



Improvement Actions Related to the Durability of Armed Concrete Structures in Cuba. Case Study in Development.

Boris Eduardo Cordero Hernández

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

February 20, 2020

ACCIONES DE MEJORA RELACIONADAS CON LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO EN CUBA. CASO DE ESTUDIO EN DESARROLLO.

Cordero Hernández, B. E

Profesión: Master en Gestión de la Calidad Total (TQM), Ing. Civil, Diplomado en ejecución de obras.

Institución: Unidad de Investigaciones para la Construcción (UIC) de La Habana, subordinada a la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Cuba (ENIA-INVESCONS).

Estado: La Habana, Cuba

e-mail: borisch@enialabh.cu

RESUMEN

En este artículo se hace referencia a algunos de los principales resultados teóricos alcanzados en Cuba, en el campo de investigación concerniente a la "Durabilidad de estructuras de hormigón armado", así como al estado de su implementación práctica. Se presentan datos obtenidos de hormigones colocados en obras de La Habana, en el período 2015-18, donde se originaron litigios técnico-comerciales, asociados a la calidad final alcanzada por este material, mostrándose el rango de las desviaciones identificadas, respecto a las calidades pactadas y a la normativa vigente aplicable. Conforme a un análisis basado en el ciclo PDCA, para la mejora continua (Ciclo de Deming) y según los resultados presentados, se indican las direcciones en las cuales se debe continuar mejorando, para lograr el salto cualitativo y cuantitativo que se pretende en el tema analizado y así contribuir a alcanzar en el país, los estándares esperados de desarrollo sostenible.

Palabras claves: Durabilidad; Estructuras; Hormigón armado, Resultados.

ABSTRACT

This article refers to some of the main theoretical results achieved in Cuba, in the field of research concerning the "Durability of reinforced concrete structures", as well as the state of their practical implementation. Data obtained from concretes placed in Havana works are presented, in the period 2015-18, where technical-commercial litigation originated, associated with the final quality achieved by this material, showing the range of the identified deviations, regarding the qualities already agreed to the applicable current regulations. According to an analysis based on the PDCA cycle, for continuous improvement (Deming cycle) and according to the results presented, the directions in which improvement should continue are indicated, to achieve the qualitative and quantitative leap that is intended in the subject analyzed and thus contribute to achieve in the country, the expected standards of sustainable development.

Keywords: Durability; Structures; Reinforced concrete, Results.

1. INTRODUCCIÓN.

La durabilidad en estructuras de hormigón armado, continúa siendo hoy un aspecto fundamental a garantizar, para que este material de construcción permanezca siendo, de forma sostenible, el más usado a nivel mundial. La disponibilidad limitada de recursos financieros condiciona la necesidad de que esta capacidad asociada a este tipo de estructuras, se mantenga estable, al menos durante los periodos de vida útil establecidos a nivel internacional (50 años para viviendas / edificaciones y de 80 a 100 años para obras de infraestructuras), haciendo a su vez rentables los ciclos de mantenimientos previstos a ejecutar.

En el campo de la tecnología del hormigón, se han venido introduciendo en los últimos 20 años mejoras que tienden a garantizar el cumplimiento y mantenimiento de esa condición, durante los citados periodos de servicio. Estas mejoras han abarcado todas las etapas del citado proceso, comenzando desde la selección de materias primas, el diseño de mezclas y la producción industrial, hasta impactar en las técnicas de colocación, curado y evaluación de los resultados finales alcanzados. (Ver figura No. 1)

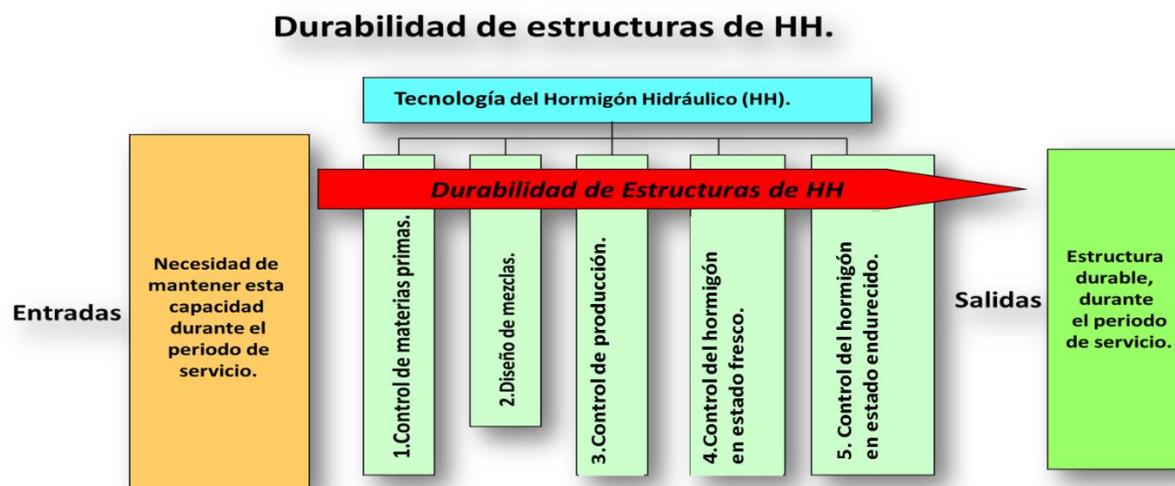


FIGURA No.1 IMPACTO DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EN LA TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO.

En Cuba se han adoptado acciones teórico-prácticas al respecto, partiendo de los resultados alcanzados en numerosas investigaciones científicas desarrolladas en el país, así como de la interpretación y adecuación a nuestras condiciones naturales, de resultados identificados a nivel internacional. Todo esto materializado en la actualización sistemática de la normativa que rige el desarrollo y aplicación correcta de lo relacionado con el campo de la tecnología del hormigón y la durabilidad de estructuras. Esta función ha sido desarrollada fundamentalmente por los “Comités técnicos de normalización” (CTN), agrupaciones estas de profesionales, que sin fines de lucro fungen como asesores de la dirección facultativa y metodológica del sector de la construcción. Además, se encargan de la introducción en el sistema normativo reglamentario establecido, de todos los resultados relevantes de investigaciones científicas desarrolladas, así como de la actualización de las normativas vigentes, en correspondencia con esos resultados.

2. DESARROLLO.

A partir del año 2000 del presente siglo, en el país se han desarrollado varias investigaciones científicas en el campo de la tecnología del hormigón y la durabilidad de estructuras, que desde el punto de vista teórico- práctico han contribuido al incremento de la efectividad en las acciones que se han implementado. Se han destacado investigaciones referidas a la definición de mapas locales, regionales y nacionales de agresividad corrosiva de la atmósfera, referidos a varios metales [1], estudios sobre la influencia de la agresividad corrosiva en el deterioro de estructuras [2], estudios acerca de la evaluación de sistemas de protección contra la corrosión en la rehabilitación de estructuras [5] y sus efectos en los aceros de refuerzo

utilizados [6], estudios acerca de la influencia de la corrosión en las condiciones de clima tropical predominante en el país [3], así como el desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón armado [7]. (Ver figuras No 2A y 1B)

Estos resultados han incidido en la evolución (Actualización, modificación parcial o derogación) de las normas cubanas (NC) correspondientes, que recogen los principales aspectos a considerar desde el punto de vista teórico – práctico. Las que fundamentales han sido impactadas, se identifican con los códigos NC 120: “Hormigón hidráulico. Especificaciones” [9], NC 207: “Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón armado” [11] y la NC 250: “Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de obras civiles de hormigón estructural” [10].

El tema de la durabilidad, pasó de tratarse como un aspecto, en un acápite de la NC 207, a desarrollarse como una NC independiente (La NC 250). En esta normativa se destaca la introducción de especificaciones prescriptivas, relacionadas con la clasificación de las zonas de agresividad ambiental existentes en el país, así como los valores límites a partir de los cuales se pueden obtener parámetros que garanticen los niveles de durabilidad requeridos. (Ver figura No 3 y tabla No 1).





FIGURAS No.2A y 2B: CATEGORÍAS DE AGRESIVIDAD AMBIENTAL, RELATIVAS A LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO, EN EL PAÍS Y EN LA CIUDAD DE LA HABANA, SEGÚN RESULTADOS DE INVESTIGACIONES REALIZADAS.
(FUENTE: [1] y [6])



FIGURA NO. 3 PARÁMETROS TÉCNICOS E INTERACCIONES QUE CONSIDERAN LA NC 120: “HORMIGÓN HIDRÁULICO. ESPECIFICACIONES”, LA NC 250 “REQUISITOS DE DURABILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL”, Y LA NC 207: “REQUISITOS GENERALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO”.

(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Tabla No. 1 Valores mínimos de recubrimientos, para elementos estructurales
(Fuente: NC 250)

Elemento estructural	Categorías de Agresividad (Véase 7.1.3)			
	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Pilotes hormigonados in situ contra el suelo	75	75	75	75
Pilotes prefabricados	50	50	50	50
Cimientos sin sello	70	70	70	70
Cimientos con sello	50	50	50	50
Muros (paredes) hormigonados contra terreno (**)	70	70	70	70
Muros (paredes) hormigonados contra cofre (**)	50	40	40	40
Muros (paredes) prefabricados (**)	40	35	35	35
Zapatas hormigonadas contra terreno (*)	50	50	40	40
Zapatas hormigonadas contra cofre (*)	45	45	35	35
Zapatas prefabricadas (*)	40	40	30	30
Columnas y vigas hormigonadas in situ	50	40	40	30
Columnas y vigas prefabricadas	40	35	35	25
Tímpanos y muros hormigonados in situ	50	40	30	25
Tímpanos y muros prefabricados	40	35	25	20
Losas, elementos laminares, nervios y viguetas, hormigonados in situ	40	35	30	25
Losas, elementos laminares, nervios y viguetas, prefabricados	35	30	25	20

(*) Cimientos que soportan elementos de cierre
(**) Caras de muros contra terreno

En el caso de la NC 120, y referido a lo actualmente establecido en este documento (Ver figura No 4), se aprecia una evolución periódica, a partir de lo instituido desde 1989, pues en varias ocasiones (Años 2004, 2007, 2014 y actualmente en proceso de revisión) se han incorporado aspectos técnicos de relevancia.

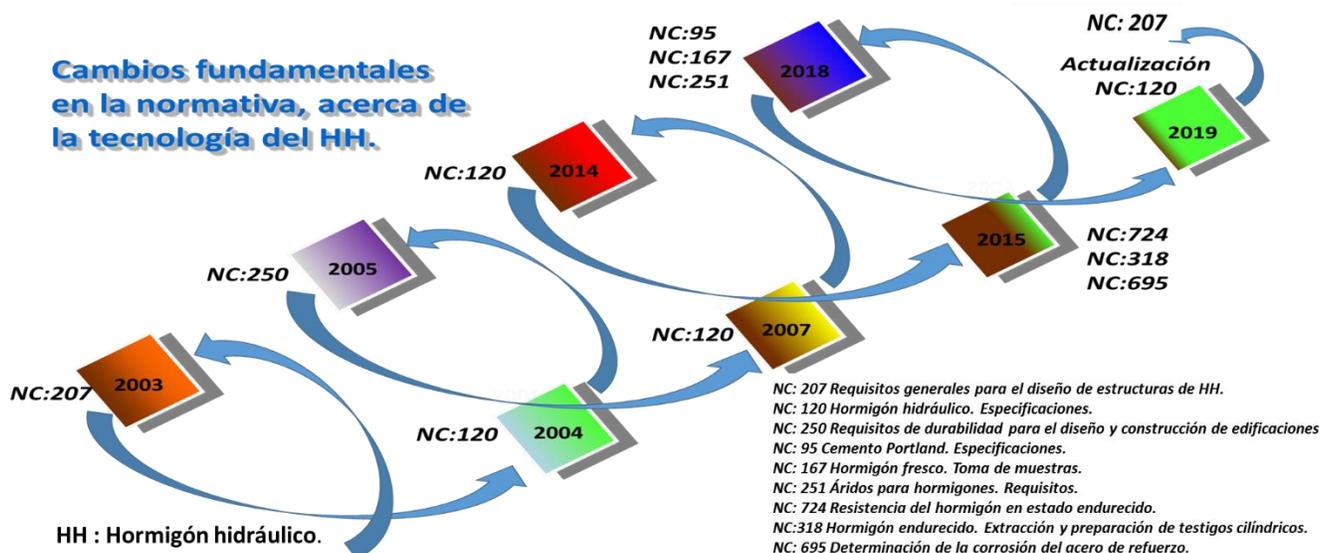


FIGURA No.4: EVOLUCIÓN DE LAS PRINCIPALES NORMATIVAS CUBANAS.
(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

En la versión vigente, se destacada la introducción de especificaciones prescriptivas relacionadas con ambientes donde hay exposición de elementos de hormigón a ataques químicos (Ver tabla No. 2) y la propuesta de especificaciones por desempeño del hormigón colocado en las estructuras. (Ver tabla No.3)

Tabla No. 2 Tipos específicos de exposición, ante ataques químicos.
(Fuente: NC 120)

Tipo de medio agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Agua	Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
	CO2 agresivo (mg CO2/L)	15-40	40-100	> 100
	Ion amonio (mgNH4/L)	15-30	30-60	> 60
	Ion magnesio (mg Mg2/L)	800-1000	1000-3000	> 3000
	Ion sulfato (mg SO2/L)	200-600	600-3000	> 3000
	Residuo seco (mg/L)	> 150	50-150	< 50
Suelo	Grado de acidez (RALYMANN-GULLY)	> 20	(*)	(*)
	Ion sulfato (mg SO2/kg de suelo seco)	2000-3000	3000-12000	> 12000
(*) Estas condiciones no se dan en la práctica.				

Tabla No. 3 Especificaciones prescriptivas y por desempeño, a cumplir en el diseño y Construcción de elementos de hormigón.
(Fuente: NC 120)

Parámetros	Tipo de hormigón	Nivel de Agresividad (Ver tabla 1)			
		Muy Alta	Alta	Media	Baja
Máxima relación agua/cemento	Simple sin refuerzo	0,5	0,55	0,65	0,65
	Armado	0,4	0,45	0,5	0,55
	Pretensado	0,4	0,4	0,45	0,5
Contenido mínimo de cemento (kg/m3)	Simple sin refuerzo	200	200	200	200
	Armado	350	325	300	275
	Pretensado	350	325	325	300
Resistencia mínima, f'ck (MPa)	Simple sin refuerzo	20	15	15	15
	Armado	35	30	25	20
	Pretensado	35	35	30	30
Máxima porosidad efectiva (%), determinada según la Norma Cubana NC 345	Armado y Pretensado	10	10	15	15
Máxima velocidad de absorción capilar, S (Sorptividad) (m /s ^{1/2}), determinada según la Norma Cubana NC 967	Armado y Pretensado	5 x 10 ⁻⁵	5 x 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
(*) Incluye el nivel de agresividad nulo					
Los elementos de hormigón simple con refuerzo, serán tratados a los efectos de esta tabla, como elementos de hormigón armado.					

Referido a este último tipo de prescripciones, las mismas son muy revolucionarias, pues fijan la evaluación de parámetros de calidad en elementos construidos, considerando la capacidad de durabilidad alcanzada, a partir de los resultados de ensayos obtenidos en testigos extraídos, en lo referente a valores de porosidad efectiva y velocidad de absorción capilar (Sorptividad). Las desviaciones obtenidas respecto a los rangos establecidos, permitirían identificar la necesidad de aplicación de sistemas de protección secundarios, en elementos construidos, para así garantizar su durabilidad y por ende, a partir de esa evidencia, se pudieran establecer las correspondientes reclamaciones comerciales contra las organizaciones involucradas y responsables de los procesos de ejecución desarrollados, a fin de que estas asuman los costos adicionales que pudieran generarse, por tales efectos.

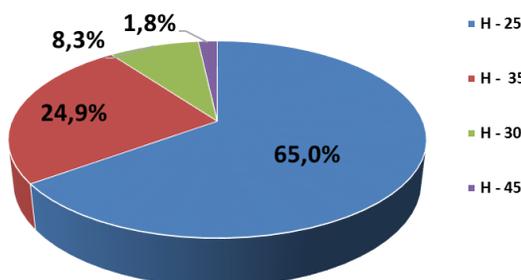
En el orden práctico del sector constructivo del país, se presenta un caso de estudio en desarrollo, a partir de los datos generados por litigios referidos a la calidad del hormigón colocado en disímiles obras ejecutadas en La Habana, durante el periodo correspondiente a los años 2015-18 [12].

Se puede apreciar en relación con la normativa de referencia vigente, presentada en este artículo, que en los 49 casos de litigios comerciales investigados, a través de la extracción de 683 testigos de hormigón, la calidad de hormigón más analizada fue la de resistencia característica (f'_{ck}) igual a 25 MPa (Hormigón tipo H-25, según NC: 120), generalmente utilizada en cimentaciones y losas de entresijos. (Ver figuras No. 5 y 6)



FIGURA No.5: DATOS GENERADOS POR LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS EN CASOS DE “LITIGIOS”. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS EN LITIGIOS 2015-18, POR TIPOS DE HORMIGÓN (683muestras en 49 investigaciones)



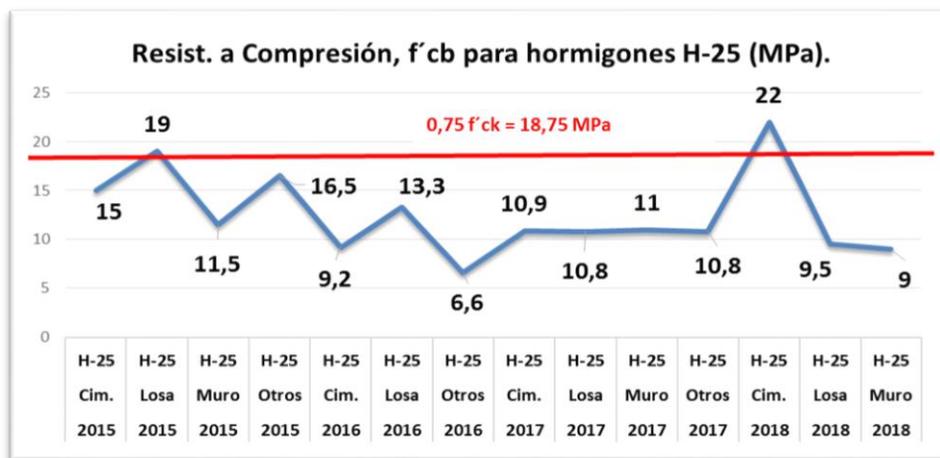
DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS EN LITIGIOS 2015-18, POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES. (683 muestras en 49 investigaciones)



FIGURA No.6: DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS POR CALIDADES DE HORMIGÓN Y ELEMENTOS INVESTIGADOS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Este primer acercamiento indica hacia que la mayoría de los elementos investigados estaban ubicados en la zona de agresividad ambiental media de la ciudad, con recubrimientos establecidos entre 30 y 70 mm, de acuerdo al tipo de elemento investigado (Ver tablas No. 1 y 3).

Los resultados alcanzados en lo referente a las resistencias reales a la compresión, presentes en estos elementos, muestran que sólo en las losas investigadas en el 2015 y en los cimientos del año 2018, se lograron valores satisfactorios en cuanto a las resistencias a compresión [12]. En el caso de la porosidad efectiva, en ninguno de los casos analizados se cumplió con el límite establecido en la normativa correspondiente. El comportamiento de estas propiedades evidenció la existencia de una brecha muy significativa ($f'_{cb} \lll 0.75 \div 0.85 f'_{ck \text{ proyecto y } \mathcal{E}_{NC: 120}} \ggg 10 \div 15 \%$), en relación con los valores indicados en los proyectos y la normativa de referencia (Ver figuras 7A, 7B y 7C), por lo que por la parte litigante, por razones económicas y debido al grado del incumplimiento de los niveles de calidad y durabilidad requeridos, fue descartada la evaluación de la absorción capilar,



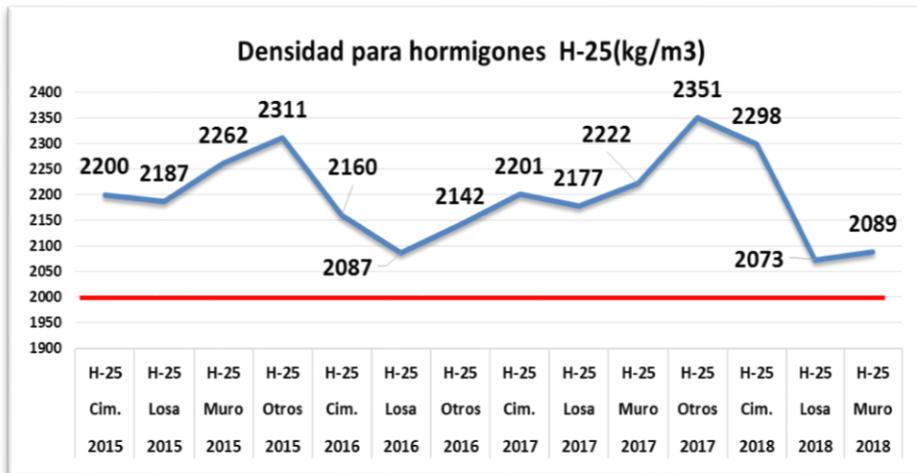
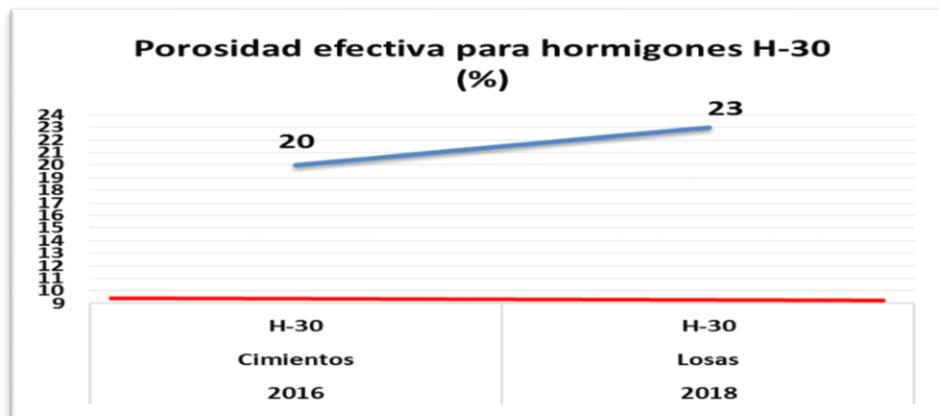
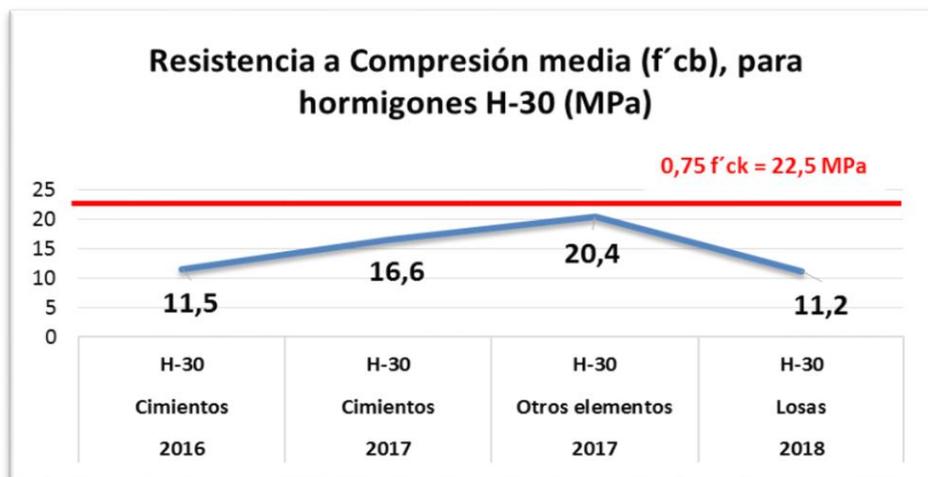


FIGURA No.7A: VALORES DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, DENSIDADES Y POROSIDADES EFECTIVAS, ALCANZADOS EN EL PERIODO, EN HORMIGONES H-25. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)



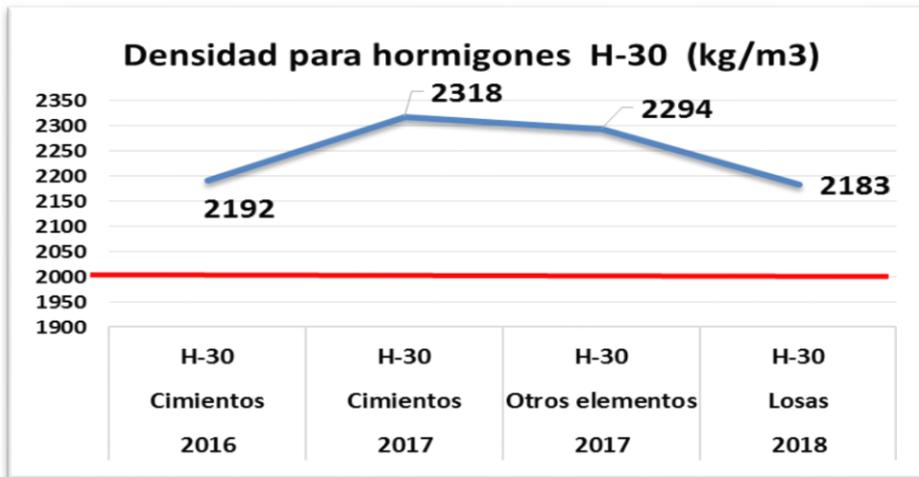


FIGURA No. 7B: VALORES DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, DENSIDADES Y POROSIDADES EFECTIVAS, ALCANZADOS EN EL PERIODO, EN HORMIGONES H-30.
(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

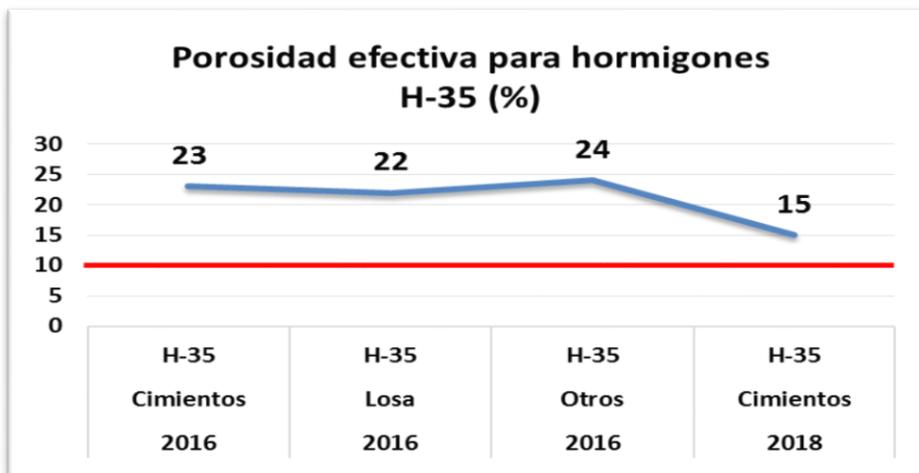
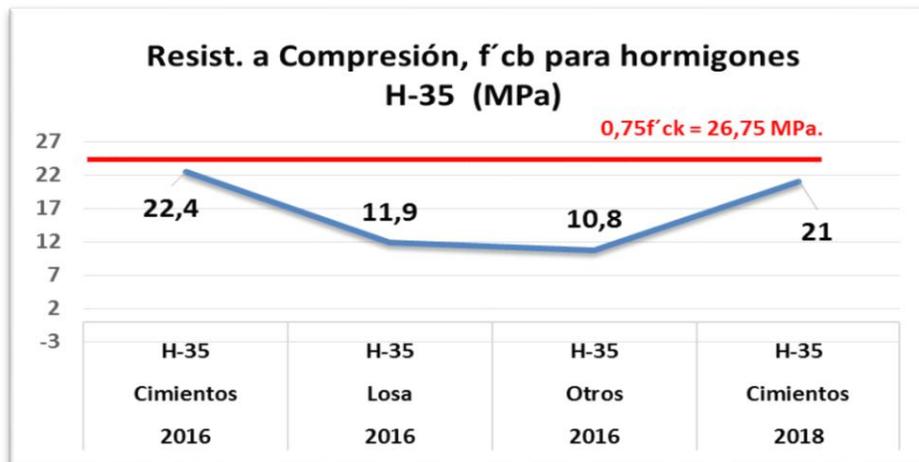




FIGURA No.7C: VALORES DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, DENSIDADES Y POROSIDADES EFECTIVAS, ALCANZADOS EN EL PERIODO, EN HORMIGONES H-35. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)

Como consecuencia de los resultados presentados, en la mayor parte de estos casos se procedió a la demolición total o a la aplicación de sistemas secundarios de impermeabilización, en los elementos construidos, con los correspondientes costes de “NO calidad” asociados a esta última variante. Además, estos resultados constituyeron evidencias acerca de cuál de las partes involucradas en el proceso desarrollado, debieron asumir estos sobrecostes.

Un posible análisis de estos resultados, según el ciclo PDCA, para la mejora continua (Ciclo de Demming), sugiere que existe un buen desarrollo en la planificación de las acciones a implementar en los temas de tecnología del hormigón y la durabilidad de estructuras. Esta consideración está amparada en la evaluación y evolución sistemática de la normativa vigente, que rige la actividad en el país, donde se garantiza la introducción de los últimos resultados de investigaciones nacionales desarrolladas, así como de la práctica internacional más relevante. (Ver figura No. 8)

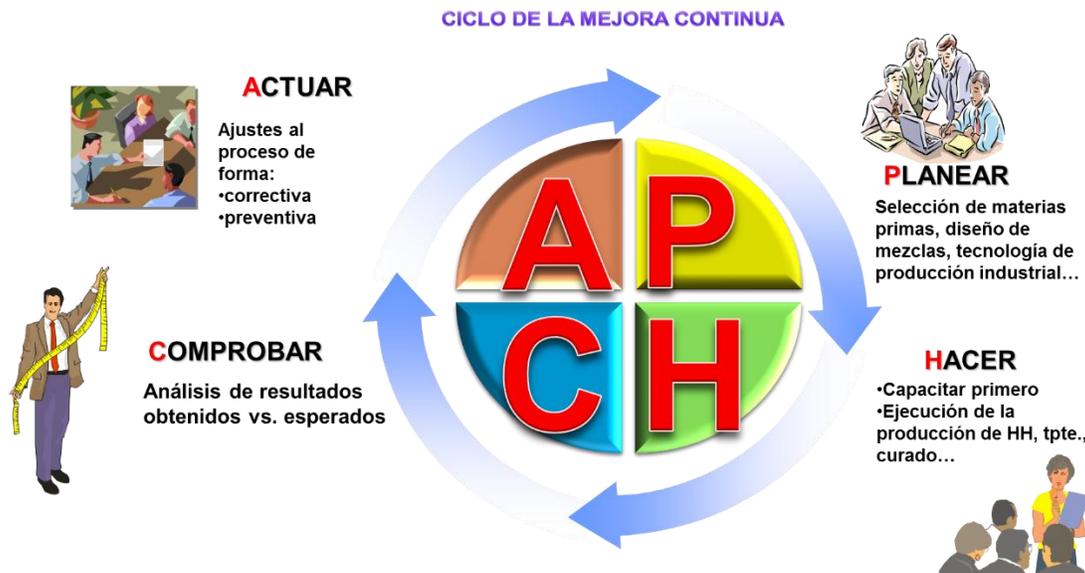


FIGURA No. 8 CICLO PARA LA MEJORA CONTINUA (CICLO PDCA O DE DEMMING)

En el caso de las acciones ejecutivas, existen de acuerdo al caso de estudio presentado, brechas significativas en los hormigones de calidades H25, H30 y H35 MPa utilizadas e investigadas. La amplitud de estas brechas, han impedido la evaluación total de las especificaciones por desempeño establecidas en la normativa vigente, pues los solicitantes del servicio han desestimado su realización, por factores económicos y de tiempo de respuesta.

El chequeo de estos resultados evidencia la persistencia de problemas en la implementación de la tecnología del hormigón, relacionados en muchos casos con la planificación, ejecución y control de actividades de vibrado, colocación y curado, que tienen gran influencia en los resultados finales de calidad y durabilidad de los elementos construidos.

3. CONCLUSIONES.

El acercamiento propuesto en este artículo, al tema de la “Implementación de acciones teórico- prácticas, para la mejora de la durabilidad de estructuras de hormigón armado”, indica hacia que en Cuba

1)- Técnicamente existe un adecuado nivel teórico, para garantizar que en las obras que se ejecutan se alcancen los niveles de durabilidad y calidad requeridos y establecidos.

2)- Las brechas identificadas en el caso de estudio presentado, indican deficiencias en la implementación y cumplimiento de lo regulado en el país, en materia de tecnología del hormigón.

3)- Los esfuerzos de mejora continua, se deben dirigir precisamente hacia el chequeo, control e implementación efectiva, de lo establecido en la normativa correspondiente, en materia de la tecnología del hormigón, para así lograr los resultados esperados y contribuir a la sostenibilidad del proceso que se desarrolla.

4. AGRADECIMIENTOS.

EL autor del trabajo considera oportuno agradecer la colaboración brindada por colegas del sector constructivo de la ciudad y de entidades especializadas, por su colaboración, interés y estímulo a que se continúen realizando investigaciones vinculadas al tema presentado.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Corvo, F. y col.: “Segunda variante de Mapa Regional de Agresividad corrosiva de la atmósfera de Cuba. Ponencia”. Primer taller Internacional de corrosión, CONACYT-CINVESTAV, Mérida, Yucatán, México, 23-28 marzo, 1992.
- [2] Colectivo de autores; Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, CYTED, Red temática XV.B, Durabilidad de la armadura, Río de Janeiro, Brasil, 1997
- [3] T. Pérez y col. “Corrosion Research Frontier. Atmospheric corrosion in tropical climate. On the concept of Wetness and its interaction with contaminants deposition”, (capítulo 2) en Electroanalytical Chemistry New Research, Nova Science Publisher, New York, EEUU. 2008.
- [4] Castañeda, A: “Influencia de la agresividad corrosiva en el deterioro de cuatro estructuras en Ciudad de la Habana, en revista Obras, 33, Ministerio de la Construcción, 2009, pp.40-45
- [5] C. Rivero y F. Corvo: “Evaluación de sistemas de protección contra la corrosión en la rehabilitación de estructuras construidas en sitios de elevada agresividad corrosiva en Cuba”, en Revista de la Construcción de Chile, 11, 2012, pp. 49-61.
- [6] J.J. Howland Albear; F. Corvo y R. Marrero: “Estudio de la agresividad corrosiva de la atmósfera para el acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, en La Habana”, en Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, vol. 35, no. 2, 2014, pp. 173-188.
- [7] J.J. Howland Albear: “Desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón”, CUJAE, La Habana, 2013, ISBN 978-959-261-404-8 (monografía).
- [8] Estructuras de concreto. Proyectar para la durabilidad. Publicación de Seccional Colombiana del ACI.
- [9] Norma cubana (NC) 120: “Hormigón hidráulico. Especificaciones
- [10] Norma cubana (NC) 250: “Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de edificaciones y obras civiles de hormigón estructural”.

[11] Norma cubana (NC) 207: “Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón armado”

[12] “Informes técnicos sobre la rotura de testigos de hormigón armado, años 2015 al 28”, Unidad de Investigaciones para la Construcción de La Habana, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Cuba.