

Casos prácticos de empleo de técnicas de impacto-eco para la detección de defectos en estructuras de hormigón

Practical cases of using impact-echo techniques for defect detection in concrete structures

Idoya Sanz Ruiz ^a, Pedro López Sánchez ^b

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Directora del Área de Ensayos Estructurales de INTEMAC (isanz@intemac.es)

^bDr. en Ciencias Químicas. Director del Laboratorio Central de INTEMAC (plopez@intemac.es)

RESUMEN

En este artículo se presentan tres casos prácticos de detección de defectos en el hormigón mediante ensayos de impacto-eco. Se describe la técnica, basada en la norma ASTM C1383, que se fundamenta en el análisis de las ondas generadas por impactos mecánicos, propagadas en el hormigón y reflejadas en discontinuidades o delaminaciones. En cada caso se presenta el análisis de los resultados de ensayo y las conclusiones obtenidas. Por último, se describen las limitaciones para una correcta interpretación de los resultados y la solución planteada para concluir cualquier estudio mediante esta técnica, calibrando el resultado obtenido mediante la extracción de alguna probeta testigo de la zona auscultada.

ABSTRACT

This article presents three cases of defects detection in concrete using Impact-Echo testing. The test procedure is described, based on the ASTM C1383 standard, which is founded in the analysis of the waves produced by mechanical impacts, propagated through the concrete, and reflected by discontinuities or delaminations. The test results of each campaign of defect detection are analysed and the conclusions are presented. Finally, the article discusses the limitations of correctly interpreting the results and the proposed solution to validate any study using this technique by calibrating the obtained results through the extraction of a core sample from the inspected area.

PALABRAS CLAVE: hormigón, delaminación, ensayo no destructivo (END), impacto-eco, defecto.

KEYWORDS: concrete, delamination, non destructive testing (NDT), Impact-Echo, defect.

1. Introducción

El Laboratorio Central de INTEMAC ha realizado numerosos estudios relacionados con el diagnóstico y evaluación de la falta de integridad o de compacidad de elementos estructurales de hormigón armado. Dicha falta de integridad o compacidad suele estar ocasionada por defectos de puesta en obra del hormigón, que se manifiestan como oquedades,

fisuras internas o delaminaciones paralelas a la superficie externa que durante los trabajos de inspección de estructuras puede que sean inapreciables a simple vista.

En los últimos años se ha puesto en valor la necesidad de garantizar la integridad estructural de los elementos de hormigón armado y pretensado, de manera que se pueda asegurar que no se ha producido ningún tipo de “daño interno”, como es el caso de elementos con gran densidad de armaduras, como

cimentaciones de torres eólicas, cajones flotantes deslizados, etc. Esto ha impulsado un enfoque que prioriza el uso de métodos de ensayo no destructivos (END) para analizar y diagnosticar la condición de las estructuras sin comprometer su integridad física.

El método de impacto-eco destaca como una de las técnicas más empleadas en la detección de delaminaciones en estructuras de hormigón [1]. Siendo por lo general más efectivo siempre y cuando se aplique en superficies estructurales con forma de placa [2], entendiéndose como tal, conforme a lo definido en ASTM C1383 [3], elementos estructurales con dimensiones laterales de al menos seis veces el espesor. Aunque hay estudios que ya indican que en elementos que no responden a la geometría compatible con esas estructuras tipo placa, los resultados obtenidos en la detección de defectos tipo delaminaciones arrojan valores certeros [4].

En este artículo se describen las posibilidades de empleo de la metodología impacto-eco como método de ensayo no destructivo utilizado para la inspección de estructuras de hormigón [5, 6]. A partir de las experiencias recopiladas en tres casos prácticos correspondientes a distintos tipos de elementos estructurales de hormigón armado o pretensado se ha evaluado su eficacia y analizado la utilidad de su implementación en cada caso.

Es importante destacar que en cualquier estudio realizado mediante métodos END de impacto-eco, es necesario calibrar los resultados obtenidos mediante la extracción de probetas testigo en algunas de las ubicaciones muestreadas. De nuestra experiencia en este campo hemos concluido que, cuando los resultados son indicativos de la existencia de un "defecto", este prácticamente siempre resulta confirmado en los ensayos destructivos de contraste o verificación. Sin embargo, en ciertos casos hemos observado que en localizaciones en las que de una primera lectura los resultados permiten suponer que el hormigón es compacto y mantiene su integridad, al extraer un testigo se

ha observado la existencia de algún "defecto" que el equipo no ha podido detectar. Por tanto, para una correcta interpretación de resultados han de tenerse en cuenta ciertas limitaciones del método de ensayo que se describen más adelante y hay que considerar cuando se realice un estudio de un elemento mediante esta técnica no destructiva que debe ir acompañado de una calibración mediante extracción de probeta testigo para poder concluir el estudio.

2. Principio del método

El principio del método [7] está basado básicamente en las prescripciones de la norma ASTM C1383-15R22 "Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method" [3].

Este método fue introducido en la década de 1980 por M. Sansalone y N. Carino para la inspección del hormigón [8], empleándose para evaluar la integridad estructural y detectar posibles defectos internos, como oquedades, fisuras, delaminaciones o nidos de grava en el interior de un elemento de hormigón.

Dicha metodología consiste en el análisis de las ondas de presión originadas por el impacto de un solenoide o masa sobre la superficie del hormigón, en el dominio de la frecuencia de la onda en el registro de la señal voltaje-tiempo. Para ello se aplica un impacto mecánico de corta duración que produce ondas de baja frecuencia (1 kHz a 6 kHz) que se propagan por el hormigón y se reflejan en las superficies externas del elemento o en delaminaciones internas, coqueras o juntas frías.

Las longitudes de onda de estas ondas de presión tienen unas dimensiones mucho mayores que los tamaños de las discontinuidades naturales del hormigón, por lo que las ondas se propagan a través de este como si se tratara de un medio elástico homogéneo.

Los desplazamientos en la superficie causados por la llegada de las ondas reflejadas

son captados por un transductor adyacente al lugar del impacto, produciendo una señal de voltaje proporcional al desplazamiento.

Finalmente, se efectúa un análisis en el dominio de la frecuencia del registro de la señal voltaje-tiempo, mediante el que se deduce el espacio recorrido por la onda, es decir, el espesor total del elemento en la dirección de medida o la profundidad a la que se encuentra situada una discontinuidad del hormigón.

En la figura siguiente se describe de forma esquemática el proceso seguido con este procedimiento.

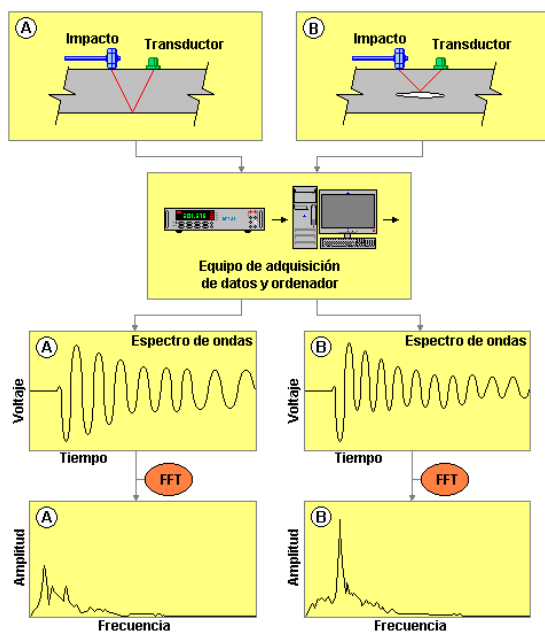


Figura 1. Esquema de ensayo de impacto-eco

3. Casos prácticos

Seguidamente se exponen tres casos prácticos desarrollados en los últimos años por el Área de Ensayos Estructurales de INTEMAC, representativos de casos en los que la metodología de END impacto-eco ha resultado muy útil para el diagnóstico y evaluación de defectos en el hormigón ([9], [10]).

3.1 Estudio del pedestal de la cimentación de un aerogenerador

Se ha efectuado el estudio del hormigón de la cimentación de un aerogenerador en un

parque eólico en España. La campaña de ensayos tenía por objeto evaluar la existencia de anomalías, relativas a falta de integridad o compacidad del hormigón interior del pedestal de la cimentación.

En la figura siguiente se pueden observar los croquis de alzado y planta facilitados, la localización de los ensayos se ha focalizado en las zonas marcadas en color rojo.

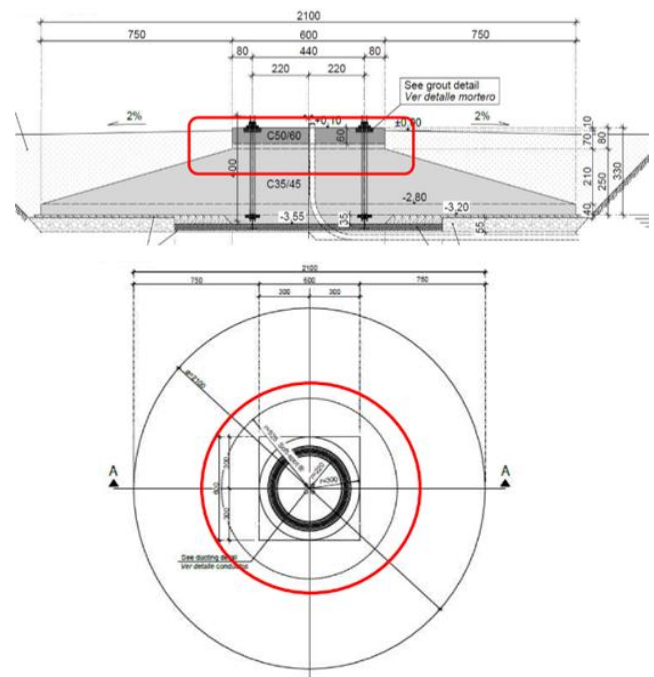


Figura 2. Croquis de alzado frontal y planta

La cimentación se componía de una zapata cónica de hormigón C35/45 de aproximadamente 3 m de profundidad y 21 m de diámetro de base inferior. La parte de coronación de la citada zapata estaba constituida por un pedestal de unos 6 m de diámetro y 80 cm de altura, de los cuales los primeros 60 cm (desde coronación) se trataba de un hormigón C50/60 y los 20 cm últimos de hormigón tipo C35/45.



Figura 3. Vista general .

Tras la ejecución de esta cimentación entre las vainas de pretensado en la parte superior del pedestal de la cimentación se detectó la presencia de coqueras. En una de las localizaciones donde aparecieron dichos defectos, al verter agua se observó que se filtraba hacia el interior de la masa de hormigón, lo que hizo suponer que podría existir alguna anomalía destacable relacionada con la falta de compacidad o integridad del hormigón en dicha localización.

Por todo ello, se definió una campaña de ensayos para intentar localizar la presencia de defectos de compacidad ocasionados durante el proceso de puesta en obra del hormigón (adicionales a los ya detectados superficialmente), o descartar la existencia de anomalías en zonas internas del pedestal de la citada cimentación no detectables exteriormente.

Dado que estos defectos “evidentes” se encontraban en una zona muy localizada del pedestal, esta fue designada como “zona con defectos”.



Figura 4. Detalle de la zona estudiada “con defectos”

El resto del perímetro del pedestal fue inicialmente designado como “zona sin defectos”.



Figura 5. Detalle de una de las zonas estudiada “sin defectos”

Se realizó una extensa campaña de medidas de forma comparativa entre ambas áreas, que tenían la misma sección y densidad de armado. Esto permitió poder evaluar la integridad del hormigón en ambas zonas a partir del análisis comparativo de los resultados obtenidos en cada una, considerando que en una de ellas había constancia de defectos evidentes. Previamente a la realización de las actividades descritas anteriormente, se procedió a realizar un replanteo de las localizaciones donde se iban a efectuar las campañas de medida para los ensayos no destructivos.



Figura 6. Realización de ensayos de Impacto-Eco

A continuación se exponen los resultados obtenidos en las medidas efectuadas:

Tabla 1. Medidas de Impacto-Eco efectuadas horizontalmente en el pedestal

MEDIDAS REALIZADAS SOBRE LA PARED EXTERIOR DEL PEDESTAL (cm) (A 27, 37, 47, 57 Y 67 cm DESDE LA CORONACIÓN DEL PEDESTAL)						
Localización	Tipo de hormigón	C50/60				C35/45
		A 27 cm	B 37 cm	C 47 cm	D 57 cm	E 67 cm
ZONA "CON DEFECTOS"	1	233	233	233	233	210
	1,5	233	233	233	233	298
	2	233	233	233	204	290
	2,5	233	204	233	233	298
	3	233	233	204	204	287
	4	251	233	233	181	290
	5	233	233	233	233	290
	6	233	233	204	204	196
	7	233	233	233	204	196
	8	233	204	233	233	287
ZONA "SIN DEFECTOS"	9	233	233	233	233	287
	10	233	233	233	233	298
	11	233	233	233	233	298
	12	233	233	233	204	169
	13	233	233	233	233	298
	14	259	259	235	258	298
	15	222	261	259	259	298
	16	259	259	259	259	298
	17	252	235	235	235	298
	18	259	235	204	235	298
	19	259	228	235	259	298
	20	281	222	259	259	298
	21	222	259	259	259	298
	22	252	252	261	252	298
	23	259	228	228	259	277
	24	259	235	228	259	152
	25	259	259	235	228	287
	26	252	235	235	235	298
	27	259	228	235	235	277
	28	259	228	235	235	298
	29	259	259	259	250	298
	30	233	233	222	233	277
	31	233	204	235	235	298
	32	235	235	235	216	298
	33	228	235	235	235	196
	34	235	269	235	235	298
	35	235	235	216	250	287
	36	228	259	235	235	298
	37	216	250	235	235	287
	38	277	277	277	277	298

Tabla 2. Medidas de Impacto-Eco efectuadas verticalmente en el pedestal

MEDIDAS REALIZADAS SOBRE LA SUPERFICIE DEL PEDESTAL (cm) (A APROXIMADAMENTE 55 cm DESDE EL FRENTE DEL PEDESTAL, JUNTO A LAS VAINAS DE PRETENSADO)		
Localización	A $\approx$ 55 cm	
ZONA "CON DEFECTOS"	1	251
	1,5	218
	2	218
	2,5	251
	3	233
	4	251
	5	251
	6	251
	7	251
	8	251
ZONA "SIN DEFECTOS"	9	233
	10	204
	11	218
	12	233
	13	218
	14	250
	15	250
	16	259
	17	259
	18	259
	19	250
	20	250
	21	235
	22	259
	23	259
	24	216
	25	243
	26	250
	27	216
	28	235
	29	243
	30	235
	31	298
	32	235
	33	235
	34	268
	35	277
	36	268
	37	235
	38	235



Una vez realizadas todas las medidas indicadas en las localizaciones citadas previamente, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las características de compacidad e integridad del hormigón interno ejecutado en la zona del pedestal de la cimentación del aerogenerador, que presentaba defectos superficiales, identificada como zona “con defectos”, fueron similares y equivalentes a las del hormigón interno de la zona identificada por el Peticionario como zona “sin defectos”.
- Los resultados de las medidas obtenidas en los ensayos no destructivos efectuados en el pedestal, tanto en las realizadas horizontalmente como en las realizadas en vertical, correspondían a valores compatibles con los de un medio continuo y sin ningún tipo de defecto interno como coqueras, huecos o delaminaciones significativas. Todos los resultados fueron muy similares y homogéneos, tanto los obtenidos en la zona identificada como “con defectos” como en la zona identificada como “sin defectos”.
- Del mismo modo, los resultados de las medidas obtenidas en los ensayos no destructivos efectuados en el anillo perimetral, alrededor del pedestal, también se correspondían con los característicos de un medio continuo y sin ningún tipo de defecto interno de compacidad o integridad del hormigón.

3.2 Estudio de integridad del hormigón de una pila de un viaducto

En este caso la campaña de ensayos tuvo por objeto evaluar la existencia de anomalías relativas a falta de integridad o de compacidad del hormigón interior de una de las pilas de un viaducto en construcción. Tras la ejecución de esta pila, en el arranque de una de sus caras se observó que las armaduras habían quedado prácticamente sin recubrimiento y la presencia de múltiples coqueras y oquedades,

probablemente debido al reducido espaciado entre barras de la capa más exterior y a la elevada densidad de armado, entre otros posibles factores, como pudiera ser una inadecuada consistencia del hormigón vertido.



Figura 7. Estudio de integridad del hormigón de una pila de un viaducto mediante END.

Con el fin de detectar posibles defectos de compacidad originados durante la puesta en obra del hormigón (además de los observados superficialmente) o descartar la presencia de anomalías internas no visibles externamente, se estableció una extensa campaña de ensayos.

La geometría de la pila, con dos brazos simétricos, fue dividida en una “zona con defectos” (correspondiente al brazo izquierdo en sentido ascendente del p.k.) y una “zona sin defectos” (correspondiente al brazo derecho en el mismo sentido). Esto permitió intervenir en ambos brazos y realizar una evaluación comparativa de los resultados en cada zona, facilitando así un análisis más completo de las posibles variaciones estructurales.

En las fotografías que se muestran a continuación puede observarse el estado de la pila cuando se llevó a cabo la campaña de ensayos. En estas fechas ya se había procedido al saneado de las zonas exteriores que presentaban anomalías como paso previo a los trabajos de reparación:



Figura 8. Aspecto general de la pila



Figura 9. Aspecto general de la pila, brazo de la margen izquierda (con defectos)

Previamente a la realización de las actividades descritas anteriormente, se procedió a realizar un replanteo de las localizaciones donde se iban a efectuar las medidas de las campañas de ambos ensayos no destructivos.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las medidas realizada

Tabla 3. Medidas de Impacto-eco

LOCALIZACIÓN	ESPESOR HORMIGÓN N (cm)	CROQUIS DE LAS LOCALIZACIONES DE MEDIDA	LOCALIZACIÓN	ESPESOR HORMIGÓN N (cm)
1A	134		1A	129
2A	122		2A	129
3A	122		3A	127
4A	132		4A	118
5A	132		5A	146
1C	132		1C	129
2C	132		2C	127
3C	124		3C	127
4C	132		4C	129
5C	132		5C	127
1E	132		1E	127
2E	122		2E	127
3E	132		3E	127
4E	132		4E	116
5E	132		5E	118
1A	192		1A	190
2A	180		2A	175
3A	180		3A	180
4A	180		4A	180
5A	180		5A	190
1C	195		1C	190
2C	190		2C	190
3C	190		3C	180
4C	180		4C	180
5C	175		5C	175
1E	195		1E	190
2E	190		2E	190
3E	190		3E	190
4E	190		4E	190
5E	175		5E	190

(1) En la cara exterior de la zona "con defectos" (brazo margen izquierda), el espesor obtenido en los ensayos de Impacto-Eco es algo inferior que el de su simétrico debido a que la mayor parte del espesor de recubrimiento de la zona con anomalías había sido saneada y se había eliminado como paso previo a los trabajos de reparación.

El estudio comparativo de las medidas obtenidas en los ensayos de Impacto-eco efectuados en zonas simétricas de sendos brazos de la pila, puso de manifiesto resultados compatibles con un medio continuo y sin ningún tipo de defecto interno destacable. Todos los resultados fueron muy similares, sin distinción

entre los valores obtenidos en ambos brazos de la pila (zona “con defectos” y “sin defectos”)

Como conclusiones más reseñables de este estudio se pueden citar las siguientes:

- Las características de compacidad e integridad del hormigón interno ejecutado en el brazo de la margen izquierda de la pila que presentaba defectos superficiales muy extendidos son similares y equivalentes a las del hormigón interno del brazo de la margen derecha identificada por el Peticionario como zona “sin defectos”.
- Los resultados de las medidas obtenidas en los ensayos no destructivos efectuados en zonas simétricas de sendos brazos de la pila ponen de manifiesto resultados compatibles con un medio continuo y sin ningún tipo de defecto interno como coqueras, huecos o delaminaciones.

3.3 Estudio de integridad del hormigón de la losa superior del tablero en distintos viaductos

Otra modalidad en la que se ha empleado la metodología de impacto-eco ha sido para el estudio y búsqueda de defectos asociados a delaminaciones en las losas postesadas de viaductos durante su vida en servicio. Se han estudiado ocho viaductos repartidos por la geografía española al objeto de detectar la existencia de fisuras o delaminaciones en la zona de los mamparos.

En estos casos, al ser en todos los casos una tipología de tablero muy similar, la zona de estudio mediante medidas de impacto-eco se concentró en la losa superior de las dovelas de mamparo de cada uno de los vanos del tablero de los ocho viaductos objeto de análisis.

En estos casos todas las medidas fueron realizadas desde el interior del cajón midiendo desde la cara inferior de la losa y sobre la vertical del trazado de los cables superiores de pretensado, a aproximadamente 15, 40 y 50 cm

desde el frontal del interior del mamparo, de cada uno de los dos tableros del viaducto.

El espesor teórico de la losa en las zonas de medida estaba comprendido entre 25 y 30 cm, aproximadamente.



Figura 12. Realización de ensayo in situ

En estos casos en los que se realizaron medidas desde el interior, al existir una capa de firme (aglomerado) de espesor elevado, que además estaba sólidamente adherida sobre el hormigón de la losa superior de la dovela, las medidas resultaron menos precisas o fiables que si las medidas se hubieran efectuado desde la cara superior de la losa, pero esto hubiera obligado al fresado previo de la capa de firme hasta conseguir una superficie de hormigón plana y lisa donde realizar las medidas. La presencia de estos recubrimientos alterando el espesor real del elemento es una limitación inherente con el fundamento físico del propio ensayo y, en estos casos, puede condicionar la precisión de las medidas y en este caso hizo especialmente compleja la interpretación de los resultados obtenidos.

A modo ejemplo, a continuación se exponen dos casos, uno en el que la totalidad de las medidas arrojaron resultados de los cuales podía concluirse que no existían discontinuidades, oquedades ni delaminaciones (planos de fisuración perpendiculares a la dirección de medida) y otro en el cual se confirmó efectivamente que había localizaciones en las que los resultado de los ensayos pudieran resultar indicativos de la presencia de fisuras o anomalías en localizaciones muy esporádicas.

Tabla 4. Medidas de Impacto-eco en las que aparentemente no se detectaron defectos en el hormigón

Localización	MEDIDAS REALIZADAS (cm)					
	C1 - C2			C3 - C4		
	15 cm	40 cm	50 cm	15 cm	40 cm	50 cm
Mamparo 1 V1 (Est. 1)	27,4	26,6	26,0	29,9	26,6	25,4
Mamparo 2 V1 (Pila 1)	27,4	26,6	26,0	28,0	27,4	27,0
Mamparo 1 V 2 (Pila 1)	31,3	29,8	26,7	31,3	27,2	26,6
Mamparo 2 V 2 (Pila 2)	30,0	29,2	27,9	29,2	26,6	25,4
Mamparo 1 V 3 (Pila 2)	32,4	28,1	26,0	34,2	31,4	30,4
Mamparo 2 V 3 (Pila 3)	32,2	29,0	25,5	32,7	27,6	26,0
Mamparo 1 V 4 (Pila 3)	28,0	26,6	26,0	32,9	27,2	26,6
Mamparo 2 V 4 (Pila 4)	34,4	30,0	26,5	33,5	30,7	27,0
Mamparo 1 V 5 (Pila 4)	27,7	26,6	24,7	29,0	27,0	26,0
Mamparo 2 V 5 (Pila 5)	32,9	29,8	27,3	32,0	30,1	27,9
Mamparo 1 V 6 (Pila 5)	29,3	27,7	27,2	30,1	28,4	26,4
Mamparo 2 V 6 (Pila 6)	32,7	30,9	30,9	30,4	26,6	26,0
Mamparo 1 V 7 (Pila 6)	28,7	26,0	24,8	29,6	27,3	26,0
Mamparo 2 V 7 (Pila 7)	32,4	32,0	31,2	30,2	28,4	27,3
Mamparo 1 V 8 (Pila 7)	33,9	32,2	26,6	32,2	31,3	27,8
Mamparo 2 V 8 (Pila 8)	32,0	29,7	26,0	33,7	32,0	29,0
Mamparo 1 V 9 (Pila 8)	33,0	28,4	26,5	28,1	27,7	26,6
Mamparo 2 V 9 (Pila 9)	28,7	27,3	24,8	28,0	25,4	24,8
Mamparo 1 V 10 (Pila 9)	28,9	26,4	24,6	28,9	28,4	26,4
Mamparo 2 V 10 (Est. 2)	27,7	26,6	26,0	28,1	26,7	24,8

Tabla 5. Medidas de Impacto-eco en las que aparentemente se detectaron defectos

Localización	MEDIDAS REALIZADAS (cm)					
	C1			C2		
	15 cm	40 cm	50 cm	15 cm	40 cm	50 cm
Mamparo 1 V 1 (est.)	31,3	28,1	22,3	22,1	30,9	20,3
Mamparo 2 V 1 (pila 1)	24,3	28,1	30,6	21,7	28,1	30,9
Mamparo 1 V 2 (pila 1)	24,6	24,2	23,9	24,6	24,2	27,4
Mamparo 2 V 2 (pila 2)	23,5	32,6	24,2	24,6	24,6	24,2
Mamparo 1 V 3 (pila 2)	23,5	24,2	24,2	24,2	21,6	24,6
Mamparo 2 V 3 (pila 3)	23,9	23,4	24,6	24,8	24,2	24,2
Mamparo 1 V 4 (pila 3)	24,8	24,4	24,2	17,8	24,8	31,2
Mamparo 2 V 4 (pila 4)	31,2	19,3	26,0	26,6	25,8	25,2
Mamparo 1 V 5 (pila 4)	25,6	25,6	13,7	26,4	25,8	25,8
Mamparo 2 V 5 (pila 5)	25,8	25,8	25,6	25,4	26,0	26,2
Mamparo 1 V 6 (pila 5)	26,0	26,4	26,2	26,4	25,8	25,8
Mamparo 2 V 6 (est)	24,4	25,0	24,4	24,0	24,6	24,0

NOTA: En la tabla se han señalado en color rojo aquellas localizaciones donde los resultados del ensayo eran indicativos de la existencia de un plano de fisuración (u otra anomalía significativa).

4. Análisis de limitaciones del método

Seguidamente se describen las limitaciones existentes para una correcta interpretación de los resultados al realizar un estudio mediante la técnica expuesta.

- Una de las principales limitaciones en la medición es el estado de la superficie del hormigón sobre el que se va a realizar las medidas. Dado que el método es sensible a las condiciones

superficiales, es crucial que la superficie esté limpia y lo más lisa posible para obtener una medición precisa. A menudo, encontramos revestimientos sobre el hormigón, como aplacados, azulejos o el propio aglomerado en el caso de un tablero de un puente. En estos casos, es ineludible retirar completamente cualquier revestimiento y limpiar la superficie para asegurar la fiabilidad de los resultados.

- Se debe tener en cuenta que la técnica no permite registrar las anomalías que se encuentren situadas en una profundidad inferior a 8-10 cm desde la superficie exterior del hormigón sobre la que se efectúa el ensayo, puesto que el rango de detección del equipo está comprendido entre 8 y 180 cm.
- Para poder llevar a cabo la campaña de ensayos es imprescindible disponer de información de un espesor conocido de la misma tipología del hormigón que se quiera medir y que a priori se admita que no presenta ningún defecto. Es un requisito al objeto de poder calibrar el equipo, puesto que sin esa cuantificación previa no es posible realizar las medidas en el resto de zonas en las que se quiera evaluar la integridad del hormigón.

5. Conclusiones

Cara a contrastar la validez de los END y poder verificar la existencia o no de anomalías, en el hormigón (asumiendo las limitaciones expuestas anteriormente) para poder concluir un estudio mediante el empleo de esta técnica, es necesario la extracción de probetas testigo, u otras técnicas de carácter destructivo en algunas de las localizaciones auscultadas, con el fin de corroborar físicamente el estado del hormigón en el interior.

- En el primero de los casos expuestos (3.1) no fue posible la calibración del método mediante ensayos destructivos, lo que conllevó a no poder concluir el estudio.
- En la pila del viaducto (3.2), se extrajeron tres probetas testigo, a continuación, se muestra la localización de las mismas:

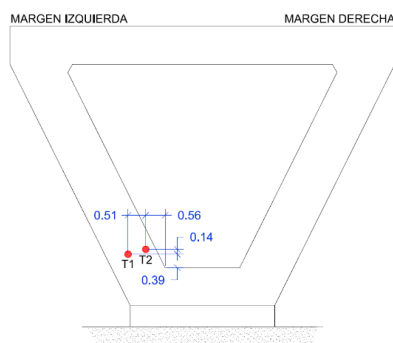


Figura 10. Zona de extracción de los testigos T1 y T2

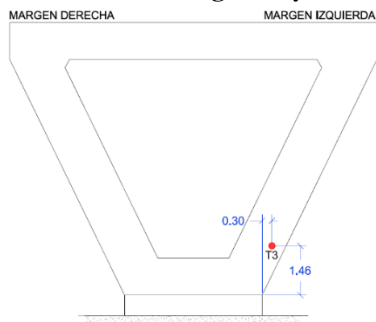


Figura 11. Zona de extracción del testigo T3

Los tres testigos extraídos confirmaron que el hormigón en esas zonas no presentaba ninguna anomalía reseñable y que el hormigón de ambas zonas de la pila era análogo.

En el examen visual de la porción interior de los testigos extraídos en el brazo de la margen izquierda correspondientes a zonas “con defectos” exteriores no se observó ni ningún tipo de discontinuidad interna.

- En el caso de las losas de los viaductos (3.3), los testigos extraídos confirmaron que en algunas localizaciones muestreadas el hormigón no presentaba ninguna anomalía reseñable:

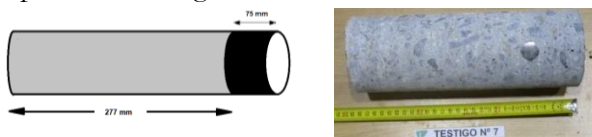


Figura 12. Ejemplo de probeta testigo extraída que confirma que no existen defectos en el hormigón

- Sin embargo, en otros casos confirmaron que en localizaciones en las que aparentemente el equipo no detectaba ninguna delaminación si se confirmó que había defectos en el hormigón, no obstante este caso estaba estrechamente ligado a la limitación antes mencionada con respecto al estado superficial:



Figura 13. Ejemplo de probeta testigo extraída que confirma la existencia de fisuras en el hormigón

Referencias

- [1] M. J. Sansalone and W. B. Streett, “Impact-Echo: Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry,” Bullbrier Press, Jersey Shore, PA, (1997)
- [2] M. L. Valenzuela, M. J. Sansalone, W. B. Streett and C. L. Krumhansl, “Use of sound for the interpretation of impact-echo signals,” In Proceedings of the 4th International Conference on Auditory Display, Palo Alto, CA, USA, (1997)
- [3] ASTM C1383-15R22 “Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method.
- [4] C. Hsiao, C. C. Cheng, T. Liou and Y. Juang, “Detecting flaws in concrete blocks using the impact-echo method,” NDT & E international, (2008)
- [5] Malhotra, V.M., Carino, N.J. Handbook on nondestructive testing of concrete 2nd edition, (2004)
- [6] Maierhofer, C. Non-destructive testing of concrete material properties and concrete structures. Cement and concrete compositions. (2006)
- [7] Carino, N. The Impact-Echo Method: An Overview. Structures Congress & Exposition: American Society of Civil Engineers. (2001).
- [8] M. J. Sansalone and N. J. Carino, “Impact-Echo: A Method for Flaw Detection in Concrete Using Transient Stress Waves,” National Bureau of Standard, Gaithersburg, MD, USA, (1986)
- [9] J. Fernández Gómez; G. González Isabel; F. Hostalet Alba; J. Ley Urzáiz; J. Mª Izquierdo y B. de Quirós. Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón Ensayos no destructivos y pruebas de carga.
- [10] Carino, N.J., Sansalone, M. Flaw Detection in Concrete Using the Impact-Echo Method. In: Nowak, A.S. (eds) Bridge Evaluation, Repair and Rehabilitation (1990).