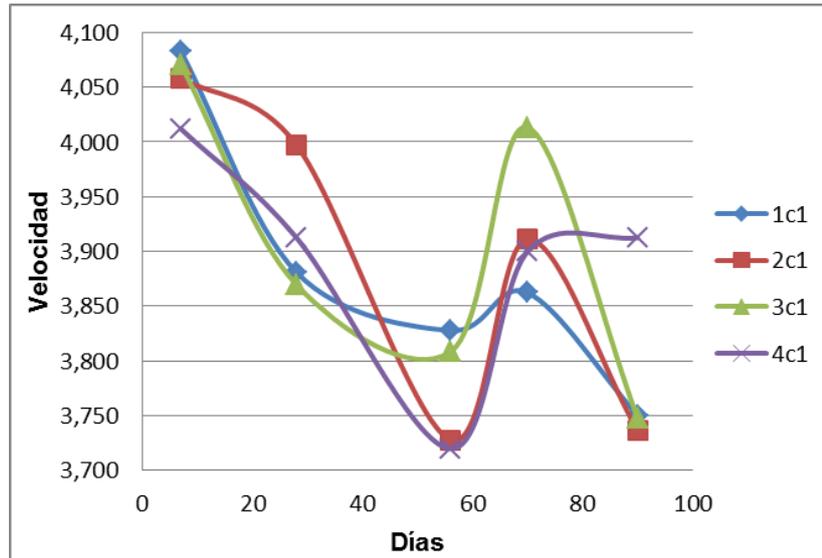


Figura 6.34. Velocidad longitudinal (m/s) de las probetas de 0,65 A/C para los distintos días de ensayo.

En la figura 6.34 se puede observar el mismo comportamiento de las velocidades, aquí que en la comentada anteriormente con el hormigón de relación 0,45 A/C. Y cabe comentar que las velocidades medias de esta relación 0,65 A/C son menores que las de 0,45 A/C ya que el contenido de humedad en la relación 0,65 A/C es menor.

En la relación 0,65 A/C también decidimos prescindir de la toma de datos realizada a los 70 días, por la razón anteriormente comentada. Los valores medios de las cuatro probetas, descartando el resultado a 70 días, se representa en la figura 6.35. Se aprecia que ahora también la velocidad disminuye a medida que aumenta el tiempo de curado, salvo un pequeño reapeunte a los 90 días. Cuando esta velocidad es representada en función de CH, figura 6.34, observamos que, en efecto la velocidad es mayor cuanto mayor es el CH, aunque en la sesión a los 56 días se produce un gran descenso de la velocidad para una pequeña variación del CH respecto a la sesión anterior.

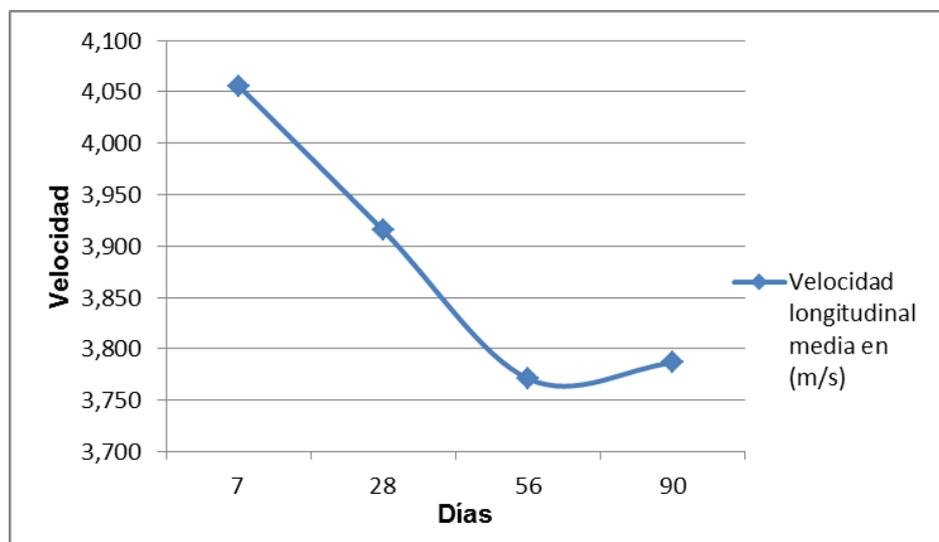


Figura 6.35. Velocidad media longitudinal en (m/s) para 0,65 A/C sin ensayo 70 días.

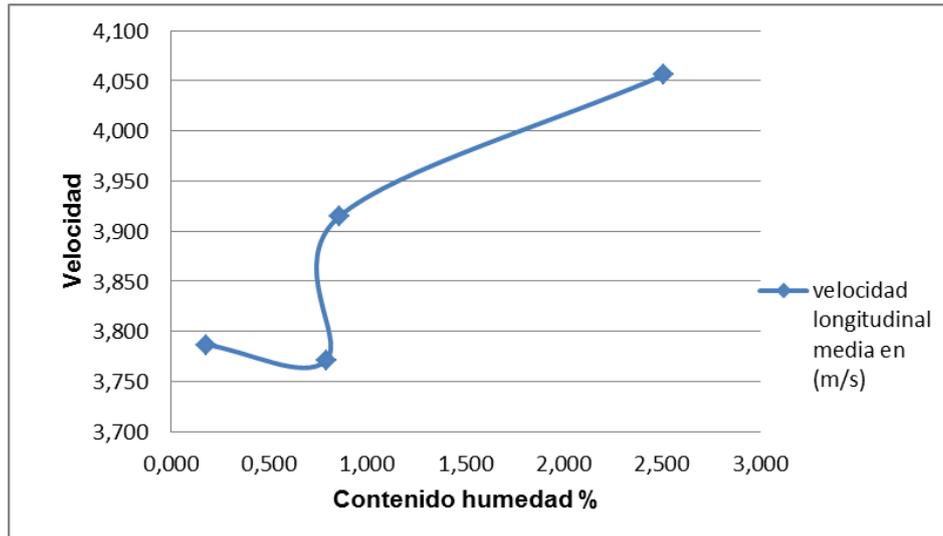


Figura 6.36. Velocidad longitudinal media en (m/s), en función del contenido de humedad para 0,65 A/C sin ensayo 70 días.

Caso C: Velocidad media transversal en (m/s) para la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C					
Días	7	28	56	70	90
1c1	4,032	4,024	3,867	4,003	3,893
2c1	3,993	3,966	3,868	3,930	3,842
3c1	4,136	4,064	3,946	4,036	3,933
4c1	4,125	4,084	3,977	3,973	3,843
VTm media	4,071	4,035	3,914	3,985	3,878

Tabla 6.36. Velocidades medias transversal y media de velocidades medias durante los ensayos de ultrasonidos para relación 0,45 A/C.

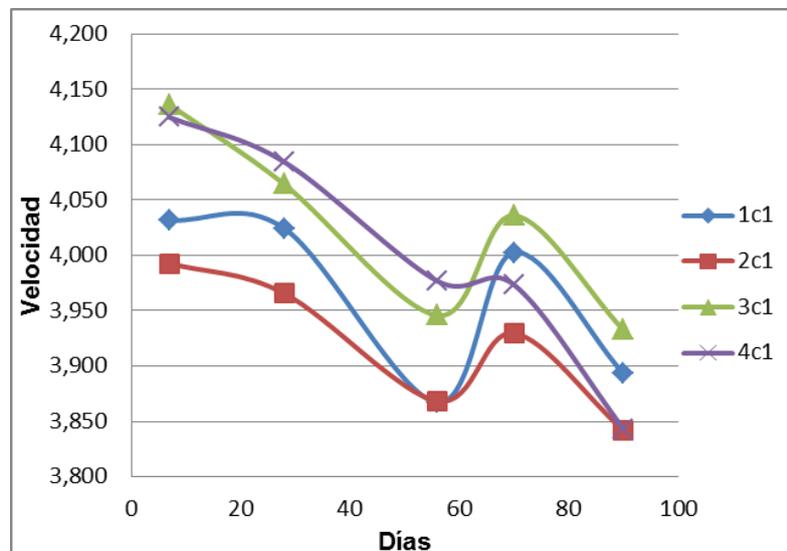


Figura 6.37. Velocidad media transversal en (m/s) para las probetas de relación 0,45 A/C para los distintos días de ensayo.

La figura 6.37 representa las velocidades medias medidas durante los ensayos en los puntos 1,2 y 3 de las probetas. Como podemos ver, las velocidades son mayores los primeros días de ensayo y van descendiendo en el transcurso del tiempo, salvo en el ensayo a los 70 días. Dado que también se observa una anomalía en el ensayo en las velocidades registradas a los 70 días se decide descartar esta toma de datos.

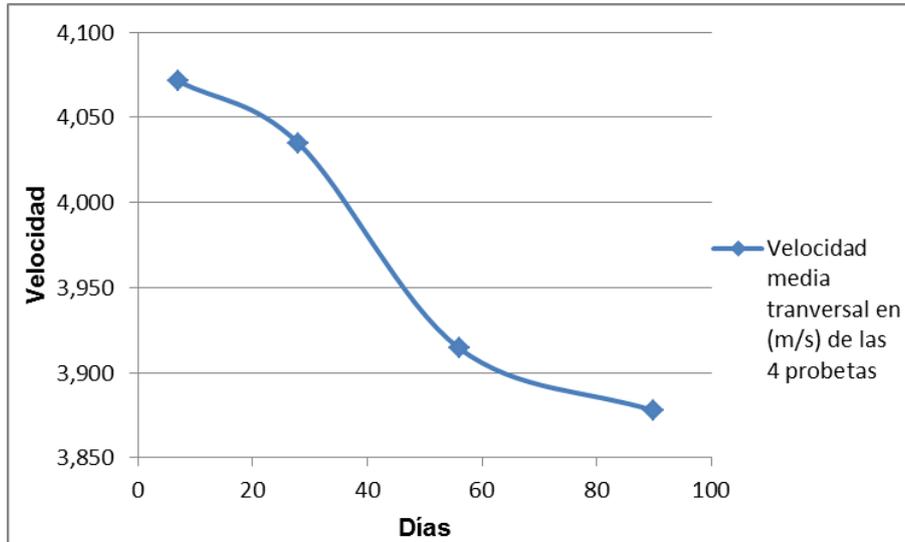


Figura 6.38. Velocidad media transversal en (m/s) de las 4 probetas de la relación 0,45 A/C sin los datos del ensayo a los 70 días.

En la figura 6.38 se representa el valor medio de la velocidad transversal de las cuatro probetas de la relación 0,45 A/C, vemos que la velocidad disminuye a medida que transcurre el tiempo.

Cuando comparamos la velocidad media transversal de las 4 probetas con el contenido de humedad, figura 6.39, observamos que en efecto, la velocidad es menor cuanto menor es el CH, si bien esta tendencia sufre un cambio brusco entre los 28 y 56 días de ensayo. Una menor variación en el CH produce una gran variación en la velocidad.

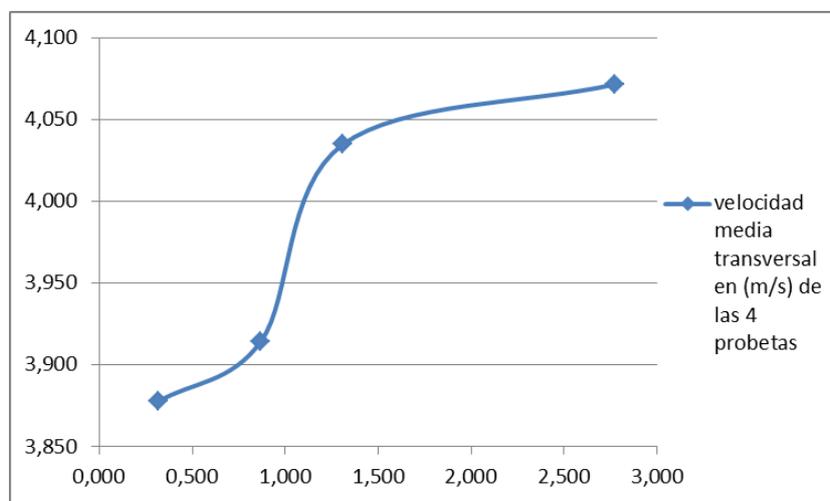


Figura 6.39. Relación velocidad media transversal en (m/s) con el contenido de humedad para 0,45 A/C sin datos ensayo 70 días.

Caso D: Velocidad media transversal (m/s) para la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C					
Días	7	28	56	70	90
1c1	3,827	3,845	3,648	3,703	3,603
2c1	3,873	3,858	3,749	3,708	3,688
3c1	3,903	3,810	3,750	3,764	3,639
4c1	3,894	3,799	3,671	3,719	3,618
VTm media	3,874	3,828	3,705	3,724	3,637

Tabla 6.37. Velocidades medias transversal (m/s) y media de velocidades medias durante los ensayos de ultrasonidos para relación 0,65 A/C para los distintos días de ensayo.

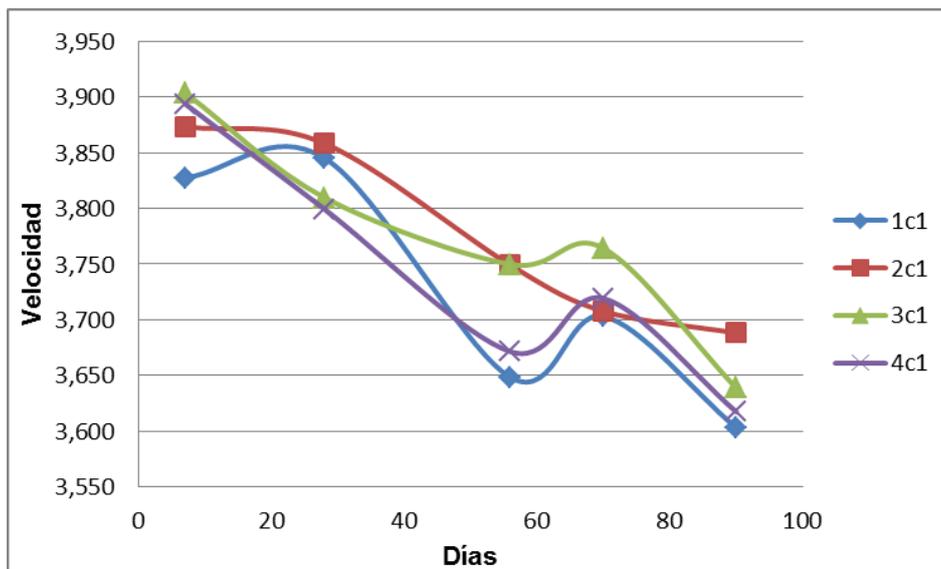


Figura 6.40. Velocidad media transversal para 0,65 A/C.

En la figura 6.40 representa las velocidades medias durante los ensayos. Como podemos ver en los primeros días de ensayos las velocidades son mayores y van descendiendo a medida que transcurre el tiempo. También observamos la misma anomalía que en la tabla 6.36 de la relación de 0,45 A/C, que en el ensayo del día 70 la velocidad aumenta. Por esta razón se decide eliminar estos registros.

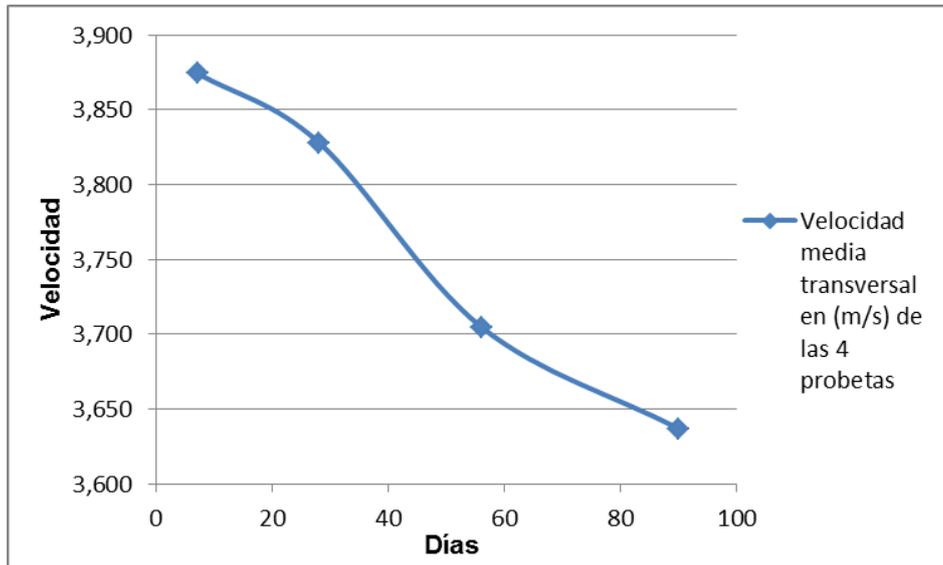


Figura 6.41. Velocidad media transversal (m/s) para 0,65 A/C sin datos ensayo 70 días

En la figura 6.41 donde se representa el valor medio de la velocidad transversal de las cuatro probetas de la relación 0,65 A/C, vemos que la velocidad disminuye a medida que transcurre el tiempo igual que en la relación 0,45 A/C.

Comparamos la velocidad media transversal de las 4 probetas con el contenido de humedad en la figura 6.42, y observamos que, en efecto, la velocidad es menor cuanto menor es el CH, si bien esta tendencia sufre un cambio brusco entre los 28 y 56 días de ensayo. Una menor variación en el CH produce una gran variación en la velocidad.

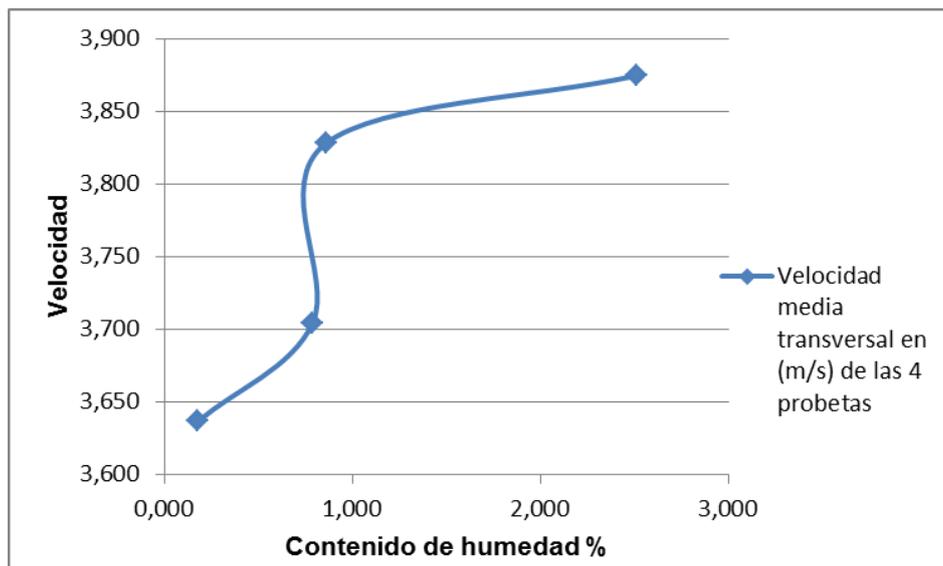


Figura 6.42. Relación velocidad media transversal (m/s) con contenido de humedad para 0,65 A/C sin datos ensayo 70 días.

Caso E: Comparación velocidades medias transversales en (m/s) para las relaciones 0,45 A/C y 0,65 A/C con sus contenidos de humedad.

Relación	días	7	28	56	90
0,45 A/C	CH%	2,770	1,310	0,870	0,320
	VT media	4,071	4,035	3,914	3,878
0,65 A/C	CH%	2,510	0,860	0,790	0,180
	VT media	3,874	3,828	3,705	3,637

Tabla 6.38. Medias de las velocidades medias transversal (m/s) durante los ensayos de ultrasonidos para relación 0,45 A/C y 0,65 A/C para los distintos días de ensayo con contenido de humedad.

En la figura 6.43 observamos que, la velocidad es menor cuanto menor es el CH, por lo tanto en la relación 0,65 A/C tiene un menor CH por lo que las velocidades son menores que en la relación 0,45 A/C. La velocidad sufre un cambio brusco entre los 28 y 56 días.

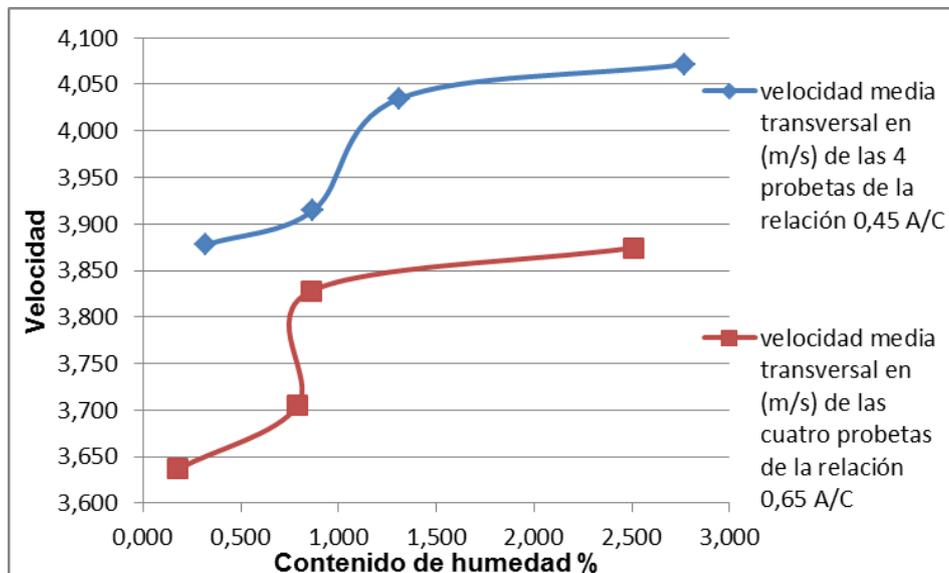


Figura 6.43. Relación velocidad media transversal (m/s) con contenido de humedad para las relaciones 0,45 A/C y 0,65 A/C sin datos ensayo 70 días.

En cualquier caso, la velocidad de propagación no es solo función del CH. Ya que en la figura 6.43 también observamos que la velocidad de propagación en las probetas de hormigón de relación 0,65 A/C se mantienen en valores inferiores a los de la probeta de relación 0,45 A/C para un mismo valor de CH. Esto puede explicarse porque el hormigón de 0,45 A/C es más denso que el de 0,65 A/C y por tanto, a mayor densidad mayor velocidad de propagación.

CAPITULO 7.- CONCLUSIONES

7.1.- CONCLUSIONES

El objeto de este proyecto, como se ha dicho, es analizar de forma experimental con dos técnicas no destructivas, georradar y ultrasonidos, el comportamiento de unas probetas de hormigón fabricadas con distinta relación Agua/Cemento (0,45 y 0,65) a lo largo del proceso de curado en una cámara seca a 30°C.

Aunque visualmente no se aprecia diferencia entre las distintas probetas para sus distintas calidades, tras realizar los ensayos no destructivos del georradar y de ultrasonidos, y de haber analizado y estudiado los resultados obtenidos las conclusiones que se pueden deducir son las descritas a continuación.

El CH, para los mismos días de ensayo siempre es ligeramente inferior en las probetas de relación 0,65 A/C. Esto se debe a que a mayor relación A/C genera una red de poros conectados mayor, que favorece la evaporación del agua, por lo tanto las probetas tienen un menor contenido de humedad.

En cuanto a la técnica de georradar se observa que las amplitudes de los tres picos de la onda, tanto directa como reflejada son mayores cuanto menor es el contenido de humedad del hormigón, independientemente de la relación 0,45 A/C y 0,65 A/C.

El primer pico, A1, tanto de la onda directa como de la reflejada muestra una menor variación con el contenido de humedad que otros picos y por tanto es más difícil de analizar.

El valor de los picos A2 y A3 de la OD es mayor para la relación A/C 0,45 si el CH es superior a 0,8% y prácticamente igual si el CH es inferior al 0,8%.

El valor de los picos A2 y A3 de la OR es mayor para la relación A/C 0,45 si el CH es superior a 0,8% y ligeramente mayor el de la relación A/C 0,65 si el CH es inferior al 0,8%.

Hemos observado que para los mismos días de ensayo, tanto la onda directa como la reflejada, las amplitudes de 0,65 A/C son mayores que los de la relación 0,45 A/C excepto el ensayo realizado a los 7 días.

En cuanto a la técnica de ultrasonidos, observamos que las velocidades tanto longitudinales como transversales son mayores cuanto más CH contiene la probeta, independientemente de la relación 0,45 A/C y 0,65 A/C. Se observa que entre los ensayos a los 28 y 56 días hay un cambio brusco en la velocidad.

Las probetas de relación 0,45 A/C (que son de mayor calidad y más homogéneas que la de relación 0,65 A/C), para un mismo contenido de humedad, observamos que las velocidades son mayores en la relación 0,45 A/C que en las de 0,65 A/C, ya que estas probetas son más homogéneas y más compactas y las velocidades se transmiten con más rapidez.

En cuanto a la comparación de las dos técnicas, se puede afirmar que ambas son aptas para poder estudiar el CH del hormigón y analizar el comportamiento con las diferentes dosificaciones del hormigón. Sin embargo, aunque en este estudio parece que el georradar aporta datos más fiables, es difícil hacer una conclusión en este sentido ya que el equipo de ultrasonidos utilizado es fácilmente mejorable.

CAPITULO 8.- BIBLIOGRAFÍA

8.1.- BIBLIOGRAFIA

- Fernández Hatre, Alfonso “Ensayos no destructivos por ultrasonidos”, editado por Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias, 1.994.
- García García, Francisco “Utilización de georradar para la localización de nidos de galápagos”, Informes Life-Trachemys nº4, Universitat Politècnica de Valencia, 2.011.
- Gómez de León, Eduardo “Ultrasonidos nivel II”, asociación ensayos no destructivos (AEND), Editorial Fundación Confemetal, 2.010.
- Monroy Martin, Raúl Nicolás “Patologías en estructuras de hormigón armado aplicado a marquesinas del parque Saval”, tesis doctoral, Universidad Austral de Chile, 2.007.
- Pérez Gracia, María de la Vega “Radar de subsuelo. Evaluación para aplicaciones de arqueología de patrimonio histórico-artístico”, tesis doctoral, Universidad Politècnica de Catalunya, 2.001.
- Rodríguez Abad, Isabel “Evaluación de la técnica no destructiva del georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera”, tesis doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, 2.009.
- Solís Carcaño, Romel G. “Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónicos y un índice de calidad de los agregados”, Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, España y Portugal, Mérida (México), 2.004.
- “Libro Materiales de construcción II”, Escuela Arquitectura Técnica UPV 2.007.
- RC-08, Instrucción para la recepción de cementos, 2.009.
- EHE-08, Instrucción de hormigón estructural, 2.011.
- UNE EN 197-1:2.011, Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.
- UNE 83952:2.008, Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del pH. Método potenciométrico.
- UNE 83956:2.008, Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato.
- UNE 7178:1.960, Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.
- UNE 7132:1.958, Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.
- UNE 7235:1.971, Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.
- UNE 83951:2.008, Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras.

- UNE EN 1367-2:2.010, Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 2: Ensayo de sulfato de magnesio.
- UNE EN 1097-6:2.001, Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.
- UNE EN 1097-1:2.011, Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia al desgaste (Micro-Deval).
- UNE EN 1097-2:2.010, Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.
- UNE EN 12350-7:2.010, Ensayos de hormigón fresco. Parte 7: Determinación del contenido de aire. Métodos de presión.
- UNE EN 934-2:2.010, Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.
- UNE EN 934-6:2.002, Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6: Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad.
- UNE EN 12390-8:2.009, Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.
- UNE EN 12350-2:2.009, Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento.
- UNE EN 12350-7:2.010, Ensayos de hormigón fresco. Parte 7: Determinación del contenido de aire. Métodos de presión.
- www.tesisenred.net
- www.construmatica.com
- www.ob-ultrasound.net/sokolov.html
- www.controls.com
- www.geophysical.com
- www.tdx.cat
- www.aenor.es
- www.icpa.org.ar/publico/files/relacion%20agua%20cemento.pdf

CAPITULO 9.- ANEXOS

Anexo 1

0,45 A/C CON METAL		Onda directa 7 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,95	6942	2,26	-16028	2,60	9148	1,96	6997	2,27	-17071	2,59	10006	1,96	7128	2,26	-16679	2,60	9744	1,96	6867	2,27	-16286	2,59	8698	1,96	7259	2,26	-17464	2,56	9352
	CARA B	1,95	5951	2,27	-16156	2,60	8960	1,96	6605	2,27	-16548	2,59	9090	1,95	6867	2,27	-16286	2,57	8960												
probeta 2c1	CARA A	1,95	6997	2,25	-16286	2,57	8698	1,96	6997	2,26	-16940	2,59	9875	1,96	6997	2,26	-16286	2,60	9090	1,95	6867	2,26	-16025	2,58	9483	1,98	7390	2,26	-16548	2,59	8960
	CARA B	1,94	6343	2,26	-15632	2,59	9221	1,96	6736	2,27	-15763	2,60	9221	1,96	5951	2,28	-14717	2,62	8044												
probeta 3c1	CARA A	1,95	7128	2,26	-16940	2,57	9221	1,96	7128	2,26	-16025	2,61	10006	1,96	6997	2,27	-16025	2,60	9483	1,94	7128	2,25	-17333	2,57	9352	1,95	6967	2,25	-16417	2,58	9221
	CARA B	1,95	6867	2,27	-16156	2,58	9614	1,97	6867	2,28	-15894	2,60	8698	1,96	6605	2,27	-15763	2,60	8436												
probeta 4c1	CARA A	1,96	6736	2,26	-16156	2,60	8960	1,96	7128	2,26	-16286	2,60	8436	1,97	6867	2,27	-16286	2,61	9221	1,93	7128	2,24	-15502	2,57	8175	1,95	7259	2,25	-17202	2,57	9483
	CARA B	1,94	6474	2,26	-15109	2,60	8960	1,96	6736	2,27	-15763	2,60	8829	1,96	6474	2,27	-15502	2,60	8436												

Tabla 9.1.1 Onda directa a los 7 días, amplitud y tiempo, de todas las probetas de 0,45 A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda reflejada 7 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,99	-2920	4,21	6163	4,46	-8111	4,01	-2944	4,24	6212	4,49	-8830	3,99	-2813	4,21	6867	4,47	-8307
	CARA B	3,99	-2682	4,22	5428	4,47	-8045	4,01	-2420	4,24	5558	4,51	-9092	4,00	-2551	4,23	58,2	4,40	-7915
probeta 2c1	CARA A	3,97	-3075	4,20	6082	4,45	-8176	4,00	-2420	4,21	6343	4,47	-8699	4,00	-2682	4,22	5820	4,47	-7915
	CARA B	3,94	-2420	4,16	5035	4,43	-7656	4,00	-2290	4,23	4512	4,50	-7915	4,02	-2290	4,24	4774	4,5	-7130
probeta 3c1	CARA A	3,98	-3205	4,20	6343	4,45	-8830	4,00	-2551	4,23	5558	4,49	-8307	3,98	-2813	4,20	6605	4,46	-8438
	CARA B	4,00	-2813	4,23	6212	4,49	-8307	4,03	-2159	4,26	4904	4,53	-7915	3,96	-2813	4,20	5820	4,46	-7522
probeta 4c1	CARA A	3,97	-2813	4,19	5820	4,45	-7130	3,99	-2813	4,21	5558	4,48	-8045	3,97	-2944	4,19	6082	4,45	-7784
	CARA B	4,01	-2290	4,21	5558	4,47	-7260	4,03	-1766	4,26	4250	4,50	-6868	4,03	-2028	4,26	5035	4,50	-6737

CÓDIGO COLORES LEYENDA	
	Relación agua cemento
	Onda directa
	Onda reflejada
	Estático 1
	Estático 2
	Estático 3
	Estático 4 testa
	Estático 5 testa
	Identificación probeta
T	Tiempos
A	Amplitudes onda

Tabla 9.1.2 Onda reflejada a los 7 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45 A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda directa 7 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,95	6605	2,26	-15632	2,57	8175	1,93	6867	2,23	-15894	2,55	8436	1,94	6867	2,24	-15894	2,59	8960	1,92	6867	2,23	-15371	2,55	9090	1,92	6736	2,23	-15109	2,53	8305
	CARA B	1,93	6474	2,24	-14193	2,60	7913	1,96	6605	2,26	-15371	2,59	8175	1,95	6343	2,25	-14847	2,59	8175												
probeta 2c1	CARA A	1,96	7259	2,25	-15502	2,58	7913	1,95	6997	2,24	-15763	2,59	8696	1,96	6736	2,25	-15894	2,60	8175	1,92	6997	2,23	-15502	2,57	8698	1,93	6867	2,22	-16025	2,53	8567
	CARA B	1,96	5951	2,27	-14978	2,61	7390	1,96	6343	2,27	-14978	2,61	7913	1,96	6474	2,27	-15240	2,60	8567												
probeta 3c1	CARA A	1,97	6997	2,26	-16286	2,59	8436	1,96	7521	2,26	-16025	2,60	8829	1,96	6867	2,26	-15763	2,60	7390	1,93	6736	2,23	-15632	2,54	8698	1,92	6867	2,22	-15371	2,55	8960
	CARA B	1,95	6474	2,26	-15109	2,62	8698	1,96	6736	2,27	-15240	2,61	8436	1,96	6343	2,27	-14847	2,60	8436												
probeta 4c1	CARA A	1,95	6867	2,26	-15632	2,58	8175	1,96	6867	2,27	-15894	2,61	9483	1,96	6867	2,27	-15371	2,60	8436	1,92	6867	2,24	-15894	2,55	9090	1,93	6997	2,22	-15502	2,54	7913
	CARA B	1,95	6343	2,26	-15109	2,60	8305	1,94	6343	2,26	-15240	2,60	8567	1,96	6605	2,27	-15109	2,59	6997												

Tabla 9.1.3 Onda directa a los 7 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda reflejada 7 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2		
probeta 1c1	CARA A	4,00	-2420	4,24	4643	4,48	-6083	4,00	-1897	4,22	4120	4,47	-6737	3,99	-2682	4,21	4904	4,47	-6606
	CARA B	4,01	-2420	4,24	4120	4,49	-5822	4,00	-2682	4,24	5160	4,48	-6868	4,01	-2290	4,25	4904	4,49	-6476
probeta 2c1	CARA A	4,02	-1766	4,26	4643	4,52	-6345	4,01	-2159	4,25	4381	4,51	-6737	4,02	-2290	4,25	5166	4,49	-6868
	CARA B	4,05	-1636	4,28	3335	4,55	-5429	4,08	-2028	4,29	4381	4,54	-6606	4,06	-2159	4,28	4381	4,53	-6476
probeta 3c1	CARA A	4,02	-2290	4,25	5166	4,50	-7391	4,02	-2420	4,24	4904	4,50	-7391	4,02	-2290	4,24	5166	4,50	-6606
	CARA B	4,04	-2159	4,25	4381	4,51	-6737	4,01	-2551	4,24	4904	4,49	-7130	4,04	-2159	4,27	4381	4,52	-6737
probeta 4c1	CARA A	4,04	-2028	4,26	4643	4,51	-5822	4,04	-2028	4,27	4120	4,54	-5822	4,04	-2290	4,26	5166	4,51	-6999
	CARA B	4,09	-1897	4,31	3596	4,55	-5168	4,06	-1766	4,28	3727	4,54	-6083	4,03	-2159	4,26	4643	4,52	-6476

Tabla 9.1.4 Onda reflejada a los 7 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65 A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda directa 28 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	2,00	8044	2,29	-19033	2,60	11968	2,00	8305	2,30	-20734	2,60	13015	2,00	7913	2,29	-19949	2,60	12753	1,98	8175	2,27	-19818	2,59	11445	1,96	8175	2,24	-20080	2,54	12099
	CARA B	1,98	7259	2,28	-18118	2,60	10529	1,99	7782	2,29	-18641	2,60	11052	1,99	8175	2,29	-19557	2,60	11314												
probeta 2c1	CARA A	1,99	8044	2,29	-19426	2,59	11183	2,01	7913	2,30	-20472	2,61	12753	2,01	8175	2,30	-19949	2,62	11576	1,96	8175	2,25	-19557	2,54	12099	1,96	8175	2,25	-19949	2,57	11837
	CARA B	1,98	7390	2,29	-18379	2,60	11052	1,99	7651	2,29	-18903	2,60	11183	1,99	7390	2,30	-17856	2,62	10006												
probeta 3c1	CARA A	2,00	8175	2,29	-19818	2,59	11576	2,01	8175	2,29	-19557	2,64	12753	2,01	8174	2,31	-20472	2,63	12361	1,97	8436	2,25	-20211	2,56	12230	1,95	7913	2,25	-19164	2,55	11445
	CARA B	1,98	7913	2,27	-18641	2,60	11445	1,99	7913	2,29	-18903	2,61	11183	1,99	7782	2,29	-18903	2,61	10529												
probeta 4c1	CARA A	2,01	8044	2,31	-20211	2,62	12230	2,00	8567	2,31	-20342	2,61	10922	2,01	8175	2,30	-19164	2,62	11314	1,96	7913	2,25	-18903	2,55	11445	1,96	8044	2,25	-20211	2,56	11445
	CARA B	1,98	7390	2,29	-18118	2,60	10791	2,00	7651	2,29	-18249	2,60	11052	2,00	7651	2,30	-18379	2,62	10529												

Tabla 9.1.5 Onda directa a los 28 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda reflejada 28 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,94	-3990	4,12	9483	4,38	-13932	3,93	-4252	4,14	9875	4,40	-15240	3,90	-3859	4,11	10398	4,35	-15240
	CARA B	3,90	-3598	4,13	9483	4,37	-13932	3,93	-4252	4,15	9875	4,40	-15109	3,95	-3859	4,16	10006	4,40	-13539
probeta 2c1	CARA A	3,90	-3205	4,12	8305	4,36	-13016	3,93	-2944	4,15	8044	4,40	-14324	3,96	-4121	4,16	10137	4,41	-14063
	CARA B	3,88	-3859	4,10	9352	4,34	-13147	3,90	-3075	4,12	8698	4,37	-15109	3,93	-3729	4,15	9875	4,39	-13801
probeta 3c1	CARA A	3,92	-4513	4,13	10529	4,37	-15371	3,95	-3990	4,17	8960	4,41	-13670	3,92	-4252	4,12	9614	4,37	-13670
	CARA B	3,92	-3598	4,14	8960	4,38	-12231	3,95	-3075	4,16	8698	4,41	-11839	3,92	-3729	4,12	9483	4,35	-12755
probeta 4c1	CARA A	3,93	-3859	4,14	9744	4,38	-12755	3,95	-3598	4,15	9090	4,41	-14324	3,93	-4121	4,14	9614	4,39	-13278
	CARA B	3,92	-3859	4,13	9614	4,36	-13016	3,94	-3336	4,16	9090	4,40	-13539	3,96	-3336	4,19	9352	4,43	-11708

Tabla 9.1.6 Onda reflejada a los 28 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda directa 28 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,99	7913	2,29	-19557	2,60	11183	2,00	8305	2,30	-19818	2,60	11445	2,01	8305	2,29	-20211	2,61	12230	1,95	8436	2,24	-20080	2,55	13015	1,95	8175	2,24	-18772	2,53	10398
	CARA B	1,98	7521	2,28	-18379	2,60	11968	2,01	8305	2,29	-19426	2,60	11183	1,99	8044	2,29	-19164	2,60	11837												
probeta 2c1	CARA A	2,01	8436	2,30	-19818	2,62	11707	2,01	8436	2,30	-19949	2,62	11968	1,99	8175	2,29	-19687	2,60	11707	1,96	8436	2,25	-20342	2,56	13145	1,97	8436	2,26	-20603	2,55	11707
	CARA B	1,99	7782	2,28	-18772	2,59	10529	2,01	7913	2,29	-19033	2,62	10922	2,01	8044	2,29	-19033	2,62	11837												
probeta 3c1	CARA A	2,01	8175	2,31	-19949	2,63	11707	2,02	8698	2,32	-20603	2,63	12230	2,03	8305	2,32	-20080	2,64	11707	1,96	8436	2,24	-20211	2,55	12230	1,96	8436	2,26	-19557	2,55	12230
	CARA B	1,98	7913	2,29	-18903	2,60	11314	2,00	7913	2,30	-19949	2,61	11576	2,01	7913	2,30	-19033	2,61	10922												
probeta 4c1	CARA A	2,03	8305	2,32	-20472	2,62	11968	2,02	8175	2,32	-20342	2,63	12753	2,03	8436	2,31	-20342	2,62	12230	1,98	8175	2,27	-20472	2,58	13015	1,98	8567	2,27	-20472	2,57	11314
	CARA B	1,99	7782	2,28	-18772	2,60	11314	2,00	7913	2,29	-19033	2,60	11445	2,00	7782	2,29	-18772	2,62	10137												

Tabla 9.1.7 Onda directa a los 28 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda reflejada 28 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,90	-4121	4,12	9352	4,36	-14455	3,91	-3598	4,12	8960	4,36	-14847	3,90	-3990	4,12	9221	4,34	-13016
	CARA B	3,89	-3598	4,09	9352	4,33	-14455	3,90	-4252	4,09	10137	4,34	-15371	3,90	-2813	4,13	8305	4,37	-10792
probeta 2c1	CARA A	3,94	-3075	4,16	8436	4,39	-13278	3,90	-3598	4,14	9221	4,37	-14063	3,92	-3075	4,12	8436	4,35	-12624
	CARA B	3,96	-3075	4,17	8960	4,41	-12231	3,96	-3467	4,18	10006	4,42	-14455	3,95	-3598	4,15	9352	4,38	-13016
probeta 3c1	CARA A	3,95	-4121	4,15	10137	4,38	-15894	3,92	-3729	4,13	9744	4,36	-16156	3,96	-3467	4,16	9090	4,40	-12231
	CARA B	3,90	-2944	4,11	8044	4,34	-13932	3,89	-3336	4,10	9614	4,33	-16548	3,92	-2813	4,13	8567	4,38	-13147
probeta 4c1	CARA A	3,95	-3336	4,16	7913	4,40	-11577	3,95	-3990	4,15	9352	4,40	-14586	3,93	-3990	4,14	10137	4,38	-14586
	CARA B	3,94	-3075	4,14	7782	4,38	-10923	3,93	-3859	4,14	9654	4,38	-15109	3,93	-3598	4,13	9090	4,35	-13278

Tabla 9.1.8 Onda reflejada a los 28 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda directa 56 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,96	8698	2,25	-21388	2,57	13799	1,97	8698	2,26	-22304	2,55	14584	1,98	8829	2,27	-21650	2,17	14323	1,96	8960	2,24	-22042	2,55	13669	1,96	8829	2,25	-21911	2,55	13407
	CARA B	1,97	7913	2,26	-19557	2,60	12099	1,97	8436	2,26	-20996	2,57	12884	1,98	8829	2,27	-21780	2,56	12884												
probeta 2c1	CARA A	1,98	8960	2,27	-22042	2,57	13276	1,98	8829	2,28	-22173	2,57	14323	1,98	8567	2,27	-21911	2,58	13799	1,96	9090	2,25	-21911	2,55	13407	1,98	8829	2,27	-22042	3,57	13669
	CARA B	1,96	8436	2,24	-20342	2,57	12753	1,96	8567	2,27	-20865	2,56	13145	1,97	8567	2,26	-20080	2,57	11837												
probeta 3c1	CARA A	1,97	6567	2,26	-21650	2,56	13669	1,97	8829	2,26	-21388	2,57	14192	1,98	8829	2,27	-21911	2,58	14323	1,98	9221	2,26	-22173	2,57	14584	1,96	8567	2,27	-21911	2,55	13276
	CARA B	1,98	8436	2,26	-20603	2,57	13015	1,98	8436	2,27	-20996	2,57	12491	1,98	8436	2,27	-20996	2,59	12230												
probeta 4c1	CARA A	1,97	8698	2,27	-20734	2,57	12491	1,98	8960	2,26	-21780	2,57	12230	1,98	8960	2,26	-22173	2,57	13799	1,96	8698	2,27	-21126	2,57	12361	1,98	9221	2,27	-22304	2,57	13276
	CARA B	1,96	8175	2,27	-20734	2,57	12622	1,98	8567	2,26	-20996	2,58	12622	1,98	8305	2,27	-21126	2,58	12099												

Tabla 9.1.9 Onda directa a los 56 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda reflejada 56 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,82	-4513	4,01	14323	4,25	-20472	3,82	-3859	4,01	12230	4,26	-19295	3,08	-4252	4,00	15500	4,24	-21780
	CARA B	3,82	-3990	4,02	13015	4,26	-19426	3,86	-3729	4,05	10922	4,28	-17725	3,86	-3075	4,05	11707	4,28	-20211
probeta 2c1	CARA A	3,81	-3598	4,02	12491	4,26	-18379	3,85	-3598	4,05	13407	4,28	-21650	3,84	-4644	4,04	14323	4,26	-20472
	CARA B	3,79	-4383	4,00	13669	4,24	-19426	3,81	-4121	4,01	13407	4,26	-20885	3,83	-3598	4,07	12099	4,31	-21519
probeta 3c1	CARA A	3,81	-4906	4,01	14846	4,25	-21388	3,85	-4644	4,03	14323	4,28	-22434	3,81	-4513	4,00	15108	4,24	-21257
	CARA B	3,86	-4644	4,04	14715	4,26	-21126	3,85	-3990	4,06	12884	4,29	-21257	3,82	-3990	4,01	13145	4,24	-19949
probeta 4c1	CARA A	3,82	-4121	4,00	13015	4,26	-18379	3,83	-3859	4,03	13407	4,26	-20734	3,81	-4513	4,00	14584	4,26	-19426
	CARA B	3,87	-3598	4,05	11052	4,28	-17202	3,86	-3859	4,05	12491	4,28	-20734	3,87	-4644	4,08	12622	4,31	-17987

Tabla 9.1.10 Onda reflejada a los 56 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda directa 56 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,96	8698	2,25	-21911	2,55	13145	1,97	8809	2,26	-21780	2,57	13799	1,98	9221	2,27	-22565	2,57	14323	1,97	9352	2,26	-22173	2,55	13930	1,97	8690	2,26	-22304	2,55	13145
	CARA B	1,96	8436	2,26	-21388	2,56	13407	1,96	8960	2,25	-21650	2,55	12884	1,98	8829	2,27	-21257	2,58	13538												
probeta 2c1	CARA A	1,98	9221	2,26	-22042	2,57	13535	1,98	8829	2,25	-21911	2,57	13799	1,98	8829	2,26	-22042	2,57	13407	1,97	9352	2,25	-22304	2,56	14454	1,97	9090	2,25	-22827	2,54	13799
	CARA B	1,96	8305	2,25	-21126	2,57	12491	1,98	8567	2,25	-21388	2,57	13015	1,98	8436	2,27	-21126	2,57	12753												
probeta 3c1	CARA A	1,98	9483	2,26	-22565	2,56	13578	1,98	9352	2,27	-22304	2,57	14061	1,98	8960	2,27	-22042	2,57	14192	1,97	9352	2,26	-22696	2,56	12884	1,97	9221	2,27	-21780	2,57	14061
	CARA B	1,97	8698	2,26	-20865	2,57	13407	1,98	8960	2,27	-21650	2,57	13407	1,97	8436	2,27	-20734	2,57	12361												
probeta 4c1	CARA A	1,98	8829	2,26	-22565	2,56	13930	1,98	9090	2,26	-22565	2,57	14715	1,96	9221	2,27	-22304	2,56	14584	1,97	9352	2,25	-22565	2,56	14715	1,97	9483	2,26	-22827	2,55	13799
	CARA B	1,97	8305	2,27	-21388	2,57	13407	1,96	8898	2,26	-21388	2,55	13538	1,98	8436	2,27	-21126	2,58	11968												

Tabla 9.1.11 Onda directa a los 56 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda reflejada 56 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,76	-4644	3,96	14584	4,19	-22173	3,78	-3859	3,98	14846	4,22	-22743	3,77	-4383	3,96	18023	4,20	-23089
	CARA B	3,76	-4121	3,97	12491	4,21	-18772	3,78	-4775	3,98	15238	4,22	-23481	3,78	-4252	3,98	14454	4,21	-21911
probeta 2c1	CARA A	3,78	-4644	3,99	15631	4,22	-22696	3,79	-4333	3,98	15892	4,22	-24397	3,78	-3990	3,97	16154	4,21	-23612
	CARA B	3,78	-3729	4,01	13930	4,25	-21780	3,81	-4513	4,01	15631	4,26	-24266	3,81	-4775	4,00	15238	4,24	-22434
probeta 3c1	CARA A	3,78	-4252	3,97	16416	4,20	-25051	3,77	-3859	3,96	15369	4,19	-25181	3,78	-4383	3,97	15762	4,21	-22696
	CARA B	3,77	-3729	3,95	14584	4,20	-23219	3,76	-4252	3,96	15500	4,19	-25312	3,78	-4252	3,98	15762	4,21	-23743
probeta 4c1	CARA A	3,78	-3859	4,00	13538	4,22	-19164	3,81	-4644	4,00	15892	4,24	-24920	3,79	-4121	3,97	15762	4,21	-24759
	CARA B	3,86	-3990	4,04	11837	4,26	-19033	3,81	-3729	4,00	13015	4,23	-22173	3,81	-3990	4,00	12622	4,22	-20342

Tabla 9.1.12 Onda reflejada a los 56 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda directa 70 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,93	8960	2,23	-22042	2,53	14584	1,96	8960	2,24	-22696	2,53	15108	1,96	8960	2,24	-22042	2,55	15369	1,97	8960	2,26	-21911	2,56	14454	1,96	8829	2,24	-21780	2,55	13669
	CARA B	1,96	8436	2,25	-20734	2,56	12753	1,96	8829	2,25	-21911	2,55	13015	1,96	8698	2,26	-22042	2,55	13538												
probeta 2c1	CARA A	1,94	8960	2,23	-22434	2,53	14846	1,96	8829	2,25	-22827	2,54	15108	1,95	8829	2,24	-22042	2,55	14323	1,95	8960	2,24	-22304	2,53	14454	1,96	9090	2,24	-22434	2,55	14584
	CARA B	1,94	8567	2,24	-21257	2,54	14061	1,95	8305	2,25	-20996	2,55	13145	1,96	8175	2,25	-20211	2,55	11968												
probeta 3c1	CARA A	1,96	8960	2,25	-22304	2,54	14192	1,96	8960	2,24	-21519	2,55	14846	1,96	8829	2,25	-22696	2,55	15108	1,96	9352	2,24	-22304	2,54	14977	1,94	8698	2,24	-21911	2,53	14323
	CARA B	1,96	8829	2,24	-21780	2,54	13799	1,94	8305	2,24	-20603	2,55	12753	1,96	8698	2,25	-21911	2,55	13407												
probeta 4c1	CARA A	1,95	8829	2,23	-21780	2,55	13799	1,95	8829	2,24	-22173	2,54	13015	1,96	8829	2,24	-22827	2,54	14584	1,96	8960	2,25	-21780	2,55	13799	1,96	9090	2,24	-22304	2,53	14192
	CARA B	1,96	8698	2,24	-21519	2,55	13015	1,95	8436	2,25	-21257	2,55	13276	1,96	8567	2,25	-20996	2,55	12884												

Tabla 9.1.13 Onda directa a los 70 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda reflejada 70 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,77	-5168	3,97	16416	4,21	-24658	3,76	-4644	3,97	15631	4,21	-24266	3,75	-4252	3,96	16023	4,19	-23481
	CARA B	3,80	-4513	4,00	15892	4,24	-24135	3,81	-4252	4,01	15369	4,25	-24789	3,82	-3990	4,01	15631	4,25	-24397
probeta 2c1	CARA A	3,76	-3990	3,95	13538	4,19	-21519	3,82	-3859	4,01	15762	4,24	-25836	3,78	-5037	3,97	16416	4,21	-23743
	CARA B	3,71	-4121	3,92	15108	4,17	-22304	3,77	-4121	3,97	15892	4,21	-25836	3,78	-4383	3,99	16023	4,22	-24004
probeta 3c1	CARA A	3,77	-5429	3,97	16416	4,21	-23612	3,79	-4252	4,00	14977	4,23	-25705	3,76	-5037	3,95	16677	4,19	-24658
	CARA B	3,77	-4775	3,98	15108	4,23	-21650	3,80	-3990	4,01	14454	4,25	-24135	3,76	-4383	3,95	16023	4,19	-22827
probeta 4c1	CARA A	3,76	-4644	3,96	14323	4,20	-20472	3,81	-3859	4,00	13538	4,24	-23481	3,75	-4644	3,96	15500	4,20	-22173
	CARA B	3,79	-3990	3,99	13930	4,24	-20080	3,81	-3729	4,00	14715	4,24	-23743	3,84	-4252	4,03	13930	4,26	-21780

Tabla 9.1.14 Onda reflejada a los 70 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda directa 70 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,96	8960	2,25	-22434	2,56	14061	1,97	9090	2,26	-22434	2,56	14584	1,97	9483	2,25	-22696	2,56	14846	1,96	9352	2,25	-23219	2,55	15762	1,98	9352	2,26	-22696	2,55	13799
	CARA B	1,96	9090	2,25	-22434	2,55	14846	1,97	9090	2,26	-22304	2,55	13538	1,96	9090	2,26	-22304	2,55	14323												
probeta 2c1	CARA A	1,95	9483	2,25	-22173	2,56	14715	1,96	8960	2,26	-22173	2,56	13930	1,98	9221	2,26	-22827	2,57	14323	1,98	9221	2,26	-22958	2,55	15500	1,97	9352	2,26	-23219	2,55	14454
	CARA B	1,96	8698	2,24	-21780	2,55	13538	1,96	8960	2,26	-22042	2,57	13669	1,96	8829	2,26	-21911	2,55	13669												
probeta 3c1	CARA A	1,96	9352	2,24	-22565	2,53	14454	1,97	9352	2,26	-22827	2,55	14846	1,97	9090	2,26	-22434	2,57	14454	1,96	9352	2,25	-22952	2,55	14061	1,96	9221	2,26	-22173	2,55	14846
	CARA B	1,95	8829	2,24	-21911	2,55	14715	1,96	9221	2,26	-22173	2,56	14323	1,96	8960	2,25	-21257	2,56	13145												
probeta 4c1	CARA A	1,97	9090	2,25	-23219	2,54	14584	1,97	9221	2,26	-22434	2,56	15369	1,96	9221	2,25	-23089	2,55	15108	1,98	8960	2,26	-22565	2,57	14977	1,97	9483	2,26	-22696	2,56	14454
	CARA B	1,96	8960	2,25	-22173	2,55	14323	1,97	8960	2,26	-22042	2,56	13799	1,96	8829	2,24	-21780	2,56	13538												

Tabla 9.1.15 Onda directa a los 70 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda reflejada 70 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2		
probeta 1c1	CARA A	3,74	-5298	3,93	17462	4,16	-27144	3,74	-5429	3,93	17985	4,16	-27929	3,74	-4644	3,93	16154	4,16	-24658
	CARA B	3,73	-4383	3,93	16416	4,15	-26882	3,76	-4252	3,95	16416	4,17	-27144	3,72	-3990	3,93	17201	4,14	-26620
probeta 2c1	CARA A	3,74	-4513	3,94	16677	4,15	-24789	3,73	-3467	3,95	14715	4,18	-25051	3,75	-4252	3,95	16939	4,17	-26359
	CARA B	3,78	-3075	3,97	13799	4,20	-23219	3,81	-3990	4,00	14584	4,22	-26228	3,78	-4644	3,96	17462	4,19	-28452
probeta 3c1	CARA A	3,74	-5298	3,93	19032	4,15	-29891	3,67	-4906	3,89	18509	4,14	-28713	3,73	-4906	3,94	18116	4,17	-26097
	CARA B	3,73	-3598	3,93	15238	4,16	-25574	3,74	-3467	3,94	14454	4,17	-25443	3,75	-4644	3,95	17121	4,19	-26016
probeta 4c1	CARA A	3,75	-4121	3,95	14061	4,18	-21519	3,79	-4383	3,96	14977	4,20	-25836	3,76	-3336	3,95	14846	4,19	-24527
	CARA B	3,78	-4121	3,98	14454	4,21	-21650	3,76	-4121	3,96	16154	4,19	-26359	3,74	-4644	3,93	16154	4,16	-24004

Tabla 9.1.16 Onda reflejada a los 70 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda directa 90 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,98	8829	2,28	-22304	2,58	14846	1,99	9090	2,28	-23350	2,57	14715	1,99	8960	2,28	-23089	2,59	15762	2,01	9221	2,29	-22827	2,60	14896	2,01	8829	2,30	-22304	2,60	14323
	CARA B	1,97	8305	2,27	-20472	2,60	13276	1,98	8829	2,27	-21911	2,58	13538	1,99	8960	2,29	-22434	2,60	13930												
probeta 2c1	CARA A	1,98	9221	2,28	-22827	2,58	14454	1,97	8829	2,27	-23219	2,57	15238	1,98	8829	2,27	-22434	2,58	14584	2,01	9221	2,29	-22827	2,60	14584	2,01	9090	2,30	-22958	2,61	14846
	CARA B	1,97	8567	2,27	-21911	2,58	13669	1,98	8960	2,27	-22042	2,59	13799	1,98	8567	2,27	-21388	2,60	12491												
probeta 3c1	CARA A	1,98	8829	2,27	-22696	2,57	14454	1,97	9921	2,27	-22173	2,58	14977	1,98	9221	2,27	-23350	2,58	15108	2,02	9221	2,30	-23089	2,61	14715	2,00	8567	2,30	-22958	2,60	14715
	CARA B	1,98	8960	2,27	-22173	2,58	13799	1,98	8577	2,28	-22042	2,58	13407	1,99	9090	2,28	-22173	2,59	13669												
probeta 4c1	CARA A	1,97	8960	2,27	-21911	2,59	13407	1,98	8960	2,28	-22565	2,57	13276	1,98	8960	2,27	-22827	2,58	14715	2,01	8960	2,29	-22042	2,60	13930	2,01	9221	2,30	-22827	2,60	13799
	CARA B	1,99	8567	2,27	-21780	2,58	13276	1,99	8960	2,29	-22173	2,59	13407	1,99	8829	2,27	-22042	2,59	13276												

Tabla 9.1.17 Onda directa a los 90 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,45 A/C CON METAL		Onda reflejada 90 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,79	-4513	3,99	16547	4,22	-24135	3,81	-3859	4,00	16677	4,23	-27667	3,76	-4775	3,97	19163	4,19	-26359
	CARA B	3,79	-4252	4,00	16677	4,24	-25051	3,83	-3859	4,03	16154	4,26	-25705	3,81	-3990	4,00	16808	4,25	-26097
probeta 2c1	CARA A	3,78	-3729	3,98	15762	4,21	-24920	3,82	-3729	4,00	16285	4,24	-27405	3,81	-5037	4,00	17331	4,24	-25181
	CARA B	3,76	-3990	3,95	16416	4,19	-23481	3,80	-3205	4,00	16023	4,23	-26228	3,79	-4644	4,00	17985	4,23	-26882
probeta 3c1	CARA A	3,78	-5560	3,97	17432	4,21	-25181	3,78	-4906	3,97	17724	4,22	-27274	3,77	-5037	3,96	18247	4,19	-26490
	CARA B	3,79	-5037	3,99	17462	4,24	-26751	3,80	-4383	4,00	16154	4,24	-26490	3,78	-3889	3,98	16285	4,22	-24135
probeta 4c1	CARA A	3,78	-4906	3,99	16677	4,22	-23350	3,78	-3729	3,98	15762	4,21	-25705	3,78	-4252	3,98	17724	4,23	-26228
	CARA B	3,79	-4513	4,00	16023	4,23	-22696	3,82	-3859	4,01	16154	4,25	-25443	3,83	-4383	4,02	16416	4,26	-24135

Tabla 9.1.18 Onda reflejada a los 90 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,45A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda directa 90 días																													
		1						2						3						4						5					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	1,98	9090	2,28	-22827	2,58	14846	2,00	9221	2,29	-22958	2,60	14715	2,00	9352	2,29	-23089	2,60	15108	1,97	9614	2,26	-23612	2,55	15238	1,96	9221	2,24	-23089	2,53	14584
	CARA B	1,99	9090	2,28	-22304	2,60	14584	1,99	9352	2,28	-21911	2,59	13669	1,98	9221	2,27	-22173	2,58	14584												
probeta 2c1	CARA A	1,98	9483	2,27	-22173	2,59	14715	2,00	9352	2,29	-22696	2,60	14061	2,01	9483	2,28	-23219	2,60	14323	1,97	9483	2,26	-23873	2,55	15369	1,98	9221	2,27	-23873	2,55	14846
	CARA B	1,98	8829	2,27	-22042	2,58	13779	1,98	9221	2,27	-22434	2,59	14323	1,99	9090	2,28	-22696	2,58	14061												
probeta 3c1	CARA A	1,98	9352	2,27	-23350	2,58	14323	1,99	9483	2,28	-22958	2,59	14846	2,01	9221	2,29	-22958	2,60	14584	1,97	9483	2,26	-23481	2,56	13407	1,98	9352	2,26	-22958	2,57	14977
	CARA B	1,99	9221	2,27	-22434	2,58	14584	1,99	9221	2,29	-22434	2,59	14584	2,00	9352	2,28	-22304	2,60	13538												
probeta 4c1	CARA A	2,00	9221	2,29	-23612	2,58	15108	1,99	9221	2,29	-22958	2,59	15369	2,00	9483	2,29	-23612	2,60	15369	1,98	9352	2,26	-23089	2,57	14584	1,97	9483	2,26	-23481	2,56	14977
	CARA B	1,97	8698	2,27	-21911	2,57	13799	1,99	9221	2,28	-22434	2,60	14323	2,00	9221	2,27	-22565	2,60	13538												

Tabla 9.1.19 Onda directa a los 90 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

0,65 A/C CON METAL		Onda reflejada 90 días																	
		1						2						3					
		T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3	T1	A1	T2	A2	T3	A3
probeta 1c1	CARA A	3,73	-5560	3,92	20078	4,15	-30806	3,74	-5560	3,93	21517	4,16	-32114	3,74	-5560	3,93	20732	4,16	-29891
	CARA B	3,75	-5168	3,93	20602	4,15	-31330	3,72	-5560	3,91	21125	4,15	-31853	3,70	-4775	3,89	21125	4,12	-31460
probeta 2c1	CARA A	3,74	-4775	3,95	19817	4,18	-27667	3,78	-3729	3,99	17070	4,21	-30414	3,75	-4775	3,96	20863	4,18	-30806
	CARA B	3,76	-4252	3,97	17985	4,19	-27144	3,76	-5037	3,97	19163	4,21	-31591	3,76	-5298	3,95	21125	4,18	-31591
probeta 3c1	CARA A	3,74	-5037	3,92	20471	4,15	-31460	3,76	-4513	3,94	17724	4,16	-30283	3,73	-4503	3,95	19817	4,17	-27929
	CARA B	3,73	-3859	3,92	18509	4,16	-27274	3,71	-5298	3,90	21910	4,14	-32638	3,72	-5691	3,93	22564	4,16	-32507
probeta 4c1	CARA A	3,74	-4644	3,94	17985	4,18	-25574	3,79	-4383	3,97	16939	4,20	-27274	3,75	-4775	3,93	20340	4,16	-28975
	CARA B	3,76	-4252	3,95	17462	4,18	-24789	3,76	-3336	3,95	16416	4,19	-29106	3,73	-5298	3,93	19555	4,16	-28452

Tabla 9.1.20 Onda reflejada a los 90 días, amplitud y tiempo, de las probetas de 0,65A/C con metal.

Anexo 2

CÓDIGO COLORES LEYENDA	
	Relación agua cemento
	Onda directa
	Onda reflejada
	Estático 1
	Estático 2
	Estático 3
	Estático 4 testa
	Estático 5 testa
	Identificación probeta

0,45 A/C		Puntos	est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	8044	8305	7913	8175	8175	8175	8122	8018
	A1 cara B	7259	7782	8175	8175	8175	7913	7913	
	A2 cara A	-19033	-20734	-19949	-19818	-20080	-19923	-19923	-19583
	A2 cara B	-18118	-18641	-19557	-19818	-20080	-19243	-19243	
	A3 cara A	11968	13015	12753	11445	12099	12256	12256	11772
	A3 cara B	10529	11052	11314	11445	12099	11288	11288	
probeta 2c1	A1 cara A	8044	7913	8175	8175	8175	8096	8096	7926
	A1 cara B	7390	7651	7390	8175	8175	7756	7756	
	A2 cara A	-19426	-20472	-19949	-19557	-19949	-19871	-19871	-19400
	A2 cara B	-18379	-18903	-17856	-19557	-19949	-18929	-18929	
	A3 cara A	11183	12753	11576	12099	11837	11890	11890	11563
	A3 cara B	11052	11183	10006	12099	11837	11235	11235	
probeta 3c1	A1 cara A	8175	8175	8174	8436	7913	8175	8175	8083
	A1 cara B	7913	7913	7782	8436	7913	7991	7991	
	A2 cara A	-19818	-19557	-20472	-20211	-19164	-19844	-19844	-19504
	A2 cara B	-18641	-18903	-18903	-20211	-19164	-19164	-19164	
	A3 cara A	11576	12753	12361	12230	11445	12073	12073	11720
	A3 cara B	11445	11183	10529	12230	11445	11366	11366	
probeta 4c1	A1 cara A	8044	8567	8175	7913	8044	8149	8149	7939
	A1 cara B	7390	7651	7651	7913	8044	7730	7730	
	A2 cara A	-20211	-20342	-19164	-18903	-20211	-19766	-19766	-19269
	A2 cara B	-18118	-18249	-18379	-18903	-20211	-18772	-18772	
	A3 cara A	12230	10922	11314	11445	11445	11471	11471	11262
	A3 cara B	10791	11052	10529	11445	11445	11052	11052	

Tabla 1. Amplitudes de la onda directa a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
28 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8018	7926	8083	7939	7992	73,14
A2	-19583	-19400	-19504	-19269	-19439	135,85
A3	11772	11563	11720	11262	11579	229,42

Tabla 2. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

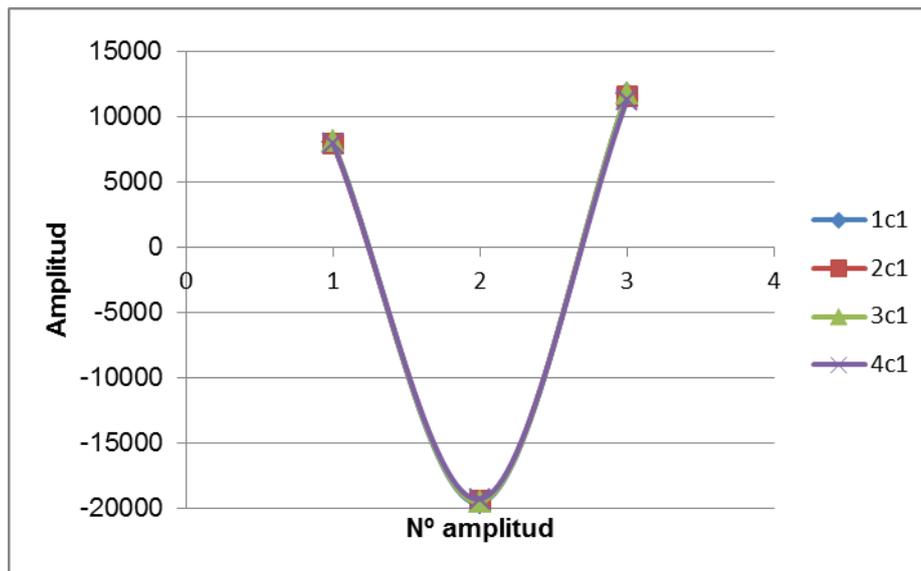


Figura 1. Amplitud onda directa de las probetas a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-3990	-4252	-3859	-4034	-3968
	A1 cara B	-3598	-4252	-3859	-3903	
	A2 cara A	9483	9875	10398	9919	9853
	A2 cara B	9483	9875	10006	9788	
	A3 cara A	-13932	-15240	-15240	-14804	-14499
	A3 cara B	-13932	-15109	-13539	-14193	
probeta 2c1	A1 cara A	-3205	-2944	-4121	-3423	-3489
	A1 cara B	-3859	-3075	-3729	-3554	
	A2 cara A	8305	8044	10137	8829	9069
	A2 cara B	9352	8698	9875	9308	
	A3 cara A	-13016	-14324	-14063	-13801	-13910
	A3 cara B	-13147	-15109	-13801	-14019	
probeta 3c1	A1 cara A	-4513	-3990	-4252	-4252	-3860
	A1 cara B	-3598	-3075	-3729	-3467	
	A2 cara A	10529	8960	9614	9701	9374
	A2 cara B	8960	8698	9483	9047	
	A3 cara A	-15371	-13670	-13670	-14237	-13256
	A3 cara B	-12231	-11839	-12755	-12275	
probeta 4c1	A1 cara A	-3859	-3598	-4121	-3859	-3685
	A1 cara B	-3859	-3336	-3336	-3510	
	A2 cara A	9744	9090	9614	9483	9417
	A2 cara B	9614	9090	9352	9352	
	A3 cara A	-12755	-14324	-13278	-13452	-13103
	A3 cara B	-13016	-13539	-11708	-12754	

Tabla 3. Amplitudes de la onda reflejada a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Pruebas					
28 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-3968	-3489	-3860	-3685	-3750	209,85
A2	9853	9069	9374	9417	9428	323,10
A3	-14499	-13910	-13256	-13103	-13692	641,58

Tabla 4. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

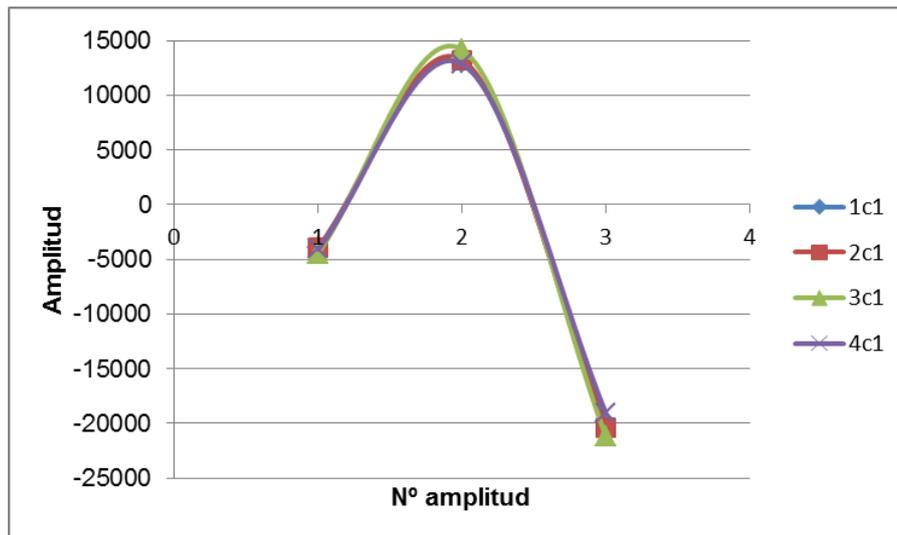


Figura 2. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 28 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	8698	8698	8829	8960	8829	8803	8698
	A1 cara B	7913	8436	8829	8960	8829	8593	
	A2 cara A	-21388	-22304	-21650	-22042	-21911	-21859	-21558
	A2 cara B	-19557	-20996	-21780	-22042	-21911	-21257	
	A3 cara A	13799	14584	14323	13669	13407	13956	13473
	A3 cara B	12099	12884	12884	13669	13407	12989	
probeta 2c1	A1 cara A	8960	8829	8567	9090	8829	8855	8776
	A1 cara B	8436	8567	8567	9090	8829	8698	
	A2 cara A	-22042	-22173	-21911	-21911	-22042	-22016	-21532
	A2 cara B	-20342	-20865	-20080	-21911	-22042	-21048	
	A3 cara A	13276	14323	13799	13407	13669	13695	13329
	A3 cara B	12753	13145	11837	13407	13669	12962	
probeta 3c1	A1 cara A	6567	8829	8829	9221	8567	8403	8511
	A1 cara B	8436	8436	8436	9221	8567	8619	
	A2 cara A	-21650	-21388	-21911	-22173	-21911	-21807	-21571
	A2 cara B	-20603	-20996	-20996	-22173	-21911	-21336	
	A3 cara A	13669	14192	14323	14584	13276	14009	13564
	A3 cara B	13015	12491	12230	14584	13276	13119	
probeta 4c1	A1 cara A	8698	8960	8960	8698	9221	8907	8750
	A1 cara B	8175	8567	8305	8698	9221	8593	
	A2 cara A	-20734	-21780	-22173	-21126	-22304	-21623	-21440
	A2 cara B	-20734	-20996	-21126	-21126	-22304	-21257	
	A3 cara A	12491	12230	13799	12361	13276	12831	12714
	A3 cara B	12622	12622	12099	12361	13276	12596	

Tabla 5. Amplitudes de la onda directa a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
56 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8698	8776	8511	8750	8684	119,86
A2	-21558	-21532	-21571	-21440	-21525	59,02
A3	13473	13329	13564	12714	13270	383,12

Tabla 6. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

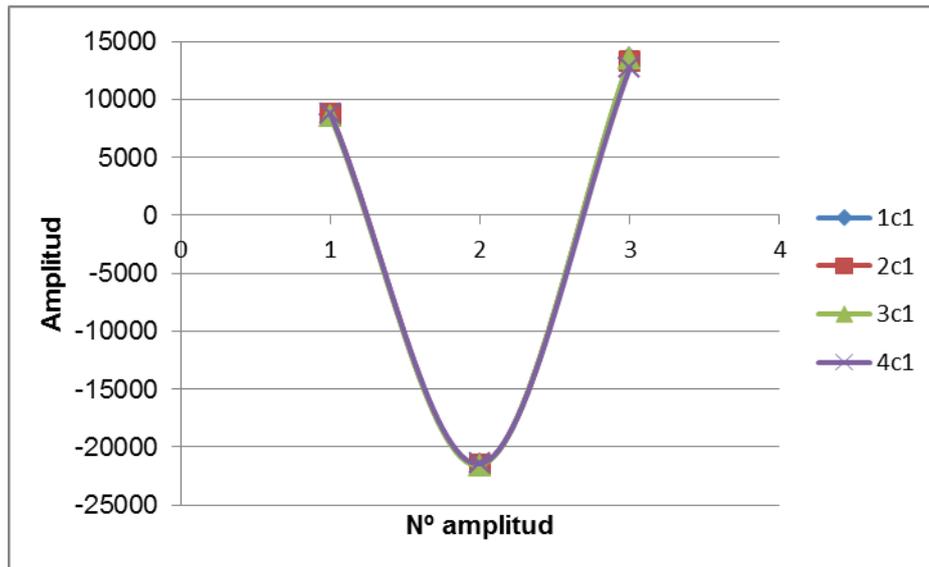


Figura 3. Amplitud onda directa de las probetas a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-4513	-3859	-4252	-4208	-3903
	A1 cara B	-3990	-3729	-3075	-3598	
	A2 cara A	14323	12230	15500	14018	12950
	A2 cara B	13015	10922	11707	11881	
	A3 cara A	-20472	-19295	-21780	-20516	-19818
	A3 cara B	-19426	-17725	-20211	-19121	
probeta 2c1	A1 cara A	-3598	-3598	-4644	-3947	-3990
	A1 cara B	-4383	-4121	-3598	-4034	
	A2 cara A	12491	13407	14323	13407	13233
	A2 cara B	13669	13407	12099	13058	
	A3 cara A	-18379	-21650	-20472	-20167	-20389
	A3 cara B	-19426	-20885	-21519	-20610	
probeta 3c1	A1 cara A	-4906	-4644	-4513	-4688	-4448
	A1 cara B	-4644	-3990	-3990	-4208	
	A2 cara A	14846	14323	15108	14759	14170
	A2 cara B	14715	12884	13145	13581	
	A3 cara A	-21388	-22434	-21257	-21693	-21235
	A3 cara B	-21126	-21257	-19949	-20777	
probeta 4c1	A1 cara A	-4121	-3859	-4513	-4164	-4099
	A1 cara B	-3598	-3859	-4644	-4034	
	A2 cara A	13015	13407	14584	13669	12862
	A2 cara B	11052	12491	12622	12055	
	A3 cara A	-18379	-20734	-19426	-19513	-19077
	A3 cara B	-17202	-20734	-17987	-18641	

Tabla 7. Amplitudes de la onda reflejada a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
56 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-3903	-3990	-4448	-4099	-4110	239,04
A2	12950	13233	14170	12862	13304	599,03
A3	-19818	-20389	-21235	-19077	-20130	911,82

Tabla 8. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

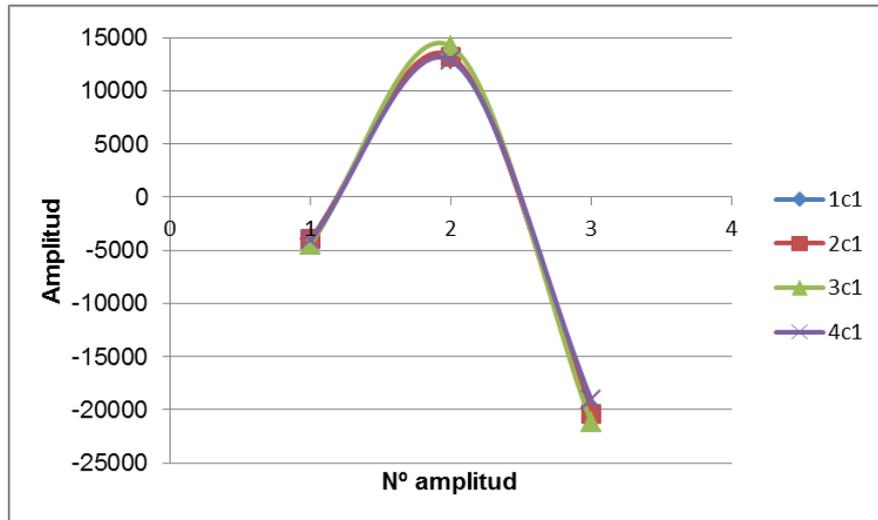


Figura 4. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 56 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C								
Puntos		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	8960	8960	8960	8960	8829	8934	8842
	A1 cara B	8436	8829	8698	8960	8829	8750	
	A2 cara A	-22042	-22696	-22042	-21911	-21780	-22094	-21885
	A2 cara B	-20734	-21911	-22042	-21911	-21780	-21676	
	A3 cara A	14584	15108	15369	14454	13669	14637	14061
	A3 cara B	12753	13015	13538	14454	13669	13486	
probeta 2c1	A1 cara A	8960	8829	8829	8960	9090	8934	8777
	A1 cara B	8567	8305	8175	8960	9090	8619	
	A2 cara A	-22434	-22827	-22042	-22304	-22434	-22408	-21924
	A2 cara B	-21257	-20996	-20211	-22304	-22434	-21440	
	A3 cara A	14846	15108	14323	14454	14584	14663	14153
	A3 cara B	14061	13145	11968	14454	14584	13642	
probeta 3c1	A1 cara A	8960	8960	8829	9352	8698	8960	8868
	A1 cara B	8829	8305	8698	9352	8698	8776	
	A2 cara A	-22304	-21519	-22696	-22304	-21911	-22147	-21924
	A2 cara B	-21780	-20603	-21911	-22304	-21911	-21702	
	A3 cara A	14192	14846	15108	14977	14323	14689	14271
	A3 cara B	13799	12753	13407	14977	14323	13852	
probeta 4c1	A1 cara A	8829	8829	8829	8960	9090	8907	8829
	A1 cara B	8698	8436	8567	8960	9090	8750	
	A2 cara A	-21780	-22173	-22827	-21780	-22304	-22173	-21872
	A2 cara B	-21519	-21257	-20996	-21780	-22304	-21571	
	A3 cara A	13799	13015	14584	13799	14192	13878	13656
	A3 cara B	13015	13276	12884	13799	14192	13433	

Tabla 9. Amplitudes de la onda directa a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
70 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8842	8777	8868	8829	8829	38,54
A2	-21885	-21924	-21924	-21872	-21901	26,99
A3	14061	14153	14271	13656	14035	267,10

Tabla 10. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

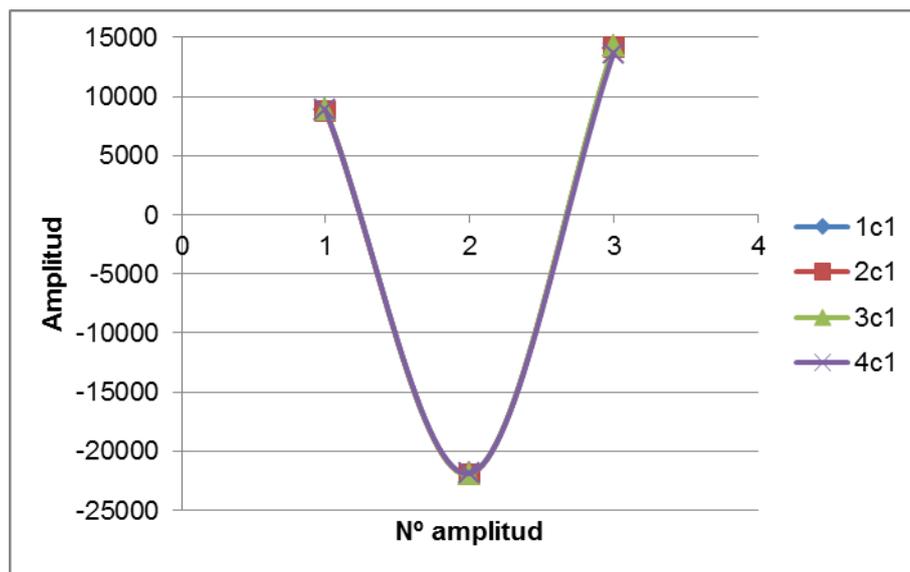


Figura 5. Amplitud onda directa de las probetas a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-5168	-4644	-4252	-4688	-4470
	A1 cara B	-4513	-4252	-3990	-4252	
	A2 cara A	16416	15631	16023	16023	15827
	A2 cara B	15892	15369	15631	15631	
	A3 cara A	-24658	-24266	-23481	-24135	-24288
	A3 cara B	-24135	-24789	-24397	-24440	
probeta 2c1	A1 cara A	-3990	-3859	-5037	-4295	-4252
	A1 cara B	-4121	-4121	-4383	-4208	
	A2 cara A	13538	15762	16416	15239	15457
	A2 cara B	15108	15892	16023	15674	
	A3 cara A	-21519	-25836	-23743	-23699	-23874
	A3 cara B	-22304	-25836	-24004	-24048	
probeta 3c1	A1 cara A	-5429	-4252	-5037	-4906	-4644
	A1 cara B	-4775	-3990	-4383	-4383	
	A2 cara A	16416	14977	16677	16023	15609
	A2 cara B	15108	14454	16023	15195	
	A3 cara A	-23612	-25705	-24658	-24658	-23765
	A3 cara B	-21650	-24135	-22827	-22871	
probeta 4c1	A1 cara A	-4644	-3859	-4644	-4382	-4186
	A1 cara B	-3990	-3729	-4252	-3990	
	A2 cara A	14323	13538	15500	14454	14323
	A2 cara B	13930	14715	13930	14192	
	A3 cara A	-20472	-23481	-22173	-22042	-21955
	A3 cara B	-20080	-23743	-21780	-21868	

Tabla 11. Amplitudes de la onda reflejada a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
70 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-4470	-4252	-4644	-4186	-4388	209,46
A2	15827	15457	15609	14323	15304	671,55
A3	-24288	-23874	-23765	-21955	-23470	1035,05

Tabla 12. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

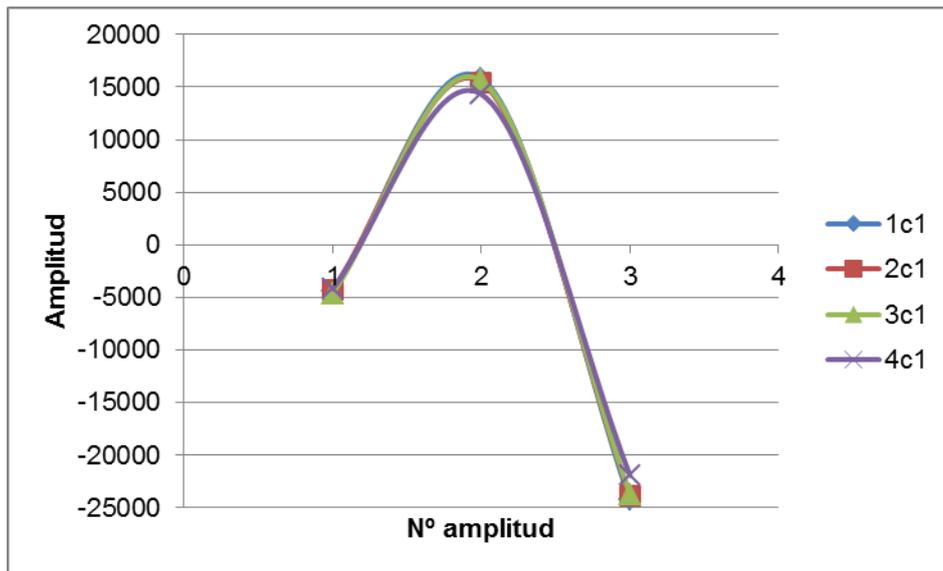


Figura 6. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 70 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	8829	9090	8960	9221	8829	8986	8907
	A1 cara B	8305	8829	8960	9221	8829	8829	
	A2 cara A	-22304	-23350	-23089	-22827	-22304	-22775	-22382
	A2 cara B	-20472	-21911	-22434	-22827	-22304	-21990	
	A3 cara A	14846	14715	15762	14896	14323	14908	14451
	A3 cara B	13276	13538	13930	14896	14323	13993	
probeta 2c1	A1 cara A	9221	8829	8829	9221	9090	9038	8960
	A1 cara B	8567	8960	8567	9221	9090	8881	
	A2 cara A	-22827	-23219	-22434	-22827	-22958	-22853	-22539
	A2 cara B	-21911	-22042	-21388	-22827	-22958	-22225	
	A3 cara A	14454	15238	14584	14584	14846	14741	14310
	A3 cara B	13669	13799	12491	14584	14846	13878	
probeta 3c1	A1 cara A	8829	9921	9221	9221	8567	9152	9017
	A1 cara B	8960	8577	9090	9221	8567	8883	
	A2 cara A	-22696	-22173	-23350	-23089	-22958	-22853	-22670
	A2 cara B	-22173	-22042	-22173	-23089	-22958	-22487	
	A3 cara A	14454	14977	15108	14715	14715	14794	14427
	A3 cara B	13799	13407	13669	14715	14715	14061	
probeta 4c1	A1 cara A	8960	8960	8960	8960	9221	9012	8960
	A1 cara B	8567	8960	8829	8960	9221	8907	
	A2 cara A	-21911	-22565	-22827	-22042	-22827	-22434	-22304
	A2 cara B	-21780	-22173	-22042	-22042	-22827	-22173	
	A3 cara A	13407	13276	14715	13930	13799	13825	13682
	A3 cara B	13276	13407	13276	13930	13799	13538	

Tabla 13. Amplitudes de la onda directa a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
90 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8907	8960	9017	8960	8961	44,92
A2	-22382	-22539	-22670	-22304	-22474	163,30
A3	14451	14310	14427	13682	14218	362,27

Tabla 14. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

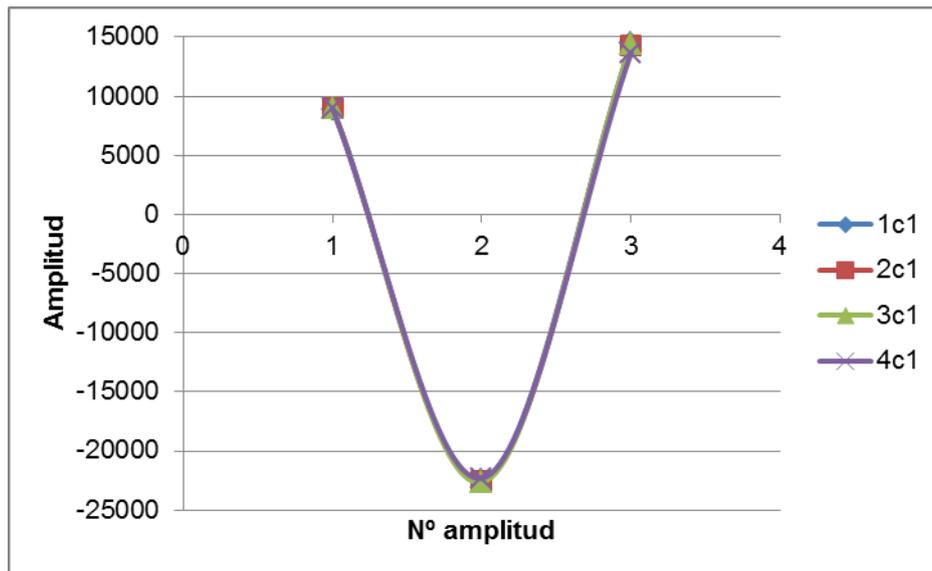


Figura 7. Amplitud onda directa de las probetas a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

		0,45 A/C				
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-4513	-3859	-4775	-4382	-4208
	A1 cara B	-4252	-3859	-3990	-4034	
	A2 cara A	16547	16677	19163	17462	17004
	A2 cara B	16677	16154	16808	16546	
	A3 cara A	-24135	-27667	-26359	-26054	-25836
	A3 cara B	-25051	-25705	-26097	-25618	
probeta 2c1	A1 cara A	-3729	-3729	-5037	-4165	-4056
	A1 cara B	-3990	-3205	-4644	-3946	
	A2 cara A	15762	16285	17331	16459	16634
	A2 cara B	16416	16023	17985	16808	
	A3 cara A	-24920	-27405	-25181	-25835	-25683
	A3 cara B	-23481	-26228	-26882	-25530	
probeta 3c1	A1 cara A	-5560	-4906	-5037	-5168	-4802
	A1 cara B	-5037	-4383	-3889	-4436	
	A2 cara A	17432	17724	18247	17801	17217
	A2 cara B	17462	16154	16285	16634	
	A3 cara A	-25181	-27274	-26490	-26315	-26054
	A3 cara B	-26751	-26490	-24135	-25792	
probeta 4c1	A1 cara A	-4906	-3729	-4252	-4296	-4274
	A1 cara B	-4513	-3859	-4383	-4252	
	A2 cara A	16677	15762	17724	16721	16459
	A2 cara B	16023	16154	16416	16198	
	A3 cara A	-23350	-25705	-26228	-25094	-24593
	A3 cara B	-22696	-25443	-24135	-24091	

Tabla 15. Amplitudes de la onda reflejada a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

0,45 A/C	Probetas					
90 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-4208	-4056	-4802	-4274	-4335	324,55
A2	17004	16634	17217	16459	16829	344,65
A3	-25836	-25683	-26054	-24593	-25541	650,29

Tabla 16. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

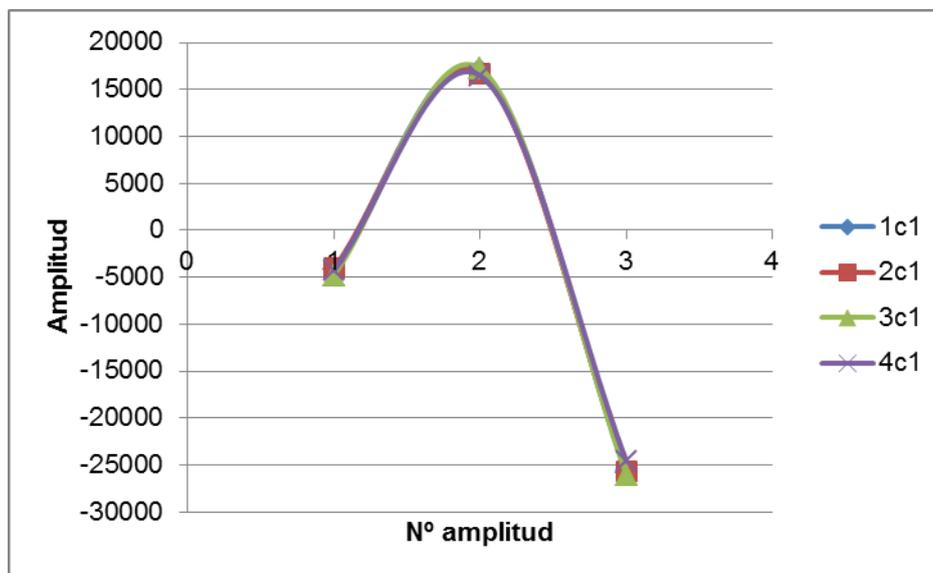


Figura 8. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 90 días de la relación 0,45 A/C.

- Tablas y gráficas de las probetas de relación 0,65 A/C:

0,65 A/C		Puntos	est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	6605	6867	6867	6867	6736	6788	6697	
	A1 cara B	6474	6605	6343	6867	6736	6605		
	A2 cara A	-15632	-15894	-15894	-15371	-15109	-15580	-15279	
	A2 cara B	-14193	-15371	-14847	-15371	-15109	-14978		
	A3 cara A	8175	8436	8960	9090	8305	8593	8462	
	A3 cara B	7913	8175	8175	9090	8305	8332		
probeta 2c1	A1 cara A	7259	6997	6736	6997	6867	6971	6749	
	A1 cara B	5951	6343	6474	6997	6867	6526		
	A2 cara A	-15502	-15763	-15894	-15502	-16025	-15737	-15541	
	A2 cara B	-14978	-14978	-15240	-15502	-16025	-15345		
	A3 cara A	7913	8696	8175	8698	8567	8410	8318	
	A3 cara B	7390	7913	8567	8698	8567	8227		
probeta 3c1	A1 cara A	6997	7521	6867	6736	6867	6998	6814	
	A1 cara B	6474	6736	6343	6736	6867	6631		
	A2 cara A	-16286	-16025	-15763	-15632	-15371	-15815	-15528	
	A2 cara B	-15109	-15240	-14847	-15632	-15371	-15240		
	A3 cara A	8436	8829	7390	8698	8960	8463	8554	
	A3 cara B	8698	8436	8436	8698	8960	8646		
probeta 4c1	A1 cara A	6867	6867	6867	6867	6997	6893	6762	
	A1 cara B	6343	6343	6605	6867	6997	6631		
	A2 cara A	-15632	-15894	-15371	-15894	-15502	-15659	-15515	
	A2 cara B	-15109	-15240	-15109	-15894	-15502	-15371		
	A3 cara A	8175	9483	8436	9090	7913	8619	8397	
	A3 cara B	8305	8567	6997	9090	7913	8174		

Tabla 17. Amplitudes de la onda directa a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	6697	6749	6814	6762	6755	48,35
A2	-15279	-15541	-15528	-15515	-15466	124,78
A3	8462	8318	8554	8397	8433	99,94

Tabla 18. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

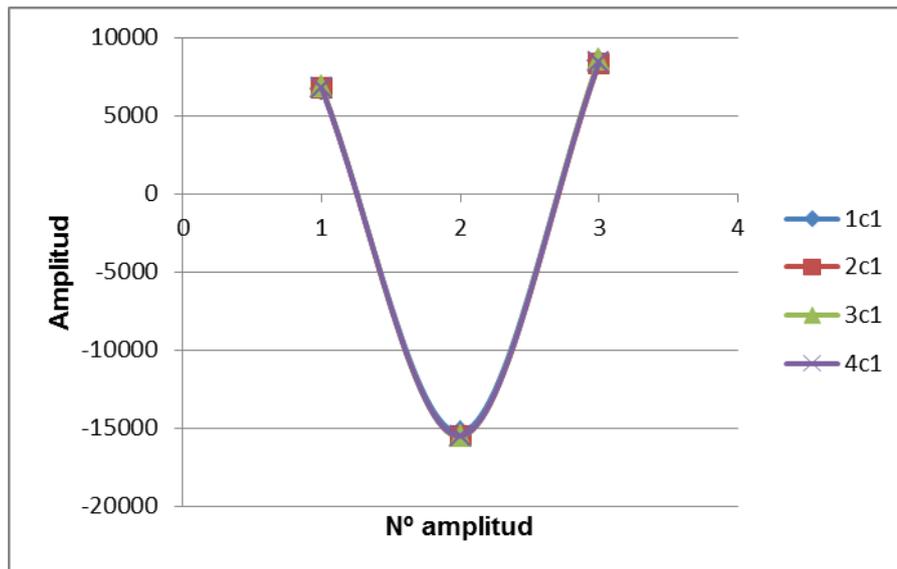


Figura 9. Amplitud onda directa de las probetas a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-2420	-1897	-2682	-2333	-2399
	A1 cara B	-2420	-2682	-2290	-2464	
	A2 cara A	4643	4120	4904	4556	4642
	A2 cara B	4120	5160	4904	4728	
	A3 cara A	-6083	-6737	-6606	-6475	-6432
	A3 cara B	-5822	-6868	-6476	-6389	
probeta 2c1	A1 cara A	-1766	-2159	-2290	-2072	-2006
	A1 cara B	-1636	-2028	-2159	-1941	
	A2 cara A	4643	4381	5166	4730	4381
	A2 cara B	3335	4381	4381	4032	
	A3 cara A	-6345	-6737	-6868	-6650	-6410
	A3 cara B	-5429	-6606	-6476	-6170	
probeta 3c1	A1 cara A	-2290	-2420	-2290	-2333	-2312
	A1 cara B	-2159	-2551	-2159	-2290	
	A2 cara A	5166	4904	5166	5079	4817
	A2 cara B	4381	4904	4381	4555	
	A3 cara A	-7391	-7391	-6606	-7129	-6999
	A3 cara B	-6737	-7130	-6737	-6868	
probeta 4c1	A1 cara A	-2028	-2028	-2290	-2115	-2028
	A1 cara B	-1897	-1766	-2159	-1941	
	A2 cara A	4643	4120	5166	4643	4316
	A2 cara B	3596	3727	4643	3989	
	A3 cara A	-5822	-5822	-6999	-6214	-6062
	A3 cara B	-5168	-6083	-6476	-5909	

Tabla 19. Amplitudes de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
7 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-2399	-2006	-2312	-2028	-2186	198,45
A2	4642	4381	4817	4316	4539	232,79
A3	-6432	-6410	-6999	-6062	-6476	387,78

Tabla 20. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

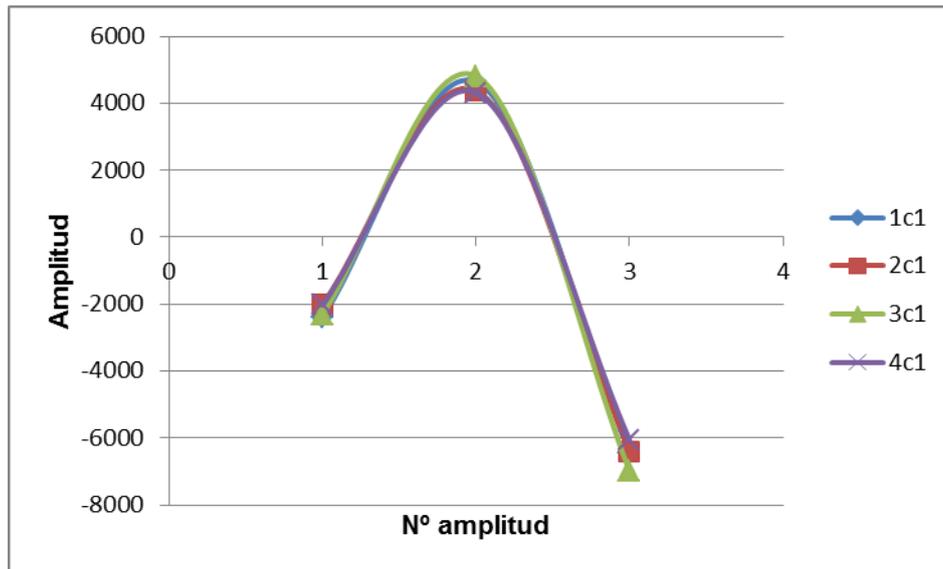


Figura 10. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 7 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C								
Puntos		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	7913	8305	8305	8436	8175	8227	8162
	A1 cara B	7521	8305	8044	8436	8175	8096	
	A2 cara A	-19557	-19818	-20211	-20080	-18772	-19688	-19426
	A2 cara B	-18379	-19426	-19164	-20080	-18772	-19164	
	A3 cara A	11183	11445	12230	13015	10398	11654	11667
	A3 cara B	11968	11183	11837	13015	10398	11680	
probeta 2c1	A1 cara A	8436	8436	8175	8436	8436	8384	8253
	A1 cara B	7782	7913	8044	8436	8436	8122	
	A2 cara A	-19818	-19949	-19687	-20342	-20603	-20080	-19818
	A2 cara B	-18772	-19033	-19033	-20342	-20603	-19557	
	A3 cara A	11707	11968	11707	13145	11707	12047	11837
	A3 cara B	10529	10922	11837	13145	11707	11628	
probeta 3c1	A1 cara A	8175	8698	8305	8436	8436	8410	8266
	A1 cara B	7913	7913	7913	8436	8436	8122	
	A2 cara A	-19949	-20603	-20080	-20211	-19557	-20080	-19805
	A2 cara B	-18903	-19949	-19033	-20211	-19557	-19531	
	A3 cara A	11707	12230	11707	12230	12230	12021	11838
	A3 cara B	11314	11576	10922	12230	12230	11654	
probeta 4c1	A1 cara A	8305	8175	8436	8175	8567	8332	8188
	A1 cara B	7782	7913	7782	8175	8567	8044	
	A2 cara A	-20472	-20342	-20342	-20472	-20472	-20420	-19962
	A2 cara B	-18772	-19033	-18772	-20472	-20472	-19504	
	A3 cara A	11968	12753	12230	13015	11314	12256	11851
	A3 cara B	11314	11445	10137	13015	11314	11445	

Tabla 21. Amplitudes de la onda directa a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
28 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8162	8253	8266	8188	8217	50,48
A2	-19426	-19818	-19805	-19962	-19753	229,28
A3	11667	11837	11838	11851	11798	87,53

Tabla 22. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

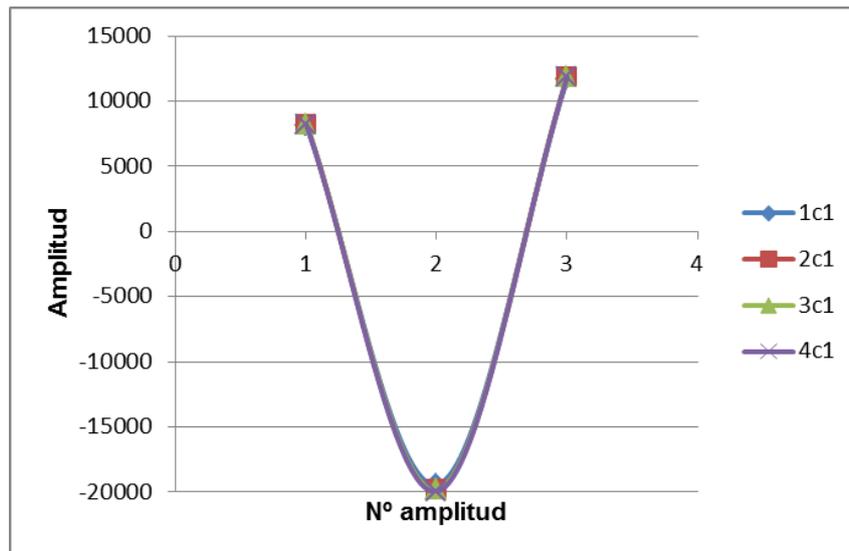


Figura 11. Amplitud onda directa de las probetas a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C						
Puntos	est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras	
probeta 1c1	A1 cara A	-4121	-3598	-3990	-3903	-3729
	A1 cara B	-3598	-4252	-2813	-3554	
	A2 cara A	9352	8960	9221	9178	9221
	A2 cara B	9352	10137	8305	9265	
	A3 cara A	-14455	-14847	-13016	-14106	-13823
	A3 cara B	-14455	-15371	-10792	-13539	
probeta 2c1	A1 cara A	-3075	-3598	-3075	-3249	-3315
	A1 cara B	-3075	-3467	-3598	-3380	
	A2 cara A	8436	9221	8436	8698	9069
	A2 cara B	8960	10006	9352	9439	
	A3 cara A	-13278	-14063	-12624	-13322	-13278
	A3 cara B	-12231	-14455	-13016	-13234	
probeta 3c1	A1 cara A	-4121	-3729	-3467	-3772	-3402
	A1 cara B	-2944	-3336	-2813	-3031	
	A2 cara A	10137	9744	9090	9657	9199
	A2 cara B	8044	9614	8567	8742	
	A3 cara A	-15894	-16156	-12231	-14760	-14651
	A3 cara B	-13932	-16548	-13147	-14542	
probeta 4c1	A1 cara A	-3336	-3990	-3990	-3772	-3641
	A1 cara B	-3075	-3859	-3598	-3511	
	A2 cara A	7913	9352	10137	9134	8988
	A2 cara B	7782	9654	9090	8842	
	A3 cara A	-11577	-14586	-14586	-13583	-13343
	A3 cara B	-10923	-15109	-13278	-13103	

Tabla 23. Amplitudes de la onda reflejada a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
28 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-3729	-3315	-3402	-3641	-3522	195,29
A2	9221	9069	9199	8988	9119	110,46
A3	-13823	-13278	-14651	-13343	-13774	633,48

Tabla 24. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

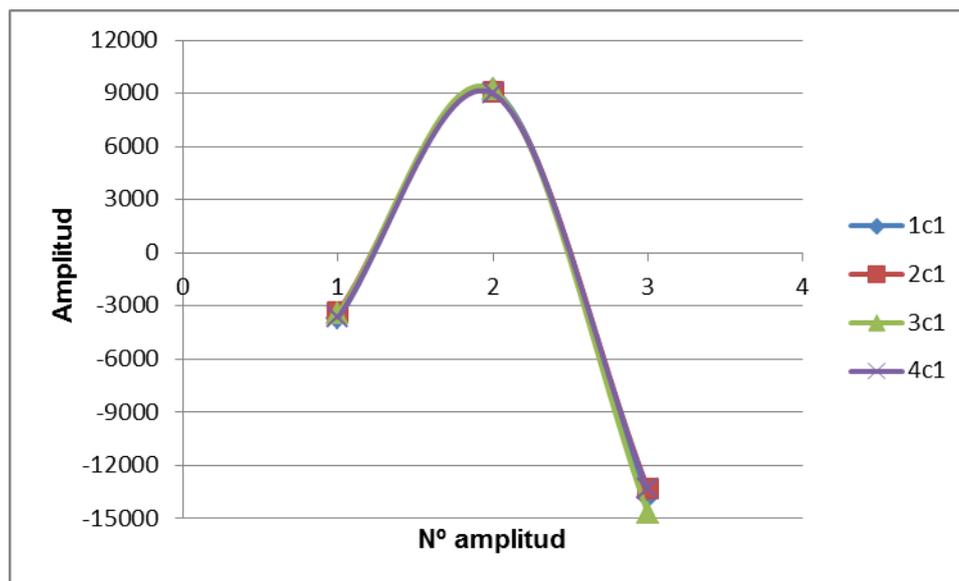


Figura 12. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 28 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C								
Puntos		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	8698	8809	9221	9352	8690	8954	8904
	A1 cara B	8436	8960	8829	9352	8690	8853	
	A2 cara A	-21911	-21780	-22565	-22173	-22304	-22147	-21951
	A2 cara B	-21388	-21650	-21257	-22173	-22304	-21754	
	A3 cara A	13145	13799	14323	13930	13145	13668	13525
	A3 cara B	13407	12884	13538	13930	13145	13381	
probeta 2c1	A1 cara A	9221	8829	8829	9352	9090	9064	8907
	A1 cara B	8305	8567	8436	9352	9090	8750	
	A2 cara A	-22042	-21911	-22042	-22304	-22827	-22225	-21990
	A2 cara B	-21126	-21388	-21126	-22304	-22827	-21754	
	A3 cara A	13535	13799	13407	14454	13799	13799	13551
	A3 cara B	12491	13015	12753	14454	13799	13302	
probeta 3c1	A1 cara A	9483	9352	8960	9352	9221	9274	9104
	A1 cara B	8698	8960	8436	9352	9221	8933	
	A2 cara A	-22565	-22304	-22042	-22696	-21780	-22277	-21911
	A2 cara B	-20865	-21650	-20734	-22696	-21780	-21545	
	A3 cara A	13578	14061	14192	12884	14061	13755	13490
	A3 cara B	13407	13407	12361	12884	14061	13224	
probeta 4c1	A1 cara A	8829	9090	9221	9352	9483	9195	9045
	A1 cara B	8305	8898	8436	9352	9483	8895	
	A2 cara A	-22565	-22565	-22304	-22565	-22827	-22565	-22212
	A2 cara B	-21388	-21388	-21126	-22565	-22827	-21859	
	A3 cara A	13930	14715	14584	14715	13799	14349	13917
	A3 cara B	13407	13538	11968	14715	13799	13485	

Tabla 25. Amplitudes de la onda directa a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
56 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	8904	8907	9104	9045	8990	100,36
A2	-21951	-21990	-21911	-22212	-22016	134,64
A3	13525	13551	13490	13917	13620	199,27

Tabla 26. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

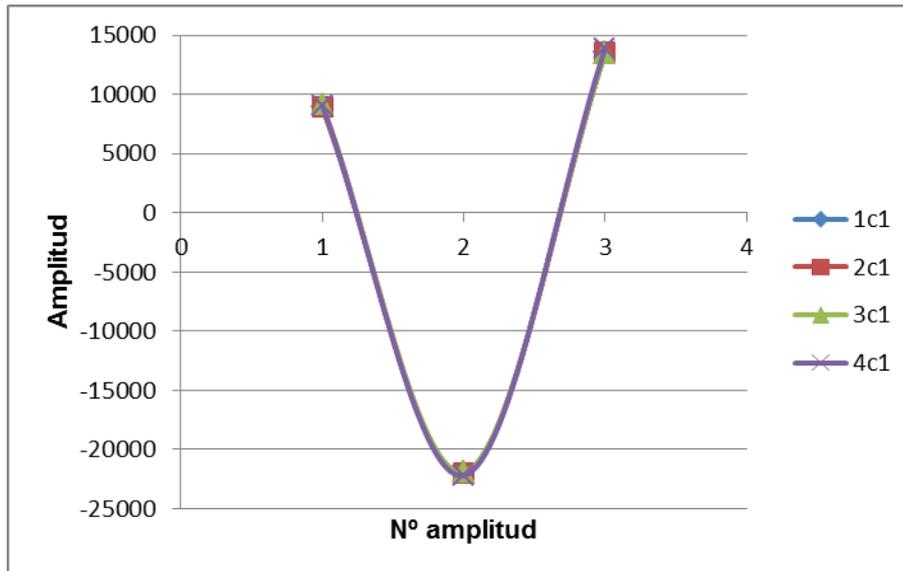


Figura 13. Amplitud onda directa de las probetas a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C						
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-4644	-3859	-4383	-4295	-4339
	A1 cara B	-4121	-4775	-4252	-4383	
	A2 cara A	14584	14846	18023	15818	14939
	A2 cara B	12491	15238	14454	14061	-22028
	A3 cara A	-22173	-22743	-23089	-22668	
	A3 cara B	-18772	-23481	-21911	-21388	
probeta 2c1	A1 cara A	-4644	-4333	-3990	-4322	-4331
	A1 cara B	-3729	-4513	-4775	-4339	
	A2 cara A	15631	15892	16154	15892	15413
	A2 cara B	13930	15631	15238	14933	-23198
	A3 cara A	-22696	-24397	-23612	-23568	
	A3 cara B	-21780	-24266	-22434	-22827	
probeta 3c1	A1 cara A	-4252	-3859	-4383	-4165	-4121
	A1 cara B	-3729	-4252	-4252	-4078	
	A2 cara A	16416	15369	15762	15849	15566
	A2 cara B	14584	15500	15762	15282	-24200
	A3 cara A	-25051	-25181	-22696	-24309	
	A3 cara B	-23219	-25312	-23743	-24091	
probeta 4c1	A1 cara A	-3859	-4644	-4121	-4208	-4056
	A1 cara B	-3990	-3729	-3990	-3903	
	A2 cara A	13538	15892	15762	15064	13778
	A2 cara B	11837	13015	12622	12491	-21732
	A3 cara A	-19164	-24920	-24759	-22948	
	A3 cara B	-19033	-22173	-20342	-20516	

Tabla 27. Amplitudes de la onda reflejada a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
56 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-4339	-4331	-4121	-4056	-4212	144,86
A2	14939	15413	15566	13778	14924	809,24
A3	-22028	-23198	-24200	-21732	-22789	1133,61

Tabla 28. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

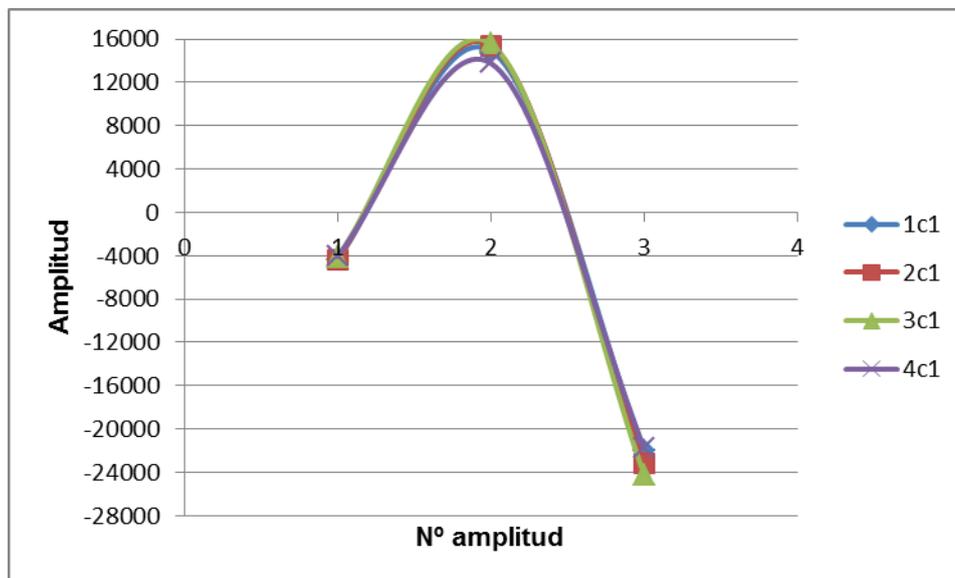


Figura 14. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 56 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
	Puntos							
probeta 1c1	A1 cara A	8960	9090	9483	9352	9352	9247	9221
	A1 cara B	9090	9090	9090	9352	9352	9195	
	A2 cara A	-22434	-22434	-22696	-23219	-22696	-22696	-22644
	A2 cara B	-22434	-22304	-22304	-23219	-22696	-22591	
	A3 cara A	14061	14584	14846	15762	13799	14610	14532
	A3 cara B	14846	13538	14323	15762	13799	14454	
probeta 2c1	A1 cara A	9483	8960	9221	9221	9352	9247	9130
	A1 cara B	8698	8960	8829	9221	9352	9012	
	A2 cara A	-22173	-22173	-22827	-22958	-23219	-22670	-22526
	A2 cara B	-21780	-22042	-21911	-22958	-23219	-22382	
	A3 cara A	14715	13930	14323	15500	14454	14584	14375
	A3 cara B	13538	13669	13669	15500	14454	14166	
probeta 3c1	A1 cara A	9352	9352	9090	9352	9221	9273	9195
	A1 cara B	8829	9221	8960	9352	9221	9117	
	A2 cara A	-22565	-22827	-22434	-22952	-22173	-22590	-22342
	A2 cara B	-21911	-22173	-21257	-22952	-22173	-22093	
	A3 cara A	14454	14846	14454	14061	14846	14532	14375
	A3 cara B	14715	14323	13145	14061	14846	14218	
probeta 4c1	A1 cara A	9090	9221	9221	8960	9483	9195	9117
	A1 cara B	8960	8960	8829	8960	9483	9038	
	A2 cara A	-23219	-22434	-23089	-22565	-22696	-22801	-22526
	A2 cara B	-22173	-22042	-21780	-22565	-22696	-22251	
	A3 cara A	14584	15369	15108	14977	14454	14898	14558
	A3 cara B	14323	13799	13538	14977	14454	14218	

Tabla 29. Amplitudes de la onda directa a los 70 días de la relación 0,65 A/C

0,65 A/C	Probetas					
70 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	9221	9130	9195	9117	9166	50,41
A2	-22644	-22526	-22342	-22526	-22509	124,74
A3	14532	14375	14375	14558	14460	98,74

Tabla 30. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 70 días de la relación 0,65 A/C.

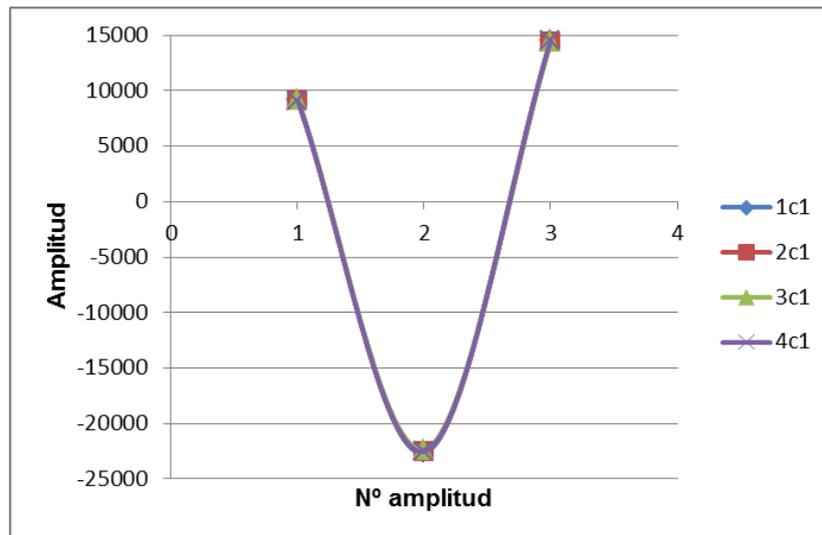


Figura 15. Amplitud onda directa de las probetas a los 70 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C							
Puntos	est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras		
probeta 1c1	A1 cara A	-5298	-5429	-4644	-5124	-4666	
	A1 cara B	-4383	-4252	-3990	-4208		
	A2 cara A	17462	17985	16154	17200	16939	
	A2 cara B	16416	16416	17201	16678		
	A3 cara A	-27144	-27929	-24658	-26577	-26730	
	A3 cara B	-26882	-27144	-26620	-26882		
probeta 2c1	A1 cara A	-4513	-3467	-4252	-4077	-3990	
	A1 cara B	-3075	-3990	-4644	-3903		
	A2 cara A	16677	14715	16939	16110	15696	
	A2 cara B	13799	14584	17462	15282		
	A3 cara A	-24789	-25051	-26359	-25400	-25683	
	A3 cara B	-23219	-26228	-28452	-25966		
probeta 3c1	A1 cara A	-5298	-4906	-4906	-5037	-4470	
	A1 cara B	-3598	-3467	-4644	-3903		
	A2 cara A	19032	18509	18116	18552	17078	
	A2 cara B	15238	14454	17121	15604		
	A3 cara A	-29891	-28713	-26097	-28234	-26956	
	A3 cara B	-25574	-25443	-26016	-25678		
probeta 4c1	A1 cara A	-4121	-4383	-3336	-3947	-4121	
	A1 cara B	-4121	-4121	-4644	-4295		
	A2 cara A	14061	14977	14846	14628	15108	
	A2 cara B	14454	16154	16154	15587		
	A3 cara A	-21519	-25836	-24527	-23961	-23983	
	A3 cara B	-21650	-26359	-24004	-24004		

Tabla 31. Amplitudes de la onda reflejada a los 70 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
70 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-4666	-3990	-4470	-4121	-4312	311,07
A2	16939	15696	17078	15108	16205	959,98
A3	-26730	-25683	-26956	-23983	-25838	1355,34

Tabla 32. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 70 días de la relación 0,65 A/C.

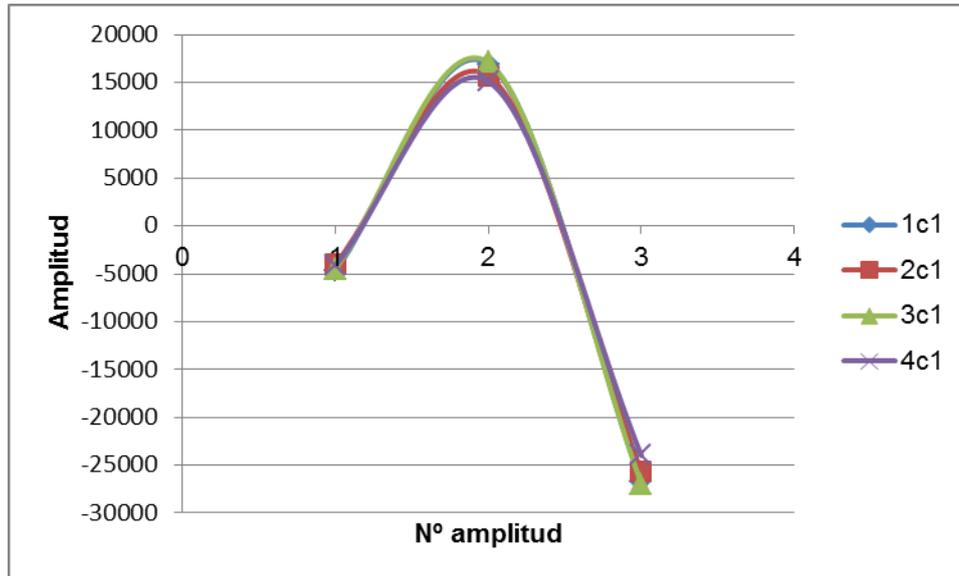


Figura 16. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 70 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C								
Puntos		est.1	est.2	est.3	est.4	est.5	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	9090	9221	9352	9614	9221	9300	9300
	A1 cara B	9090	9352	9221	9614	9221	9300	
	A2 cara A	-22827	-22958	-23089	-23612	-23089	-23115	-22866
	A2 cara B	-22304	-21911	-22173	-23612	-23089	-22618	
	A3 cara A	14846	14715	15108	15238	14584	14898	14715
	A3 cara B	14584	13669	14584	15238	14584	14532	
probeta 2c1	A1 cara A	9483	9352	9483	9483	9221	9404	9287
	A1 cara B	8829	9221	9090	9483	9221	9169	
	A2 cara A	-22173	-22696	-23219	-23873	-23873	-23167	-23075
	A2 cara B	-22042	-22434	-22696	-23873	-23873	-22984	
	A3 cara A	14715	14061	14323	15369	14846	14663	14569
	A3 cara B	13779	14323	14061	15369	14846	14476	
probeta 3c1	A1 cara A	9352	9483	9221	9483	9352	9378	9352
	A1 cara B	9221	9221	9352	9483	9352	9326	
	A2 cara A	-23350	-22958	-22958	-23481	-22958	-23141	-22932
	A2 cara B	-22434	-22434	-22304	-23481	-22958	-22722	
	A3 cara A	14323	14846	14584	13407	14977	14427	14323
	A3 cara B	14584	14584	13538	13407	14977	14218	
probeta 4c1	A1 cara A	9221	9221	9483	9352	9483	9352	9274
	A1 cara B	8698	9221	9221	9352	9483	9195	
	A2 cara A	-23612	-22958	-23612	-23089	-23481	-23350	-23023
	A2 cara B	-21911	-22434	-22565	-23089	-23481	-22696	
	A3 cara A	15108	15369	15369	14584	14977	15081	14663
	A3 cara B	13799	14323	13538	14584	14977	14244	

Tabla 33. Amplitudes de la onda directa a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Pruebas					
90 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	9300	9287	9352	9274	9303	34,41
A2	-22866	-23075	-22932	-23023	-22974	93,16
A3	14715	14569	14323	14663	14567	173,94

Tabla 34. Promedio de las 2 caras de la onda directa a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

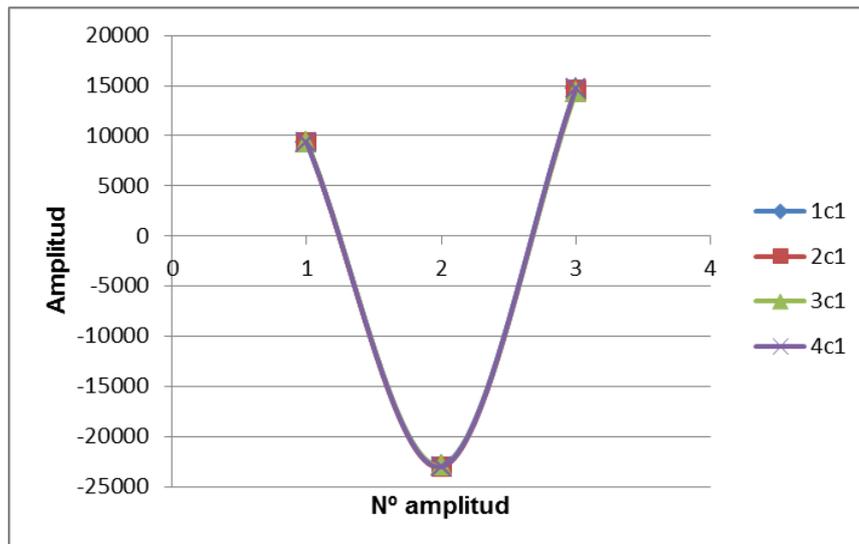


Figura 17. Amplitud onda directa de las probetas a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

		0,65 A/C				
Puntos		est.1	est.2	est.3	promedio	promedio 2 caras
probeta 1c1	A1 cara A	-5560	-5560	-5560	-5560	-5364
	A1 cara B	-5168	-5560	-4775	-5168	
	A2 cara A	20078	21517	20732	20776	20863
	A2 cara B	20602	21125	21125	20951	
	A3 cara A	-30806	-32114	-29891	-30937	-31242
	A3 cara B	-31330	-31853	-31460	-31548	
probeta 2c1	A1 cara A	-4775	-3729	-4775	-4426	-4644
	A1 cara B	-4252	-5037	-5298	-4862	
	A2 cara A	19817	17070	20863	19250	19337
	A2 cara B	17985	19163	21125	19424	
	A3 cara A	-27667	-30414	-30806	-29629	-29869
	A3 cara B	-27144	-31591	-31591	-30109	
probeta 3c1	A1 cara A	-5037	-4513	-4503	-4684	-4817
	A1 cara B	-3859	-5298	-5691	-4949	
	A2 cara A	20471	17724	19817	19337	20166
	A2 cara B	18509	21910	22564	20994	
	A3 cara A	-31460	-30283	-27929	-29891	-30349
	A3 cara B	-27274	-32638	-32507	-30806	
probeta 4c1	A1 cara A	-4644	-4383	-4775	-4601	-4448
	A1 cara B	-4252	-3336	-5298	-4295	
	A2 cara A	17985	16939	20340	18421	18116
	A2 cara B	17462	16416	19555	17811	
	A3 cara A	-25574	-27274	-28975	-27274	-27362
	A3 cara B	-24789	-29106	-28452	-27449	

Tabla 35. Amplitudes de la onda reflejada a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

0,65 A/C	Probetas					
90 días	1c1	2c1	3c1	4c1	promedio	desviación típica
A1	-5364	-4644	-4817	-4448	-4818	393,70
A2	20863	19337	20166	18116	19621	1181,09
A3	-31242	-29869	-30349	-27362	-29705	1662,88

Tabla 36. Promedio de las 2 caras de la onda reflejada a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

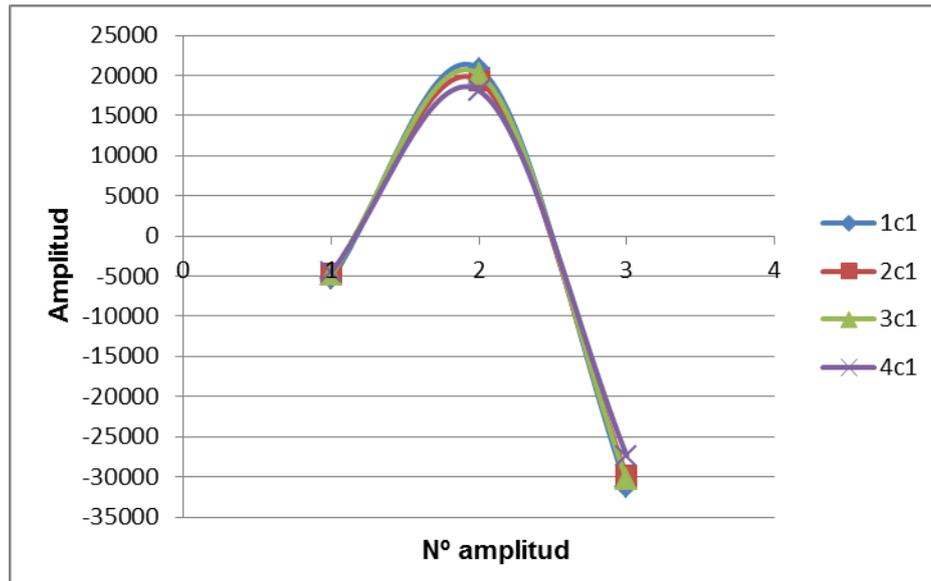


Figura 18. Amplitud onda reflejada de las probetas a los 90 días de la relación 0,65 A/C.

Anexo 3

Medición con US
Día de medida: 5-03-12
7 días

a/c 0,45	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	403	94,1	93,3	4,319	100	3,942	25,5	25,4	101	3,956	25,4	25,5	102	4,198	24,1	24,3
		92,8					25,2				25,7				24,3	
		93,0					25,4				25,5				24,5	
2 c1	400	93,2	92,6	4,318	100	4,027	24,7	24,8	100	3,922	26,0	25,5	99	4,030	24,6	24,6
		92,5					24,9				25,9				24,6	
		92,2					24,9				24,6				24,5	
3 c1	400	92,7	92,5	4,324	102	4,198	24,5	24,3	103	4,131	25,2	24,9	102	4,080	24,7	25,0
		92,3					24,2				24,9				25,1	
		92,5					24,2				24,7				25,2	
4 c1	400	93,3	93,3	4,287	102	4,069	24,8	25,1	102	4,141	24,3	24,6	103	4,164	24,5	24,7
		93,6					24,7				24,7				24,7	
		93,0					25,7				24,9				25,0	

a/c 0,65	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	400	97,7	98,0	4,083	100	3,851	26,3	26,0	100	3,886	25,8	25,7	100	3,745	26,2	26,7
		97,9					25,8				25,7				26,9	
		98,3					25,8				25,7				27,0	
2 c1	400	98,5	98,6	4,058	100	3,906	25,4	25,6	100	3,807	26,1	26,3	100	3,906	25,7	25,6
		99,2					25,7				26,5				25,5	
		98,0					25,7				26,2				25,6	
3 c1	400	99,3	98,3	4,071	102	3,943	25,9	25,9	100	3,866	25,7	25,9	100	3,901	25,6	25,6
		97,9					25,7				26,1				25,5	
		97,6					26,0				25,8				25,8	
4 c1	400	100,9	99,7	4,012	102	3,953	25,7	25,8	100	3,836	25,9	26,1	100	3,891	25,6	25,7
		99,0					25,8				26,2				25,8	
		99,2					25,9				26,1				25,7	

	Día de medición
	Relación agua cemento
	Medida longitudinal
	Medida transversal estático 1
	Medida transversal estático 2
	Medida transversal estático 3

Dim Longitudinal	Dimensión longitudinal de la probeta
Longit tiempo	3 medidas de tiempo longitudinales
V. Long	Velocidad longitudinal
Dim Pto (1,2,3)	Dimensión de la probeta en el Punto ensayado
V(1,2,3)	Velocidad en el Punto ensayado
Pto (1,2,3) tiempo	3 medidas de tiempo transversales en el punto ensayado

Día de medida: 26-03-12

 28
días

a/c 0,45	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	403	100,3	99,1	4,068	100	3,947	25,7	25,3	101	4,024	25,2	25,1	102	4,102	25,0	24,9
		96,8					25,1				25,1				24,9	
		100,1					25,2				25,0				24,7	
2 c1	400	94,2	93,6	4,272	100	3,937	25,4	25,4	100	3,984	25,6	25,1	99	3,976	25,2	24,9
		93,9					25,5				25,0				24,8	
		92,8					25,3				24,7				24,7	
3 c1	400	94,1	94,2	4,248	102	4,175	24,5	24,4	103	4,023	25,7	25,6	102	3,995	25,7	25,5
		93,3					24,2				25,6				25,6	
		95,1					24,6				25,5				25,3	
4 c1	400	91,9	92,7	4,313	102	4,037	25,2	25,3	102	4,113	24,7	24,8	103	4,104	25,1	25,1
		93,2					25,1				24,8				25,0	
		93,1					25,5				24,9				25,2	

a/c 0,65	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	400	104,7	103,1	3,881	100	3,831	26,2	26,1	100	3,802	26,2	26,3	100	3,901	25,9	25,6
		104,3					26,1				26,3				25,7	
		100,2					26,0				26,4				25,3	
2 c1	400	98,8	100,1	3,997	100	3,886	25,7	25,7	100	3,797	27,3	26,3	100	3,891	25,6	25,7
		102,7					25,7				26,2				25,7	
		98,7					25,8				25,5				25,8	
3 c1	400	106,9	103,4	3,870	102	3,938	26,2	25,9	100	3,836	26,3	26,1	100	3,654	26,7	27,4
		102,2					25,8				25,8				27,9	
		101,0					25,7				26,1				27,5	
4 c1	400	106,9	102,2	3,913	102	3,864	26,4	26,4	100	3,802	26,3	26,3	100	3,731	26,7	26,8
		101,2					26,2				26,4				26,8	
		98,6					26,6				26,2				26,9	

Día de medida: 23-04-12

 56
días

a/c 0,45	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	403	96,7	96,7	4,168	100	3,871	26,5	25,8	101	3,792	27,6	26,6	102	3,938	26,6	25,9
		96,5					25,7				26,2				25,7	
		96,9					25,3				26,1				25,4	
2 c1	400	95,9	95,6	4,186	100	3,846	26,4	26,0	100	3,916	26,1	25,5	99	3,842	25,7	25,8
		96,3					25,9				25,2				25,7	
		94,5					25,7				25,3				25,9	
3 c1	400	96,1	95,4	4,191	102	4,064	25,2	25,1	103	4,023	25,6	25,6	102	3,750	26,0	27,2
		95,2					24,9				25,9				25,9	
		95,0					25,2				25,3				29,7	
4 c1	400	95,9	95,5	4,190	102	4,000	25,8	25,5	102	3,953	25,9	25,8	103	3,977	26,2	25,9
		95,7					25,1				25,7				25,7	
		94,8					25,6				25,8				25,8	

a/c 0,65	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	400	104,7	104,5	3,828	100	3,623	27,8	27,6	100	3,645	27,8	27,4	100	3,676	27,6	27,2
		106,6					27,6				27,2				26,8	
		102,2					27,4				27,3				27,2	
2 c1	400	107,2	107,3	3,728	100	3,807	26,7	26,3	100	3,704	27,3	27,0	100	3,736	27,1	26,8
		109,7					25,9				26,8				26,5	
		105,0					26,2				26,9				26,7	
3 c1	400	107,1	105,0	3,808	102	3,825	26,9	26,7	100	3,636	27,4	27,5	100	3,788	26,7	26,4
		103,7					26,7				27,2				26,3	
		104,3					26,4				27,9				26,2	
4 c1	400	108,3	107,5	3,720	102	3,759	27,7	27,1	100	3,628	27,6	27,6	100	3,628	28,4	27,6
		107,7					26,8				27,4				27,4	
		106,6					26,9				27,7				26,9	

Día de medida: 7-05-12

 70
días

a/c 0,45	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	403	95,7	95,7	4,213	100	3,974	25,3	25,2	101	4,008	25,5	25,2	102	4,026	25,5	25,3
		95,8					24,9				25,2				25,3	
		95,5					25,3				24,9				25,2	
2 c1	400	93,9	93,7	4,269	100	3,871	25,7	25,8	100	3,995	25,2	25,0	99	3,923	25,4	25,2
		94,2					25,8				24,9				25,1	
		93,0					26,0				25,0				25,1	
3 c1	400	96,4	95,6	4,183	102	4,032	25,1	25,3	103	4,153	24,9	24,8	102	3,923	25,7	26,0
		96,0					25,6				24,8				26,2	
		94,5					25,2				24,7				26,1	
4 c1	400	95,2	95,0	4,212	102	3,933	26,0	25,9	102	4,010	25,7	25,4	103	3,977	26,1	25,9
		95,6					25,7				25,2				25,9	
		94,1					26,1				25,4				25,7	

a/c 0,65	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	400	103,4	103,6	3,862	100	3,778	26,3	26,5	100	3,690	27,4	27,1	100	3,641	27,5	27,5
		103,8					26,5				27,3				27,2	
		103,5					26,6				26,6				27,7	
2 c1	400	104,3	102,3	3,911	100	3,695	27,3	27,1	100	3,788	26,5	26,4	100	3,641	27,7	27,5
		100,8					27,1				26,4				27,2	
		101,7					26,8				26,3				27,5	
3 c1	400	100,9	99,7	4,013	102	3,792	27,1	26,9	100	3,788	26,2	26,4	100	3,713	27,1	26,9
		98,1					26,9				26,7				26,8	
		100,0					26,7				26,3				26,9	
4 c1	400	103,2	102,6	3,900	102	3,727	27,7	27,4	100	3,736	26,9	26,8	100	3,695	27,2	27,1
		102,8					27,4				26,8				26,8	
		101,7					27,0				26,6				27,2	

Día de medida: 21-05-12

 90
días

a/c 0,45	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	403	102,3	101,4	3,973	100	3,916	25,4	25,5	101	3,855	25,7	26,2	102	3,908	25,9	26,1
		101,7					25,5				26,2				26,2	
		100,3					25,7				26,7				26,2	
2 c1	400	97,3	96,2	4,158	100	3,788	26,5	26,4	100	3,968	25,6	25,2	99	3,769	26,4	26,3
		95,6					26,4				25,1				26,1	
		95,7					26,3				24,9				26,3	
3 c1	400	101,2	99,9	4,003	102	3,933	25,8	25,9	103	3,962	25,9	26,0	102	3,903	26,4	26,1
		99,9					26,2				26,2				26,1	
		98,7					25,8				25,9				25,9	
4 c1	400	102,6	101,7	3,933	102	3,928	25,9	26,0	102	3,782	27,5	27,0	103	3,820	27,2	27,0
		103,0					26,1				26,1				26,9	
		99,5					25,9				27,3				26,8	

a/c 0,65	Dim Longitudinal	Longit tiempo	Media tiempo	V. Long	Dim Pto 1	V. 1	Pto 1 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 2	V. 2	Pto 2 tiempo	Media tiempo	Dim Pto 3	V.3	Pto 3 tiempo	Media tiempo
1 c1	400	107,0	106,7	3,750	100	3,580	27,9	27,9	100	3,584	28,8	27,9	100	3,645	27,3	27,4
		106,0					27,8				27,5				27,7	
		107,0					28,1				27,4				27,3	
2 c1	400	107,5	107,1	3,736	100	3,686	27,0	27,1	100	3,769	26,7	26,5	100	3,610	27,5	27,7
		105,7					27,1				26,5				28,0	
		108,0					27,3				26,4				27,6	
3 c1	400	107,0	106,7	3,748	102	3,705	27,6	27,5	100	3,695	26,7	27,1	100	3,517	28,3	28,4
		108,5					27,6				27,2				28,7	
		104,7					27,4				27,3				28,3	
4 c1	400	103,2	102,2	3,913	102	3,669	28,0	27,8	100	3,654	27,3	27,4	100	3,529	28,7	28,3
		101,8					27,9				27,6				28,0	
		101,7					27,5				27,2				28,3	