

## DIAGNÓSTICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN UTILIZANDO ULTRASONIDO.

### CONCRETE STRUCTURES DIAGNOSTIC USING ULTRASOUND.

MSc. Ing. William Mejía Orozco\*, MSc. Ing. Javier Orozco Ospino\*, MSc. Alais  
Rojas Montero\*

\*Fundación Universitaria del Área Andina, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas,  
Ingeniería Civil.

Trans 22 Bis # 4 -105, Sector Callejas, Valledupar, Cesar, Colombia.

Teléfono: (+57)(5) 5897879

E-mail: {wmejia3, jaorozco, [arojas43@areandina.edu.co](mailto:arojas43@areandina.edu.co)}

**Resumen:** Durante la vida útil de las estructuras, es posible que se presenten situaciones de exposición que puedan comprometer la estabilidad de las mismas y resulta necesaria una comprobación del estado de la edificación afectada para verificar que pueda seguir prestando el servicio para el cuál fue construida, mediante métodos que pueden ser destructivos o no destructivos. Un sistema para el diagnóstico estructural es mediante equipos de ultrasonido, los cuales permiten evaluar estructuras sin ocasionarles daños que luego tendrían que ser reparados. Se realizaron lecturas de ultrasonido a cilindros de concreto a diferentes edades e inmediatamente después eran sometidos a ensayos de laboratorio de rotura a compresión para encontrar la correlación entre dichas lecturas de ultrasonido y los resultados de resistencia a compresión de los cilindros mencionados. Se encontró una relación lineal entre las lecturas de ultrasonido y las correspondientes resistencias a la compresión determinadas en laboratorio, mediante una representación gráfica. De acuerdo con lo anterior, es posible diagnosticar estructuras de concreto utilizando equipos de ultrasonido porque el gráfico obtenido permite la obtención de la resistencia a la compresión correspondiente. Por tanto, el uso de equipos de ultrasonido permite un diagnóstico rápido de estructuras sin ocasionar deterioros en las mismas, lo cual agiliza el proceso de toma de decisiones y la ejecución de las acciones que se requieran para reparar o reemplazar las edificaciones afectadas por un evento específico como por ejemplo un incendio.

**Palabras clave:** Estructura, Ultrasonido, Resistencia, Diagnóstico, Ensayos, Compresión

**Abstract:** During the useful life of the structures, it is possible that exposure situations may occur that may compromise their stability and it is necessary to check the condition of the affected building to verify that it can continue to provide the service for which it was built, by methods that can be destructive or non-destructive. A system for structural diagnosis is through ultrasound equipment, which allows evaluating structures without causing damage that would then have to be repaired. Ultrasound readings were made to concrete cylinders at different ages and immediately afterwards they were subjected to laboratory tests of compression rupture to find the correlation between said ultrasound readings and the results of compressive strength of the mentioned cylinders. A linear relationship was found between the ultrasound readings and the corresponding compressive strengths determined in the laboratory, by means of a graphic representation. According to the above, it is possible to diagnose concrete structures using ultrasound equipment because the graphic obtained allows obtaining the corresponding compressive strength.

Therefore, the use of ultrasound equipment allows a rapid diagnosis of structures without causing deterioration in them, which speeds up the decision-making process and the execution of the actions required to repair or replace the buildings affected by an specific event as for example a fire.

**Keywords:** Structure, Ultrasound, Resistance, Diagnosis, Tests, Compression

## 1. INTRODUCCIÓN

Para determinar la resistencia de un concreto de una estructura en servicio se pueden utilizar ensayos destructivos y no destructivos, los cuales pueden conducir a los mismos resultados mediante curvas que se hayan realizado previamente y que relacionen la resistencia obtenida con métodos destructivos con la lectura de una característica de cualquier método no destructivo, de acuerdo con su naturaleza. (Troncoso, 2012); (L Tangarife et al., 2017).

Un ensayo destructivo para hallar la resistencia de una determinada estructura consiste en la extracción de un núcleo para someterlo a un esfuerzo de compresión creciente hasta su rotura. Los mencionados núcleos tienen dimensiones menores que los núcleos normalizados para minimizar el daño a la estructura y permiten una determinación bastante precisa de la resistencia del elemento del cual ha sido extraído, pero que tiene el inconveniente de la necesaria reparación posterior de dicho elemento. (Hincapié y Valencia, 2003); (J Plaza, M Núñez, 2017).

Dentro de los ensayos no destructivos se encuentra el uso de pulsos de ultrasonido que consiste en medir la velocidad de dichos pulsos a través de un concreto, para lo cual, el equipo consta de un emisor y un receptor que deben ser ubicados en el elemento a evaluar, y posteriormente mediante un gráfico se determina la resistencia correspondiente a dicha velocidad. (Quispe, 2015).

La resistencia de un concreto está determinada por la resistencia de la gravilla (agregado grueso) que se utilice y por la resistencia de la pasta de cemento (combinación de cemento y agua). (Yam et al., 2003); (R García - León, et al., 2016)

Teniendo en cuenta que las características de los agregados gruesos y de los cementos dependen de cada región específica, la relevancia de este estudio consiste en la caracterización de los concretos de la región caribe y su correlación con el ensayo de

ultrasonido para la optimización en la determinación de la resistencia de estructuras ya construidas cuando así se requiera, por ejemplo en el caso de edificaciones sometidas a altas temperaturas (Ercolani, G. D., Ortega, N. F., & Señas, L., 2007), u otras patologías sin tener que recurrir a ensayos destructivos. (Ortega y Ripani, 2007).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en la ciudad de Valledupar en los laboratorios de la Fundación Universitaria del Área Andina, con material triturado (agregado grueso) obtenido en la cantera “El Dorado”, arena del río Badillo y Cemento Vallenato.

La granulometría de los agregados se realizó de acuerdo con la norma NTC 174 (ICONTEC, 2000) y se utilizaron tamices normalizados marca Endecotts, Modelo Serie AC COM, con el fin de caracterizar los materiales.

Luego se procedió a encontrar la combinación óptima de los dos materiales para la fabricación del concreto para que se cumpla con lo establecido en la norma NTC 174 (ICONTEC, 2000).

Posteriormente se hallaron las características de los agregados necesarias para el diseño de la mezcla de concreto, tales como:

- Humedad, según la Norma NTC1776 (ICONTEC, 1994).
- Masa Unitaria Suelta, Masa Unitaria Compacta según la norma NTC92 (ICONTEC, 1995a)
- Absorción , Densidad Aparente, según la Norma NTC 196 (ICONTEC, 1995b) y la Norma NTC 237 (ICONTEC 1995c).
- Forma y Textura de los Agregados

A continuación, se procedió a realizar el diseño de la mezcla de concreto para una resistencia de 3000 PSI. (Rivera, 1997).

De acuerdo con el diseño de mezcla se elaboraron 12 cilindros normalizados (15 cm de diámetro de la base y 30 cm de altura), con el fin de ensayar dos especímenes por cada edad mediante un equipo de ultrasonido marca PROCEQ tipo PUNDIT LAB + y posteriormente con la prueba de resistencia a la rotura ensayando cilindros a compresión de acuerdo a la norma NTC 673 (ICONTEC, 2010) por medio de una máquina marca CONTROLS, Modelo CT-1505/A. De esta manera se obtuvo un promedio de las mediciones por edad.

### 3. RESULTADOS

Se hallaron las distribuciones de tamaños de las partículas de los agregados como se muestra en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso.

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO				
Tamiz	W Retenido (gramos)	% Retenido	% Ret. Acum.	% PASA
2"	0	0	0	100
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	35,20	0,89	0,89	99
1/2"	1457,50	36,70	37,59	62,41
3/8"	875,00	22,03	59,62	40,38
#4	1481,20	37,30	96,92	3,08
#8	109,00	2,74	99,67	0,33
FONDO	13,30	0,33	100	0
TOTAL	3971,20	100	----	----
Tamaño Máximo	3/4"	Tamaño Nominal	Maximo	1/2"

Fuente: Autores.

Tabla 2. Granulometría del agregado fino.

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO				
Tamiz	W RET. (gramos)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% PASA
3/8"	0	0	0	100
#4	0	0	0	100

#8	508	19,57	19,57	80,43
#16	180,4	6,95	26,51	73,49
#30	501,7	19,32	45,84	54,16
#50	917,3	35,33	81,17	18,83
#100	422,2	16,26	97,43	2,57
#200	62	2,39	99,82	0,18
FONDO	4,7	0,18	100	0
TOTAL	2596,3	100	----	----
Modulo de Finura		2,71		

Fuente: Autores.

Las combinaciones óptimas halladas de los dos materiales para la fabricación del concreto se muestran en la Tabla 3 y la Figura 1.

Tabla 3. Combinación óptima de los agregados.

Método Gráfico para Mezcla de dos Materiales				
Támiz (")	Materia l Grueso	Materia l Fino	Especificación	
			Franja Superior	Franja Inferior
1 1/2"	100 %	100 %	100	100
1"	100,00 %	100 %	100	100
3/4"	99,11 %	100 %	100	100
1/2"	62,41 %	100 %	87	80
3/8"	40,38 %	100 %	79	68
#4	3,08 %	100,00 %	62	47
#8	0,33 %	80,43 %	48	32
#16	0 %	73,49 %	38	22
#30	0 %	54,16 %	30	15
#50	0 %	18,83 %	23	15
#100	0 %	2,57 %	18	7
% Material Grueso		50,86 %	% Material Fino	49,14 %

Fuente: Autores.

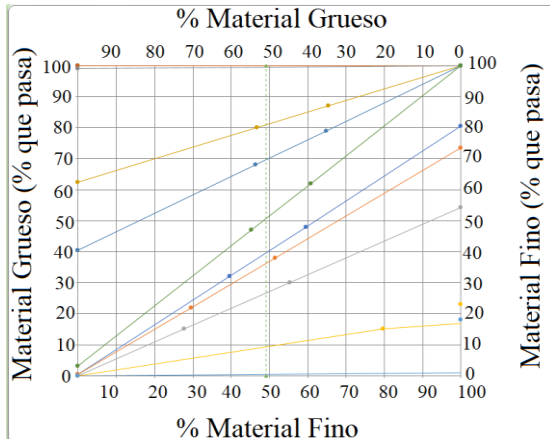


Figura 1. Combinación gráfica de agregados.

Las características de los agregados necesarias para el diseño de la mezcla de concreto se muestran en la Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Características del Agregado Grueso.

Material Grueso	
Tamaño Máximo (T M)	3/4"
Tamaño Máx Nominal (TMN)	1/2"
Masa Unitaria Compacta (MUC)	2048 kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Suelta (MUS)	1906 kg/m <sup>3</sup>
Humedad Natural	0,10 %
Absorción	0,95 %
Densidad Aparente	2,62 g/cm <sup>3</sup> 2617,18 kg/m <sup>3</sup>
Forma y Textura del Material	Angular y rugosa

Fuente: Autores.

Tabla 5. Características del Agregado Fino.

Material Fino	
Módulo de Finura	2,70
Masa Unitaria Compacta (MUC)	2158 kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Suelta (MUS)	1948 kg/m <sup>3</sup>
Humedad Natural	1,40 %
Absorción	0,46 %
Densidad Aparente	2,59 g/cm <sup>3</sup> 2587 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Autores.

La mezcla de concreto se diseñó para una resistencia de 3000 PSI. Los parámetros de diseño se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de diseño de mezcla de Concreto de 3000 PSI

Parámetros de Diseño de Mezcla		
Asentamiento seleccionado	10	Cm
Tamaño Maximo del Agregado seleccionado	19,05	mm
Contenido de Aire Estimado	0,015	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Contenido de Agua de Mezclado Estimado	192	Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia de Diseño determinada	295	Kg/m <sup>2</sup>
Relacion Agua / Cemento seleccionada	0,463	
Contenido de Cemento Calculado	415	Kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Grava por m <sup>3</sup> de Concreto Estimado	0,62	
Peso Seco del Agregado Grueso por m <sup>3</sup> de Concreto	949,2	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen absoluto del Agregado Grueso por m <sup>3</sup> de Concreto	362,3	l/m <sup>3</sup>

Fuente: Autores.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de dosificación de cada uno de los componentes del concreto.

Tabla 7. Dosificación de materiales por metro cúbico para mezcla de concreto.

MATERIAL	PESO SECO Kg/m <sup>3</sup>	PESO ESPECIFICO g/m <sup>3</sup>	VOLUMEN ABSOLUTO l/m <sup>3</sup>
CEMENTO	415	3,10	134
AGUA	192	1,00	192
CONTENIDO DE AIRE	--	--	0
AGREGADO GRUESO	949,2	2,62	362
AGREGADO FINO	804,5	2,58	312
TOTAL	2360,7		1000

Fuente: Autores.

En la tabla 8, se muestran los resultados obtenidos de velocidad de pulso de ultrasonido y de los ensayos de resistencia a la rotura en compresión.

Tabla 8. Valores de Resistencia a la compresión y velocidad de pulso de ultrasonido para diferentes edades.

Datos obtenidos de Resistencia y lecturas de ultrasonido para diferentes edades			
EDA D	VELOC PROM m/s	Resist PSI	Proyección 28 días PSI
1 día	3512	860,31	2882,04
3 días	3919,5	1423,52	2820,27
7 días	4057,5	1898,46	2723,46
14 días	4282,5	2432,09	2840,76
21 días	4409,5	2673,86	2835,78
28 días	4265,8	2913,14	2913,14

Fuente: Autores.

En la figura 2, pueden observarse los resultados del comportamiento de las medidas obtenidas de las velocidades de pulso de ultrasonido y los resultados de resistencia para edades de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.

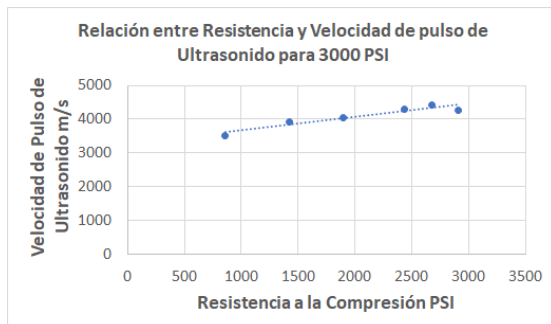


Figura 2. Correlación entre velocidad de pulso de ultrasonido y Resistencia a la compresión.

De la Figura 2, se puede inferir que existe una relación con tendencia lineal entre las lecturas de velocidad de pulso de ultrasonido y la resistencia a la compresión del concreto, cuya ecuación es:  $y=0,3932x + 3275$ , donde la “x” representa la resistencia a la compresión y la “y” representa la velocidad del pulso de ultrasonido. Por tanto, el gráfico es de utilidad para determinar la resistencia del concreto a partir de las lecturas obtenidas mediante el equipo de ultrasonido en una estructura que se encuentre en servicio.

Por medio de la función de Excel COEF.DE.CORREL, se encontró que la

correlación entre las resistencias a diferentes edades y las velocidades de pulsos de ultrasonido es de 0.9498, lo cual confirma el comportamiento lineal de dicha relación dentro del rango de edades considerado, es decir, hasta los 28 días.

#### 4. CONCLUSIONES

La velocidad de los pulsos de ultrasonido es directamente proporcional a la edad del concreto hasta antes de los 28 días, lo cual es coherente con el aumento de resistencia con la edad, aunque el valor obtenido de la velocidad a los 28 días es inferior al valor de 21 días, lo cual sugiere que se deberían realizar estudios posteriores a mayores edades para que pueda observarse si la tendencia continúa siendo una recta, teniendo en cuenta que el aumento de resistencia del concreto después de los 28 días es más lento.

Los valores proyectados de resistencia del concreto a los 28 días para todas las edades que se estudiaron resultaron un poco menores que la resistencia de 3000 PSI para la cual se diseñaron como se observa en la tabla 8, por lo cual resultaría conveniente utilizar una muestra mayor de 15 probetas en estudios posteriores que pudiesen realizarse, con el fin de que exista más de un criterio para la determinación de la resistencia de diseño y por tanto exista un menor margen de error,

Los ensayos no destructivos se constituyen en una excelente alternativa para el diagnóstico de las condiciones de resistencia de una estructura que presente cualquier patología, siempre y cuando se realice una curva de calibración del equipo para los materiales disponibles en la zona donde se desee utilizar dicho equipo y así se incremente la confiabilidad del mismo y no resulte necesario el uso de ensayos destructivos confirmativos.

#### REFERENCIAS

- Ercolani, G. D., Ortega, N. F., & Señas, L. (2007, October). Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas. In Proceedings IV Conferencia Panamericana de END (pp. 1-10).
- L Tangarife, M Sánchez, M Rojas (2017). Modelo de interventoría de tecnologías de información en el área de conocimiento de la gestión del alcance de PMBOK® y alineado con ISO 21500 y COBIT®. Revista

- Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257
- Hincapié, Á. M., & Valencia, J. V. (2003). Resistencia al hormigón. *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 87-95.
- ICONTEC (1994). NTC1776. Ingeniería civil y arquitectura. Metodo de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados.
- ICONTEC (1995a). NTC 92. Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- ICONTEC (1995b). NTC 196. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- ICONTEC (1995c). NTC 237. Ingeniería civil y arquitectura. método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
- ICONTEC (2000). NTC 174. Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto.
- ICONTEC (2010), NTC 673. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- JEG Plaza, MAR Nuñez, (2017) Formación en competencias específicas para la industria del software colombiano. Experiencias del uso del aprendizaje basado en proyectos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, ISSN: 1692-7257
- Ortega, N. F., & Ripani, M. (2007). Experiencias en el empleo de ensayos no destructivos, en el análisis de estructuras de hormigón afectadas por diferentes situaciones patológicas. Buenos Aires, Argentina.
- Quispe, L. E. A. (2015). Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido. *Civilizate*, (6), 18-20.
- R García-León, E Florez, C Acevedo (2018). Caracterización térmica de mezclas de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, ISSN: 1692-7257
- Rivera, G. (1997). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca.
- Troncoso, N. L. G. (2012). Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones fabricados con árido calizo en Ecuador. *Cemento Hormigón*, (954), 44-46.
- Yam, J. L. C., Carcaño, R. S., & Moreno, E. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39-46.