

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CONCRETOS DOSIFICADOS A DIFERENTES RESISTENCIAS, EDADES Y CONDICIONES DE CURADO MEDIANTE ENSAYOS DE ULTRASONIDO

Ronald Torres¹, Miguel Castillejo², Alais Rojas³, Jesús Martínez³, Aramis Caballero³

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME)

² Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería de Petróleo

³ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Postgrado Ingeniería Estructural y Sismorresistente

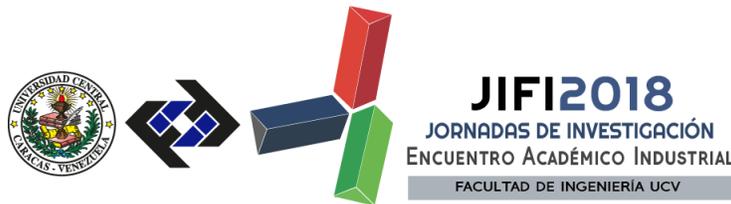
RESUMEN

En las últimas décadas se han implementado los métodos de ensayo no destructivo para el control de calidad y evaluación de concretos, con la ventaja de poder examinar, verificar y determinar su comportamiento sin necesidad de alterar sus propiedades mecánicas, físicas o geométricas, privilegio este que permite aplicar cualquier técnica con absoluta tranquilidad. El presente trabajo presenta de manera detallada el estudio experimental efectuado sobre muestras de concreto, elaborados de forma controlada, y la evolución en el tiempo mediante el cálculo de la Velocidad de Pulso Ultrasónico a través de estos se establecen en este proyecto tres resistencias y dos condiciones de curado, permaneciendo constante el tipo de cemento y los mismos tipos de agregados, extraídos de fuentes conocidas. Los Ensayos de ultrasonido se comparan sobre la base de la sensibilidad de las mediciones y la dispersión de los resultados; el éxito y objetividad en la obtención de los mismos se fundamentan en el cuidado y la experticia durante su implementación. Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten establecer que es posible llevar el control de calidad en obra con el ensayo de ultrasonido mediante calibración en sitio y estimar la evolución de la resistencia del material.

Palabras Clave: Concreto, ultrasonido, ensayos no destructivos, curado de concreto, hormigón

ABSTRACT

In the last decades, non-destructive testing methods for the quality control and evaluation of concrete have been implemented, with the advantage of being able to examine, verify and determine their behavior without having to alter their mechanical, physical or geometric properties, this privilege allows to apply any technique with absolute quiet. The present work presents in a detailed way the experimental study carried out on samples of concrete elaborated in a controlled way and the evolution in time by means of the calculation of the Ultrasonic Pulse Speed, through these are established three resistances and two curing conditions in this project, staying constant the type of cement and the same types of aggregates, extracted from known sources, remaining constant. The ultrasound tests are compared based on the sensitivity of the measurements and the dispersion of the results; the success and objectivity in obtaining them are based on care and expertise during its implementation. The results obtained in the present



investigation allow to establish that it is possible to carry out the quality control on site with the ultrasound test by means of on-site calibration and to estimate the evolution of the material's resistance.

Keywords: Concrete, Ultra-sound, Non destructive essays, Concrete curing.

INTRODUCCIÓN

La inspección de las estructuras por medio de los métodos de ensayo no destructivo, especialmente el basado en Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU), se ha venido implementando para ejercer un control y evaluación de los elementos estructurales elaborados en concreto en las últimas décadas, esto permite conocer el comportamiento de este material conforme a las condiciones a las que este se encuentra sometido durante su funcionalidad y vida útil. Sin embargo, las dudas o incertidumbres que generan los resultados mediante el uso de los Ensayos No Destructivos ha limitado, en cierta manera, su uso con mayor frecuencia.

A lo largo de los últimos 50 años se han venido implementado investigaciones referentes al comportamiento de las características del concreto mediante el uso de pruebas no destructivas, con lo cual se pretende evaluar la calidad del mismo. El procedimiento fue desarrollado en Canadá (Malhotra y Carino 2004 [3]) y se implementó con gran éxito desde la década de los 60 con el objeto de evaluar y ejercer un diagnóstico sobre el estado del concreto utilizado en presas. Malhotra [4] publicó, en el año de 1985, un juicio de aceptación del concreto hidráulico sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica, Sturup et al. 1984, Anderson y Seals 1981 realizaron investigaciones y estudios de correlación con el fin de alcanzar modelos con los cuales se permita predecir o estimar la resistencia a la compresión del concreto basado en la velocidad ultrasónica, G. Castellanos 1985 estudió la correlación entre la velocidad ultrasónica y la resistencia a la compresión en concretos con propiedades físicas promedio, Solís y Baeza [16], obtuvieron una curva de regresión exponencial con buena correlación para concretos preparados con seis diferentes muestras de agregados calizos triturados (similares a los usados en Venezuela). Flores J., Montes P. y Jiménez V. 2011, lograron obtener correlaciones para las lecturas de velocidad de pulso ultrasónico con: resistencia a compresión y módulos de elasticidad de manera adecuada, sin embargo, insisten en la imposibilidad de aplicarse de manera general para cualquier tipo de concreto. Uno de los documentos donde se puede encontrar reflejada la información de los ensayos no destructivos es el ACI 228.2. [1], el cual es tomado siempre como referencia en la evaluación de estructuras.

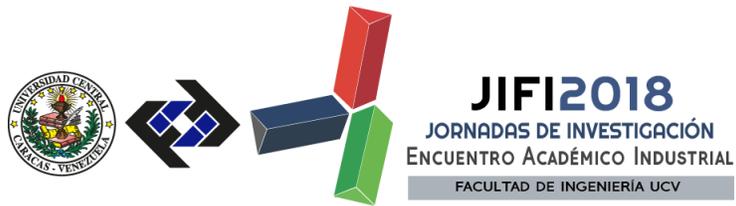
En el presente trabajo de investigación se estudia la evolución de la VPU mediante evaluación experimental efectuada sobre muestras de cilindros de concreto, elaborados de forma controlada, y la evolución en el tiempo mediante el cálculo de la Velocidad de Pulso Ultrasónico, se establecen en este proyecto tres resistencias y dos condiciones de curado, permaneciendo constante el tipo de cemento y los mismos tipos de agregados, extraídos de fuentes conocidas y caracterizadas, durante un período de 45 días. Con el fin de analizar el comportamiento resistente del concreto a los largo de dicho lapso, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión de

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



probetas para cada edad estipulada, analizando la posible correlación de la velocidad de pulso ultrasónico.

METODOLOGÍA

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Con el objetivo de estudiar la VPU en concretos y correlacionarla con otras propiedades de este mismo material de forma analítica, se elaboraron concretos con diferente relación agua/cemento pero con los mismos agregados, los cuales resultaron en las tres (3) resistencias teóricas que se implementaron durante el desarrollo experimental, es decir, 180, 300 y 320 kg/cm². En total se confeccionaron 96 probetas de forma cilíndricas, distribuyendo treinta y dos (32) probetas para cada tipo de resistencia asumida.

Para cada tipo de resistencia, se dejó un grupo de probetas con el fin de someterlas a lecturas diarias con el equipo de ultrasonido, de conformidad con la normativa COVENIN 1681 [12]. La mitad de estas probetas se sumergieron dentro de un tanque de agua para curarlas en medio totalmente húmedo, y las otras se dejaron en estado seco para simular la intemperie y se curaron a temperatura ambiente simulando la condición de obra. El proceso de curado de las probetas se llevó a cabo de acuerdo con la norma COVENIN 338 [10].

Durante la fase experimental se procuró mantener el mismo orden de lectura y la misma hora de la mañana, para lograr resultados coherentes al análisis practicado sobre los especímenes. Se realizaron estrategias en cuanto al procedimiento de lectura de ultrasonido, con el fin de garantizar la calibración de los equipos y la precisión en cada dato logrado.

Para la elaboración de las mezclas se utilizó se utilizó cemento Portland Gris Tipo I, de la fábrica Cemex Venezuela S.A. C.A. El agregado grueso procede de la cantera Las Marías, ubicada en Filas de Mariche, en el Estado Miranda, se eligió esta cantera debido a que se constituye uno de los sitios de mayor comercialización y extracción de material de arrastre en esta localización, además de la calidad del producto. La arena natural, procedente del Rio Tuy. Zona El Guapo, Vía El Guapo, Caucagua, Estado Miranda. Este material se extrajo mediante extracción en bancos del Rio Tuy debido a sus buenas características y gran demanda en la región.

Para los diseños de mezclas se siguieron los procedimientos en las normas COVENIN [5], [6], [7], [8], [13] y los lineamientos del Manual del Concreto Estructural [2,15], los cuales arrojaron relaciones agua/cemento (a/c) de 0.52, 0.40 y 0.33, para resistencias teóricas de 180, 300 y 320 Kg/cm², respectivamente.

Se realizó la medida continua de VPU para la condición de curado normal y curado al aire para un grupo de probetas y se seleccionaron 4 probetas para ser ensayadas para cada una de las siguientes edades 3, 7, 14, 28 y 45 días, realizando en forma conjunta el ensayo de ultrasonido y el ensayo de resistencia a la compresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras No. 1,2 y 3, se observan las gráficas correspondientes a los comportamientos de las VPU en el tiempo (45 días), para probetas elaboradas con resistencias teóricas de 180, 300 y 320 kg/cm², respectivamente, en condiciones de curado húmedo y curado al aire.

Durante los primeros siete días de la fase experimental se aprecia que los datos fueron bastante

inestables tanto para las condiciones secas como para las húmedas; las VPU reflejaron un desarrollo alto en cuanto al cambio de velocidad, las cuales fueron aumentando, paulatinamente, durante el resto del período experimental. Este aumento, sin embargo, no se reflejó de forma tan evidente en la resistencia a la compresión como se verá más adelante.

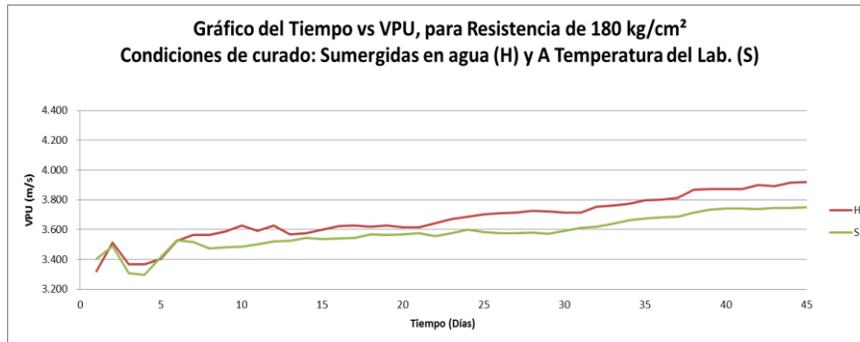


Figura No. 1. Gráfico de VPU en el tiempo, resistencia 180 kg/cm²

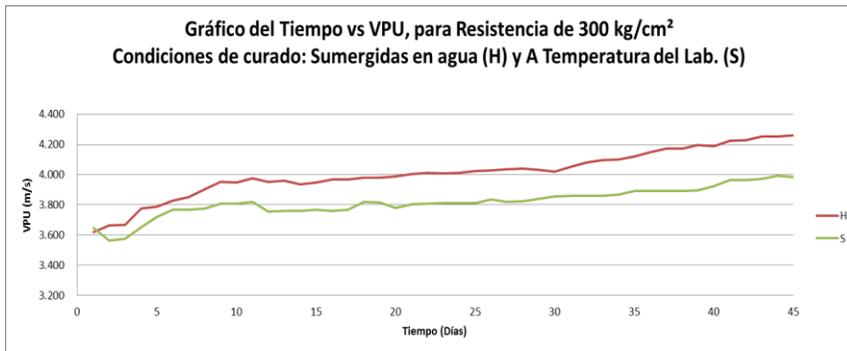


Figura No. 2. Gráfico de VPU en el tiempo, resistencia 300 kg/cm²

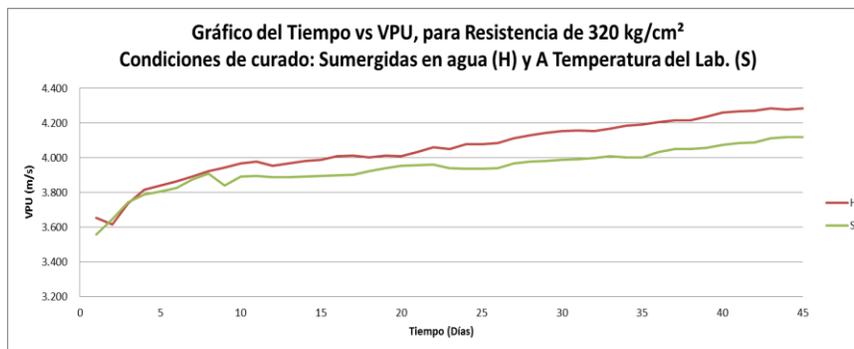


Figura No. 3. Gráfico de VPU en el tiempo, resistencia 320 kg/cm²

La figura No. 4 muestran el comportamientos de la VPU en condiciones de curado húmedo para las tres resistencias de referencia y la figura No. 5 muestran el comportamientos de la VPU en condiciones de curado al aire (curado seco) para las tres resistencias de referencia.

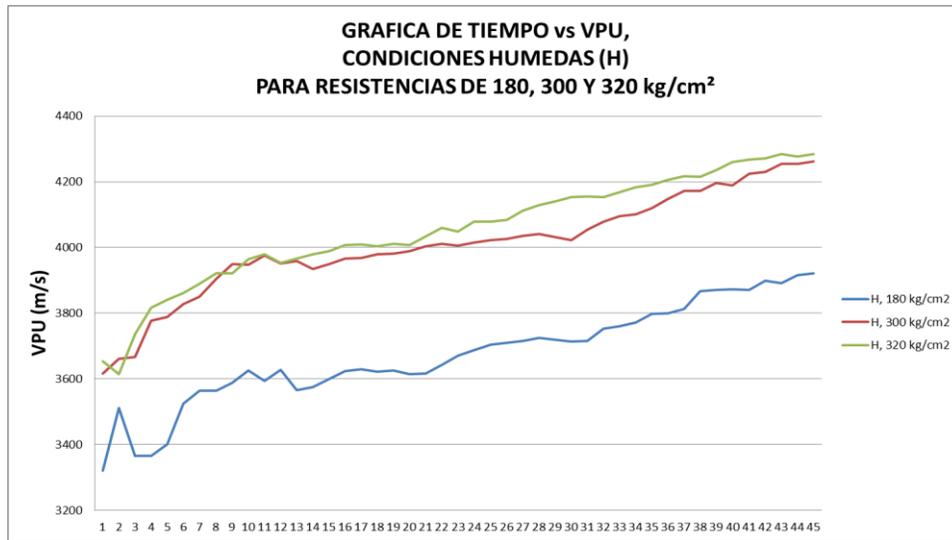


Figura No. 4. Comportamiento en curado húmedo (H) de la VPU en el tiempo

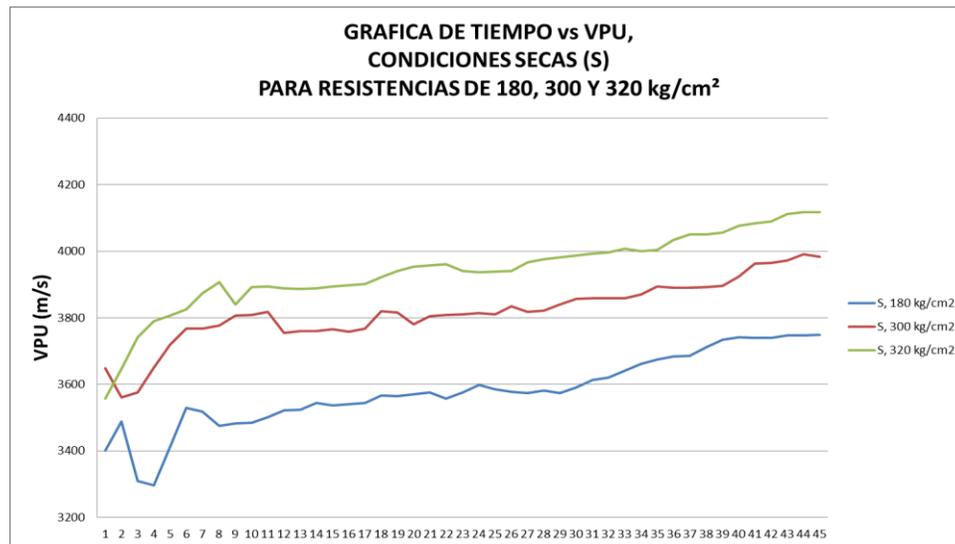


Figura No. 5. Comportamiento en curado al aire (S) de la VPU en el tiempo

El comportamiento de las figuras No. 4 y 5, muestran la tendencia al aumento en cuanto a la VPU tanto en condición húmeda como en condición de curado al aire. Sin embargo, podemos apreciar que los resultados de la VPU correspondiente a las resistencias, bajo condiciones secas (S), adquieren, a lo largo del tiempo destinado para la fase experimental, un mayor equilibrio o tendencia de aumento más suave que en las condiciones de las probetas curadas en húmedo, pues las curvas muestran un leve aumento durante el período experimental.

Por otro lado, podemos apreciar que en el estado de curado en condiciones húmedas, las

resistencias de 300 y 320 kg/cm², mantienen un estrecho margen de separación, al contrario de estas dos resistencias frente a la de 180 kg/cm². Mientras tanto, podemos observar con absoluta claridad que en condiciones de curado al aire, en condiciones secas (S), el margen entre las resistencias de 300 y 320 kg/cm², es mucho mayor, y además, los separa una diferencia bastante parecida con la resistencia de 180 kg/cm².

Se logra interpretar un comportamiento de la VPU que refleja un aumento mucho más paulatino para las condiciones secas (S) que para el curado de las probetas húmedas (H), donde, en esta última condición, la VPU adquiere un aumento mucho más vertiginoso.

En la figura No. 6 se presenta la evolución de resistencia con respecto al tiempo para las distintas mezclas realizadas, observándose que el crecimiento de resistencia presenta un comportamiento típico y logra llegar a la resistencia esperada a los 28 días, ganando resistencia adicional a los 45 días.

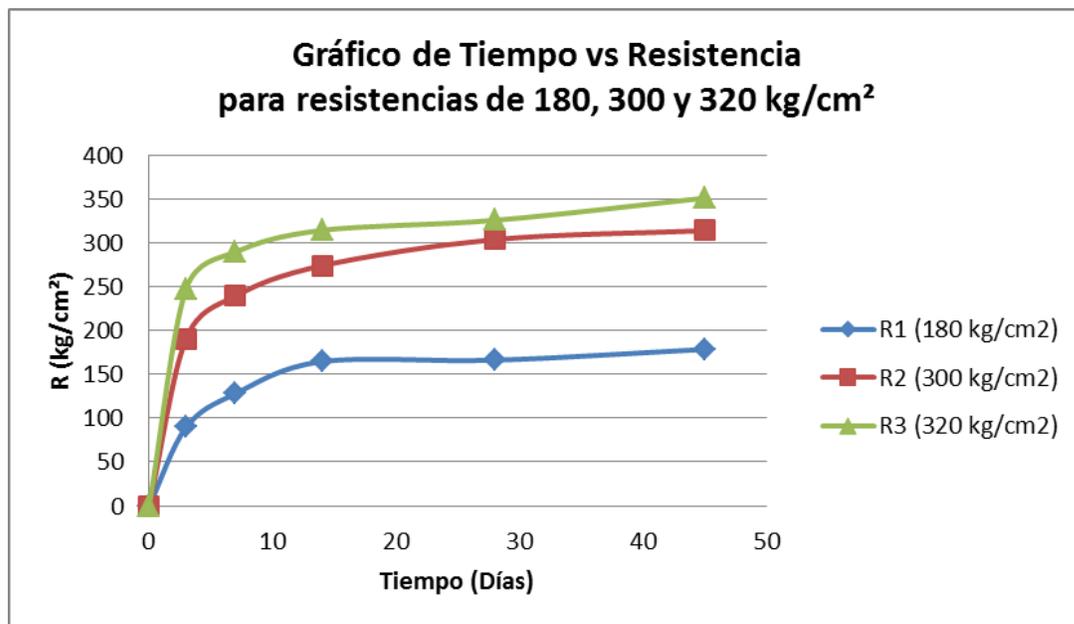


Figura No. 6. Gráfico del Tiempo vs Resistencias

En el gráfico del Tiempo vs Resistencia, donde la tendencia de las resistencias más altas, 300 y 320 kg/cm², presentan una cercanía muy fuerte, alejada de la manifestada por el modelo de la resistencia de 180 kg/cm². De igual manera, en esta última gráfica se observa que la resistencia de 180 kg/cm² presenta una conducta más estable a partir de los 28 días, al contrario de las otras dos resistencias, las cuales evidencian un crecimiento más notorio a partir de la misma edad. Este comportamiento también se refleja en la gráfica de Tiempo vs VPU (figura No. 4).

CONCLUSIONES

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Las condiciones ambientales de curado húmedo adoptadas para las probetas pertenecientes a la fase experimental fueron satisfactorias, pues se lograron resistencias normales conforme a las estipuladas al inicio del presente trabajo; sin embargo, en condiciones de curado al aire (curado en seco) la humedad relativa del ambiente no es considerada adecuada para el proceso de hidratación y desarrollo de resistencias en los concretos, efecto que se evidenció en el desarrollo de las velocidades a lo largo de la investigación. Es indispensable, de acuerdo con los resultados obtenidos, efectuar actividades de curado manteniendo las condiciones de humedad necesarias a fin de lograr aumentos en las resistencias ya que la reacción de los componentes del cemento lograría su mayor efectividad en estas condiciones de curado.

Para el caso de las probetas curadas mediante inmersión (condiciones húmedas) se puede apreciar el aumento significativo de las VPU, pues una condición totalmente saturada de las probetas aumenta considerablemente la densidad de las mismas, factor este fundamental en el tránsito de los pulsos ultrasónicos.

Los comportamientos de las curvas generadas por las resistencias de 300 y 320 kg/cm², en las gráficas de Tiempo vs VPU y Tiempo vs resistencia a la compresión, permiten concluir que en proyectos donde se manejen resistencias muy cercanas se podrían obtener resultados muy parecidos que confundirían las tendencias en el momento de ejercer controles de calidad sobre alguna estructura, pero esta tendencia permite establecer rangos de confiabilidad sobre la resistencia esperada. En el trabajo se puede ver claramente que en el caso de diferencias importantes de resistencia la VPU puede ser considerada para establecer zonas con vaciados cuestionables o diferenciar por homogeneidad el concreto en el caso de evaluación estructural.

El comportamiento de la VPU frente a las resistencias teóricas implementadas en los diseños de mezclas demostró firmemente la dependencia directa que esta posee dado que el aumento de esta variable depende directamente de la resistencia del elemento que se esté evaluando.

REFERENCIAS

- [1] ACI 228.2R-98. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. ACI Committee 228.
- [2]. GRASES, J., RAMOS, C. y PORRERO, J. (1979). Manual del concreto fresco. 2ª Edición, Caracas: Asociación Venezolana de Sistemas de Paredes Estructurales. 217p.
- [3]. Malhotra, V.M. y Carino, N.J. (2004). Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, Boca ratón, Florida USA: Edit CRC Press. 455p.
- [4]. Malhotra, V.M. (1985). Nondestructive Methods for Testing Concrete. Ottawa, Canada: Department of Energy, Mines and Resources. 385p.
- [5]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 255:1998. Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica.
- [6]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 263-78. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
- [7]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 268-1998. Agregado fino. Determinación de la

Densidad y Absorción.

[8]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 269-78. Agregado grueso. Determinación de la Densidad y Absorción.

[9]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 277:2000. Concreto. Agregados. Requisitos.

[10]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 338:2002. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.

[11]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 339:2003. Concreto para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.

[12]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 354:2001. Método para mezclado de concreto en el laboratorio.

[13]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 1681-80. Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.

[14] NORMA VENEZOLANA COVENIN 266-77. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de menores de 38,1 mm (1 ½”) por medio de la Máquina de Los Ángeles.

[15] Porrero J. y otros (2004). Manual del concreto estructural conforme con la norma COVENIN 1753:03, Caracas: SIDETUR, 503p.

[16]. SOLIS, C. y BAEZA, J. (2003). Influencia de la propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto. Rev. Téc. Ing. Universidad del Zulia. Vol. 26, No, 1, 45-55.