

Influencia de la localización geográfica en estructuras de hormigón¹

Influence of geographic location in concrete structures

Influência da localização geográfica em estruturas de concreto

Jesús Herminio Alcañiz Martínez²
Javier Senent-Aparicio³
Miguel Louis Cereceda⁴
Francisco José Sánchez Medrano⁵

Resumen

Es muy importante considerar la localización geográfica de un edificio a la hora de realizar su chequeo estructural. Para ello, en este estudio se ha utilizado la conocida técnica de chequeo estructural basada en la correlación de resultados entre la velocidad de ultrasonidos (V) y la resistencia a compresión (R), obtenidas de las probetas testigo extraídas en elementos estructurales de hormigón armado. Para analizar la influencia de la localización geográfica de la estructura, se ha realizado el presente trabajo clasificando los edificios estudiados en función de su distancia a la costa y atendiendo las indicaciones de la instrucción EHE, es decir, utilizando una distancia de referencia de 500 m que permita ordenar los casos estudiados en función de dicha distancia. Como conclusión se puede afirmar que las estructuras más cercanas a las costas marinas están más influenciadas por el medio ambiente, lo que influye en gran manera en la calidad del hormigón de sus estructuras. Esta situación queda demostrada con el resultado de la investigación llevada a cabo, en el que se han analizado 185 casos reales. Para los más cercanos, se justifica estadísticamente la necesidad de su reparación-refuerzo en función de los

¹ Artículo de investigación

² Universidad Católica de Murcia, España, Contacto: jalcaniz@ucam.edu.es

³ Universidad Católica de Murcia, España, Contacto: jsenent@ucam.edu.es

⁴ Universidad de Alicante, España, Contacto: miguel.louis@ua.es

⁵ Universidad Católica de Murcia, España, Contacto: fjsanchez@ucam.edu.es

resultados que arroje este chequeo y los resultados de correlación velocidad ultrasonidos-compresión en probetas testigo.

Palabras clave: estructura, hormigón, resistencia a compresión, durabilidad, localización.

Abstract

It is very important to consider the geographic location of a building when performing structural check. Therefore, in this study we have used a technique called structural check based on the correlation of results between the ultrasound velocity (V) and compressive strength (R) obtained from the control samples taken in structural reinforced concrete elements . To analyze the influence of the geographic location of the structure, has made this work classifying the buildings studied in terms of their distance from the coast and following the instructions on the EHE instruction, ie, using a reference distance of 500 m order to allow the case studies based on this distance. In conclusion we can say that the closest structures to the shoreline are more influenced by the environment, which greatly influences the quality of concrete structures. This is demonstrated by the result of the research conducted, which used 185 real cases. To the nearest, is statistically justified the need for repair-reinforcement based on the results produced this check and the results of ultrasound-speed compression control specimens correlation.

Keywords: structure, concrete, compressive strength, durability, location.

Resumo

É muito importante considerar a localização geográfica de um edifício Ao realizar verificação estrutural. Portanto, neste estudo informações que usamos uma técnica chamada de verificação estrutural com base na correlação de resultados entre a velocidade ultra-som (V) e resistência à compressão (R) obtidos a partir de amostras de monitoramento tomadas em elementos estruturais de concreto armado. Para analisar a influência da localização geográfica da estrutura, você fez esse trabalho Classificando os edifícios estudados em termos de sua distância da costa e seguir as instruções na instrução EHE, ou seja, usando uma distância de referência de 500 m para permitir que o estudos de casos baseado nesta distância. Em conclusão, podemos dizer que as estruturas mais próximas da linha de costa são mais influenciados pelo ambiente, Opaco Greatly influencia a qualidade das estruturas de concreto. Isso é demonstrado pelo resultado da

pesquisa realizada, Que você usou 185 casos reais. Para o mais próximo, justifica-se estatisticamente a necessidade de reparo, reforço com base nos resultados produzidos este cheque e os resultados de compressão ultra-som velocidade amostras de controlo de correlação.

Palavras-chave: estrutura, de concreto, resistência à compressão, durabilidade, localização..

Introducción

Hasta ahora, para la estimación de las resistencias en compresión del hormigón se había investigado sobre distintas técnicas y se habían planteado numerosas correlaciones entre sus resultados. La mayor parte de estas investigaciones se habían llevado a cabo en un entorno de laboratorio y especialmente, con la extracción de probetas testigo, comparando los resultados con valores de ensayos realizados como resultado de la toma de muestras de hormigón fresco (Gómez y Vidal, 2006). Otras investigaciones han teniendo en cuenta el tipo de árido, con distintas dosificaciones, con variación de temperaturas, etc. (Vera et al., 2009).

El presente trabajo, sin embargo, analiza los distintos resultados de ensayos y la relación existente entre la resistencia de las probetas testigo de hormigón curadas en laboratorio (R) y las velocidades de ultrasonidos (V) en elementos estructurales de hormigón armado, en casos de estructuras reales de edificación. No se trata por tanto de probetas realizadas en laboratorio, sino extraídas de elementos de hormigón armado en estructuras ya ejecutadas, y se ha procedido posteriormente a su ensayo a compresión simple para obtener la resistencia real del hormigón en la pieza ensayada. La aplicación del método de ultrasonido está basada en la

correlación entre las propiedades del hormigón y la velocidad de propagación de las ondas longitudinales. Se ha estudiado la relación entre la velocidad de propagación y la resistencia del hormigón en probetas testigo y poder así obtener la mejor correlación entre ambas medidas.

Sus resultados no presentan a veces la uniformidad deseada, dada la influencia de varios factores, como diámetro de la probeta, altura y dirección de la extracción, condiciones de curado del hormigón, tipología de los áridos, presencia de armaduras, condiciones superficiales, temperatura ambiente, etc. Para reducir esta falta de uniformidad y conseguir una mayor fiabilidad en los resultados, se han conseguido unas expresiones matemáticas y unas rectas-curvas de regresión que facilitan la toma de decisiones de los técnicos, usuarios de estas herramientas de chequeo estructural, para su uso en la evaluación de la seguridad estructural-peritaciones.

Metodología

Se ha desarrollado el trabajo según un programa de investigación, en el que se ha actuado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se trabaja con datos obtenidos exclusivamente de estructuras reales de hormigón armado, procedentes de obras situadas en el arco mediterráneo.
- Se ha trabajado con 185 valores de probetas testigo y más de dos mil lecturas de valores de velocidad de ultrasonidos.
- Se han aplicado las necesarias herramientas técnicas estadísticas para el tratamiento de los resultados.
- Se han discutido los resultados obtenidos y se han cotejado con otros resultados de otros procesos de ensayos en estructuras existentes.
- Se han trabajado con estructuras de distintas características, identificadas como:
 - L1: a menos de 500 m de la costa (L1).
 - L2: a más de 500 m de la costa (L2).

Figuras 1.

Proceso de realización del ensayo de comprobación de velocidad de ultrasonidos con un ultrasonic tester en un elemento de hormigón armado objeto de investigación



Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

En este apartado se procede a plantear, analizar y discutir los resultados obtenidos en el proceso de investigación, destacando:

- Del tratamiento estadístico llevado a cabo, se obtienen distintos “valores descriptivos” para la muestra total final seleccionada (180 probetas testigo), que se presentan de forma resumida en la tabla 1:

Tabla 1.
Valores descriptivos obtenidos

Valores descriptivos							
Muestra (subpoblaciones)	N.º de valores	Media		Mediana (cuartil 2)		Desviación típica	
VARIABLES MEDIDAS (R y V)		R	V	R	V	R	V
Global (totales)	180	16.93	3.441	15.40	3.535	7,92	548
Localización 1 (L1)	138	15.96	3.387	14.80	3.466	7,11	519
Localización 2 (L2)	42	20.10	3.619	22.20	3.747	9.57	603

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados son “reales” solo para las piezas analizadas, y por lo tanto no son extrapolables al resto de la población no analizada. Por ello, se proponen los modelos de correlación R-V más adecuados para cada una de las subpoblaciones estudiadas y que se discuten más adelante.

- Estos valores analizados para los 180 elementos estudiados seleccionados se obtienen tras la eliminación de los distintos valores *outlier* o extremos. De esta forma, no se afecta la muestra original de los datos disponibles, consiguiéndose una gran fiabilidad en el resultado por discutir (Murphy y Lau, 2008).
- En el análisis exploratorio se obtiene (tabla 1) una serie de valores para resistencia (R) y para velocidad (V), de los que se interpreta que:
 - Los valores medios de resistencia para los subgrupos de localización-situación 2 ($R = 20.10 \text{vN/mm}^2$) son

los más altos por encima de la media global ($R = 16.93 \text{ N/mm}^2$).

- Los mismos valores de los subgrupos de localización 1 ($R = 15.96 \text{ N/mm}^2$) están por debajo de la citada media global ($R = 16.93 \text{ N/mm}^2$).
- Las mismas situaciones se reproducen en los valores de velocidades (V).
- En cuanto a la mediana (cuartil 2-50 % de los casos-valores), se repite la situación de forma mimética.
- Respecto de la desviación típica obtenida, en todos los casos aparecen valores muy cercanos tanto en resistencia como en velocidad, lo que confirma la escasa dispersión de los valores obtenidos.
- De esta exposición de resultados se pueden plantear algunas ideas para la discusión:
 - La menor resistencia respecto de la normativa existente en todos los casos estudiados se justifica porque los datos obtenidos corresponden a edificios “con problemas

estructurales” de uno u otro tipo, que requieren el chequeo-auscultación estructural.

- Los valores de resistencia en edificios en la costa se justifican porque están más afectados por la presencia medioambiental.
- Por otra parte, tanto en los valores de resistencia (R) como los de velocidad (V) se cumple la hipótesis de normalidad, dado que el p-valor (0.125 para R y 0.296 para V) es

superior a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula de normalidad de la variable, lo que significa que las diferencias entre las frecuencias observadas en los datos y las teóricas, bajo el supuesto de normalidad, son pequeñas, pudiendo ser debidas a la aleatoriedad de la muestra. Se considera, por tanto, una muestra que responde a un perfil de normalidad en la curva de Gauss (Hempel, 1988).

Figura 2.

Proceso de extracción de una probeta testigo de hormigón, tras la realización del ensayo mediante ultrasonidos. Véase la corona de diamante para la extracción y el orificio que deja la actuación



Fuente: Elaboración propia.

- Se obtienen correlaciones (r) entre los valores de resistencia (R) y de velocidad (V), que se identifican en la tabla 2:

Tabla 2.
Fiabilidad de las correlaciones

Muestra	r	p-valor
Global (todas las estructuras)	0.677	0.0000
Localización 1 (L1)	0.616	0.0000
Localización 2 (L2)	0.773	0.0000

Fuente: Elaboración propia.

Dado el p-valor (0.000) en todos los casos, se confirma la existencia de una correlación positiva (a más velocidad, más resistencia) y significativa, por lo que no corresponde a fenómenos debidos al azar (Chambers, Cleveland, Kleiner y Tukey, 1983).

Dado que cuanto mayor sea el valor de r mejor es el ajuste de la correlación, se confirma que es más fiable la correlación de R y V en edificios de localización 2 (L2), que corresponde a edificios más alejados de la costa. Y es menor la confianza en edificios con estructura de hormigón situados más cerca de la costa (localización 1), por tanto más afectados por su situación medioambiental relacionada con la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.

- Analizando los datos de los que se disponen y aplicando la técnica Anova (Massart et al., 1997) a los valores de las variables resistencia (R) y velocidad (V) para los dos factores de localización (L1 y L2) de las estructuras de hormigón por analizar, se confirma la diferencia significativa entre los valores medios de velocidades (V) y de resistencias (R) entre las estructuras a más y a menos de 500 m de la playa (con una significación o p-valor de 0.000).
- Una vez confeccionadas las curvas y rectas de regresión y sus correspondientes expresiones matemáticas (regresión cuadrática y regresión lineal, respectivamente), se obtienen modelos distintos, uno para cada subpoblación, con el poder explicativo de cada modelo.

Figura 3.

Dos detalles del proceso de ensayo de probetas testigo de hormigón, tras su extracción, tallado y refrentado. Véase el trazado de las grietas que presenta el proceso de rotura.



Fuente: Elaboración propia.

En todos los casos queda de manifiesto que la regresión cuadrática es más fiable que la regresión lineal, dado que el coeficiente de poder explicativo (R^2) es mayor en todos los casos respecto de la regresión lineal para cada una de las subpoblaciones estudiadas (Belsey, Kuh y Welsch, 1980).

- Se exponen algunas otras consideraciones y discusiones respecto del análisis de los datos:
 - En caso de igualdad de R^2 (poder explicativo), se recomienda el uso del modelo más simple (principio de parsimonia), por tanto, se utilizará la regresión lineal. No es este el caso, por lo que utilizaríamos la regresión cuadrática.
 - En cuanto a la situación-localización de la estructura, el modelo se ajusta

mejor a los edificios situados más lejos de la costa ($R^2 = 0.630$), menos afectados por el ambiente (L2).

- Como discusión de resultados, teniendo en cuenta lo expuesto en la bibliografía consultada, se plantean otras alternativas en función de los resultados de esta investigación. En ese sentido, como se ha podido constatar, en la bibliografía nacional (EHE, 2008) e internacional (IAEA, 2002) aparece una tabla de valores tipo correlación de resultados para la “clasificación de la calidad del hormigón” en función de los valores de velocidad de propagación de ultrasonidos (como se ve, no se contemplan valores de resistencia en compresión), lo que introduce un claro factor de “subjetividad”, totalmente inadecuado en este tipo de trabajos de investigación.

Tabla 3.
Clasificación de calidad del hormigón

Velocidad propagación (m/s)	Calidad del hormigón
>4.500	Excelente
3500-4500	Bueno
3000-3500	Aceptable
2000-3000	Deficiente
<2000	Muy deficiente

Fuente: IAEA (2002)

Como aportación de este trabajo de investigación, y para una futura propuesta normativa, se complementa y mejora el contenido de la tabla 3 con un mayor espectro de “niveles de calidad del hormigón” y se incorporan los valores estimados de

resistencias medias (R) que se pueden obtener en función de las velocidades ultrasónicas dadas (V), para cada tipología de estructura por ensayar, con las variables de localización 1 y 2 (L1 y L2):

Tabla 4.
Propuesta de clasificación del hormigón

Propuesta de clasificación de calidad del hormigón			
Tabla de correlación de resultados (con velocidad y resistencia)			
Velocidad ultrasonidos (m/s)	Calidad del hormigón (**)	Resistencias medias (N/mm ²) (valor esperado)	
		Localización	
		L1	L2
> 4500	Excelente	> 21	> 36
4000-4500	Muy bueno	13-21	26-36
3500-4000	Bueno	8-13	19-26
3000-3500	Aceptable	6-8	13-19
2500-3000	Dudoso	(*)	9-13
2000-2500	Deficiente	(*)	8-9
<2000	Muy deficiente	(*)	< 8

(*) Valores no congruentes obtenidos de la fórmula de regresión cuadrática
(**) Denominación de la calidad del hormigón.

Fuente: IAEA (2002)

Se confirma que las correlaciones “más certeras” son las correspondientes a las estructuras localizadas a más de 500 m de la costa (L2).

Con este análisis estadístico, posterior interpretación de datos, su aplicación práctica, aplicación de las expresiones matemáticas y la representación gráfica, para cada uno de los modelos propuestos, para las distintas subpoblaciones que han sido objeto de estudio, se dispone de una eficaz herramienta para su uso en trabajos de peritación – evaluación estructural.

Conclusiones

Llegados a este punto, se procede a la exposición de aquellos aspectos de mayor interés, tras el proceso de investigación llevado a cabo, cuyo resultado final puede ser utilizado como base para el diagnóstico

estructural, la peritación y la toma de importantes decisiones, con una gran carga de responsabilidad, puesto que a partir de ahí el proyectista planteará las soluciones más adecuadas para resolver el problema de la estructura de hormigón armado objeto de actuación: reparación, refuerzo o cualquier otra intervención e incluso, si llegara el caso, la propia demolición del edificio.

Por todo ello, se está en disposición de emitir las conclusiones del presente trabajo, con el siguiente esquema:

- De los datos iniciales del proceso de investigación.
- En cuanto a la localización (L1 y L2).
- Resumen: tablas definitivas de correlación, propuesta de normativa.

A continuación, se desarrolla cada uno de estos aspectos, con carácter de conclusiones finales.

De los datos iniciales del proceso de investigación

Para la interpretación y discusión de los resultados obtenidos de los trabajos de chequeo estructural como inicio de una peritación-evaluación estructural es necesario tener en cuenta, entre otras, las siguientes circunstancias:

- Conocimiento profundo del proceso de ensayo, de sus resultados intermedios, cálculos matemáticos, análisis estadístico y su resultado final.
- Trazabilidad de los resultados (desde la inspección previa de la estructura, toma de datos, auscultación y encargo del ensayo, hasta la recepción del acta de resultados y su posterior interpretación).
- Realizar un minucioso análisis comparativo de los resultados obtenidos en distintas circunstancias, tipología, edad, etc., de la estructura estudiada.
- Analizar globalmente todos los resultados obtenidos en una misma campaña de ensayos sobre una misma estructura de hormigón armado.
- Realizar una rigurosa y justificada interpretación de los resultados obtenidos según una adecuada gestión documental y consulta bibliográfica.

Todo ello con una gran dosis de rigor que proporcionará la suficiente fiabilidad y credibilidad a la hora de emitir un informe

técnico-pericial (documentación oficial con la exposición de conclusiones y recomendaciones), puesto que de ahí se tomarán decisiones de gran calado y responsabilidad para el futuro comportamiento estructural del conjunto.

En cuanto a la localización geográfica del edificio (L1 y L2)

Tras una profunda investigación con los datos exclusivos de dos de las técnicas citadas (velocidad de ultrasonidos (V) y resistencia en compresión simple (R) en probetas testigos de hormigón y la pertinente correlación entre ambos grupos de resultados) y con el análisis de su comportamiento, estudios estadísticos realizados, interpretación de resultados para las variables L1, L2 independientes, implementación de expresiones matemáticas y aplicando distintas técnicas de interpretación, se emiten las siguientes conclusiones:

- Se confirman las conclusiones de anteriores trabajos de investigación llevados a cabo por algunos de los autores de este artículo con las técnicas de esclerometría/ultrasonidos y en lo relativo exclusivamente a la correlación de resultados de resistencia (R) en probetas testigo con velocidades de ultrasonidos (V).
- Se confirma la disponibilidad de gran cantidad de datos para el estudio-investigación, donde se alcanza 95 % de confianza en los resultados que se obtienen con las rectas y especialmente con las curvas de regresión dadas y con las denominadas bandas de confianza, que aparecen en las figuras expuestas.
- Se ratifica que el sistema de

correlación al que se ha llegado en este proceso de investigación es totalmente fiable para estructuras de hormigón armado, en cualquier estado de conservación, con las variables de localización L1 y L2.

- Queda demostrada una clara diferencia entre los valores de resistencia (R) y de velocidad (V) en las estructuras más cercanas a la costa respecto de las estructuras del interior, quedando patente la mayor afección a la calidad de los hormigones de las estructuras en las zonas costeras, en cuanto a las estructuras de hormigón ejecutadas en el interior, más alejadas de la costa (L1 y L2, respectivamente). En las estructuras cercanas a la costa, nos encontramos

con menores resistencias de hormigón, con valores medios de 15.98 N/mm², por debajo del valor medio obtenido en las más alejadas, de 20.10 N/mm². Esta situación avala la condición de mejora de durabilidad referida en la actual instrucción EHE-08, donde las especificaciones son más restrictivas por su condición de agresividad ambiental.

- Se proponen las siguientes fórmulas matemáticas (tabla 5) para los modelos de correlación propuestos entre las dos variables resistencia (R) y velocidad (V) para todas las estructuras analizadas y para los dos subgrupos de situación-localización (a más o menos de 500 m de la costa):

Tabla 5.
Propuesta de modelo de correlación

Para todas las estructuras: Resistencia media estimada = $50.529 - 0.032 * \text{Velocidad} + 0.000006286 * (\text{Velocidad})^2$
Situación-localización 1 (L1): Resistencia media estimada = $56.519 - 0.035 * \text{Velocidad} + 0.000006 * (\text{Velocidad})^2$
Situación-localización 2 (L2): Resistencia media estimada = $21.207 - 0.015 * \text{Velocidad} + 0.000004076 * (\text{Velocidad})^2$

Fuente: Elaboración propia.

Estas expresiones han sido calculadas por los métodos estadísticos citados, aplicando el software referido y posteriormente verificadas o testadas con un análisis matemático de los resultados.

- Con todo ello confirma su gran fiabilidad y especialmente las correlaciones cuadráticas para las distintas circunstancias estudiadas,

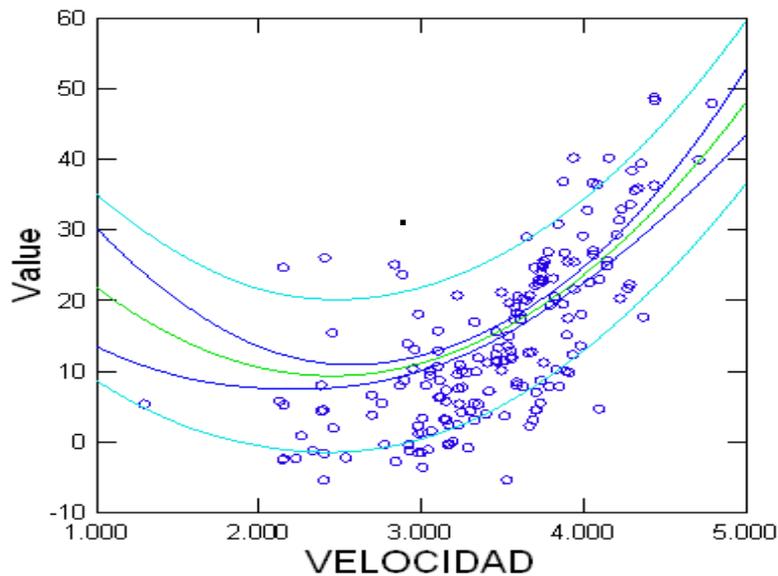
pudiendo ser directamente aplicadas —según los casos— para cualquier chequeo estructural.

- Se exponen las figuras curvas de regresión cuadrática para los distintos modelos estudiados, en los que de forma gráfica se pueden obtener valores de resistencia media en compresión de un elemento de hormigón, en función de la velocidad

de ultrasonido, para los distintos modelos analizados. Además, se aprecian las curvas con las que se han generado las franjas de mayor fiabilidad, denominadas bandas de confianza, en las que en todos los casos se encuentran los valores más probables de resistencia, de las piezas de hormigón armado objeto de chequeo, con 95 % de confianza. De todas estas figuras, se confirma que la curva recta de regresión coincide con las obtenidas y presentadas con anterioridad y responde a la expresión matemática del modelo propuesto para cada una de las subpoblaciones estudiadas (L1-L2).

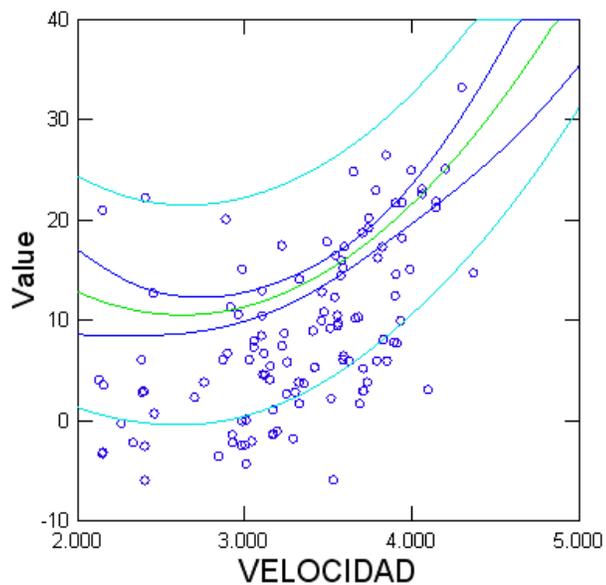
Se exponen las figuras de correlación-regresión cuadrática para los distintos modelos de estructura analizados, donde de forma gráfica se pueden obtener valores de resistencia media (R) de un elemento de hormigón, en función de la velocidad de ultrasonidos (V). De todas estas figuras se confirma que las curvas rectas de regresión coinciden con las obtenidas y presentadas con anterioridad y responden a la expresión matemática del modelo propuesto para cada una de las subpoblaciones estudiadas (estructuras tipo L1 y L2), para facilitar su aplicación concreta en cualquier análisis-peritaje, de cualquier elemento estructural, en cualquiera de las cuatro circunstancias analizadas, para cualquiera de las cuatro subpoblaciones investigadas.

Figura 4
Confidence and Prediction Intervals



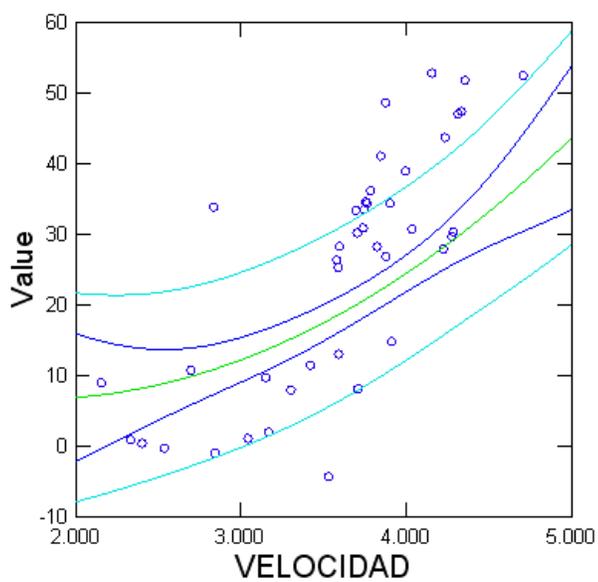
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.
Confidence and Prediction Intervals



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.
Confidence and Prediction Intervals



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se justifica el cumplimiento de los objetivos general y específico del presente trabajo de investigación, que pueden considerarse plenamente logrados, ya que se obtiene con éxito la información que se buscaba y su interpretación, facilitando la toma de decisiones en la evaluación de la seguridad estructural del elemento de hormigón armado, puesto que estos resultados ponen de manifiesto que la técnica de chequeo estructural y los sistemas de correlación de datos planteados pueden ser considerados como una herramienta totalmente fiable en la evaluación estructural, ya que los resultados de las correlaciones nos confirman su aptitud para el uso a que se destinan, pudiendo proporcionar excelentes resultados en una evaluación-peritación estructural para cualquier estructura de hormigón armado.

Se puede concluir también que en cuanto a otras consideraciones para reparar una estructura de hormigón armado utilizando materiales especiales del tipo resina epoxi o similares es necesario que el elemento por reparar presente una resistencia del hormigón mayor de 10 N/mm^2 , para garantizar la adecuada adherencia al soporte (Bresson, 1971). Analizados los datos estadísticos de la muestra total de esta investigación, se aprecia que en el percentil 25 se encuentra el valor de resistencia de 10.83 N/mm^2 . Esto indica que 25 % de los valores de la muestra estudiada están por debajo de esa resistencia, por lo que se puede aportar el dato de que 25 % de los pilares chequeados no podrían ser reparados utilizando estos productos especiales, por lo que se deberían plantear otros sistemas de reparación alternativos, basados fundamentalmente en refuerzos con elementos

metálicos u otros materiales sin adherencia especial al soporte.

Resumen: tabla definitivas de correlación, propuesta de normativa

Para finalizar se avanzan algunas ideas que confirman lo expuesto y que deben servir de reflexión al profesional técnico usuario de las citadas técnicas de investigación en chequeos estructurales:

- Es necesario que en todo proceso de investigación en chequeo estructural se tenga en cuenta la necesidad de conseguir una total fiabilidad, trazabilidad en los datos y sin duda credibilidad para el futuro usuario de los resultados, para el análisis-diagnóstico estructural.
- Se deberán tener en cuenta como base para la reflexión la interpretación de los resultados obtenidos y las conclusiones expuestas en cada caso previamente a la aplicación de cualesquiera de los métodos de chequeo estructural analizados y de la posterior aplicación en la peritación-evaluación estructural en los futuros casos concretos.
- No se debe olvidar tampoco que los resultados que se obtienen de los procesos de chequeo estructural suponen la base para la toma de decisiones de diagnóstico y peritación estructural, con las importantes responsabilidades que todo ello se derivan.
- El técnico especialista dispondrá con todo ello de una serie de herramientas y métodos de investigación muy adecuados para el chequeo del estado

actual de las estructuras de hormigón armado convencionales.

- Destacar la importante información que aporta la tabla 4 para las variables independientes de localización (L1 y L2). Véanse los distintos niveles de clasificación para la calidad el hormigón.

Se puede afirmar que con este trabajo de investigación se ha definido un claro procedimiento científico de análisis de los dos métodos de ensayo y de las herramientas necesarias para realizar un completo chequeo estructural para la obtención de los datos necesarios y su adecuada interpretación, facilitando información suficiente con el fin de realizar un análisis crítico de cómo se efectúan, de su alcance y fundamentalmente de su fiabilidad-nivel de confianza, dado que sus resultados van a suponer el soporte básico para el futuro análisis-diagnóstico-evaluación de seguridad-peritación estructural y finalmente la redacción del correspondiente proyecto de intervención estructural (refuerzo, reparación, demolición, etc.) con la responsabilidad que ello conlleva.

Se ha querido confeccionar este documento final de la investigación con un carácter eminentemente práctico, basado en un marco teórico, suficientemente experimentado, que facilite a los técnicos-especialistas-peritos estructurales del sector de la construcción el conocimiento más profundo de los dos citados métodos de auscultación-investigación en chequeos estructurales, en elementos-piezas de hormigón armado, su aplicación, fiabilidad y la interpretación final de sus resultados, así como generar un documento básico, apto para su divulgación, como actividad necesaria para llegar al

profesional-técnico usuario final, de forma directa y clara, facilitando su conocimiento y divulgación, también en el ámbito universitario.

En suma, se ha tratado de realizar un trabajo de investigación científica para su directa aplicación práctica. En definitiva, una transferencia de conocimientos y de resultados a la propia sociedad.

Referencias bibliográficas

- Belsey, D. A., Kuh, E. y Welsch, R. E. (1980). *Regression diagnostics*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B. y Tukey, P. A. (1983). *Graphical methods for data analysis*. Belmont, CA: Wadsworth International Group.
- España (2008). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). *Boletín Oficial del Estado*, 203, 35176-35178.
- Gómez, M. S. y Vidal, S. (2006). Influencia en la resistencia a compresión de hormigones por efecto de la temperatura ambiente. *Revista de la Construcción*, 5(1), 56-61.
- Hempel, C. G. (1988). Provisoes: a problem concerning the inferential function of scientific theories. *Erkenntnis*, 28(2), 147-164.
- IAEA (2002). Guidebook on non-destructive testing of concrete structures. *International Atomic Energy Agency*, Viena.
- Massart, D. L., Vandeginste, B. M. G., Buydens, L. M. C., De Jong, S., Lewi, P. J. y Smeyers-Verbeke, J. (1997).

Handbook of chemometrics and qualimetrics: Part A. Ámsterdam: Elsevier.

Murphy, T. y Lau, A.T. (2008, noviembre-diciembre). Dealing with outliers. *ASTM Standardization News*, 22-23.

Vera, R., Villarroel, M., Carvajal, A. M., De Barbieri, F. y Troconis, O. (2009). Duracon: influencia de la acción del medio ambiente en la durabilidad del concreto. Parte 2. Resultados de Chile después de 5 años de exposición, *Revista de la Construcción*, 8(1), 13-23.