

# Valuation of the Durability of the Concrete Used in the Precast Great Soviet Panel System

Yamila-Concepción Socarrás-Cordoví; Liliana González-Díaz; Eduardo  
Álvarez-Deulofeu; Mayra González-Fernández; Estrella Roca-  
Fernández; Raúl Torres-Shoembert

**Citación:** Y.-C. Socarrás-Cordoví, L. González-Díaz, E. Álvarez-  
Deulofeu, M. González-Fernández, E. Roca-Fernández, and R. Torres-  
Shoembert, “Valuation of the Durability of the Concrete Used in the  
Precast Great Soviet Panel System,” *Revista Facultad de Ingeniería*,  
vol. 29 (54), e10486, 2020.

<https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10486>

**Recibido:** Diciembre 30, 2019; **Aceptado:** Mayo 24, 2020;

**Publicado:** Junio 18, 2020

**Derechos de reproducción:** Este es un artículo en acceso abierto  
distribuido bajo la licencia [CC BY](#)



**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de  
intereses.

# Valuation of the Durability of the Concrete Used in the Precast Great Soviet Panel System

Yamila-Concepción Socarrás-Cordoví<sup>1</sup>

Liliana González-Díaz<sup>2</sup>

Eduardo Álvarez-Deulofeu<sup>3</sup>

Mayra González Fernández<sup>4</sup>

Estrella Roca-Fernández<sup>5</sup>

Raúl Torres-Shoembert<sup>6</sup>

## Abstract

The durability of the concrete of the precast Great Soviet Panel system is valued through the resistance to compression, ultrasonic pulse velocity, surface methods, humidity and potential of corrosion. The evaluation is approached, essentially, through experimental and statistical methods, nevertheless, historical-logical and technical methods, such as surveys and interviews, are used in order to gather a bigger amount of information on the resistance to compression of the elements in the original project. While analyzing the results, we can conclude that, in elements in a good technical-constructive state that conform the constructions in exploitation, concrete has an average resistance. However, in elements with the presence of pathological damages, the resistance is low due to the fact that elements show chemical deterioration processes caused by water exposure, which generates the formation of soluble paste compounds, loss of mass, and decrease in mechanical resistance, among other alterations. At the same time, carbonation of concrete is

---

<sup>1</sup> M. Sc. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). [yamila@uo.edu.cu](mailto:yamila@uo.edu.cu). ORCID: [0000-0002-3198-3543](https://orcid.org/0000-0002-3198-3543)

<sup>2</sup> Ph. D. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). [liliana@uo.edu.cu](mailto:liliana@uo.edu.cu). ORCID: [0000-0002-5606-982X](https://orcid.org/0000-0002-5606-982X)

<sup>3</sup> Ph. D. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). [eaivarez@uo.edu.cu](mailto:eaivarez@uo.edu.cu). ORCID: [0000-0003-1819-263X](https://orcid.org/0000-0003-1819-263X)

<sup>4</sup> M. Sc. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). [mayra@uo.edu.cu](mailto:mayra@uo.edu.cu). ORCID: [0000-0002-4788-3184](https://orcid.org/0000-0002-4788-3184)

<sup>5</sup> M. Sc. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). [estrella@uo.edu.cu](mailto:estrella@uo.edu.cu). ORCID: [0000-0003-0372-1922](https://orcid.org/0000-0003-0372-1922)

<sup>6</sup> Universidad de Oriente (Santiago de Cuba, Cuba). ORCID: [0000-0002-4410-4253](https://orcid.org/0000-0002-4410-4253)

triggered, which, in turn, causes the corrosion of the reinforcing steel. This corrosion leads to the cracking of concrete, delamination of steel, decrease of the concrete-steel adhesion, and other manifestations that affect the durability of concrete. Therefore, the incidence of the durability of concrete should be valued in the structural seismic behavior of constructions.

**Keywords:** compression resistance; concrete system; humidity percentage; potential of corrosion; surface methods; ultrasonic pulse velocity.

## **Valoración de la durabilidad del hormigón prefabricado utilizado en el sistema gran panel soviético**

### **Resumen**

Se valora la durabilidad del hormigón del sistema prefabricado Gran Panel Soviético, a través de la precisión de la resistencia a compresión, la velocidad del pulso ultrasónico y el índice esclerométrico. Igualmente, se determinan otros parámetros como la humedad y el potencial de corrosión, que también inciden en la durabilidad del hormigón. Se recurre esencialmente a métodos experimentales y estadísticos, no obstante, se emplean métodos como el histórico-lógico y técnicas como las encuestas y entrevistas, para recopilar mayor cantidad de información sobre la resistencia a compresión de los elementos prefabricados en el proyecto original. Al analizar los resultados se concluye que, en los elementos en buen estado técnico-constructivo, que conforman las edificaciones en explotación, el hormigón es de resistencia media al igual que lo prescribe el proyecto original de este sistema prefabricado. Sin embargo, en los elementos con presencia de daños patológicos la resistencia es baja. Debido a que en estos elementos 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 y la disminución de resistencia mecánica entre otras alteraciones. A la par se desencadena la carbonatación del hormigón, que provoca a su vez la corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión conduce al agrietamiento del hormigón, delaminación del acero, disminución de la adherencia hormigón-acero y demás manifestaciones, que afectan la durabilidad

del hormigón. Por lo tanto, se debe valorar la incidencia de la durabilidad del hormigón, en el comportamiento sismorresistente de estas edificaciones.

**Palabras clave:** índice esclerométrico; porcentaje de humedad; potencial de corrosión; resistencia a compresión; sistema prefabricado; velocidad del pulso ultrasónico.

## **Valoração da durabilidade do concreto pré-fabricado utilizado no sistema grande painel soviético**

### **Resumo**

Valora-se a durabilidade do concreto do sistema pré-fabricado Grande Painel Soviético, através da precisão da resistência à compressão, à velocidade do pulso ultrassônico e ao índice esclerométrico. Igualmente, determinam-se outros parâmetros como a humidade e o potencial de corrosão, que também incidem na durabilidade do concreto. Recorre-se essencialmente a métodos experimentais e estatísticos, mesmo assim, empregam-se métodos como o histórico-lógico e técnicas como as enquetes e entrevistas, para recopilar maior quantidade de informação sobre a resistência à compressão dos elementos pré-fabricados no projeto original. Ao analisar os resultados conclui-se que, nos elementos em bom estado técnico-constructivo, que conformam as edificações em exploração, o concreto é de resistência média ao igual que o prescreve o projeto original deste sistema pré-fabricado. Porém, nos elementos com presença de danos patológicos, a resistência é baixa. Devido a que nestes elementos evidenciam-se processos de deterioro químico, causado pelo ataque de água, que geram formação de compostos solúveis da pasta, a perda de massa e a diminuição de resistência mecânica, entre outras alterações. Juntamente, desencadeia-se a carbonatação do concreto, que provoca por sua vez, a corrosão do aço de reforço. Esta corrosão conduz à fissuração do concreto, delaminação do aço, diminuição da aderência concreto-aço e demais manifestações, que afetam a durabilidade do concreto. Portanto, deve-se valorar a incidência da durabilidade do concreto, no comportamento sismorresistente destas edificações.

**Palavras chave:** índice esclerométrico; porcentagem de humidade; potencial de corrosão; resistência a compressão; sistema pré-fabricado; velocidade do pulso ultrassônico.

## I. 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 Pilón, provincia Granma. En la provincia Santiago de Cuba desde el año 1964 hasta 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, con balcón (izquierda), sin balcón (derecha).

Todos los elementos estructurales del sistema GPS son prefabricados industrialmente. En el catálogo, 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.

El sistema prefabricado GPS, por su concepción estructural y tipos de juntas entre los elementos estructurales, ha mostrado un adecuado comportamiento ante la ocurrencia de sismos de gran intensidad, ocurridos en Chile (1985, 2010 y 2012), así como en Armenia (exrepública soviética) en 1988. Sin embargo, la comunidad de especialistas en la provincia de Santiago de Cuba ha mostrado preocupación por estas edificaciones desde hace algún tiempo por los daños patológicos presentes en los elementos y juntas estructurales, así como las modificaciones que han sufrido en el peso y la rigidez.

Díaz [1] realizó una de las primeras investigaciones, donde 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. Concluye, que estas edificaciones presentan un elevado deterioro. Otros investigadores como Morejón et al. [2] centraron su objetivo en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios, afirmando que resisten un sismo de gran intensidad. No obstante, en sus análisis no tuvieron en consideración los incrementos de pesos y cambios en la rigidez presentes en estas edificaciones, debido a la colocación de tanques de agua, adición de muros de mampostería, relleno de las celosías, abertura o eliminación de paneles y losas, entre otros.

Con la intención de realizar estudios más profundos, la presente investigación se enfoca en valorar la durabilidad del hormigón empleado en el sistema prefabricado Gran Panel Soviético, para luego ver su posible incidencia en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones construidas con dicho sistema. Se van a precisar la resistencia a compresión, la velocidad del pulso ultrasónico y el índice esclerométrico. Igualmente, otros parámetros como la humedad y el potencial de corrosión, que también inciden en la durabilidad del hormigón. Se recurre esencialmente a métodos experimentales y estadísticos, no obstante, se emplean métodos como el histórico-lógico y técnicas como las encuestas y entrevistas, para recopilar mayor cantidad de información sobre la resistencia a compresión de los elementos estructurales en el proyecto original.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó un programa experimental para determinar la calidad y propiedades del hormigón del sistema prefabricado GPS, en las condiciones actuales de explotación y en el proyecto original. Se realizan ensayos destructivos y no destructivos a elementos prefabricados que se encuentran en el área de almacén de la Planta de Prefabricado “Gran Panel Santiago”, así como ensayos no destructivos a elementos prefabricados que conforman edificaciones en uso. Se definieron la cantidad de elementos a ensayar y los testigos necesarios, en correspondencia con las normativas [3-5]. 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. Ensayo destructivo para determinar la resistencia a compresión según las condiciones del proyecto original***

Para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón, se extrajeron testigos a 7 elementos prefabricados del sistema Gran Panel Soviético, que aún existen en el área de almacén de la Planta de Prefabricado “Gran Panel Santiago”. Todos los elementos tienen fecha de producción, 18 de julio de 1991 y fueron clasificados como conformes en el momento de su producción. Para la extracción de los testigos (3 testigos por elemento para un total de 21), se utilizó el equipo HILTI 00-130 con una barrena de corte de 4,5 cm de diámetro y se tuvieron en cuenta los requerimientos exigidos en la normativa [6].

El ensayo de resistencia a compresión se realizó de acuerdo con la norma [7]. Las probetas no fueron sumergidas en agua, debido a que el hormigón ya tiene más de 30 años de fabricación.

### ***B. Ensayos no destructivos con ultrasonido y esclerómetro***

Se realizaron estos ensayos para confirmar:

- Resistencia a compresión según las condiciones del proyecto original
- Resistencia a compresión en las condiciones actuales de explotación en elementos en buen estado



- Resistencia a compresión en las condiciones actuales de explotación en elementos con presencia de daños patológicos

Se ensayaron los mismos elementos a los que se tomaron muestras testigos, que se encuentran en la planta de prefabricado, así como elementos que conforman edificaciones en explotación (Edificio E-16; E-18 y Edificio U-142; U-143). En total, 22 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 [8].

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

Para la esclerometría se empleó el martillo Schmidt tipo N y el ensayo se realizó según lo estipulado en las normas [9-10]. 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 [10].

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

### **C. Ensayos no destructivos con humidímetro y corrosímetro**

Estos ensayos se emplearon para determinar el porcentaje de humedad y el potencial de corrosión en elementos con daños patológicos. 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 paneles fueron realizadas a 50 cm del nivel de piso (en el centro de ellos) 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 con su incidencia en la corrosión se han establecido en función del porcentaje de humedad relativa de Cuba. Según Tejera y Álvarez [11] 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 la Tabla 3 se establecen los rangos del porcentaje de humedad en relación con su incidencia en la corrosión.

**Tabla 3.** Incidencia del porcentaje de humedad en la corrosión.

<b>Porcentaje de humedad</b>	<b>Incidencia sobre la corrosión</b>
Hasta 39%	Mínima
Mayor del 39%	Máxima

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. 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 y magnitudes del hormigón según el potencial de corrosión [12].

Clasificación	Magnitud
Hormigón saturado de agua sin O <sub>2</sub>	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

### III. RESULTADOS

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos a los elementos de la Planta de Prefabricado “Gran Panel Santiago”. Por su parte, en las tablas 6-8, los resultados de los ensayos no destructivos a los elementos que conforman edificaciones en explotación. Algunos elementos ensayados, de los que conforman las edificaciones en explotación se encuentran en buen estado (11) y otros (22) presentan daños patológicos como humedad, corrosión y/o mecanismos de desintegración del hormigón.

#### ***A. Ensayos destructivos y no destructivos en elementos de la planta de prefabricado***

A continuación, se exponen los valores de la resistencia a compresión de las series de probetas extraídas de los elementos. Así como los valores medidos del índice esclerométrico (IE) y la velocidad del pulso ultrasónico (V), en dichos elementos.

**Tabla 5.** Resultados de los ensayos a los elementos de la planta de prefabricado.

Elementos	f'cs (MPa)	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
		IEs	Calidad del hormigón	Vs (m/s)	Calidad del hormigón
E-1	19.00	33	Media	2300	Regular
I-10	16.83	32	Media	2500	Regular
E-9	18.33	34	Media	2800	Regular
E-12	7.66	20	Pobre	500	Pobre
E-2	17.00	33	Media	2500	Regular
P-7	19.43	35	Media	2900	Regular
P-4	21.00	38	Media	3000	Regular

### **B. Ensayos no destructivos en elementos en buen estado de edificaciones en explotación**

Los resultados que se detallan en la Tabla 6 corresponden a los valores que se obtuvieron del IE y V, al ensayarse elementos en buen estado que conforman edificaciones en explotación.

**Tabla 6.** Resultados de esclerometría y velocidad del pulso ultrasónico en elementos en buen estado.

Elementos	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
	IEs	Calidad del hormigón	Vs (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

### **C. Ensayos no destructivos en elementos con daños patológicos en edificaciones en explotación**

En las Tablas 7 a 9 se puntualizan los valores que se obtuvieron del IE, V, porcentaje de humedad y potencial de corrosión, al ser ensayados 22 elementos con presencia de daños patológicos, que conforman edificaciones en explotación.

**Tabla 7.** Resultados de esclerometría y velocidad del pulso ultrasónico en elementos dañados.

Elementos	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
	IEs	Calidad del hormigón	Vs (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

Elementos	Esclerometría		Velocidad del pulso ultrasónico	
	IEs	Calidad del hormigón	Vs (m/s)	Calidad del hormigón
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

Tabla 8. Porcentaje de humedad en elementos dañados.

Elementos	% 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

Tabla 9. Potencial de corrosión en elementos dañados.

Elementos	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

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas destructivas y no destructivas se analizan a continuación, se muestra la resistencia obtenida en la compresión del hormigón prefabricado utilizado en el sistema de Gran Panel soviético prefabricado, tanto en las condiciones del proyecto original como en las condiciones operativas actuales.

### **A. Ensayo destructivo en elementos de la planta de prefabricado**

A partir del cálculo de la resistencia media a compresión de cada serie de probeta  $f'_{cs}$ , se obtuvo la resistencia media a compresión del lote ( $f'_{cm} = 17.03$  MPa) y la desviación típica del lote ( $S_L = 4.05$  MPa), que se evalúa de aceptable en cuanto a la uniformidad del hormigón del lote para el control en planta según la norma [13]. Como existe un valor dudoso de 7.66 MPa correspondiente a la serie tomada del elemento E-12, se determina el valor estadístico  $t_n$ , que se compara con  $h = 1.94$  (para un nivel de significación del 5 %). Como  $t_n = 2.31 > h$ , se depura la serie y se recalcula la resistencia media a compresión y la desviación típica del lote. Los resultados son  $f'_{cm} = 18.59$  MPa y  $S_L = 1.43$  MPa, que se evalúa de excelente. Considerando el valor percentil  $t$  de Student  $t = 1.104$  la resistencia característica es  $f'_{ck} = 17.01$  MPa. Por lo tanto, se trata de un hormigón de resistencia media.

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 No 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 10 x 10 cm. La resistencia equivalente para una probeta cilíndrica es 16 MPa. Estos valores también fueron aportados por dos ingenieros civiles fundadores de la Planta de Prefabricado Gran Panel Soviético en Santiago de Cuba [14].

La resistencia a compresión del hormigón prefabricado del sistema GPS obtenida, se ajusta a los requerimientos de fabricación de las etapas de surgimiento del sistema prefabricado (década del 40 del pasado siglo) y de implementación en Cuba (1964-1991). A su vez, estos resultados están en correspondencia con la tendencia internacional de esos períodos. En reportes previos [3], se recoge que en el período de 1920-1949 se alcanzaban resistencias del hormigón en muros de 14.07 MPa y entre 1950-1969 de 17.5 MPa.

### **B. Ensayos de esclerometría y de velocidad del pulso ultrasónico en elementos de la planta de prefabricado**

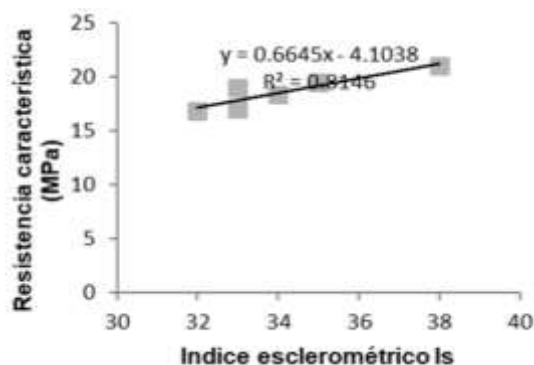
Se aprecia que en los 7 tipos de elementos hay coincidencias con la valoración cualitativa de ambos ensayos. La calidad del hormigón es media o regular en 6 tipos de elementos. En el hormigón de la serie tomada del elemento E-12, se obtuvo una calidad pobre. Pero como esta serie fue rechazada en la determinación de la resistencia a la compresión, tampoco se tendrá en cuenta en la determinación del IE característico ( $IE_k$ ). Es decir, se rechaza el valor de 20.00 porque  $t_n = 2.30 > h = 1.94$  (para un nivel de significación del 5%). Cuando se recalculan los valores, se tiene:  $IE_m = 34.16$  y  $S_L = 1.95$ , entonces:  $IE_k = 32$ .

Se realizó el análisis de la correlación de los resultados del ensayo destructivo y de la esclerometría. En la Figura 2 se muestra la recta de regresión y la ecuación de correlación (1) obtenida.

$$y = 0.6645x - 4.1038 \quad (1)$$

Donde “y” es  $f'_{ck}$  en MPa y “x” el IE.

Se aprecia que la tendencia, al ser el coeficiente de correlación positivo ( $R=0.9025$ ), es al incremento de la resistencia a compresión del hormigón cuando crece el IE. Como el coeficiente de determinación (que se define como el cuadrado del coeficiente de correlación lineal)  $R^2 = 0.8146$ , está en el rango entre 0 y 1, la recta estimada es representativa para los datos. Se puede concluir que la  $f'_{ck}$  se puede obtener a partir de los resultados del IE. Por lo tanto, la ecuación (1) permite determinar la resistencia a compresión de los elementos que conforman las edificaciones en explotación, donde no sea posible la extracción de testigos.



**Fig. 2.** Recta de regresión para el Hormigón prefabricado GPS.

Cuando en la ecuación (1) se sustituye  $IE_k$  de los elementos de la planta de prefabricado, se obtiene  $f'_{ck} = 17.16$  MPa, mayor un 7.20% que el valor característico según proyecto.

### ***C. Ensayos de esclerometría y de velocidad del pulso ultrasónico en elementos en buen estado, que conforman las edificaciones***

Hay coincidencias en la valoración cualitativa de ambos ensayos para 10 elementos, donde se obtuvo una calidad media o regular. Sólo en un elemento, una calidad buena por el IE y regular por la V.

Como en los elementos que forman parte de las edificaciones fue imposible la realización de ensayos destructivos para obtener la resistencia a compresión de éstos, fue necesario correlacionar los resultados de los ensayos destructivos y los ensayos de esclerometría y velocidad del pulso ultrasónico, de los elementos de la planta de prefabricado con los resultados de estos mismos ensayos no destructivos, en los elementos que conforman las edificaciones. Para esto, se emplea la ecuación de correlación (1), siendo “x” el IE de los elementos ensayados en las edificaciones e igualmente se empleó la plantilla Sonreb [15]. Para la aplicación de la plantilla, en la primera hoja se determinan los coeficientes “a”, “b”, y “c” de la curva Sonreb, introduciendo los valores de la resistencia a compresión según ensayo destructivo y la V con el IE, de los elementos que se encuentran en el área de almacén de la planta de prefabricado. Luego en la segunda hoja, se introducen la V y el IE, de los elementos que conforman las edificaciones; y se obtiene así la resistencia a compresión de estos.

En la Tabla 10 se recogen los valores de la resistencia a compresión obtenidos por la ecuación (1) y aplicando la plantilla Sonreb. Se aprecian que los resultados son aproximados. Luego se determina un valor promedio de estos resultados.

**Tabla 10.** Resistencia a compresión de los elementos en buen estado.

<b>Elementos</b>	<b><math>f'_c</math> según ecuación (1) en MPa</b>	<b><math>f'_c</math> según Sonreb en MPa</b>
I-4	18.49	17.72
I-3	18.49	17.72
E-12	24.46	25.77



Elementos	$f'_c$ según ecuación (1) en MPa	$f'_c$ según Sonreb en MPa
I-8	18.49	17.72
I-7	18.49	17.72
E-1	20.48	20.43
I-7	18.48	17.72
T-1	15.83	14.35
P-4	21.81	22.83
P-7	21.81	22.57
P-4	21.81	22.57
$f'_{cm}$ en MPa	19.87	19.73
$S_L$ en MPa	2.30	3.18
$f'_{ck}$ en MPa	17.46	16.4
$f'_{ck}$ promedio en MPa	16.93	

***D. Ensayos de esclerometría, de velocidad del pulso ultrasónico, de determinación del porcentaje de humedad y el potencial de corrosión en elementos con daños patológicos, que conforman las edificaciones***

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. Helene y Pereira [16], argumentan 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 Contreras [17], justamente un factor favorable de la carbonatación en el hormigón es la disminución de la porosidad al rellenarse los poros por el depósito de  $\text{CaCO}_3$ , produciendo incluso un aumento de la resistencia mecánica.

Pero la carbonatación como provoca una reducción del pH en el hormigón, 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. Chávez *et al.* [18] puntualizan en la influencia de la humedad relativa en el valor del potencial de corrosión, alcanzando valores más negativos cuando la humedad relativa se incrementa.

En la Tabla 11, se muestra la resistencia a compresión obtenida por la ecuación (1) y por la plantilla Sonreb [15]. Después del análisis estadístico de estos resultados, se obtiene que la resistencia a compresión del hormigón en los elementos dañados es: 11.20 MPa y 13.59 MPa respectivamente por ambas vías.

**Tabla 11.** Resistencia a compresión en elementos dañados.

Elementos	f'c según ecuación (1) en MPa	f'c según Sonreb en MPa
I-7	14.10	17.11
I-2	12.97	17.08
I-3	9.18	15.20
I-4	14.67	13.77
T-2	16.44	14.90
S-2	16.26	14.73
E-11	11.93	17.31
T-1	9.71	16.17
E-4	13.65	19.62
E-10	13.34	17.33
E-2	12.90	17.31
I-7	14.76	19.18
I-6	11.75	20.44
P-4	17.69	16.56
P-7	18.22	16.96

Elementos	f'c según ecuación (1) en MPa	f'c según Sonreb en MPa
E-6	15.16	15.15
T-3	13.83	13.43
S-2	10.51	9.71
E-5	14.50	14.13
E-9	14.50	14.34
f'cm en MPa	13.80	16.02
S <sub>L</sub> en MPa	2.35	2.38
f'ck en MPa	11.20	13.59

Por otro lado, Lewicki [19] considera que la humedad en el hormigón disminuye su resistencia a compresión de un 10 al 15%, cuando la humedad en el elemento pasa del 5 al 20%. Como todos los elementos a los que se le midió el porcentaje de humedad, superan estos valores, se aplica esta reducción a 16 MPa y se obtiene 13.6 MPa. Se observa que los resultados son aproximados y se determina un valor promedio de estos, siendo  $f'_{ck} = 12.79$  MPa.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos realizados en el marco de esta investigación se precisa que: i) la resistencia a compresión del hormigón del sistema prefabricado GPS según proyecto es de 16.00 MPa, y ii) se puede asumir que la resistencia a compresión del hormigón en los elementos prefabricados en buen estado técnico-constructivo, que conforman edificaciones en explotación, es 16.93 MPa y en los elementos con presencia de daños patológicos 12.79 MPa.

Es decir, en los elementos prefabricados en buen estado técnico-constructivo que conforman las edificaciones en explotación, la resistencia a compresión es un 5.80 % superior a la exigida por el proyecto, manteniéndose en el rango de una resistencia media. Sin embargo, en los elementos con presencia de daños patológicos disminuye un 25.78 %, clasificando como de baja resistencia. En estos elementos, 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,

delaminación del acero, disminución de la adherencia hormigón-acero y demás manifestaciones, que afectan la durabilidad del hormigón. Por lo tanto, se debe valorar la incidencia de la durabilidad del hormigón, en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones construidas con este sistema prefabricado.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Socarrás-Cordoví participó en la redacción, búsqueda de información y la realización de ensayos. González-Díaz y Álvarez-Deulofeu revisaron la redacción y la búsqueda de información. González-Fernández, Roca-Fernández y Torres-Shoembert realizaron los ensayos.

## REFERENCIAS

- [1] A. Díaz, "Deterioro de la imagen de un conjunto habitacional en la periferia de la ciudad", in *IV Memorias del Evento Internacional Ciudad, Imagen y Memoria*, Santiago de Cuba, Cuba, 2005, pp.14-29.
- [2] G. Morejón-Blanco, Y. Berenguer-Heredia, K. Leyva-Chang, D. Candebat-Sánchez, and A. Artímez-Numas, "Comportamiento estructural del sistema prefabricado Gran Panel Soviético a partir de las modificaciones realizadas por los habitantes ante sismos de gran magnitud," *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, vol. (15), pp. 85-96, Jun. 2014.
- [3] Federal Emergency Management Agency, *FEMA 273-NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, 1997.
- [4] American Society of Civil Engineers, *ASCE/SEI 7-05-Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 2013.
- [5] Gaceta Oficial del Distrito Federal, *Normas para la Rehabilitación Sísmica de edificios de concreto dañados por el Sismo del 19 de septiembre*, 2017. <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/reglamentos-construccion-mexico/ciudad-de-mexico/ciudad-de-mexico-normas-rehabilitacion-sismica-edificios-danados-2017.pdf>
- [6] Normalización O. N. D., *NC 318-Ensayos al Hormigón-Muestreo, preparación y ensayos de testigos al hormigón*, 2015.
- [7] Normalización O. N. D., *NC-724-Ensayos del Hormigón. Resistencia del Hormigón en Estado Endurecido*, 2015.
- [8] R. Solís, "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, pp.41-52, May. 2004.
- [9] Normalización O. N. D., *NC 246-Determinación de la resistencia a la compresión con el uso de Esclerómetros Tipos N y NR*, 2003.
- [10] Normalización O. N. D., *NC/ISO 1920-7-Ensayos no Destructivos al Hormigón Endurecido*, 2015.
- [11] P. Tejera, and O. Álvarez, *Conservación de Edificaciones*, La Habana, Cuba: Félix Varela, 2013.

- [12] Proceq, *Manual de operación 82039201S Datasheet*, 2017.  
[https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/Profometer\\_Operating%20Instructions\\_Spanish\\_high.pdf](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Profometer_Operating%20Instructions_Spanish_high.pdf)
- [13] Normalización O. N. D., *NC 192-Hormigón hidráulico-Cálculo de la resistencia característica real a la compresión*, 2007.
- [14] Y. Socarrás-Cordoví, L. Rodríguez and R. Balart Casas Interview, Cuba, Dec. 2018.
- [15] Proceq, *Using Excel to determine Sonreb curve coefficients*, 2018.  
<https://www.yumpu.com/en/document/read/14104870/1-using-excel-to-determine-sonreb-curve-coefficients-proceq>
- [16] P. Helene, and F. Pereira, *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*, Sao Paulo: Brasil, 2007.
- [17] F. Contreras, "Validación de escorias de horno de arco eléctrico mediante su uso como adición en hormigón," Doctoral Thesis, Universidad de Málaga, Spain, 2017.
- [18] E. Chávez, T. Pérez, J. Reyes, and F. Corvo, "Deterioration of concrete structures due to carbonation in tropical marine environment and accelerated carbonation chamber," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 36 (2), pp. 104-113, Ago. 2013.
- [19] B. Lewicki, *Edificios de viviendas prefabricadas con elementos de grandes paneles*, Polonia: Arkady, 1968.