

ALGUNOS TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS SOBRE HORMIGÓN

| Nº | Método de Evaluación | Propósito | Principio de Operación | Ventajas | Limitaciones | Algunos equipos disponibles/Páginas web de consulta | Observaciones/Comentarios | Algunas Referencias |
|----|--|---|---|--|---|---|---|-----------------------|
| 1 | Exámen Visual | Evaluar la condición general de la superficie expuesta de una estructura de hormigón (desarrollo de fisuras, grado de terminación superficial, etc.) | Exámen visual con o sin ayuda de herramientas de medición, registros fotográficos y herramientas de bajo costo | Bajo costo. Evaluación rápida del H'. | Personal entrenado | N/A | Uso de terminología acorde a Guías y Reglamentos. | 1,2,14,15,16 |
| 2 | Eco ultrasónico (ULTRASONIC ECO METHOD) | Brinda una indicación de uniformidad y calidad del Hormigón. Permite además localizar barras de acero y variedad de defectos en el hormigón tales como delaminaciones, huecos y nidos de abeja en el concreto, así como permite medir densidad y espesor. | Introducción de ondas ultrasónicas en el Hormigón. La dirección, frecuencia y amplitud original de éstas se modifica por la presencia de fisuras, objetos inmersos y secciones que tienen una impedancia acústica diferente. | Permite operar en superficies accesibles. Además, se puede operar en húmedo o bajo agua. | La colección de datos y el análisis posterior requiere entrenamiento. La profundidad de delaminación requiere una buena calibración de la velocidad de la onda. El operador deberá validarla con un espesor conocido. | Tomógrafo MIRA (Ultrasonic Shear Wave Tomography-UST)- instrumento que crea representaciones tridimensionales (tomografías) de los defectos internos (tomografías) de los defectos internos de concreto. Aplicaciones del MIRA: medición de espesores, detección de vacíos en tendones de postensado rellenos de grout, detección de laminaciones, vacíos y segregaciones en el hormigón. | Se requiere un alto nivel de experiencia para interpretar los resultados, el operador requiere de un entrenamiento considerable para uso del equipo. | 3,13 |
| 3 | Velocidad de pulso ultrasónico (UPV ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST) | Otorga una indicación de resistencia, uniformidad y calidad del concreto, es posible localizar eventuales discontinuidades internas, además de estimar sus tamaños. Método ampliamente utilizado para uso en campo. | Opera en el principio de que la velocidad de propagación de las ondas es afectada por la calidad del concreto. Se introducen ondas de pulso en el material a evaluar y se mide el tiempo de llegada en la superficie receptora con un receptor. | Equipo poco caro y fácil de operar. Evaluación precisa de uniformidad y calidad. Correlacionando la resistencia a compresión de núcleos y la velocidad de la onda, la resistencia in situ es posible estimarse. | La interpretación de resultados puede ser difícil. La densidad y cantidad de agregados, las variaciones de la mezcla y la presencia de refuerzos metálicos pueden afectar los resultados. Se requieren estándares de calibración. | www.proceq.com | El Método UPV es aplicado satisfactoriamente tanto en laboratorio como en campo. Puede utilizarse como control de calidad así como para el análisis del deterioro. Aplicaciones: Estimación de la resistencia del hormigón, establecimiento de la homogeneidad del hormigón, estudios de la hidratación del cemento, durabilidad del hormigón, determinación del módulo dinámico de elasticidad. | 1,4,5,7 |
| 4 | Radiografías por Rayos X y Rayos Gamma | Rayos X: Densidad y estructura interna del concreto, ubicación de refuerzos. Rayos Gamma: ubicación, tamaño y condición de las barras de refuerzo. Huecos en el concreto, densidad y espesores involucrados. | Basados en el principio que la tasa de absorción de Rayos X ó Rayos Gamma es afectada por la densidad y espesor del elemento testeado, los Rayos X ó Gamma se emiten desde una fuente, saliendo por el lado opuesto. Rayos gamma de una fuente radioactiva iluminan la estructura a ser examinada y el haz transmitido es registrado en placas radiográficas (o por medio de detectores especiales). La tomografía, o reconstrucción tridimensional de las armaduras se obtiene analizando estos registros. | #Método aplicable a una variedad de materiales. #El equipo de Rayos Gamma es fácilmente transportable. #Es el método que permite el mejor detallado en la detección de armaduras, incluso en casos de gran congestión(vigas y columnas). Permite la evaluación del grado de avance de la corrosión de las armaduras, en caso en que la hubiera. También permite detectar sectores con oquedades, discontinuidades, y elementos metálicos insertos en el hormigón. | # Equipos a operar por personas con licencia de operación especial. # La aplicación en campo de Rayos X es limitada ya que el equipo es pesado además de costoso. # Las fuentes de Rayos X y Rayos Gamma son perjudiciales al tejido orgánico. # Se requiere acceso a ambos lados del elemento a evaluar. # El inconveniente reside en la necesidad de instalar las placas, y en el uso de las radiaciones ionizantes. No obstante, las precauciones no son muy distintas de las que se adoptan en caso de gammagrafado o radiografiado industrial de instalaciones mecánicas. | www.thasa.com | Luego del gammagrafado de una estructura (de sus elementos componentes) de HRA se aplica a posteriori una metodología de análisis 3D (Tomografía) para la determinación de la posición, diámetro y estado de corrosión de las armaduras de acero así como la eventual presencia de oquedades en el concreto. En Argentina, la operación de rayos gamma debe estar habilitada por la ARN (Autoridad Regulatoria Nuclear). | 8,9,21,22,23,24,25,26 |
| 5 | Radar (GPR- Ground Penetration Radar) | Detección de huecos en el sustrato, delaminaciones y elementos embebidos ferrosos y no ferrosos. Medición del espesor de pavimentos de hormigón. | GPR (Ground Penetrating Radar) es una tecnología basada en radar que utiliza antenas para transmitir y recibir impulsos de energía electromagnética a través de un medio tal como el suelo o el hormigón. Como el Radar recibe y transmite pulsos registra "ecos" de objetos basados en sus diferentes Conductividad electromagnética. | Método conveniente para localizar barras de refuerzo, elementos plásticos, ferrosos, Metales Ferrosos y no ferrosos y vacíos, independientemente de los espesores (profundidades) involucrados. | Dependiendo del equipo se puede requerir cierto nivel de experiencia, mientras que otros casos pueden ser de fácil utilización tanto para operar el equipo como para interpretar sus resultados. Equipo costoso. La confiabilidad en la detección de huecos se ve muy reducida si hay refuerzos presentes. | www.3d-Radar.com www.geophysical.com www.us.hilti.com www.penetradar.com www.pcte.com.au | GPR es una técnica en la cual una gran cantidad de datos se puede coleccionar en un período corto de tiempo. Es una muy buena herramienta que puede utilizarse sola o bien para complementar otras técnicas como el MIRA (Ultrasonic Shear Wave Tomography). Es importante para el operador del equipo entender las limitaciones de profundidad (espesor) del equipo y las capacidades de las diferentes antenas. En general, las antenas de 1600 MHz son las normalmente usadas en investigaciones del hormigón. GPR tiene variedad de usos tales como aplicaciones geotécnicas, la determinación de espesor y estructura de glaciares, investigaciones arqueológicas, perfilado de fondos de lagos y ríos y localización de objetos enterrados, metales y objetos no metálicos. | 10,11 |
| 6 | Covermeters /Pachómetros (Reinforcing Bar Locator) | Detección de posicionamiento de barras de acero de refuerzo, determinación de la profundidad y estimación del diámetro y recubrimiento. | Campo magnético alternativo de baja frecuencia aplicado sobre la superficie de la estructura. La presencia del acero de refuerzo embebe altera este campo electromagnético. La medición de este cambio provee información del refuerzo. | Equipo fácil de operar, igualmente es necesario entrenamiento para interpretar los resultados. Se obtienen excelentes resultados si el hormigón está poco armado. | Es difícil interpretar resultados si el hormigón está fuertemente armado. Poco confiable para recubrimientos por sobre 120 mm dependiendo de las especificaciones de cada equipo. Además, el ACI 228.2R-13 enfatiza que la presencia de dos capas de armadura de refuerzo dentro de la zona de influencia generalmente no pueden ser identificadas con equipos covermeters comunes. La armadura de más arriba produce una señal mucho más fuerte que la de más abajo, y por lo tanto, la presencia de la 2da capa de armadura no se puede discernir. No obstante, es posible obtener la longitud de empalme cuando las barras están en contacto. | # Elocometer 331, model SH by Elocometer, Ltd. United Kingdom (http://www.elcometer.com) # Cover Master (trademark of Germann Instruments, Inc.) # Profometer and Profoscope (www.proceq.com) www.us.hilti.com | Los covermeters comerciales se dividen en dos clases, aquellos basados en el principio de la reluctancia magnética (resistencia a la creación de flujo magnético) y aquellos basados en las corrientes de eddy. Los primeros son afectados por la presencia de agregados de hierro en el hormigón mientras que esto no ocurre con los segundos. Esto hace que los primeros sean inadecuados para ser usados en caso de hormigones pesados, normalmente utilizados en la industria nuclear con propósitos de blindaje radiológico. Asimismo, es probable que la presencia de escorias de alto horno produzcan efectos similares en las mediciones de reluctancia magnética. | 2 |
| 7 | Impacto-eco (Método de eco sísmico) (IE) | Permite localizar varios defectos dentro de elementos de hormigón tales como delaminación, huecos, nidos de abeja, así como permite la medición de espesores. Aplicaciones: Medición de espesor en pavimentos, recubrimientos de asfalto, losas y muros. Profundidad de vacíos o grietas horizontales. Detección de vacíos bajo losas. Evaluación de inyecciones de grout epóxicos o lechadas. Profundidad de grietas superficiales. Evaluación de adherencia entre sobrecapas o productos de reparación. Calidad del Hormigón. | Este método se basa en el análisis de frecuencias a las que viajan las ondas ultrasónicas a través de la zona del elemento a examinar. | El uso de métodos ultrasónicos convencionales requiere acceso a ambas caras de la estructura y no es posible determinar la profundidad a la cual está un defecto localizado. Tales limitantes no existen en este Método IE. Buena confiabilidad para delaminaciones y espesores de placa. | # La confiabilidad decrece marcadamente cuando barras de refuerzo y tendones están presentes. # Las velocidades de onda deben ser determinadas en objetos de testeo de espesor conocido. # La colección de datos y análisis requieren entrenamiento extensivo y consumo de tiempo. # En general, IE no provee buena información para espesores superficiales menores a 5 cm. | www.germann.org www.olsoinstruments.com | El Método IE opera en el análisis y propagación de las P-waves. En general un sistema IE utiliza una computadora para el procesamiento de señales, un sistema de adquisición de datos, un acelerómetro (displacement transducer) y una Fuente de impacto. A veces, la computadora y el sistema de adquisición de datos son una única unidad, dependiendo esto del fabricante del equipo de que se trate. | 2,12,13 |
| 8 | Half-cell Potential (HCP) | Es un Método eléctrico usado para evaluar actividad de corrosión: La medición de un cierto voltaje permite evaluar la probabilidad de corrosión que esté ocurriendo en el acero de refuerzo al momento de la medición misma. El propósito del método HCP es el de identificación de zonas críticas de una estructura o elemento estructural. | Medición de la diferencia de potencial (voltaje) entre el acero de refuerzo y un electrodo de referencia standard. Cuanto más elevado es el valor absoluto del potencial medido, más alta es la actividad de corrosión presente. | Técnica que permite una medición rápida. | Los refuerzos de acero recubiertos con epoxi pueden usarse para prevenir la corrosión en ambientes agresivos. El Método HCP no es aplicable en esta situación, en concordancia con lo expuesto en ASTM C876. HCP puede proveer sólo mediciones localizadas indicativas de actividad de corrosión en la inmediatez donde la medición es llevada a cabo. Como el potencial de corrosión puede variar mucho en relativa corta distancia, la probabilidad de perder spots (manchas) de alta probabilidad de corrosión puede ser elevada. | www.elcometer.com Profometer corrosion-Half Cell Potential Meter | HCP tiene algunas limitaciones tales como: a) requiere conexión eléctrica con el acero de refuerzo embebido (rebar), b) no es aplicable a barras de refuerzo con recubrimiento epoxi, c) requiere que la superficie del hormigón esté húmeda y d) no provee indicación de la tasa de corrosión. | 17,18 |
| 9 | Resistividad Superficial (Surface Resistivity) (SR) | Es posible medir la resistividad superficial del recubrimiento de hormigón (aproximadamente entre la superficie exterior y la primera capa de refuerzo, en una distancia aprox. entre 1 y 2 pulgadas). Puede utilizarse para caracterizar el contenido de la mezcla del recubrimiento del hormigón y también, la actividad de corrosión. La medida de la resistividad superficial es generalmente utilizada en conjunción con el Método HCP (Half Cell Potential). | La resistividad del hormigón es una propiedad eléctrica del material con un cierto estado de contenido de la mezcla, temperatura, carbonatación y daño. | Equipo de uso no caro, simple de operar, muchas mediciones pueden realizarse rápidamente. Es muy usado en conjunción con otros métodos de testeo como el HCP. | #La resistividad depende de la composición del material, muchos de los componentes del hormigón son altamente resistivos. Por ejemplo, la presencia de agregados pesados (ej:hormita) para propósitos de blindaje biológico en la industria nuclear pueden ser la causa de un incremento de la conductividad. # La mayor dificultad yace (en el dispositivo de 4 electrodos) en la interpretación cuantitativa de las lecturas porque numerosos factores influyen las mediciones además del proceso de corrosión en sí. # El espesor del recubrimiento de hormigón es limitado a unos pocos centímetros, comparable con el tamaño máximo del agregado grueso, por lo tanto, el recubrimiento no puede ser considerado como representativo del volumen del concreto. | El dispositivo generalmente usado (Four-pin Wenner probe) consta de 4 electrodos alineados e igualmente espaciados (Wenner Array). | La resistividad es un parámetro de investigación para evaluación de la condición y para la prognosis de operación a largo término de estructuras de hormigón armado o pretensionado sujeto a corrosión (carbonatation atmosférica o ataque de cloruros). Se utiliza como suplemento del Método del HCP, regiones de baja resistividad pueden asociarse a un alto grado de corrosión del refuerzo (si es que la corrosión está activa). | 20,19,17 |
| 10 | Termografía Infrarroja (INFRARED THERMOGRAPHY) | Permite la detección de defectos internos, crecimiento de fisuras, delaminación y huecos internos. Es una técnica de evaluación no destructiva comunmente usada en la industria aeroespacial y otras, para la inspección de numerosos componentes, debido a la posibilidad de inspección rápida en estructuras complejas de defectos de interés tales como delaminaciones, desprendimientos y defectos similares. | El método detecta la energía infrarroja emitida de un objeto, la convierte en temperatura y muestra una imagen de la distribución de la temperatura. | Es un método relativamente barato y preciso para detección de defectos en el hormigón, puede cubrir grandes áreas en forma rápida. | Requiere habilidades especiales del operador. | Portable Infrared Thermal Imaging Cameras | La presencia de imperfecciones dentro del hormigón afecta las propiedades de conducción del calor del concreto y la presencia de defectos son indicadas por diferencias en las temperaturas superficiales. Los defectos tales como huecos y delaminaciones actúan como aislantes del flujo de calor. Los defectos deben aparecer como regiones más claras o más oscuras comparadas con las regiones aledañas. | 27 |
| 11 | Rebound Hammer Test (RH Test) (Schmidt) | Compara la calidad del hormigón de diferentes áreas del elemento evaluado, estimando la resistencia in situ de éste basada en curvas de calibración con limitada exactitud. Hay una pequeña (y aparente) relación teórica entre la resistencia del hormigón y el número de rebotes del martillo por lo que, se han establecido correlaciones empíricas entre las propiedades de la resistencia de dicho material y el número de rebotes. | Una masa accionada por un resorte golpea la superficie del hormigón, rebotando una cierta distancia, luego, se mide la dureza de la superficie la resistencia del material se puede estimar a través de curvas de calibración que son provistas por el fabricante del martillo. | El equipo es liviano, barato y simple de operar por personal de campo. Pueden obtenerse gran cantidad de datos en forma muy rápida. Es útil para la determinación del grado de uniformidad del hormigón junto con áreas de potencial baja resistencia. | Muchas son las limitaciones del martillo de Schmidt. Este equipo no debe ser considerado como sustituto de los ensayos a compresión standard. La predicción de la resistencia estructural del hormigón usando tablas calibradas basadas en test de laboratorio no es absolutamente recomendada. Aunque el martillo de rebote provee un rápido y barato método de chequeo de la uniformidad del hormigón, los resultados son afectados por factores tales como: la rugosidad de la superficie evaluada, la edad del espécimen, el tipo de agregado y de cemento utilizados y la carbonatación de la superficie del hormigón. Por último, el equipo requiere calibración frecuente. | www.controls-group.com (Digital Rebound Test Hammer). | El martillo pesa alrededor de 1.8 Kg. y es adecuado tanto para su uso en laboratorio como en campo. El martillo puede ser utilizado en posiciones horizontal, vertical sobre cabeza, vertical hacia abajo, así como para cualquier ángulo intermedio, siempre que el martillo se encuentre ubicado en forma perpendicular a la superficie a testear. La posición de la masa del martillo relativo al alto del equipo en posición vertical hace que se afecte el número de rebotes debido a la acción de la gravedad de la masa del martillo. | 28,29,30 |
| 12 | Resistencia a la penetración ó Test de la sonda Windsor (Windsor Probe) | Estima la resistencia a compresión, uniformidad y calidad del Hormigón. | Las sondas de acero aleado están accionadas por pistolas dentro del hormigón, la profundidad de la penetración es convertida para estimar la resistencia del hormigón utilizando curvas de calibración provistas por el fabricante. Las sondas tienen punta cónica, diámetro 6,3 mm y longitud 79,5 mm, y son introducidas dentro del hormigón por el disparo de una carga de polvo de precisión que desarrolla una energía predefinida para que éstas penetren en el material en análisis. | Equipamiento simple, durable, que requiere poco mantenimiento, genera relativo poco daño al espécimen evaluado. Es simple de manejar, puede ser rápidamente operado in situ con poco entrenamiento. La operación con la resistencia del hormigón es afectada por un relativamente bajo número de variables. Al permitir obtener in situ la resistencia a compresión del hormigón, este método es muy útil la investigación de estructuras afeijas, evitando así la extracción de testigos de éstas, su transporte y evaluación en Laboratorio. | El espesor mínimo del miembro a testear es alrededor de 3 veces la profundidad esperada por la penetración de la sonda. Sobre la cara expuesta, las sondas deben ser removidas y el daño necesariamente reparado. La distancia del refuerzo de acero puede tener algún efecto en la penetración de las sondas, especialmente cuando esta distancia es menor a aprox. los 100 mm. El dispositivo se asemeja a un arma de fuego, por lo que, en algunos países es necesario disponer de aprobación oficial para su uso. | www.humboldtmetf.com (Windsor HP Probe System) www.durhamgeo.com | Como el martillo de rebote, este método consiste en un test de dureza. El test de la sonda Windsor puede utilizarse para estimar la resistencia del concreto en edad temprana y con ello determinar en qué momento el encofrado puede ser removido. | 29,31,32 |
| 14 | Permeabilidad al aire (Método Torrent kt) | Estimación de la durabilidad del hormigón, parámetro que puede relacionarse con la permeabilidad al aire del recubrimiento del hormigón. La durabilidad frente a acciones agresivas del medio ambiente depende del desempeño protector de una capa superficial delgada (el recubrimiento, 20-50mm), esta capa debe proteger a las armaduras de acero contra la corrosión inducida por la carbonatación o por ingreso de cloruros, y es también la más afectada por ataques químicos, congelación, etc. | El dispositivo mide "in situ" la permeabilidad al aire del recubrimiento de hormigón. Se basa en crear vacío dentro de una célula colocada sobre la superficie del mismo y en medir la velocidad con que la presión retorna al valor atmosférico. El Método provee una clasificación de la calidad del recubrimiento en función de su permeabilidad al aire, medida a una edad de 1 a 3 meses (Hormigones "jóvenes"). | Los resultados en laboratorio e in-situ concuerdan con los obtenidos con otros métodos tradicionales (permeabilidad al oxígeno, succión capilar, penetración de cloruros). La técnica es superior a las existentes ya que es absolutamente no destructiva, rápida, precisa y reproducible. Por último, al controlar el producto recién terminado (la estructura "in situ") se consolida el análisis del desempeño de todos los actores del proceso productivo (constructoras, hormigoneras, proveedores de materiales), contribuyendo a la erradicación de malas prácticas (adición indiscriminada de agua al H', insuficiente compactación, falta de curado, etc.). | Método aplicable fundamentalmente al control de calidad de estructuras nuevas, aunque se han reportado casos de aplicación en el diagnóstico de estructuras antiguas. | Equipo Torrent, rápido y fiable, la unidad trabaja con una bomba de vacío comercial. | La capa superficial de una estructura de HRA es generalmente la más expuesta a consecuencias tales como el mal hábito de no curar las estructuras, de recibir las tareas de acabado final y además, de ser la zona de más difícil compactación. Actualmente los criterios de aceptación del hormigón endurecido se basan, casi exclusivamente, en resultados de probetas moldeadas (resistencia a compresión). Tales resultados nunca pueden representar la calidad de la capa superficial mencionada, además las probetas se preparan y curan de forma diferente a las condiciones reales de la estructura. Por tanto, la calidad de esta capa superficial es ignorada, lo cual explica al menos parcialmente, el desempeño insatisfactorio de muchas estructuras desde el punto de vista de la durabilidad. | 33,34,35 |

REFERENCIAS DE TABLA:

- 1 Guide ACI 201.1R-08 "Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service"
- 2 ACI 228.2R-13 "Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures"
- 3 "Laboratory Study of flaw deflection in concrete by the Pulse-Echo Method" Carino N.J. (1984). In situ/Nondestructive Testing of Concrete, ACI Publication SP-82, editado por V.M. Malhotra-ACI.
- 4 Clifton y Anderson (1981) Non Destructive Evaluation Methods for Quality Acceptance of Hardened Concrete in Structures- Report NBSIR 80-2163
- 5 Olson, L.D. (1990) "NDE of Structural Concrete with Stress Waves"
- 6 Sabnis, Kellishami and Millstein (1990) "Delamination Detection in concrete bridge decks using Non Destructive Test Method"
- 7 Wiberg, U. (1989) Ultrasonic Testing of Concrete".
- 8 Manning, D.G. (1985) "Detecting defects and deterioration in Highway Structures" National Cooperative Highway Research Program.
- 9 Roddis, W.M.K. (1987) "Concrete Bridge Deck Condition Assessment: traditional and Innovative Inspection Technologies" sponsored by the Structural Division of ASCE in conjunction with ASCE Convention in Atlantic City, New Jersey, edited by M.J.Shah, ASCE.
- 10 Clemena G.G. (1991) "Short Pulse Radar methods" Chapter 11, Handbook on Non destructive Testing of concrete, edited by V.M.Malhotra and N.J. Carino, CRC Press, Boca Raton.
- 11 Mindess, S. (1991) "Acoustic Emission Methods" Chapter 14, Handbook on Non destructive Testing of concrete, edited by V.M.Malhotra and N.J. Carino, CRC Press, Boca Raton.
- 12 ASTM C-1383 "Standard Test Method for measuring the P-Wave Speed and the thickness of concrete Plates using the IE Method".
- 13 Technical Report from EPRI (Electric Power Research Institute): "Nondestructive Evaluation of Concrete Delaminations, voids and cracks perpendicular to surface" EPRI, Palo Alto, CA-2015.3002005380
- 14 ACI 207.3R-94 (Reapproved 2008) "Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions".
- 15 ACI 224.1R-07 "Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures".
- 16 ACI 437 R-03 "Strenght Evaluation of Existing Concrete Buildings".
- 17 Technical Report from EPRI (Electric Power Research Institute): "Program on Technology Innovation: Nondestructive Evaluation Inspection of Concrete Structures Subjected to Corrosion-State of the Art, Reliability and Future Trends " EPRI, Palo Alto, CA-2012. 1025627
- 18 ASTM C-876-09. Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. American Society for Testing and Materials, ASTM International.
- 19 RILEM TC 154-EMC "Electrochemical Techniques for Measuring metallic corrosion"- Recommendations: Test Methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concret by means of the polarization resistance method (Andrade y Alonso, 2004).
- 20 CEB-192 Diagnosis and assessment of concrete structures-State of art report. Technical report, Bulletin d'Information, Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, 1989.
- 21 Federal Highway Administration Research and Technology/US Department of Transportation: Non Destructive Evaluation (NDE) Web Manual, Radiography (RAD) for profiling Tendons y Radiography (RAD) for Detecting Voids.
- 22 IRAM 1734 "Hormigón Armado, recomendaciones para elm radiografiado y la tomografía de Hormigón Armado" (1998).
- 23 La Tomografía de Hormigón Armado. Parte II: Método Gammagráfico. M. Ruffolo, T. Frigerio, M. Mariscotti y P. Thieberger. Anales de la Sociedad Científica Argentina, Volumen 254 N°2, Pags. 19 a 25. Octubre 2015.
- 24 La Tomografía de Hormigón Armado. Parte II: Método Gammagráfico. M. Ruffolo, T. Frigerio, M. Mariscotti y P. Thieberger. Anales de la Sociedad Científica Argentina, Volumen 254 N°2, Pags. 27 a 32. Octubre 2015.
- 25 Determination of GROUTING Defects in "Deep" PT Ducts Using Gamma Rays. Mario A. J. Mariscotti, Paul Kelly, Joaquin Boselli, Teresita Frigerio, Marcelo Ruffolo, Peter Thieberger. ASNT 2014 NDE/NDT for Highways and Bridges: Structural Materials Technology Conference. Washington DC, USA, Agosto 2014.
- 26 Gamma-ray inspection of post tensioning cables in a concrete bridge. M. Rimmental, J. Figueroa, M.A.J. Mariscotti, P. Thieberger, M. Ruffolo and T. Frigerio. Structural Faults & Repair 2010, Edinburgh, United Kingdom, Junio 2010.
- 27 Non destructive Evaluation: Automated Inspection of Concrete Structures: Concrete Crawler-Integration of Three Technologies: EPRI, Palo Alto, CA: 2014.3002003030
- 28 Malhotra, V.M. (1991) "Surface Hardness Methods", Chapter 1, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, edited by V.M.Malhotra and N.J. Carino, CRC Press, Boca Raton, 1-17.
- 29 Carino N.J. (1991) "The Maturity Method", Chapter 5, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, edited by V.M.Malhotra and N.J. Carino, CRC Press, Boca Raton, 101/146
- 30 ASTM C805 (1994). "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete", 1997 Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, 393-395.
- 31 ASTM C803 (1996). "Standard Test Method for Penetration of Hardened Concrete", 1997 Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, 389-392
- 32 De Brito, J., Branco, F., Batista, A.R. and Cachadinha, M.G. (1989) "Assessment of Existing Structures for their Rehabilitation" IABSE Symposium, Lisbon, Durability of Structures, IABSE Reports, Vol 5/72, Septembre 6-8, 865-870.
- 33 Torrent, R.J. "La calidad del hormigón de recubrimiento, factor vital para la durabilidad de las estructuras" Jornadas Tecnol.AATH, Buenos Aires 30-31 de Agosto 1990-.
- 34 NDT Measurement of the Permeability of Concrete to Air (KT) according to the SA 262/1-E Test Method. HT/BI Test Procedure for applying the "PermeATORR" in the Laboratory, 15 op., 2013.
- 35 Torrent, R.J., "A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concret cover on site", Mater. & Struct., v.25, n.150, July 1992, 385-365.