

Evaluación de la calidad del hormigón en edificaciones construidas con el sistema prefabricado gran panel soviético

Evaluation of the quality of the concrete in built constructions with the system precast great soviet panel

MSc. Yamila Concepción Socarrás Cordoví ^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-3198-3543>

Dra. Liliana González Díaz ORCID¹  <https://orcid.org/0000-0002-5606-982X>

Dr. Eduardo Álvarez Deulofeu ORCID¹  <https://orcid.org/0000-0003-1819-263X>

MSc. Mayra González Fernández ORCID¹  <https://orcid.org/0000-0002-4788-3184>

MSc. Estrella Roca Fernández ORCID¹  <https://orcid.org/0000-0003-0372-1922>

¹ Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: ysocarrascordovi@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en definir la calidad del hormigón en edificaciones existentes construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético. Se precisan la velocidad del pulso ultrasónico, el índice esclerométrico y otros parámetros como la humedad y el potencial de corrosión. Al analizar los resultados se concluye que, en los elementos prefabricados en buen estado técnico-constructivo, que conforman las edificaciones en explotación, la calidad del hormigón es media. Sin embargo, en los elementos con presencia de daños patológicos la calidad es pobre. En estos elementos dañados, se evidencian procesos de deterioro químico, causado por el ataque del agua, que generan formación de compuestos solubles de la pasta, la pérdida de masa, de resistencia mecánica entre otras alteraciones. Igualmente se desencadena la carbonatación del hormigón, que provoca a su vez la corrosión del acero de refuerzo. Se recomienda la realización de ensayos destructivos para obtener la resistencia a compresión de los elementos, para así valorar la incidencia de la durabilidad del hormigón, en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones construidas con este sistema prefabricado.

Palabras clave: velocidad del pulso ultrasónico; índice esclerométrico; porcentaje de humedad; potencial de corrosión y sistema prefabricado.

ABSTRACT

The present investigation is focused in defining the quality of the concrete in built existent constructions with the system precast concrete Great Soviet Panel. They are necessary the speed of the ultrasonic pulse, surface methods and other parameters like the humidity and the potential of corrosion. When analyzing the results, you conclude that, in the elements precast concrete in good technician-constructive state that they conform the constructions in exploitation, the quality of the concrete is half. However, in the elements with presence of pathological damages the quality is poor. In these damaged elements, processes of chemical deterioration are evidenced, caused by the attack of the water that they generate formation of compound soluble of the pasta, the loss of mass, of mechanical resistance among other alterations. Equally the carbonation of the concrete is unchained that causes the corrosion of the reinforcement steel in turn. The realization of destructive rehearsals is recommended to obtain the resistance to compression of the elements, it stops this way to value the incidence of the durability of the concrete, in the behavior structural seismic of the built constructions with this system precast concrete.

Key words: speed of the pulse ultrasonic, surface methods; percentage of humidity; potential of corrosion and system precast concrete.

Recibido: 20/09/2019

Aceptado: 25/01/2020

Introducción

El Instituto Giprostroy de la antigua Unión Soviética creó a finales de la década de 1950, la serie de edificios I-464. En realidad, era la adaptación soviética del sistema francés Camus, patentado en 1949 para prefabricar industrialmente paneles de hormigón de gran formato. Su empleo se hizo masivo no sólo en muchas exrepúblicas soviéticas, sino en otros países de Europa, así como en Chile y Cuba.

En Cuba, la implementación de este sistema prefabricado, bajo el nombre de Gran Panel Soviético (GPS) fue exclusiva en la provincia Santiago de Cuba y de forma experimental se construyeron algunos edificios en Pilon, provincia Granma. En la provincia Santiago de Cuba, desde el año 1964 hasta finales de 1991, se construyeron 769 edificios, 665 concentrados en el municipio de igual nombre. Se desarrollan de forma vertical, desde cuatro hasta cinco niveles. Se caracterizan por ser simétricos en planta y elevación. La planta arquitectónica de los edificios se estructura desde una caja de escalera hasta seis, pero contemplando juntas de expansión como máximo cada 2 cajas de escaleras; es decir cada 32 metros de longitud. Igualmente existen edificios con balcón y sin balcón, como se aprecia en la figura 1.



Fig.1- Edificios Gran Panel Soviético. Fuente: Autores, 2019

Todos los elementos estructurales del sistema GPS son prefabricados industrialmente. En la figura 2, se muestra la nomenclatura de los paneles y losas prefabricadas. Los paneles exteriores se designan con la letra E y los interiores con las letras I, S y T. Para denominar a las losas prefabricadas se usa la letra P.

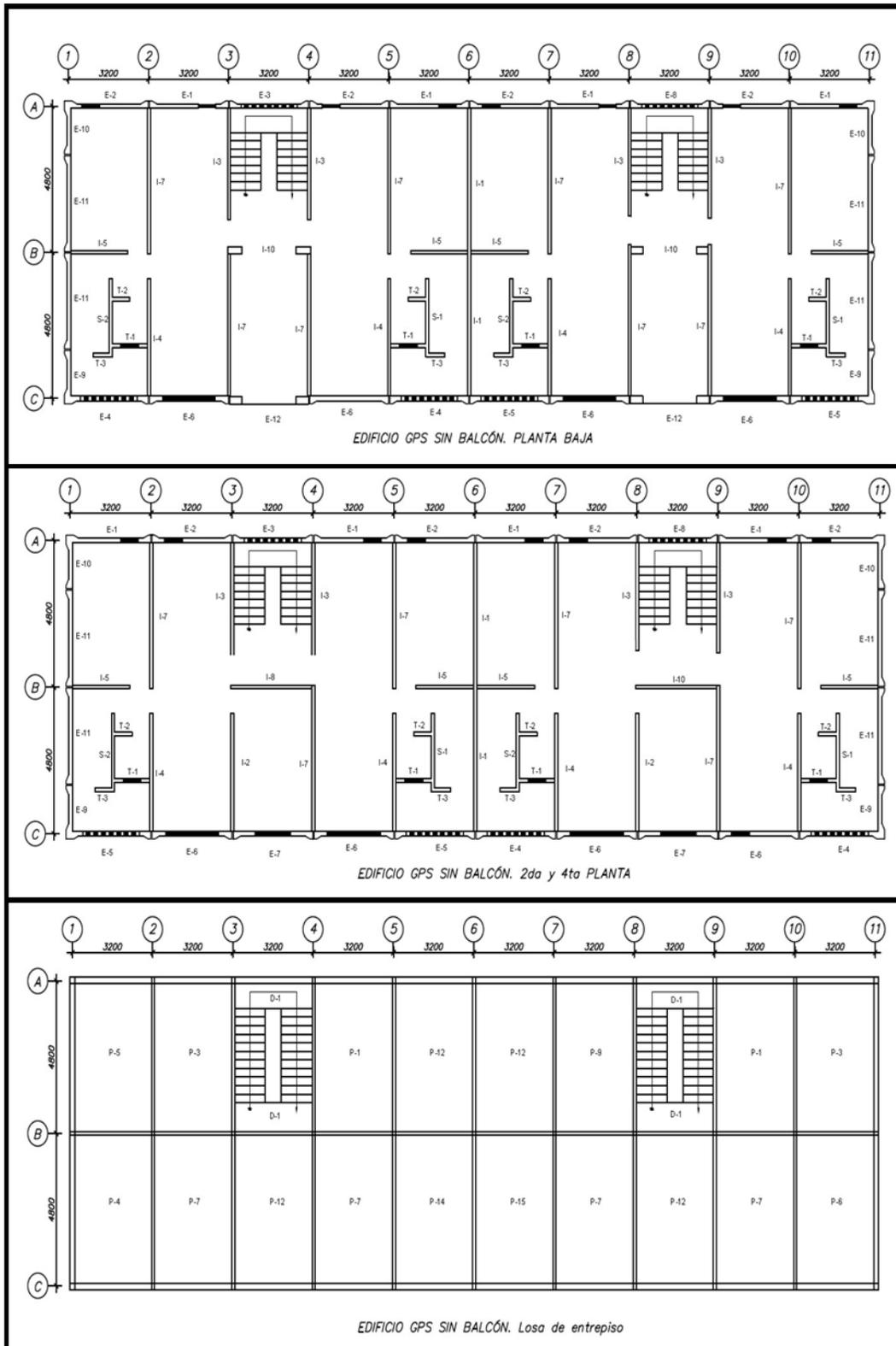


Fig. 2- Nomenclatura de los paneles y losas del GPS.

Fuente: Autores, 2019

Este sistema prefabricado, mostró un adecuado comportamiento ante sismos fuertes en Chile (1985, 2010 y 2012) y Armenia (1988). Sin embargo, desde hace algún tiempo para la comunidad de especialistas en la región, es una preocupación el estado de deterioro de las edificaciones construidas con el sistema GPS en el municipio de Santiago de Cuba. Una de las primeras investigaciones,⁽¹⁾ identificó la presencia de iones cloruros, sulfatos y carbonatación en los paneles de los locales de cocina, baño y sala; y en las losas de entrepisos y cubiertas.

Con la intención de realizar estudios más profundos, la presente investigación se enfoca en evaluar la calidad del hormigón en edificaciones construidas con el sistema prefabricado Gran Panel Soviético. Se van a realizar ensayos no destructivos para precisar la velocidad del pulso ultrasónico, el índice esclerométrico, la humedad y el potencial de corrosión.

Materiales y métodos

Se realizó un programa experimental para determinar la calidad y propiedades como el porcentaje de humedad y el potencial de corrosión, del hormigón del sistema prefabricado GPS. Se realizan ensayos no destructivos a elementos prefabricados que conforman edificaciones en uso. Se definieron la cantidad de elementos a ensayar en correspondencia con las normativas.^(2,3, 4) A continuación, se detalla el equipamiento, las normas y los criterios de valoración que se tuvieron en cuenta en cada uno de los ensayos realizados.

A) Ensayos no destructivos con ultrasonido y esclerómetro en elementos en buen estado y en elementos con presencia de daños patológicos.

Se ensayaron elementos que conforman edificaciones en explotación (Edificio E-16; E-18 y Edificio U-142; U-143). En total, 20 elementos con presencia de daños patológicos con niveles de afectación severo y 11 en buen estado técnico-constructivo.

Para medir la velocidad del pulso ultrasónico, se localizaron primero las barras de acero, dado que la velocidad de propagación de la onda es dos veces mayor en estas que en el hormigón, por lo que se realizaron las mediciones próximas a las barras paralelas a la dirección de propagación. Se efectuaron un total de cuatro mediciones

del pulso ultrasónico en cada elemento analizado con el equipo Pundit Lab. La clasificación de la calidad del hormigón se realizó de acuerdo con las especificaciones establecidas en la tabla 1.

Tabla 1- Valoración cualitativa del hormigón según la velocidad del pulso ultrasónico.

Velocidad de pulso (m/s)	Condición del Hormigón
Más de 3660	Bueno
De 2135-3660	Regular
Menos de 2135	Pobre

Fuente: ⁽⁵⁾

Para la esclerometría se empleó el martillo Schmidt tipo N y el ensayo se realizó según lo estipulado en las normas. ^(6,7) Se realizaron un total de 15 impactos en cada elemento ensayado y la valoración cualitativa del hormigón se hace de acuerdo con las especificaciones establecidas en la tabla 2.

Tabla 2. Valoración cualitativa del hormigón según el Índice Esclerométrico.

Índice Esclerométrico (IE)	Calidad del hormigón
Valores > 40	Buena
30 a 40	Media
20 a 29	Pobre
Valores < 20	Fisuras y delaminación

Fuente: ⁽⁷⁾

En la figura 4, se observa la realización de estos ensayos.

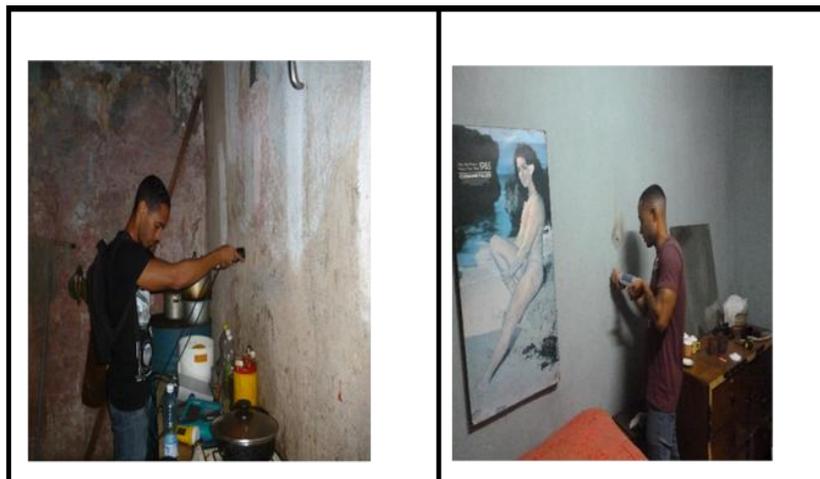


Fig. 4- Ensayos no destructivos.

B) Ensayos no destructivos con humidímetro y corrosímetro para determinar en elementos con daños patológicos:

- Porcentaje de humedad
- Potencial de corrosión

Para evaluar el porcentaje de humedad, después de una inspección visual, se escogieron 10 elementos con presencia de humedad, que conforman edificaciones en explotación. Las mediciones en los elementos verticales (paneles) fueron realizadas a 50 cm del nivel de piso, en el centro de los paneles, y a 50 cm bajo losa, para así definir también si la humedad es ascendente o descendente. En el caso de las losas, se realizó una cuadrícula de 15 x 15 cm en la que se realizaron mediciones en zonas donde existían manchas de humedad. Se empleó el Humidímetro HMT600.

Los rangos del porcentaje de humedad en relación a su incidencia en la corrosión, se han establecido en función del porcentaje de humedad relativa de Cuba. Según ⁽⁸⁾ para acelerar la corrosión es necesario junto a una oferta de oxígeno suficiente, que la humedad del elemento sea superior como mínimo al 50 % de la humedad relativa. Teniendo en cuenta que la humedad relativa media anual en Cuba es del 78 %, en esta investigación se establecen los rangos del porcentaje de humedad en relación a su incidencia en la corrosión, que aparecen en la tabla 3.

Tabla 3- Incidencia del porcentaje de humedad en la corrosión

Porcentaje de humedad	Incidencia sobre la corrosión
Hasta 39%	Mínima
Mayor del 39%	Máxima

Fuente: Autores, 2019

La medición del potencial de corrosión se efectuó en elementos en los que se apreciaban aceros expuestos. Se empleó el corrosímetro Canin. En el área preparada para la realización del ensayo, se hicieron cuadrículas de 15 x 15 cm, tratando de cubrir la mayor parte de esta (Ver figura 5). Al comenzar las mediciones se colocó un cable a tierra, conectado al refuerzo de acero expuesto, se tuvieron en cuenta factores que influyen en los resultados como la humedad, temperatura, grosor de la cubierta de

hormigón y el contenido de oxígeno en el refuerzo. Las órdenes de magnitudes típicas para evaluar el estado de la corrosión de la superficie de acero dentro del hormigón, son los intervalos mostrados en la tabla 4.

Tabla 4- Clasificación del hormigón según el potencial de corrosión

Magnitudes típicas de las mediciones	
Hormigón saturado de agua sin O ₂	de -1 000 a -900 mV
Hormigón húmedo contaminado con cloruro	de -600 a -400 mV
Hormigón húmedo sin cloruro	de -200 a +100 mV
Hormigón húmedo carbonatado	de -400 a +100 mV
Hormigón seco carbonatado	de 0 a +200 mV
Hormigón seco no carbonatado	de 0 a +200 mV

Fuente: ⁽⁹⁾



Fig. 5- Ensayos no destructivos.

Fuente: autores, 2019

Resultados

En las tablas 5, 6, 7 y 8 se muestran los resultados de los ensayos realizados para evaluar la calidad del hormigón.

Tabla 5- Resultados de la esclerometría y la velocidad del pulso ultrasónico en elementos en buen estado.

Elemento prefabricado	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
	Índice Esclerométrico IEs	Calidad del hormigón	Velocidad promedio (m/s)	Calidad del hormigón
I-4	34	Media	3000	Regular
I-3	34	Media	3000	Regular
E-12	43	Buena	3200	Regular
I-8	34	Media	3000	Regular
I-7	34	Media	3000	Regular
E-1	37	Media	3000	Regular
I-7	34	Media	3000	Regular
T-1	30	Media	3000	Regular
P-4	39	Media	2800	Regular
P-7	39	Media	2900	Regular
P-4	39	Media	2900	Regular

Fuente: Autores, 2019

Tabla 6-Resultados de la esclerometría y la velocidad del pulso ultrasónico en elementos dañados.

Elemento Prefabricado	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
	Índice Esclerométrico IEs	Calidad del hormigón	Velocidad promedio (m/s)	Calidad del hormigón
I-7	27,40	Pobre	1089	Pobre
I-2	25,70	Pobre	784	Pobre
I-5	20,00	Pobre	305	Pobre
I-4	28,26	Pobre	2117	Pobre
T-2	30,93	Media	3116	Regular
S-2	30,66	Media	3121	Regular
E-11	24,13	Pobre	539	Pobre
T-1	20,80	Pobre	309	Pobre
E-4	26,73	Pobre	623	Pobre
E-10	26,26	Pobre	845	Pobre
E-2	25,60	Pobre	737	Pobre
I-7	28,40	Pobre	921	Pobre
I-5	23,86	Pobre	306	Pobre
P-4	32,80	Media	3070	Regular
P-7	33,60	Media	3233	Regular
E-6	29,00	Pobre	2130	Pobre
T-3	27,00	Pobre	2130	Pobre
S-2	22,00	Pobre	2000	Pobre
E-5	28,00	Pobre	2200	Pobre
E-9	28,00	Pobre	2100	Pobre

Fuente: Autores, 2019

Tabla 7- Porcentaje de humedad en elementos dañados

Elementos prefabricados	% de humedad a una altura de:			Incidencia en la corrosión
	0,50 m	1,35 m	2,20 m	
S-2	32,4	44,6	52,4	máxima
I-2	39,4	52,1	54,7	máxima
I-4	37,5	39,2	47,9	máxima
T-2	50,1	51,5	52,4	máxima
T-1	32,4	39,9	53,4	máxima
I-7	37,6	41,9	50,5	máxima
E-11	33,4	34,2	45,0	máxima
	% de humedad			
P-7	45,2			máxima
P-15	57,8			máxima
P-7	33,2			mínima

Fuente: Autores, 2019

Tabla 8- Potencial de corrosión en elementos dañados

Elementos prefabricados	Intervalos de los resultados (mV)	Observaciones
E-4	(-341 y -184)	Hormigón húmedo carbonatado
I-7	(-324 y -160)	Hormigón húmedo carbonatado
E-11	(-362 y -197)	Hormigón húmedo carbonatado
P-4	(-380 y -185)	Hormigón húmedo carbonatado
S-2	(-325 y -169)	Hormigón húmedo carbonatado
T-1	(-379 y -19)	Hormigón húmedo carbonatado
E-5	(-154 y 46)	Hormigón húmedo sin cloruro
I-4	(-301 y -167)	Hormigón húmedo carbonatado
P-7	(-167 y 90)	Hormigón húmedo sin cloruro

Fuente: Autores, 2019

Discusión

Ensayos de esclerometría y de velocidad del pulso ultrasónico en elementos en buen estado

Hay coincidencias en la valoración cualitativa de ambos ensayos para todos los tipos de elementos. En 10 elementos se obtuvo una calidad media o regular y sólo en un elemento una calidad buena por el índice esclerométrico y regular por la velocidad del pulso ultrasónico. A través del análisis documental y las entrevistas se confirma este resultado. En documentos y planos consultados en el archivo de la Empresa de Proyectos N° 15, el día 1 de febrero del 2019, se especifica que el hormigón prefabricado del Sistema Gran Panel Soviético tiene un valor de resistencia característica a la compresión $f'_{ck} = 20$ MPa para una probeta cúbica de 10x10 cm. La resistencia equivalente para una probeta cilíndrica es 16 MPa. Es decir, la calidad del hormigón exigida por proyecto, es media.

Ensayos de esclerometría, de velocidad del pulso ultrasónico, de determinación del porcentaje de humedad y el potencial de corrosión en elementos con daños patológicos

En 9 elementos (de 10 en total) se obtuvieron elevados porcentajes de humedad, con máxima incidencia en la corrosión. En los elementos paneles, se aprecia que la distribución de humedad no es uniforme y los mayores porcentajes se encontraron a 2,20 m de altura. Se puede concluir que la humedad en los paneles, es descendente por infiltración y que los gradientes marcadamente no lineales que existen, por la distribución de humedad no uniforme, es una de las causas de las fisuras que poseen estos. En ⁽¹⁰⁾ se argumenta que la presencia de gradientes marcadamente no lineales,

generan tensiones que pueden exceder la capacidad de deformación y la resistencia a la tracción del material.

En 16 elementos (de 20 en total), existe coincidencia en la valoración cualitativa del ensayo de esclerometría y de determinación del pulso ultrasónico. La calidad del hormigón en estos casos, es pobre por ambos ensayos. Sin embargo, en los elementos S-2, T-2, P-4 y P-7, que poseen elevados porcentajes de humedad, la valoración cualitativa del hormigón según la velocidad del pulso ultrasónico es regular (con valores por encima de 3000 m/s) y según la esclerometría es media. Estos resultados están en correspondencia, con los valores obtenidos del potencial de corrosión. Como son elementos que poseen porcentajes de humedad elevados, de acuerdo al resultado de la medición del potencial de corrosión, se obtuvo en esos casos, un hormigón húmedo carbonatado. Por lo tanto, la carbonatación del hormigón ha provocado un endurecimiento de la superficie y es por eso que se obtienen calidades superiores. Según ⁽¹¹⁾, justamente un factor favorable de la carbonatación en el hormigón es la disminución de la porosidad al rellenarse los poros por el depósito de CaCO_3 , produciendo incluso un aumento de la resistencia mecánica.

El fenómeno de la carbonatación depende tanto de las propiedades del hormigón como de factores ambientales como la temperatura, concentración de CO_2 y la humedad relativa. Sin embargo, la humedad relativa regula el fenómeno. Se plantea en ⁽¹¹⁾ que, en condiciones extremas de sequedad, será muy baja porque no habrá agua para disolver el CO_2 y, en condiciones de saturación de agua en los poros, la carbonatación también será baja porque la difusión del CO_2 será muy pequeña. La carbonatación será máxima para humedades relativas comprendidas entre un 50% y un 70%. De esta forma el CO_2 que penetra a través de los poros del hormigón hacia su interior, se disuelve en presencia de agua, forma ácido carbónico, disminuye el pH del medio y desencadena la corrosión del acero, por eso, a pesar de las consecuencias positivas en relación al hormigón, ellas no son relevantes cuando se comparan con efectos negativos generados por la corrosión de armaduras.

Analizando específicamente los resultados de la medición del potencial de corrosión, se aprecia que en 7 elementos (de 9 ensayados), los valores del intervalo del potencial de corrosión son negativos, en un rango que indican que en esos elementos el hormigón es húmedo carbonatado. Es clara la incidencia de la humedad relativa media anual en

Cuba del 78 %, y la humedad de los elementos entre un 32,4 % - 57,8%, en estos resultados. En ⁽¹²⁾ se puntualiza en la influencia de la humedad relativa en el valor del potencial de corrosión, alcanzando valores más negativos cuando la humedad relativa se incrementa.

Conclusiones

De los resultados de los ensayos no destructivos realizados en el marco de esta investigación se precisa que, en los elementos prefabricados en buen estado técnico-constructivo, que conforman las edificaciones en explotación, el hormigón tiene una calidad media. Sin embargo, en los elementos con presencia de daños patológicos clasifica como de pobre calidad. En estos elementos con daños patológicos, se evidencian procesos de deterioro químico causado por el ataque del agua, que generan formación de compuestos solubles de la pasta, la pérdida de masa, de resistencia mecánica entre otras alteraciones. Igualmente se desencadena la carbonatación del hormigón, que provoca a su vez la corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión conduce al agrietamiento del hormigón, de laminación del acero, disminución de la adherencia hormigón-acero y demás manifestaciones, que afectan la durabilidad del hormigón. Por lo tanto, es necesario la realización de ensayos destructivos para obtener la resistencia a compresión de los elementos, para así valorar la incidencia de la durabilidad del hormigón, en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones construidas con este sistema prefabricado.

Referencias bibliográficas

1. DÍAZ-CONSUL, A. (2005). Deterioro de la imagen de un conjunto habitacional en la periferia de la ciudad. IV Memorias del Evento Internacional Ciudad, Imagen y Memoria. ISBN: 84-9705-837-2.
2. Applied Technology Council and Federal Emergency Management Agency. (1997). NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273). Washington, DC: U.S
3. American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 7-05, 2013). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. 388 pp. Virginia, USA

4. Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2017). Normas para la Rehabilitación Sísmica de edificios de concreto dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017. <https://www.cmiccdmx.org/.../normas-de-rehabilitación-sísmica-de-edificios-04-12-17>
5. SOLÍS-CARCAÑO, 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 (2), pp.41-52, 2004.
6. Norma Cubana: NC 246: 2003. Determinación de la resistencia a la compresión con el uso de Esclerómetros Tipos N y NR.
7. Norma Cubana: NC ISO 1920-7. Ensayos al Hormigón Endurecido. Parte 7. Ensayos no Destructivos al Hormigón Endurecido.
8. TEJERA- GAROFALO, P.; ÁLVAREZ- RODRIGUEZ, O. Conservación de Edificaciones, Tom 2,1ra ed., La Habana: ed. Félix Varela, 2013, 335p. ISBN: 978-959-07-1613-3.
9. PROCEQ SA. (2009). Instrucciones de uso. Analizador de corrosión.
10. HELENE, P.; PEREIRA, F., Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto,1ra ed., Sao Paulo: ed. SP Brasil,2007,598 p. ISBN: 85-60457-00-3.
11. CONTRERAS- DE VILLAR, F. Validación de escorias de horno de arco eléctrico mediante su uso como adición en hormigón, Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad de Málaga. España, 2017.
12. CHÁVEZ, E. et al. “Deterioration of concrete structures due to carbonation in tropical marine environment and accelerated carbonation chamber”. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. 2013, 36, 104-113.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores:

MSc. Yamila Concepción Socarrás Cordoví: Redacción del informe, búsqueda de información y realización de los ensayos.

Dra. Liliana González Díaz: Revisión del informe y búsqueda de información.

Dr. Eduardo Álvarez Deulofeu: Revisión del informe y búsqueda de información.

MSc. Mayra González Fernández: Realización de los ensayos.

MSc. Estrella Roca Fernández: Realización de los ensayos.