

MÉTODOS NO INVASIVOS EN LA EVALUACIÓN DEL CONCRETO ARMADO, PARA UNA PROPUESTA EDUCATIVA PEDAGÓGICA

Vicente Paul León Toledo

vicente.leont@ug.edu.ec

Profesor jubilado

Universidad de Guayaquil (UG)

Guayaquil. Ecuador

Daniel Douglas Iturburu Salvador

douglas.iturburus@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2977-956X>

Universidad de Guayaquil (UG-FCMF) Carrera de ingeniería civil

Guayaquil. Ecuador

Carlos Elvis Cusme Vera

carlos.cusmev@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2977-956X>

Universidad de Guayaquil (UG-FCMF) Carrera de ingeniería civil

Guayaquil. Ecuador

Recibido: 12/01/2022 **Aceptado:** 19/05/2022

Resumen

Toda estructura para construir debe cumplir con: El estudio de suelos, el diseño propio en normativa vigente con su ley ambiental, y los materiales a usar; a fin de garantizar su permanencia funcional, ante eventos sísmicos, incendios y las corrosiones en el tiempo. Entonces se requiere calcular en construcciones existentes, por remodelar y aquellos afectados por siniestros ¿Cuánta calidad tiene o le queda? Para poder aplicar correctivos a lugar, una vez determinada su condición. Hoy en día se sigue usando en mayoría el contaminante método de la fabricación de muestras al laboratorio, o incluso con la extracción de núcleos, para el cálculo de variables como: Porosidad, alcalinidad, rupturas y elasticidad, entre otros. En este trabajo se exponen una serie de estrategias no invasivas que ofrecen rápidos y validos resultados de evaluación, sin representar riesgos de daños en lo que se denomina *Muestra en el Sitio justo a tiempo*. Todo ello con su respectivo estudio histórico de pruebas en algunas edificaciones a manera de ejemplos ilustrados. El trabajo cierra en una serie de recomendaciones e implicaciones pedagógicas, específicamente en la propuesta del sílabo de la asignatura “Tecnología de los Materiales”, de los estudios profesionales de carrera de ingeniería civil.

Palabras claves: Diagnostico en vivo, propuesta pedagógica.

MÉTODOS NÃO INVASIVOS NA AVALIAÇÃO DO CONCRETO ARMADO, PARA UMA PROPOSTA EDUCACIONAL PEDAGÓGICA

Resumo

Toda estrutura a ser construída deve observar: O estudo do solo, projeto próprio em normas vigentes com sua legislação ambiental, e os materiais a serem utilizados; de forma a garantir a sua permanência funcional, face a eventos sísmicos, incêndios e corrosão ao longo do tempo. Então é preciso calcular nas construções existentes, a serem reformadas e atingidas por acidentes, quanta qualidade ela tem ou ainda resta? Ser capaz de aplicar medidas corretivas ao local, uma vez determinada sua condição. Hoje, o método poluente de fabricação de amostras em laboratório, ou mesmo com extração de machos, ainda é utilizado para o cálculo de variáveis como: Porosidade, alcalinidade, rupturas e elasticidade, entre outras. Neste trabalho, são expostas uma série de estratégias não invasivas que oferecem resultados de avaliação rápidos e válidos, sem representar riscos de danos na chamada Amostra Just-in-Time no Local. Tudo isso com seu respectivo estudo histórico de ensaios em algumas edificações conforme exemplos ilustrados. O trabalho encerra-se numa série de recomendações e implicações pedagógicas, concretamente na proposta dos conteúdos programáticos da disciplina “Tecnologia dos Materiais”, dos estudos profissionais da carreira de engenharia civil.

Palavras-chave: Diagnóstico in vivo, proposta pedagógica.

NON-INVASIVE METHODS IN THE ASSESSMENT OF THE REINFORCED CONCRETE, FOR AN EDUCATIONAL PROPOSAL

Abstract

Any structure to build must comply with: The soil study, the own design in current regulations with its environmental law, and the materials to be used; to guarantee its functional permanence, before seismic events, fires, and corrosion over time. Then it is necessary to calculate in existing constructions, to be remodeled and those affected by accidents, how much quality does it have, or does it have left? To be able to apply corrective to place once its condition has been determined. Nowadays, the polluting method of manufacturing samples in the laboratory, or even with the extraction of cores, is still used in the majority for the calculation of variables such as: porosity, alkalinity, ruptures, and elasticity, among others. In this work, a series of non-invasive strategies are exposed that offer fast and valid evaluation results, without representing risks of damage in what is called Just-in-Time Site Sample. All this with their respective historical study of tests in some buildings as illustrated examples. The work closes in a series of recommendations and pedagogical implications, specifically in the proposal of the syllable of the subject "Materials Technology", of the professional studies of civil engineering career.

Keywords: Live diagnosis, pedagogical proposal.

Introducción

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en el mundo de la construcción y la ingeniería a lo largo de la historia reciente. El estudio del comportamiento y las propiedades de este material a lo largo del tiempo es fundamental por el resguardo de las vidas que protege, y gracias a las características monolíticas y mecánicas que presenta sus componentes comunes en la naturaleza. Hoy en día hay numerosos documentos técnicos y normativos que rigen los procedimientos y criterios necesarios para dicho estudio y normas urbanísticas y estructurales características de cada país. Las técnicas de ensayo no destructivas se pueden emplear en prácticamente la totalidad de estudios del hormigón gracias a las posibilidades que ofrecen de examinar, si alterar sus propiedades y como estudio para la construcción o un mantenimiento lógico.

La velocidad ultrasónica como estrategia de diagnóstico se empezó a desarrollar como técnica para probar diferentes materiales y sus composiciones desde mediados del siglo pasado. Sin embargo, a pesar de lo confiable de sus resultados y de lo práctico que puede resultar, en la actualidad es poco utilizada para evaluar estructuras de concreto, en las variadas modalidades de: 1) Pruebas en el tiempo para evaluar su calidad, o su capacidad de remodelación o ampliación, 2) Estudios luego de siniestros humanos o naturales, para las propuestas posibles de mantenimiento o correcciones, en análisis de las derivas de piso, y 3) En construcciones en pleno desarrollo, *En Vivo*. Lo anterior ocurre especialmente por ser una tecnología importada para las latitudes latinoamericanas, son equipos costosos y de específico mantenimiento, donde los controles en obras de impacto social, por su magnitud o utilidad, se siguen usando los métodos tradicionales de las muestras, con ensayos de calidad a tiempo, en donde aún se hacen extracciones de núcleos, que resultan ser dañinas por su acción invasiva de procedimiento, por el impacto en el vacío que dejan.

Adicionalmente estas evaluaciones son aquí quizás más necesarias por la característica heterogénea del concreto utilizado y por el hecho de que existen menores controles municipales en construcciones variadas de poco impacto a la ciudad, como las viviendas y depósitos en general, en obras particulares; es decir construcciones con poco control industrial y alta varianza de calidad. Lo anterior da lugar a que no exista un único valor de la velocidad, para cada ensayo en: Viga, columna, mampostería o techo estudiado, referida a la resistencia por compresión del concreto usado, en cualquiera de sus formas. El objetivo de este trabajo es indicar procedimientos estándares no invasivos en una gran variedad de estructuras de concreto, como norma a seguir y establecer por los organismos municipales de control en las diferentes construcciones, en un enfoque de: en vivo; es decir

en el sitio e incluso en el momento que se construye; *A tiempo*, para suplantar el método tradicional de probetas y núcleos para ensayos de laboratorio, que solo será requerido para confirmar resultados, y de preferencia en estructuras con suficientes desplazamientos o que provienen de daños naturales apreciables.

La idea de los autores es disminuir una serie de variables de confianza en las pruebas actuales, así como el tiempo, el dinero que se invierte y la contaminación generada en los cilindros de concretos fabricados para el fin único de su evaluación. Donde se inicia con identificar la o las variables a la velocidad medida, que expliquen la varianza independiente en la resistencia del concreto usado, para luego con el informe de ingeniería realizar los reportes de visto bueno a la construcción que nace en la ciudad y su durabilidad estimada. Por supuesto la idea siempre será el resguardo humano ante situaciones naturales posibles o disminuir la llamada *Vulnerabilidad Sísmica* posible. La investigación tiene por método: a) Primero identificar las variables a medir como las más idóneas y comunes con su explicación de existencia actual, en un lenguaje apto para el Maestro de Obra, b) Contar su histórico de ocurrencia conocida, en comparación con métodos tradicionales y finalmente, c) Expresar una estrategia valida lo más sencilla posible, para cumplir con los parámetros de calidad en diferentes construcciones, como utilidad y ensayo no invasivo accesible y d) proponer una implicación pedagógica en las asignaturas relacionadas al concreto y estructuras, en las mallas de la carrera de ingeniería civil.

Metodología

El trabajo busca fundamentar una propuesta pedagógica para los temas de algunas asignaturas de la malla de la carrera de ingeniería civil, fundada en un estudio de campo ejemplar, donde en resúmenes de informes técnicos se clasifican una serie de pruebas realizadas en la geografía nacional usando el ultrasonido, no en muestras sino en las estructuras a solicitud de estudios, llamada en vivo, en obras ya concluidas y en pleno desarrollo, en el marco del cumplimiento aceptable de la NEC-15. Los equipos utilizados fueron a) El modelo portátil 58E0046/Z con frecuencia de 54 Hz, y apreciación de 0,1 microsegundos, (Normas ASTM 597 y C-805); b) Martillo Esclerómetro Pundit. En ambos casos se debe evaluar con el Pacómetro o detector escáner de metales en las zonas líneas, para conocer que no exista la presencia de aceros; c) Fenolftaleína, por formación del carbonato de calcio CaCO₃. Norma ASTM 1293 de la (NEC-2015). Tomado de la obra de (Ortega y Ercolani, 2007). Con registro de fotografías ilustrativas en el sitio.

La secuencia inicia en una especie de histórico sobre diferentes pruebas invasivas de laboratorios con sus caracterizaciones de dificultad, seguidas de seis pruebas conocidas no destructivas, que demuestran su superior efectividad, para cerrar en la propuesta general, en el ámbito educativo, sobre la utilidad de los métodos de control de calidad en estructuras de concreto del tipo: No invasivos.

Desarrollo y resultados

Experimentalmente se consideraron tres variables en la fabricación de los diferentes concretos para la construcción: 1) El origen de los agregados que, en el Ecuador, viene caracterizado por su fuente primaria de áridos gruesos, constituidos por piedra chancada granítica y canto rodado silíceo, 2) La mezcla con agua que no debe exceder determinados porcentajes, y 3) La forma y uso en la construcción determinada.

Luego es sabido que la rigidez del concreto está directamente relacionada con su módulo de elasticidad, donde entonces una mayor velocidad sónica representa una mejor calidad ante las posibles deformaciones de desplazamientos o rotaciones. La fórmula empírica presentada por (Pauw, 1960). Tomado de (Solís, 2004). El llamado módulo de elasticidad del concreto tiene por ecuación $EC = a_c \cdot \sqrt{\gamma_c^3} \cdot \sqrt{f_c}$. Donde

a_c = Es una constante adimensional que varía de 27 a 33.

γ_c = Peso volumétrico, que nace de la relación de toneladas por metro cúbico de las edificaciones, valor asumido como de 15.000 N / m³. Convertido a unidades del sistema inglés en 100 Lb / Pie³. El valor de $a_c \cdot \sqrt{\gamma_c^3}$, asumido como constante, puede variar de 50.000 a 60.000 en el sistema inglés, a (7,5 – 9) mega N / m³.

f_c = Resistencia de comprensión, valor que relaciona rigidez del concreto a su elasticidad.

Estos valores a ser considerados en diferentes dimensiones, inclusive en la unidad usada para la presión, originan tablas y gráficas con errores superiores al 30%, para cálculos de la elasticidad del concreto y de la rigidez asumida en la edificación, (Gallego y Sarria, 2015); es decir la relación actual entre calidad y resistencia con respecto al módulo elástico puede contener varianzas apreciables; de alto valor que se han desplegado desde hace tiempo en una variedad de construcciones ciudadinas, donde lamentablemente se conocen las trágicas consecuencias cuando ocurren sismos significativos, en estas localidades.

Es por lo que se acude al método ya casi centenario, de realizar Muestras en construcciones que se realizan, o de extraer *Núcleos* en estructuras a diagnosticar, para por destrucción, visiones de movilidad o cálculos de porosidad, establecer parámetros de

confianza. La rigidez de toda edificación va a depender de la forma, número y tamaño de las estructuras individuales que la soportan, como columnas y vigas. Por supuesto también dependerá de la elasticidad del material de concreto usado y por la forma final del edificio, con el estudio de suelo respectivo; es decir por las secciones transversales de las columnas y vigas, la elasticidad del material, y los tamaños empleados, para evitar todo tipo de movimientos: traslacionales y rotacionales, (ingeniería sísmica. Equilibrio estático I y II).

Luego de regreso a lo cuantificable en estructuras existentes o en construcción, es el módulo de la rigidez del concreto, traducido en el cálculo o conocimiento del módulo de elasticidad y su nivel de alcalinidad, lo que determina en resumen la calidad del trabajo realizado o en proceso. Porque resulta difícil relacionar la resistencia de un material con su rigidez, cuando no se tienen valores aproximados a su ruptura, si bien con las dimensiones de los elementos estructurales y las cargas aplicadas y conocidas se pueden estimar posibles movimientos, es el módulo de elasticidad del concreto el factor medible que adquiere importancia para construcciones existentes y por realizar; en especial cuando estudios recientes, muestran dispersiones de hasta un 50% en la relación entre resistencia real, por estimación de la profundidad, y la formulación de este valor (Ruíz y Varón, 2007).

Muestras de estudio, sus implicaciones

Hoy en día se sigue usando comúnmente la estrategia de la muestra en cilindros de concreto diseñados en diámetros de hasta 20 centímetros y de altura de hasta 30 centímetros, los cuales son sometidos a una serie de pruebas de laboratorios para medir una gran cantidad de variables, entre las que destacan la de: porosidad, resistencia a la compresión y la tracción, mediciones de desplazamientos milimétricos por derivas y distorsiones, entre muchas otras; esta técnica tiene variados problemas definidos y aceptados como

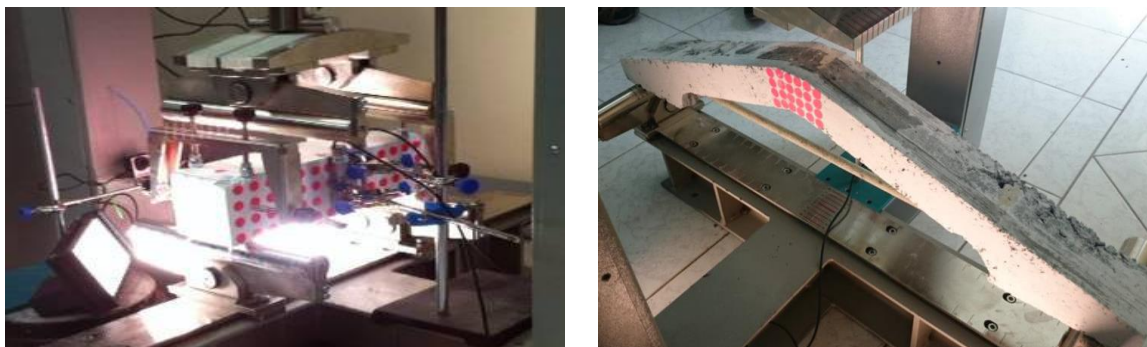
- 1) La muestra no necesariamente representa el material finalmente usado, pues siempre existe la suspicacia de que se construyen para este fin evaluativo.
- 2) Precisamente la construcción de muestras, su traslado a los laboratorios respectivos, el tiempo de respuesta de los resultados y sobre todo el aspecto contaminante de material que debe ser desechado; representa costos y tiempo apreciables, así como la ética en la *Dimensión Ambiental*, (o sea la reflexión transversal de todo profesional para con el medio natural en donde convive), y que se debe considerar hoy en día.
- 3) Muchas muestras cilíndricas de concreto deben primero curarse en agua por un tiempo de 7 días, norma estándar, para luego ser secados en un mínimo de tres semanas; es decir estas pruebas involucran tiempo de respuesta, que son significativas en los costos de los estudios

y en la espera de los resultados, donde por lo general la obra constructiva, no se detiene.

4) Las técnicas invasivas como resultados de aceptación de los problemas anteriores pueden generar daño de la estructura en el sitio, (caso de debilidad en la columna que se le sustrae concreto, por la posibilidad de tocar o dañar el acero estructural), e inconvenientes de extracción de dichas muestras llamados núcleos.

Ejemplo de lo dicho se observa en las siguientes figuras, cuando se realizan ensayos de laboratorio sobre muestras en vigas de hormigón armado sometidos a flexión, (entre 150 y 200 kilos), Y en las figuras siguientes, con probetas de concreto, para medir deflexiones o rupturas ante esfuerzos controlados, con el uso de cámaras digitales a tiempo¹. Ver figura 1.

(Figura 1: Monolitos de concreto, en ensayos de laboratorio).



(Mejía, 2015, p.34)

Otro ejemplo en estudios analógicos de muestras, para evaluar el módulo elástico en cilindros de concreto, antes la ruptura. Ver figura 2.

(Figura 2: Cilindros de cemento y concreto ya curados, en pruebas de resistencia).



(Mejía, 2015, p.35)

¹ Interesante es el hecho del traslado y movilidad de estos monolitos, al laboratorio.

Ensayo por ultrasonido en muestras

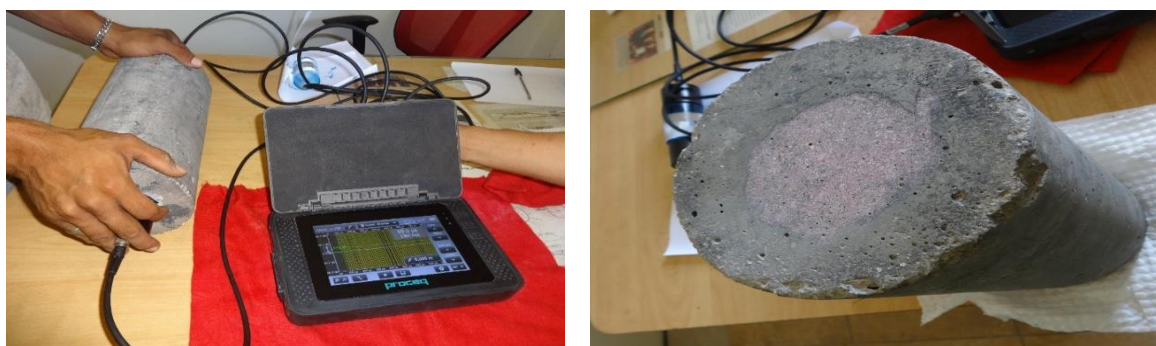
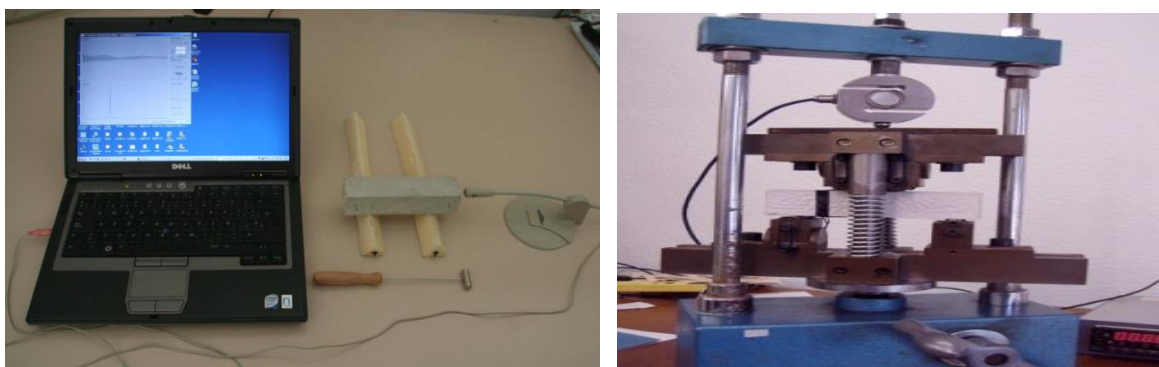
El ensayo de análisis de la frecuencia de resonancia se puede aplicar sobre probetas normalizadas de formato 4x4x16 centímetros, donde los morteros realizados son de hasta ocho tipologías diferentes, según la dosificación de los conglomerantes, el agua y de las arenas usadas. La relación agua porcentual con respecto al cemento usado (A), como varianza de calidad, es importante porque por lo general no está normalizada esta relación, siendo responsabilidad final del *Maestro de Obra*; es decir de antemano se puede afirmar que es la variable de mayor correlación a los cambios en la velocidad sónica medida, en el sitio o incluso en probetas, y la relación entre la grava y la arena usada (G).

Es decir, el aspecto de la composición química del concreto en combinación de elementos que optimizan la mezcla y sus resistencias como micro silicio, son y serán el tema de la calidad de la resistencia definitiva de la estructura. Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, en el conocimiento de la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio y su calidad.

Por lo general toda probeta, en casos donde no sea posible aplicar la estrategia del ultrasonido en el sitio, debe cumplir, en lo más común con: 7 días en ambiente saturado en cámara humedad, 21 días en ambiente de laboratorio aproximadamente 20 C° y de ser necesario secado con estufa superior a los 50 C° para lograr peso constante, esto provoca costos de material y tiempo de la extracción de muestras, así como del aspecto contaminante para el ambiente de esta práctica, por los desechos.

El llamado método por *Esclerómetro* permite conocer la dureza superficial del hormigón, el cual consiste en un vástago, a lo largo del cual se desliza una masa que golpea contra la muestra que se ajusta en una prensa, (martillo golpeador), con una cierta energía que se transmite al hormigón, el que sufre una deformación milimétrica, llamada elastoplástica. Al recuperarse emite una onda, medible en una escala graduada; es decir, es un módulo de Young estático, a partir de ensayo de flexo-tracción. Ver figura 3.

(Figura 3: Esquemas de piezas varias, para pruebas de ultrasonido).



(Rosel, 2009, p.12)

La frecuencia propia de resonancia, analizada como una serie de Fourier se estima la velocidad de la pulsación generada o del pulso ultrasónico que atraviesa toda la muestra, como valor proporcional a la calidad del hormigón, es decir a su resistencia medida en Kg/cm^2 o en algunos casos en la unidad de presión internacional llamada Pascales. Ejemplo en el esquema de arriba la derecha, de la figura 3, muestra la versión electrónica de este ensayo, usando un micrófono especial, en una muestra de material prefabricado, con mínima fisuración.

Donde todas las muestras recolectadas o fabricadas para este fin pueden representar situaciones reales en: a) estructuras en construcción, b) daños previos ocurridos en estructuras, como sismos o incluso simulaciones para incendios, donde el hormigón sufre cambios de temperaturas apreciables en poco tiempo, de sobre los 300 a 500 $^{\circ}\text{C}$, y c) simplemente controles solicitados por tiempo en edificaciones ciudadinas conocidas, (valor estimado para estos estudios en los 50 años).

Como se ha dicho el estudio busca mostrar no solo las bondades en la medición de la calidad del concreto usado en estructuras, con el método no invasivo de los equipos de ultrasonido, al palpar la velocidad en ondas que atraviesan y rebotan. En adicional para estimaciones de la porosidad o el agrietamiento posible del concreto, que va a permitir la oxidación del acero interno, se usan pruebas específicas de soluciones que determinan esta posibilidad; con el respaldo del uso de la Fenolftaleína, como reactivo para medir el grado de alcalinidad del concreto, que representa un valor de las vías o “Poros”, para la oxidación del acero, véase el uso de este reactivo en los siguientes esquemas de la figura 4, sobre ataques de sulfatos.



(Figura 4, esquema 1)

(Figura 4, esquema 2)



Se muestran los llamados ataques de sulfatos que ocasionan expansiones internas en el concreto armado, abriendo espacios a la porosidad que puede llegar a romper el concreto; luego estos sulfatos al reaccionar con el hidróxido de calcio característico en los concretos pueden corroer el acero interno, generando daño

apreciable y nuevas expansiones. La experiencia muestra que se puede considerar daño posible cuando la alcalinidad llega a un 0,6% (Montejo, 2013).

El químico usado es la fenolftaleína sobre las muestras, como indicador valido del PH que reacciona en tonalidad de rosados, (Una vez la superficie es rebajada hasta al concreto, es decir quitado el friso o el llamado Enlucido), donde esta visión indica si el concreto esta carbonatado en el porcentaje de aceptación. En estudios invasivos en el sitio se taladra una región que previamente no involucre aceros, (conocimiento por equipos electrónicos de detección de metales), y se aplica la sustancia al polvo. El PH idóneo en el concreto es de alcalinidad superior al N° 10.

Tecnología de ensayos en vivo

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico, como una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto, (solo se requiere de estar en la obra o la parte de la obra terminada, quitar el enlucido o friso, por pulido), se ha utilizado desde las décadas de los años 70, en países como Canadá; sin embargo, desde entonces ha sido un requerimiento *Dual*, (con ultrasonido y con muestras), cómo cuando se debieron realizar estudios en cortinas de presas, con muestras fabricadas y en él sitio. En estudios realizados, (Malhotra, 1985) publicó un criterio de aceptación del concreto sobre la base de la medición de la velocidad ultrasónica, por comparación. La clasificación del concreto en categorías de calidad con base a intervalos de velocidad se presenta sobre los 2.000 m/s hasta los 5.000 m/s, respectivamente.

Este criterio actualizado busca predecir la resistencia del concreto, con valores redondeados para este estudio, con la utilidad de la siguiente fórmula

$R = v / 4 - 33.C + 1,8A - 1000$; donde

$V / 4$, es la cuarta parte de la velocidad estimada por el equipo de ultrasonido.

C = Es un valor estimado entre (6 y 8) por los componentes usados en el cemento.

A = El porcentaje de agua usado en la mezcla, por metros cúbico.

El índice de resistencia produce un número en el intervalo de (0,5 a 0,99), como resistencia a toda prueba del concreto; (Solís, 2004). Este autor refiere que la combinación de arenas debe ser del 40% con el 60% de grava entre piedras calizas e ígneas, en el compuesto en polvo del cemento. El índice de resistencia se acepta en unidades de kilogramo sobre centímetros cuadrados, aunque también se usa el término de presión en unidades de Pascales, y su comportamiento obedece la curva exponencial en clara relación con la velocidad medible del ultrasonido.

La idea es calidad en relación con la velocidad como estrategia superior a la del módulo de elasticidad, para luego poder establecer la contribución del concreto en columnas y vigas a fuerzas axiales típicas de los movimientos sísmicos y a fuerzas cortantes que accionan grietas visuales, o para el deterior natural con el tiempo de toda estructura, a pesar de la contribución que aportan el acero usado en varillas. Lo interesante es que no necesariamente el incremento proporcional del acero interno en el concreto, lo hace más resistente, porque las experiencias sísmicas en la cordillera andina y en nuestro país, han ejemplarizado flexiones o *Módulos de ruptura* en quiebres de columnas por exceso de

varillaje, que más bien debilita la compresión². De hecho, un aspecto empírico usado ya con suficiente frecuencia dice que la resistencia a la compresión se puede usar como índice para las resistencias de flexión, de tensión, de torsión y cortante; por medio de fórmulas y porcentajes calculables. Es decir, nos atrevemos a afirmar que la mejor protección ante un sismo no es necesariamente la resistencia a la cortante o flexión sino más bien la de compresión.

Esto genera la relación de la curva entre la velocidad y la rigidez del concreto como una tendencia curva, que al ser graficada en papel milimétrico y semi logarítmico, se visualiza como una curva del tipo exponencial. Donde la composición del material de piedra caliza y su procedencia es la que determina esta rigidez o la dispersión de los datos; interesante es que los suelos de extracción de la mayoría del cemento usado en el país son del tipo de grava gruesa.

El uso ultrasónico incluso puede descubrir situaciones internas, de pérdida de resistencia y de calidad en el hormigón en contacto con partes oxidadas del acero en su interior. (Ruiz / Varón, 2007), en Bogotá Colombia, realiza miles de ensayos para derivar el Módulo de Elasticidad a partir de f'_c . Y demuestra por correlación que en efecto estas magnitudes guardan relación de dependencia por proporcionalidad exponencial. Donde la velocidad calculada guarda se puede entonces asumir como la *Resistencia Probable*. Este autor establece la tabla Leslie/Cheesman que indica una velocidad de 3050 a 4500 m/s hay buena resistencia y por debajo de 3000 m/s es pobre. Adicionalmente el autor (Solís y Baeza, 2003), dice que el concreto es aceptable solo a partir de los 3000 m/s.

La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas, que atraviesan una distancia conocida hasta alcanzar a otro transductor receptor, donde se convierte la señal acústica en electrónica. Un circuito electrónico mide el tiempo de tránsito, con el que se determina la velocidad del impulso ultrasónico. Donde cambios en este valor, indican: Poros o fisuras en su fraguado; y por ende es un valor de resistencia mecánica. Se muestran a continuación 4 ensayos realizados en estructuras diferentes, (Cortesía de la empresa INGEOMAT, S.A), en detalles resumidos con informes técnicos realizados

1) Tanques para agua: Diámetro 15 metros, altura 4,5 metros. Por requerimiento de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Agua Potable, AGUAPEN. El Sistema constituyó la Planta ENGOROY, según referencias de la década del 60, con un

² Por observaciones en edificaciones de pisos caídos y columnas rotas a transversal, nota de los autores, en cálculos de las llamadas derivas de piso.

funcionamiento temporal, ya que su provisión de agua para ser tratada se la realizaba por tanqueros, que resultó muy oneroso. El sistema en abandono presentó deterioro visual con filtraciones. Ver figura 5

(Figura 5: Tanques para agua, de la una vez existente empresa “Aguapen”).



(Archivo de fotos de trabajos realizados, empresa INGEOMAT)

Resultados: a) Modulo elástico promedio 139,95 Kg/cms², b) Resistencia a la compresión $f'c = 101,2$ Kg/cms², c) Velocidad promedio 2.750 m/s, d) Carbonatación maxima al 0,75%, d) Acero con corrosión, e) Indice de solís en 0,44. **Teoría de comportamiento:** Elementos estructurales inaceptables. **Recomendaciones:** Reconstruir o aprovechar los espacios.

2) Centro de salud Prisma: Estructura de dos pisos a evaluar por remodelaciones después de 35 años de construida, a solicitud de empresa privada. Ver figura 6.

(Figura 6: Estructura y mampostería del centro Prisma).



(Archivo de fotos de trabajos realizados, empresa INGEOMAT)

Resultados: a) Modulo elástico promedio 183,35 Kg/cms², b) Resistencia a la compresión $f'c = 301,2$ Kg/cms², c) Velocidad promedio 3.750 m/s, d) Carbonatación al 0,5%, e) Índice de Solís al 0,74. **Teoría de comportamiento:** Elementos estructurales aceptables, fundaciones en buenas condiciones. **Recomendaciones:** La obra solo requiere de enlucido, pintura y limpieza general, modelación de resultados con SAP2000.

3) Bodegas 7-8 de Aforo: Parroquia Ximena, Guayaquil, provincia del Guayas. La estructura, consta de 8 naves adjuntas, de un nivel tipo paraboloides elípticos apoyados en arcos, con vigas tensoras de concreto reforzado. Ver figura 7 siguiente

(Figura 7: Estructura dañana de las bodegas 7-8 Parroquia Ximena Guayaquil).



(Archivo de fotos de trabajos realizados, empresa INGEOMAT)

Resultados: a) En cascaras y columnas $f'c = 290,3$ Kg/cms² y $f'c = 330$ Kg/cms². b) Carbonatación en columnas al 1,4%, c) Velocidad promedio de 3.010 m/s, d) Índice de Solís al 0,55. **Teoría de comportamiento:** La edificación a pesar de su buen criterio de construcción, necesita ser reparada urgentemente, en los elementos estructurales de las naves A, B, C y D de las bodegas 7 y 8, según normas ecuatorianas para este tipo de estructuras, a pesar del friso que posee (Enlucido). También se acota que en la Bodega 7, nave H, presenta grietas en paredes de mamposterías, ocasionadas por el cambio de período entre ambas estructuras por la rigidez del entrepiso, que justifica el comportamiento de la estructura. **Recomendaciones:** Derrocar la pared adosada y dejar su respetiva junta con el objetivo de

repotenciar la estructura en: capacidad portante, corte y flexión, se pueden emplear diferentes técnicas constructivas de reparación tales como: Láminas de fibras de carbono, encamisado metálico con disipadores de energía.

4) Terremoto en la ciudad de Manta 2016: Edificio de 5 niveles, al sur de la ciudad. Estructura en construcción cuando ocurrió el sismo, por análisis definitivo de su utilidad.

(Figura 8: Estudio de columnas y vigas en los pisos del edificio)³.



(Archivo de fotos de trabajos realizados, empresa INGEOMAT)

Resultados: a) En columnas $f_c = 310 \text{ Kg/cm}^2$. b) Carbonatación en columnas al 1,1%, c) Velocidad promedio de 2.010 m/s, d) Índice de Solís al 0,45. **Teoría de comportamiento:** La estructura está en aceptable para su reparación, en los elementos estructurales de columnas con refuerzos de camisas de acero, según normas ecuatorianas. **Recomendaciones:** Reemplazar toda la mampostería luego del refuerzo estructural.

Diferencias y similitudes entre pruebas en Muestra y la Tecnología en vivo.

1) Es interesante que las diferencias recopiladas en resultados obtenidos entre pruebas analógicas destructivas y por pulsos ultrasónicos (método del ultrasonido), no difieren de un 5%, en sus resultados. El cálculo de la velocidad de ondas electromagnéticas está relacionado al índice de calidad de los agregados que conforman el hormigón.

³ Desde la figura 5 a la 8, son fotografías entregadas y permitadas por la empresa INGEOMAT.

- 2) Cuando se sabe que por cálculos en índice de elasticidad del concreto se pueden generar diferencias de hasta un 50%, por las diferentes composiciones usadas, entonces la diferencia anterior es una holgura aceptable.
- 3) El estudio de muestras genera tres factores costosos en la ingeniería: El tiempo de realización con sus resultados, la construcción o extracción de muestras, (en donde siempre existe la posibilidad y el hecho de daño), y su transporte; a diferencia del estudio *in situ*.
- 4) El estudio por ultrasonido y uso de químicos en vivo no genera elementos contaminantes o la llamada basura de la muestra; de hecho, se pueden realizar varias y muchas pruebas en diferentes sitios y ángulos, a modo de comparación y validación de resultados, en menos tiempo que con las muestras cilíndricas o en morteros menores llamados probetas normalizadas; de hecho, estas últimas al ser invasivas y representar un “daño”, no pueden repetirse para comparaciones en un mismo cuerpo de estudio.
- 5) En construcciones en pleno desarrollo, puede ocurrir la diferencia en tiempos de respuesta y avance de obra, ocasionando disparidad en lo planificado; la tecnología: *En Vivo* es más abierta y confiable a controles externos, por su facilidad y rapidez.
- 6) En definitiva los costos involucrados, para cumplir con las normas de construcción en estructuras significativas, sea en: a) Desarrollo, b) Por mantenimiento posible o c) Por estudios de afección ante fenómenos humanos o naturales, son menores si se acude a empresas con equipos específicos de tecnología química y ultrasónica, con capacidad de estudios en vivo.

Interesante resulta que aún las opiniones en la ingeniería civil están divididas sobre los diferentes métodos de calidad del concreto, en lo denominado *Ensayo de materiales*. Al punto que, en la educación actual universitaria, destaca el tema de las muestras cilíndricas a tiempo por encima de las tecnologías: *En vivo*; pero en ambos casos estos conocimientos son escasos. Estudios al azar en 4 universidades de la ciudad de Guayaquil, para las mallas de la carrera de ingeniería civil, muestran que existe, en todas, una asignatura contentiva de conocimientos sobre los tipos de materiales, aceros, cementos y concretos, en una referencia histórica; donde la evaluación de la calidad del concreto, usado en construcciones en progreso, y en estructuras existentes, es solo una parte de un tema⁴.

⁴ Es decir, los ensayos de calidad no son vistos como unidades de esta materia, (La cual cambia de nombre en cada universidad), sino como temática del tema de concretos, de la segunda unidad.

Avances y aportes a la ingeniería, a hacerle seguimiento

Al referirnos a las patologías posibles encontradas, en estructuras diagnosticadas, debemos establecer las condiciones actuales del deterioro para la evaluación de las causas, efecto, y formulación de los procesos de reparación si fuere posible realizarlo o la determinación de demolición de la estructura que representaría un elevado riesgo de producirse el colapso en condiciones determinadas, especialmente en eventos sísmicos. En las estructuras de concreto armado el tiempo de vida útil depende de numerosos factores, que se relacionan con el rigor de las condiciones de exposición, servicio y el adecuado mantenimiento que debe realizarse en todo tipo de estructuras, cabe referirse a los factores que influyen en la calidad del concreto y de ciertos aspectos de carácter constructivo que inciden de manera importante, en la durabilidad de las estructuras de concreto.

Para lo dicho entonces los estudios *en vivo* deben ser registrados por la municipalidad competente, en un mapa citadino en un enfoque de: Después de tiempo aceptado para la revisión de estructuras, después de un siniestro humano o natural o en estructuras en pleno desarrollo (en construcción). La idea es siempre mostrar estos resultados en comparación a los costos, el tiempo y la contaminación que hubiese accionado el trabajar con muestras extraídas o prefabricadas.

La propuesta en sí, implicación pedagógica

Diagnosticada la necesidad cognitiva en la asignatura de: *Ensayo de materiales* del cuarto semestre, en la carrera de Ingeniería civil de la Universidad de Guayaquil, actualmente. Materia de cuatro horas semanales, (64 horas por semestre). Con dos unidades, a saber:

Unidad I: Madera, Aceros y Rellenos; con estas tres temáticas, para el primer parcial, 32 horas académicas.

Unidad II: Cementos y concretos, hidráulicos y asfálticos. Control de calidad; con cuatro temáticas, donde solo en el tema de concretos hidráulicos existe el subtema de evaluación de calidad con métodos destructivos y no destructivos, 32 horas para el segundo parcial⁵.

Entonces la propuesta es la de realizar una serie de cambios, donde aparezca la tercera unidad con el tema importante de los estudios de calidad en los cementos y concretos: En construcción, a tiempo y afectadas por fuerzas naturales, la nueva asignatura requiere de

⁵ Información obtenida de mallas recientes estudiadas, en la dirección de carrera de ingeniería civil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, de la Universidad de Guayaquil.

cinco horas semanales presenciales. tres teóricas y dos prácticas, (Laboratorio), para un total de 80 horas por semestre.

Entendiendo que la nueva unidad, en realidad es una incorporación temática de estudios ya existentes sobre la calidad del concreto, pero con una especie de actualización tecnológica, con equipos e instrumentos poco usados en campo profesional, que sin duda pueden o deben variar; es decir la propuesta pedagógica no se ata a un algoritmo funcional o un equipo específico, lo que se establece en el mundo didáctico es la necesidad y ventaja de incluir conocimientos relacionados con las pruebas Invasivas, de Muestras y las llamadas en vivo. En el marco de comparaciones de resultados y ventajas inherentes de cada método de ensayo de calidad; de tal forma que el estudiante y futuro profesional, desde ya vaya desarrollando un criterio propio sobre el tema de como evaluar la calidad en el concreto, a usar, y existente en obras concluidas, o en construcción.

Ensayo de Materiales, cuarto semestre, estudios profesionales (80 horas)⁶.

Prerrequisito: Resistencia de materiales. Correquisito: Mecánica de suelos.

Es una asignatura del área de Geotecnia, la cual proporciona saberes sobre los diferentes materiales constructivos: Agregados, madera, bambú, acero, cementos y concretos hidráulicos, que se utilizan en la elaboración de elementos estructurales. Los análisis se realizarán desde el punto de vista físico-mecánico, correlacionándolo mediante los diferentes ensayos de laboratorio: Resistencia a la compresión, flexión, tracción; granulometría, plasticidad, (abrasión, en cementos y concretos), resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, y diferentes estudios en el concreto armado.

Unidad I: Madera, aceros y relleno; composición, historia de utilidad y diseños varios, materiales componentes y pruebas de laboratorio. Seis semanas de clase: 18 teóricas y 12 prácticas experimentales, para un total de 20 horas.

Unidad II: Cementos y concretos, hidráulicos y asfálticos; utilidad histórica, parámetros de diseño, composición y densidades, NEC-15, ensayos de laboratorio, seis semanas de clase: 18 teóricas y 12 prácticas. 3 ensayos, para 30 horas.

Unidad III: Métodos destructivos y no-destructivos, para la evaluación de parámetros de calidad en el concreto armado. Ensayos de laboratorio y vistas de campo, comparación de

⁶ Hoy en día se habla de la reducción de horas generales en las mallas de carrera, como normativa nacional. Sin embargo, de esto ocurrir la reducción de ser en contenidos en las asignaturas teórico-prácticas, están no deben eliminar sus laboratorios.

métodos y resultados. Cuatro semanas de clase, para 20 horas. (12 horas teóricas-prácticas entre el salón de clase y el laboratorio, y 8 horas de campo.

Evaluaciones: 3 aportes al término de cada unidad, informes grupales del Laboratorio y de los estudios de campo, para un 60% de nota experimental y autónoma, más apreciaciones del trabajo colaborativo individual o grupal. 2 parciales individuales, al término de la octava semana, para un 40% de nota definitiva. Normativa general del Silabo.

El criterio identifica la temática actual de la evaluación de calidad en el concreto, como necesaria e importante para el estudiante de ingeniería civil, elevándola a tercera unidad de la asignatura. Luego de conocidos los cementos y concretos usados y las características de los suelos, el futuro profesional debe conocer la calidad del concreto usado en estructuras que se construyen, en estructuras existentes en el tiempo, y en aquellas afectadas por siniestro y fenómenos naturales; empleando diferentes métodos y estrategias: invasivas, de muestras o *in vivo*, para desarrollar criterios evaluativos propios.

Basado en la propuesta de la guía docente (García y Deltell, 2012), donde se afirma que toda actividad de aula debe contar con la participación del estudiante. Es cuando la propuesta al incluir el aspecto de estudios en campo y ensayos se enmarca en una participación en los procesos de enseñanza con su docente, una vez que compara resultados en el laboratorio con pruebas, sobre los diferentes materiales de construcción.

Conclusiones y recomendaciones

Las tecnologías de ultrasonidos en estudios en el sitio o sobre muestras fabricadas o extraídas para este fin; son completamente válidas en comparación con los estudios de fallas, deflexiones y rupturas realizados de forma analógica. Las ventajas de los estudios en el sitio llamadas *in vivo* son considerables en comparación con los estudios sobre muestras fabricadas o extraídas; en términos de costos, tiempos involucrados y la contaminación por basura ocasionada.

En seis estudios particulares se pudo conocer de resúmenes y conclusiones de informes de ingeniería, en un resumido lenguaje de resultados apropiados para el lector común, sobre estados de diferentes obras construidas; en términos de su posibilidad de ampliación, mantenimiento o utilidad posible. La idea no es desplazar el estudio de muestras fabricadas o extraídas, sino que se amplíe el uso de las tecnologías no invasivas llamadas tecnológicas, para las comparaciones de diferentes estrategias para conocer la calidad del concreto, como un histórico para diferentes estructuras; con la finalidad de desarrollar un criterio de amplitud y mayor certeza posible.

En este sentido el trabajo culmina en una propuesta lógica, sobre el Sílabo actual de la asignatura relacionada con los diferentes materiales usados para la construcción, en el sentido de ampliar el tema de la evaluación de los parámetros de calidad en el concreto armado, como producto final y mayormente común en las estructuras y edificaciones de la actualidad; materia por lo general llamada *Tecnología de materiales*, en diferentes mallas observadas en diferentes universidades, y Ensayo de materiales, en la Universidad de Guayaquil.

Referencias

- GALLEGO, M.; SARRIA, A. **El concreto y los terremotos, Conceptos, Comportamientos, Patologías y Rehabilitación**. Segunda reimpresión. Asocreto. Bogotá D.C. Colombia; p 457, 2015.
- GARCÍA, E.; DELTELL, L. La guía docente: Un reto en el nuevo modelo de educación universitaria. Estudios sobre el mensaje periodístico. Vol. 18 octubre. Madrid, **Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense**, pp 357-364, 2012.
- MALHOTRA V. M. **Nondestructive methods for testing concrete**. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada; p 35-45. 1985.
- MEJIA, C. **Análisis de deformaciones y deflexiones en vigas de hormigón y arcos de hormigón armado por medio del método de Correlación Digital de Imágenes**. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias e Ingeniería, 2015.
- MONTEJO, A.; MONTEJO, F. **Tecnología y patología del concreto armado. Universidad Católica de Colombia**. Facultad de ingeniería; p 261, 2013.
- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. **NEC-15**. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Quito, 2015.
- ORTEGA, N.; ERCOLANI, G. Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas. **IV Conferencia Panamericana de END** Buenos Aires. Octubre 2007.
- ROSEL, J.; CANTALAPIEDRA, I. **Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto, aplicado a morteros de cal y cemento**. Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2009.
- RUIZ, D.; VARÓN, R. **Refuerzo sísmico exterior para mampostería no estructural. Experimentación en muretes**. Bogotá. Universidad Javeriana, 2007.
- SOLÍS, R.; BAEZA J. Influencia de las propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto. **Técnica de la Facultad de Ingeniería**, Universidad del Zulia, Venezuela, Volumen 26, N°. 1, 44-55, 2003.

SOLÍS, R. Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. **Ingeniería**, vol. 8, N°. 2, pp. 41-52 Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México, 2004.