



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Vidaud-Quintana, Ingrid Noelia; Frómeta-Salas,
Zenaida Paulette; Vidaud-Quintana, Eduardo de Jesús
**CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA
LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO**
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2019, Enero-Marzo 2020, pp. 72-85
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738016>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO

QUALITY CONTROL IN CONCRETE STRUCTURES FOR CONSTRUCTION IN HIGH ZONES SEISMIC HAZARD

Autores:

Ingrid Noelia Vidaud-Quintana, ingrid@uo.edu.cu¹

Zenaida Paulette Frómeta-Salas, paulette@uo.edu.cu¹

Eduardo de Jesús Vidaud-Quintana, vidaud@hotmail.com. Director Técnico
en REM+E INGENIERÍA. México.

¹Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones, Departamento de
Ingeniería Civil. Teléfono: 22601265. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Este artículo refiere la importancia del control de calidad en la ejecución de estructuras de hormigón armado emplazadas en zonas de elevado peligro sísmico. En principio se abordan las generalidades de estas estructuras en el mundo y en Cuba, así como las lecciones aprendidas de terremotos recientes en la región de Centroamérica y el Caribe. A continuación, se realiza una caracterización de las propiedades, tanto de los materiales componentes de la mezcla como del hormigón en estado fresco y endurecido; asimismo, se precisan determinadas recomendaciones para su uso en estas zonas. El aporte fundamental de esta investigación se soporta en las técnicas de revisión bibliográfica y análisis documental.

Palabras clave: control de calidad, estructuras de hormigón, tecnología del hormigón, zonas de elevado peligro sísmico.

ABSTRACT

This article is about the importance of the control of quality in the concrete structures execution emplaced in high seismic hazard zones. Is about generalities of these structures in the world and Cuba; as well as learned lessons of earthquakes recent in Central America and the Caribbean. Subsequently its carried out a characterization of the principal properties of the components materials of the mixture and the concrete; coming to establish the necessary requirements for the concrete technology in this structures. The fundamental contribution of that investigation is supported in the bibliographical revision and documental analysis techniques.

Key words: control of quality, concrete structures, concrete technology, high seismic hazard zones.

INTRODUCCIÓN

Por mucho tiempo el control de calidad en la construcción fue responsabilidad únicamente del técnico a pie de obra, quien utilizaba su experiencia y vigilancia precisa. Con el desarrollo que hoy han alcanzado las técnicas estadísticas para esta actividad en ámbitos industriales, el sector constructivo las ha asimilado y adaptado a su realidad, a partir del aseguramiento de la necesaria calidad de la construcción.

Se entiende por control de calidad al conjunto de acciones y decisiones que se toman, bien para cumplir las especificaciones, o bien para comprobar que estas hayan sido cumplidas (Jiménez, García y Morán, 2000). Este proceso se representa según el modelo de la Figura 1. En este sentido deben estudiarse en detalles y por separado las distintas fases del proceso constructivo y los sujetos responsables de las mismas.

Convendrá establecer para un adecuado control de la calidad en obras de hormigón armado el control de la producción en la misma manera que el control de recepción del material, tanto como el control a la tecnología del hormigón en general. Las estructuras de hormigón armado ya construidas suelen diferir de las proyectadas; por lo que en este sentido el grado de concordancia entre ambas se considera un índice de la calidad en la ejecución.

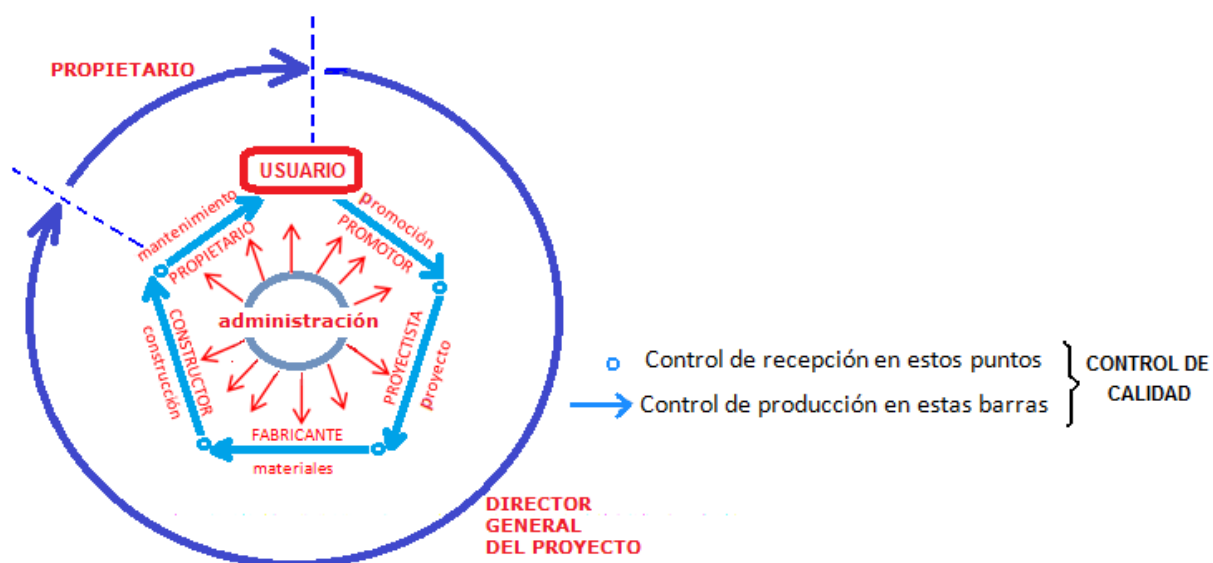


Fig. 1 Modelización del Control de Calidad en construcción. Fuente: Adaptado de Jiménez, *et. al.*, (2000)

El hormigón en obra resulta un material sujeto a la influencia de numerosas variables, como pueden ser: las características y variabilidad de cada uno de sus componentes (cemento, agregados, agua, adiciones minerales y aditivos químicos), las tecnologías de dosificación, mezclado, transporte, vertido y curado, y por último las variaciones inherentes a la elaboración y manipulación de los especímenes y los métodos de ensayo. Es un material muy singular, pues exhibe propiedades como el ser heterogéneo y anisotrópico; que se elabora, entrega y coloca en obra en estado fresco y en condiciones en las que no es posible aún constatar un desempeño definitivo.

Si al análisis anterior se adiciona el hecho de que el hormigón es el material universalmente más utilizado en la construcción (O'Reilly, 2012) y la necesidad de que este tenga un comportamiento favorable ante cargas importantes, no puede dejarse a un lado el efecto de las cargas dinámicas y dentro de estas el sismo. Hoy se reconoce que la actividad sísmica en el planeta es muy importante y

frecuente, cuyos efectos en las estructuras de hormigón se ubica como universalmente estudiado.

Santiago de Cuba exhibe importantes estudios, dado que la región suroriental de Cuba, ubicada en la zona de contacto de las placas tectónicas de Norteamérica y del Caribe, conocida como Sistema Bartlett-Caimán, es la zona de mayor actividad sísmica del archipiélago (Oliva, Márquez, Morejón y Avich, 2003), (Chuy, 2010). Esto significa que en todo el territorio nacional no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica (Figura 2). En el suroriente cubano pueden presentarse sismos con magnitudes superiores a 7 en la Escala Richter, que pueden provocar efectos con más de VIII grados de intensidad en la Escala Macrosísmica Europea (EMS por sus siglas en inglés) (Cuba. Consejo de Defensa Nacional, 2010).

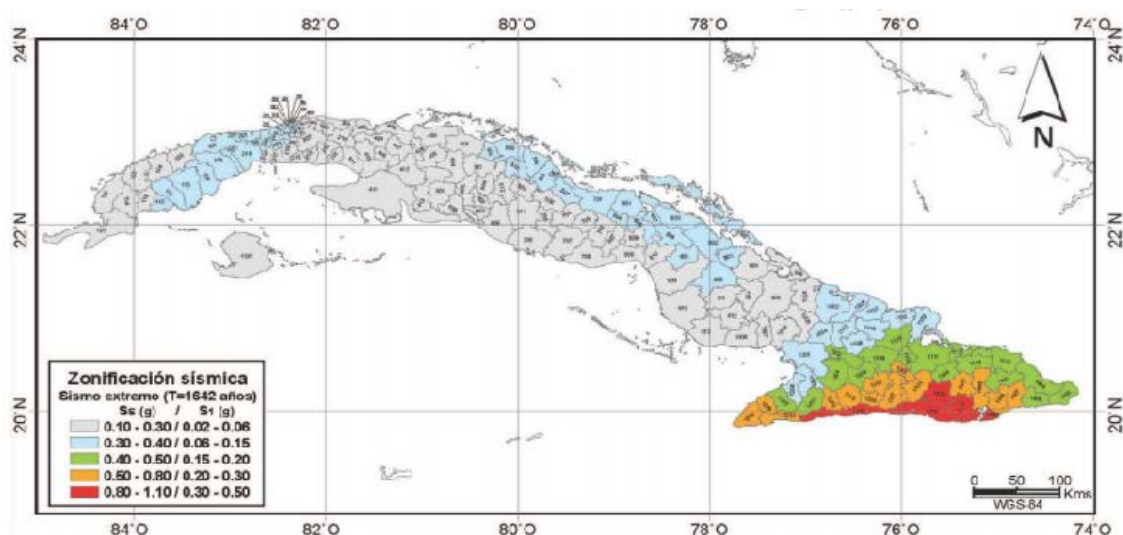


Fig. 2. Mapa de zonificación sísmica de la República de Cuba. Fuente: Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017)

En este sentido, se considera muy importante lograr mantener las propiedades del hormigón dentro de un rango aceptable. La elección de los materiales adecuados, el respeto a las disposiciones constructivas, la calidad de la ejecución y su control son sin dudas esenciales para garantizar la seguridad y funcionalidad de las obras de hormigón y su adecuado comportamiento estructural sismorresistente.

Puede suponerse entonces que el control de calidad en estructuras de hormigón es una parte de la gestión de la calidad, orientada al cumplimiento de sus requisitos de calidad (Howland, 2010); que no son más que aquellos que les permiten a los especialistas velar porque este cumpla con las propiedades, tanto en estado fresco como endurecido. En esencia, el control de calidad tiene que ser el mismo, tanto para el hormigón producido en plantas (con un mayor o menor nivel de sofisticación y con independencia administrativa o no entre el productor y el usuario), como para el producido a pie de obra (por el propio usuario y en condiciones más o menos artesanales). Más allá del material debe considerarse siempre la tecnología del hormigón en general.

Este artículo tiene el propósito entonces de evidenciar la importancia del ejercicio del control de calidad en estructuras de hormigón armado; con énfasis en aquellas emplazadas en zonas de elevado peligro sísmico. Comprobar si el material cumple o no con las especificaciones de calidad establecidas en los códigos y/o establecidas en el proyecto, así como el rigor en su tecnología es el propósito fundamental del control de calidad en la ejecución de estructuras de hormigón armado. En todo caso debe primar el principio de que el hormigón y la estructura tienen que cumplir con el desempeño para el cual han sido diseñados.

MÉTODOS

Coincide la literatura especializada en que el control de calidad en estructuras de hormigón armado comprende actividades como: el control de las materias primas del hormigón, el diseño de la mezcla, el control de la mezcla fresca y del hormigón en estado endurecido, y el control del proceso tecnológico de la producción de la mezcla, su transporte a distancia, vertido, compactación y curado (Howland, 2010). Sin olvidar que tienen especial importancia también los trabajos con encofrados y armaduras de refuerzo.

Comienza esta investigación con un acercamiento al hormigón y a las estructuras de hormigón armado en el mundo y Cuba; para posteriormente valorar las

lecciones aprendidas de sismos recientes, fundamentalmente en la región del Caribe y Centroamérica, frente al comportamiento de las estructuras de hormigón armado. Luego se establece una caracterización de las principales propiedades de los materiales componentes de la mezcla y el hormigón para la ejecución de estructuras sismorresistentes; por último, se evidencian las particularidades de la tecnología del hormigón en zonas de elevado peligro sísmico.

Se identifican especificaciones para la tecnología del hormigón armado *in situ* en construcciones sismorresistentes, considerando las disposiciones constructivas para el diseño y ejecución, así como las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido y su influencia en el desempeño de las estructuras.

Los resultados de este trabajo se apoyan en técnicas para el procesamiento de la información como: la revisión bibliográfica y el análisis documental; las mismas que propiciaron la consulta a fuentes como normas, regulaciones de la construcción, textos, artículos y reportes de investigación. Asimismo, los autores se sirvieron de métodos teóricos de investigación como el análisis y síntesis, el histórico-lógico, la inducción-deducción para lograr defender las principales ideas científicas con lógica, coherencia y acierto.

RESULTADOS

Generalidades de las estructuras de hormigón armado en el mundo y Cuba

La estructura es el conjunto de elementos resistentes capaces de mantener la forma y cualidades de una construcción en el tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometida. Sin embargo, se reconoce que estas deben construirse con las mayores garantías de permanencia posible y con materiales que requieran el menor gasto de conservación (Babé, 1978).

El hormigón armado es el material más utilizado en la construcción en la actualidad. Las construcciones de hormigón armado *in situ* presentan determinado nivel de complejidad tecnológica dado los engorrosos y múltiples procesos por los que transita (selección de materiales, diseño y preparación de la mezcla,

transporte, colocación, compactación, curado y terminación de superficie), así como de los aspectos referentes a la tecnología del hormigón en general (encofrado, colocación de acero) que intervienen en el alcance de las resistencias y durabilidad de estas estructuras.

Lecciones aprendidas de sismos recientes en Centroamérica y el Caribe

Los sismos o terremotos son sacudidas de la superficie terrestre producidas por la súbita liberación de grandes cantidades de energía acumuladas durante un largo período de tiempo, en una porción del interior de la Tierra y a profundidades que alcanzan decenas de kilómetros (Álvarez *et al.*, 2010).

Las lecciones aprendidas de eventos de este tipo en la región hacen dirigir la atención a daños o colapsos de estructuras de hormigón armado, aún cuando han sido diseñadas y construidas bajo criterios sismorresistentes. Pueden citarse entre los daños más significativos: la pérdida de integridad en los nudos, la fractura del acero y el estallido del hormigón en elementos estructurales.

Diversas investigaciones profundizan en las causas que significan estos daños; describiendo entre las principales: insuficiente armado, baja calidad del acero, insuficientes anclajes, falta de adherencia entre el acero y el hormigón, baja calidad de los materiales, empleo de acero liso, insuficiente acero transversal con deficiente colocación y cierre, entre otras (Figura 3).



Fig. 3. Daños en estructuras de hormigón armado durante el sismo de Haití en enero 2010. Fuente: Fierro, 2010.

Principales propiedades de los materiales componentes de la mezcla y del hormigón

Los materiales componentes de la mezcla de hormigón poseen gran influencia en la durabilidad de las estructuras. De esta manera, se precisa un conocimiento profundo de las propiedades de los aglomerantes, áridos, agua, aditivos y adiciones; fundamentalmente cuando se requieren criterios de diseño sismorresistente.

Las características del cemento, tales como: finura, granulometría, forma de las partículas y composición mineralógica; así como su dosificación, influyen sobre la laborabilidad de la mezcla. Las mezclas con bajo contenido de cemento producen hormigones poco laborables con poca cohesión, por lo que aumenta la fricción; lo cual evidencia una marcada tendencia a la segregación (Howland, 2010).

La cantidad y calidad del cemento utilizado influye en la calidad del hormigón producido, no solo en su resistencia a los esfuerzos mecánicos, sino también en su impermeabilidad, resistencia a la corrosión, penetración de iones cloruro, entre otras importantes propiedades que afectan la durabilidad del hormigón durante su puesta en servicio. La cantidad y calidad del cemento en la mezcla suele ser un factor importante en el logro de la resistencia a los esfuerzos mecánicos y la

durabilidad, hecho que lo coloca en un sitio clave para su empleo en zonas de elevado peligro sísmico.

Por su parte, los áridos deben cumplir ciertos requisitos para su uso en el hormigón. Deben contener partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos, terrones de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia a la pasta de cemento (L'Hermite, 1957). Al representar aproximadamente el 75 % del volumen de hormigón, tienen marcada responsabilidad en la calidad del material y el logro de las resistencias mecánicas y la durabilidad.

El control de calidad de la materia prima incluye entre sus actividades el muestreo sistemático de los lotes de áridos y el cemento, además de realizar los ensayos de laboratorio requeridos.

Asimismo, también pueden incrementarse la resistencia y durabilidad con el empleo de aditivos químicos y adiciones minerales; que sin dudas contribuyen con el aumento en el rendimiento del cemento y en la calidad del hormigón en términos de compacidad, impermeabilidad y resistencia mecánica.

Igualmente, se considera como adecuada el agua potable como agua de amasado; asimismo, es oportuno considerar su ensayo cuando no lo sea y se desconozca su procedencia. Se recomienda para su almacenamiento en obra los taques soterrados para mantener la temperatura entre 2 o 3 °C por debajo de la ambiental.

Según la NC 120:2007 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2007), el hormigón hidráulico es un material constituido por la mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento. Además de aportar resistencias mecánicas, fundamentalmente a la compresión, este material tiene la función de proteger al acero de refuerzo contra la acción de agentes agresivos.

Las propiedades del hormigón en estado endurecido responden a requerimientos técnicos especificados por proyecto, ya que deben garantizar la resistencia y

durabilidad de las obras. Para ser alcanzados se requiere garantizar la calidad desde la obtención de la materia prima, el diseño y elaboración de las mezclas hasta la colocación, compactación y curado del elemento.

Entre las propiedades del hormigón en estado fresco se citan la laborabilidad, la exudación, el peso unitario y contenido de aire. Asimismo, las propiedades del hormigón endurecido dependen de la dosificación inicial de los componentes básicos y complementarios, del proceso de mezclado y del curado. Entre estas se ubican: durabilidad, cambios de volumen, permeabilidad y resistencia a los esfuerzos mecánicos. Solo una acertada vigilancia de estas posibilitará la ejecución correcta y el logro de las especificaciones de proyecto.

Control de calidad a la ejecución de estructuras sismorresistentes de hormigón armado

Dentro de los trabajos de la tecnología del hormigón se enfatiza en este acápite en los principales problemas que pueden presentarse durante el proceso y su influencia en la calidad, seguridad y durabilidad de las estructuras emplazadas en zonas de elevado peligro sísmico.

Como parte de los trabajos de encofrado, no debe perderse de vista que la colocación inadecuada del molde puede provocar esfuerzos cortantes críticos en las uniones entre elementos. Si se exceden las tolerancias de construcción, los elementos pueden tomar dimensiones de recubrimiento y sección transversal inapropiados que pueden producir cargas excéntricas. Los encofrados deben construirse sobre la base de principios como rigidez y deformación, multiplicidad de uso, estanqueidad, facilidad de arme y desarme y facilidad de limpieza. Igualmente, el desencofre antes de que el hormigón haya alcanzado la resistencia establecida por proyecto puede generar esfuerzos de compresión y tracción, lo cual causaría agrietamientos, deformación y el posible fallo estructural.

En tanto, el acero de refuerzo debe quedar adecuadamente colocado en el interior de los moldes, con los empalmes y longitudes de anclaje correctos. En zonas de elevado peligro sísmico no pueden utilizarse las barras lisas, pues estas no

garantizan una adecuada adherencia acero-hormigón. Del mismo modo, debe cuidarse en extremo el detallado de los refuerzos, las cuantías y espaciamientos entre barras; con especial atención en los nudos y el cierre de los aceros transversales (cercos) a 135°.

En este sentido sobresale también el hormigonado. Si el recubrimiento no es el adecuado, no proporcionará la necesaria protección a las armaduras de refuerzo. También las juntas pueden producir conexiones débiles que propicien la formación de grietas, fallos e indeseables fugas o zonas de penetración de agentes agresivos.

El control del diseño de la mezcla es un elemento esencial, pues la correcta dosificación tiene un peso importante en el desempeño futuro de la estructura. En la actualidad, los métodos de diseño adoptados por los diferentes códigos incluyen no solo los criterios de resistencia mecánica, sino también los de durabilidad. En el control de la mezcla de hormigón se presentan varios ensayos, tales como consistencia, masa volumétrica, contenido de aire y tiempos de fraguado inicial y final.

Otro efecto indeseable es la segregación del hormigón, que puede presentarse al descuidar el transporte, vertido y compactación de la mezcla. Una vibración exagerada provoca que las superficies superiores tengan excesiva pasta y finos y una elevada relación agua/cemento, lo cual afectaría la resistencia y durabilidad.

También el agrietamiento por asentamiento plástico (hundimiento) es causado por el asentamiento del hormigón fresco alrededor del refuerzo, dejando un desgarre plástico por encima de la varilla y un posible hueco por debajo. La probabilidad de agrietamiento está en función del recubrimiento, el revenimiento y el tamaño de la barra. Este asentamiento es causado por un bajo contenido de arena y alto contenido de agua, barras grandes, escaso aislamiento térmico, vibración deficiente, movimiento de los encofrados, entre otras.

En ocasiones en el hormigón suelen presentarse también determinadas oquedades que afectan la resistencia y durabilidad. Estas se originan por

elementos con refuerzo muy congestionado, secciones estrechas, entre otros aspectos referidos al encofrado, tales como fuga en las juntas, pérdida severa de lechada, incumplimiento de los recubrimientos y dificultades en el acceso. En relación con las propiedades del hormigón fresco pueden presentarse: finos insuficientes, baja laborabilidad, endurecimiento temprano, mezclado excesivo, agregado grueso en elevada concentración. En cuanto a la colocación: altura y caída libre excesivas, movimiento excesivo de los moldes, inapropiadas técnicas de vertido y segregación. Por último, referente a la compactación, se presenta el uso de vibradores inadecuados en tamaño y frecuencia, amplitud pequeña, tiempo de inmersión corto, espaciamiento excesivo entre las inmersiones del vibrador y penetración inadecuada.

Para predecir el desempeño real del hormigón en obra se controlan variables como las resistencias mecánicas y los requisitos de durabilidad. El control de las resistencias mecánicas mediante probetas o especímenes es el método de ensayo más usual del concreto en estado endurecido. La resistencia se determina mediante la fabricación de probetas, curadas en condiciones normalizadas y ensayadas a compresión a los 28 días de edad.

En resumen, la tecnología del hormigón comprende disímiles actividades, todas muy importantes y de gran complejidad. Los incumplimientos en las especificaciones en una etapa influyen en la calidad de otras etapas y afectan también las propiedades del hormigón armado y el comportamiento estructural de los elementos; mucho más si en este se requieren criterios sismorresistentes.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación conduce a valorar la importancia del control de calidad, así como el necesario rigor en la ejecución de obras de hormigón armado en zonas de elevado peligro sísmico y en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto.

El control de calidad del hormigón atiende en diferentes geografías y en lo fundamental a propiedades del hormigón, tales como la consistencia, la durabilidad y la resistencia de este; puesto que en la tecnología del hormigón estructural moderno la resistencia a la compresión suele ser la propiedad más importante si se trata de verificar la calidad del material para la ejecución de una estructura.

En zonas de elevado peligro sísmico no se debe descuidar el ejercicio del control de calidad en la ejecución de estructuras de hormigón armado. El rigor de este proceso constituye una garantía de un adecuado comportamiento estructural sismorresistente; lo que a la larga es una importante acción para la preservación del medioambiente, al elevar la seguridad estructural y ofrecer garantías de durabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, L. et. al. (2010) *Suplemento Especial Universidad para Todos Sismología* (Parte I). La Habana, Cuba.

Babé Ruano, M. (1978). *Elementos de estructuras de hormigón armado*. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.

Chuy, T. J. et al. (2010). *Modelo de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba, Cuba: Archivos Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais).

Cuba. Consejo de Defensa Nacional (CDN). (2010). *Directiva No 1 del Presidente el Consejo de Defensa Nacional Para la planificación, organización y preparación del país para las situaciones de desastres*. La Habana, Cuba.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2007). *NC-120: 2007. Hormigón Hidráulico. Especificaciones* (2^{da} edición). La Habana, Cuba.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017). *NC 46:2017 Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana, Cuba.

Fierro, E. (2010). *Conferencia Experiencias Haití*. Santiago de Cuba, Cuba: Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC).

Howland. J. J. (2010). *Tecnología del hormigón*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.

Jiménez Montoya, P., García Meseguer, A. y Morán Cabré, F. (2000). *Hormigón Armado* (14ª edición). España.

L'Hermite, R. (1957). *A pie de Obra*. Madrid, España: Editorial Tecnos.

Oliva, R., Márquez, P., Morejón, G. y Avich, B. (2003). *Investigaciones de Ingeniería Sísmica para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en la región suroriental de Cuba* (Proyecto Territorial). Santiago de Cuba: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais).

O'Reilly. V. (2012). *Métodos para dosificar hormigones de elevado desempeño*. La Habana: Editorial Científico-técnica.

Recibido: 27 de junio de 2018

Aprobado: 21 de septiembre de 2018