

Estado estructural del hormigón armado en edificaciones de distintas edades en estado de servicio de la ciudad de Encarnación

Carmen Quintana ^a; Sofía Duré ^b; Iván Lischuk ^c

^a Universidad Nacional de Itapúa. Encarnación, Paraguay, carmen.quintana@fiuni.edu.py

^b Universidad Nacional de Itapúa. Encarnación, Paraguay, duresofia919@gmail.com

^c Universidad Nacional de Itapúa. Encarnación, Paraguay, ivan.lischuk@fiuni.edu.py

Resumen

Con el tiempo el hormigón armado puede presentar manifestaciones patológicas debidas a las falencias previas a su ejecución, la calidad de materia prima, fallas en el diseño, exposición a fenómenos atmosféricos, los usos y falta de mantenimiento, entre otros.

Las estructuras de avanzada edad de vida útil, sin prospecto de reacondicionamiento, padecen esos defectos, por lo que es preciso determinar en qué condiciones se encuentra pues es la base de los demás estudios necesarios para dar una pauta del estado general de la edificación.

Ante esta situación la presente investigación propone como objetivo principal evaluar el estado estructural del hormigón armado en edificaciones de distintas edades en estado de servicio de la ciudad de Encarnación, apoyado en los resultados de ensayos destructivos y no destructivos en el hormigón armado de las estructuras analizadas.

La metodología del trabajo se basó en las normas del Instituto Americano de Concreto y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, a fin de determinar la resistencia superficial del hormigón, extraer núcleos de hormigón para estimar la resistencia a compresión, definir el grado de homogeneidad del hormigón y determinar el frente de carbonatación en el hormigón armado.

Fueron evaluadas 4 obras de más de 5 años de vida útil estructural. Con los resultados se verifican las falencias respecto a la elaboración, ejecución y mantenimiento de estas obras, pues las resistencias estimadas del hormigón armado fueron inferiores a los mínimos establecidos por normativas actuales, se determinó la presencia de importantes avances de carbonatación en el hormigón y la heterogeneidad existente en los elementos estructurales.

Palabras clave: hormigón, ensayos no destructivos, resistencia, carbonatación.

Abstract

Over time, concrete might present pathological manifestations due to shortcomings prior to its execution, raw material quality, design flaws, exposure to atmospheric phenomena, the uses and lack of maintenance, among others.

Structures of advanced age of useful life, without a prospect of reconditioning, suffers from these defects, thus it is necessary to determinate on what conditions they are since it is the basis of the other studies necessary to give a guideline of the general status of buildings.

In view of this situation this final paper work proposes as a main object evaluate the structural status of

reinforced concrete in buildings of different ages in service status of Encarnación city, supported by destructive and nondestructive test results over the reinforced concrete of the analyzed structures.

The job methodology was based on the American Concrete Institute and the American Society for Testing and Material norms in order to determinate the superficial strength of concrete, concrete drilled core obtaining to estimate the compressive strength, define the homogeneity grade of concrete and the carbonation depth measurement.

Four buildings with more than 5 years old of useful life were evaluated. With the results, the flaws regarding on the elaboration, execution and maintenance of these buildings were verified, thus the reinforced concrete estimated strengths were lower than the minimum established by current regulations, it was determinated the presence of an important carbonation advance on the concrete and the existing heterogeneity in structural elements.

Keywords: concrete, nondestructive tests, strength, carbonation.

1 Introducción

1.1 La construcción a través de los años

La construcción bien planificada influye de manera directa en el desarrollo económico de una región y constituye una prueba clara de su evolución; construir implica realizar algo nuevo, como también reutilizar y mejorar el potencial de lo existente.

Llevar a cabo una construcción depende en gran medida de los materiales disponibles y de las tecnologías utilizadas en las construcciones. Por décadas los primeros materiales empleados fueron las piedras y los ladrillos de barro cocido, después de varios años se incorporó el hierro en la construcción y a partir de entonces nació el material denominado hormigón armado que en la actualidad se constituye como uno de los materiales de mayor importancia para la realización de obras de ingeniería.

Se puede destacar que cada país cuenta con normas que permiten regular las características que deben cumplir los materiales a ser utilizados, las formas de llevar a cabo una construcción y cómo brindarle el seguimiento correspondiente. Este punto constituye una gran falencia en Paraguay, ya que las normas

existentes resultan deficientes y desactualizadas teniendo en cuenta la realidad del país.

Además, existen diversos factores internos y externos a la obra que a futuro pueden dar origen a la necesidad de realizar una evaluación del estado estructural en la cual se encuentra una edificación con varios años de servicio.

1.2 Situación actual de las construcciones en la ciudad de Encarnación

La ciudad de Encarnación ha sufrido cambios territoriales y poblacionales a través de los años, estas transformaciones han aumentado como resultado de los trabajos en las obras de tratamiento costero, construcción de conjuntos habitacionales, reposición de edificios públicos y otras obras contempladas dentro del marco del Plan de Terminación de Yacyretá, a cargo de la mencionada entidad binacional.

Estos cambios posicionaron a la ciudad como punto turístico a nivel nacional e internacional, captando la atención de potenciales inversionistas y trayendo consigo el auge de las construcciones en altura, dando lugar a la

realización de obras nuevas de gran envergadura, como así también la continuidad de las construcciones ya existentes que quedaron varadas hace varios años por diversos motivos, para las cuales es primordial contar con los datos actualizados del estado estructural en que se encuentran antes de reanudarlas.

Actualmente existen en la ciudad varios edificios emblemáticos que atravesaron por procesos de restauración, para los cuales fueron necesarias evaluaciones estructurales y relevamientos patológicos previos, algunos ejemplos son, el ex silo y molino harinero San José, hotel de la Trinidad, entre otros; que fueron intervenidos para determinar los niveles de afectación de sus estructuras, que con el uso y el paso del tiempo fueron debilitándose.

2 Objetivos

2.1 General

Evaluar el estado estructural del hormigón armado en edificaciones de distintas edades en la ciudad de Encarnación mediante los resultados obtenidos en ensayos destructivos y no destructivos.

2.2 Específicos

- Analizar la resistencia y dureza superficial del hormigón a través de ensayos de esclerometría con los índices de rebote.
- Determinar el grado de homogeneidad del hormigón armado por medio de mediciones de la velocidad ultrasónica sobre el elemento.
- Identificar la resistencia a compresión mediante la extracción de testigos in situ para su posterior rotura y obtención de información.

- Determinar el nivel de carbonatación que presentan los elementos estructurales de hormigón armado.

3 Materiales y métodos

3.1 Tipo de Investigación

La investigación según sus fines fue aplicada, ya que se apoyó en investigaciones básicas para obtener los resultados de los ensayos realizados para posteriormente evaluar las estructuras de hormigón armado estudiadas.

Según los objetivos la investigación fue descriptiva, pues a partir de modelos teóricos definidos, se describieron situaciones actuales detallando las características que presentaba el hormigón armado de acuerdo a los resultados de los diversos ensayos llevados a cabo.

3.2 Métodos, técnicas e instrumentos

Las técnicas para la recolección de datos utilizadas fueron: el análisis documental, considerando que se recolectó datos de fuentes secundarias, que a su vez proporcionaron información sobre las variables de interés, y las experiencias en laboratorios puesto que se buscó estudiar las relaciones de las variables bajo condiciones "puras", "no contaminadas" de manera a obtener resultados fidedignos a partir de pruebas realizadas sobre las estructuras estudiadas.

Las pruebas de ensayos destructivos y no destructivos llevadas a cabo constituyen los instrumentos de recolección de datos utilizados, para las cuales fueron necesarios el empleo de fichas de registro de los datos obtenidos en campo y en laboratorio.

3.3 Toma de Datos

3.3.1 Proceso

- Obtención de informaciones previas: se llevaron a cabo visitas a obras para relevar

datos, realizar consultas a los propietarios y seleccionar los elementos a ser ensayados.

- Confección de fichas para la toma de datos: las fichas fueron confeccionadas y diferenciadas, en función a los distintos ensayos planeados.
- Ensayos y toma de datos in situ: incluyeron pachometría, esclerometría, ultrasonido, extracción de probetas testigo y extracción de polvo de hormigón.
- Ensayos en laboratorio y toma de datos: se realizaron los ensayos de carbonatación, la regularización de las caras de las probetas testigo, las mediciones de las probetas ya refrentadas y ensayos de compresión simple.
- Cálculos posteriores: se efectuaron los cálculos de porcentaje y velocidad de carbonatación, índice esclerométrico y resistencia superficial estimada, resistencia a compresión y velocidad de propagación lineal.

3.3.2 Finalidad

Con el propósito de evaluar el estado estructural del hormigón armado de las edificaciones seleccionadas fueron realizados ensayos tanto destructivos como no destructivos.

Con los índices de rebote arrojados en el ensayo de esclerometría se obtuvieron datos útiles para el análisis de la resistencia superficial del hormigón. Con el ensayo de ultrasonido se dio a conocer la velocidad con la que se propagan las ondas ultrasónicas a través de los elementos estructurales ensayados, información necesaria para determinar la calidad del hormigón.

Con la extracción de testigos se obtuvieron

muestras óptimas para ser sometidas a ensayos de compresión.

Mediante el indicador de fenolftaleína aplicado a los testigos de hormigón y al polvo colectado de la perforación del hormigón, fueron medidas las profundidades del avance de la carbonatación en los mismos, para el posterior análisis porcentual del fenómeno citado.

Cabe resaltar que para practicar los ensayos en cada una de las edificaciones fueron seleccionados los elementos estructurales convenientes.

3.3.3 Ensayos realizados

- Pachometría



Fig.1. Escaneo de armadura.

Se realizó un recorrido lento de manera que el equipo fuera capaz de detectar las armaduras existentes. El proceso se efectuó en ambas direcciones para localizar las armaduras longitudinales y transversales.

- Esclerometría

Para realizar el siguiente ensayo se tuvo en cuenta la norma ASTM C805-02



Fig.2. Empleo del esclerómetro.

- Ultrasonido

El ensayo de ultrasonido a través del hormigón se llevó a cabo conforme a las especificaciones técnicas de la ASTM C597-09.



Fig.3. Mediciones de tiempo de trayectoria.

- Ensayo de resistencia a compresión del hormigón.

Se llevó a cabo la extracción de testigo conforme a la norma ASTM C42 complementándose con la ASTM C39.



Fig.4. Equipo de extracción de testigo de hormigón accionada.



Fig.5. Prensa electro hidráulica para ensayo de probetas a compresión simple.

- Avance de carbonatación

Para determinar el avance de carbonatación de los elementos estructurales se dispuso de los testigos y del polvo de hormigón recolectado, llevando a cabo en el laboratorio el análisis.



Fig.6. Núcleo de hormigón armado extraído de una viga.



Fig.7. Obtención de polvo de hormigón.

Se realizó la aplicación de la solución de fenolftaleína con alcohol al 0.1% de forma uniforme sobre el polvo distribuido y sobre los testigos de hormigón extraídos.



Fig.8. Muestras de polvo de hormigón luego de ser rociadas con el indicador de fenolftaleína.



Fig.9. Rociado de testigos de hormigón con el indicador de fenolftaleína.

Se registraron los valores máximos y mínimos del frente incoloro, asimismo se obtuvieron los resultados de la relación entre la longitud de la zona carbonatada y el espesor de recubrimiento del elemento estructural ensayado, de manera a obtener el porcentaje de carbonatación de las muestras.

4 Resultados y discusión

Se evaluaron en total 4 obras. Se analiza a continuación la más representativa, la obra C, en la que se ensayaron la mayor cantidad de

elementos estructurales convenientes y se lograron realizar todos los ensayos establecidos para la investigación.

4.1 Obra C

Consiste en una vivienda multifamiliar de 6 plantas, tiene una superficie construida de 1020 m², cuenta con cerramientos, pisos terminados y superficies de hormigón revocadas (hasta un 60%). Hace 11 años, la obra se encuentra en pausa, pero con intenciones de concluirla. Se decidió realizar ensayos en la planta baja considerando que es el área más comprometida de toda la edificación. El hormigón de la estructura fue elaborado al pie de obra y la resistencia con la que fue proyectada es de 18 MPa.

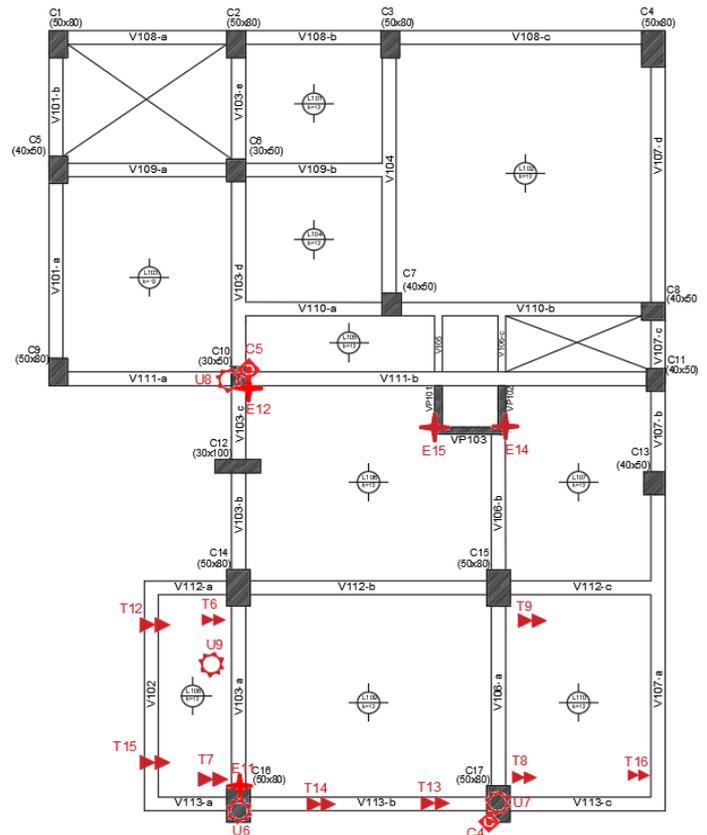


Fig.10. Encofrados esquemáticos Obra C sometida a estudio con los puntos ensayados.

- Resultados de los ensayos.

Tabla 1. Resultados de esclerometría de los elementos estructurales ensayados.

Código	Nivel ensayado	Estructura ensayada	Posición de esclerómetro	Índice Esclerométrico "N" corregido	Resistencia Estimada.** (MPa.)
E11-C16	(+) 1,25 NP	COLUMNA 16	$\alpha=0^\circ$	38	36,50
E12-C10	(+) 1,45 NP	COLUMNA 10	$\alpha=0^\circ$	29	22,70
E13-VE111	(+) 0,00 NP	VIGA DE ENCADENADO 11	$\alpha=0^\circ$	27	19,90
E14-VP102-PB	(+) 1,50 NP	VIGA PARED 1 - ESTE -PLANTA BAJA	$\alpha=0^\circ$	34	30,50
E15-VP102-AZ	(+) 13,50 NPb	VIGA PARED 2 - ESTE -AZOTEA	$\alpha=0^\circ$	34	30,50
E16-VP101-AZ	(+) 13,50 NPb	VIGA PARED 1-OESTE -AZOTEA	$\alpha=0^\circ$	27	19,90
E17-V113-b	(+) 2,40 NP	VIGA 13 - TRAMO b	$\alpha=+90^\circ$	41	34,00
E18-V113-c	(+) 2,40 NP	VIGA 13 - TRAMO c	$\alpha=+90^\circ$	42	36,00

Tabla 2. Resultados de ultrasonido de los elementos estructurales ensayados.

Código	Elemento ensayado	Velocidad (m/s)	Calidad del Hormigón
U6 - C16	Columna 16	3375,53	Bueno
U7 - C17	Columna 17	3248,75	Bueno
U8 - C10	Columna 10	3030,30	Bueno
U9 -L108	Losa	3198,93	Bueno

Tabla 3. Resultados de avance de carbonatación de los elementos estructurales ensayados.

Código	Elemento estructural ensayado	Espesor del elemento (mm)	Espesor de recubrimiento (mm)	Espesor carbonatado (mm)		Valor porcentu de R (%)
T6 - L108	Losa 8	119	16	13	0,81	81,25
T7 - L108	Losa 8	122	16	10	0,63	62,50
T8 - L110	Losa 10	119	16	11	0,69	68,75
T9 - L110	Losa 10	125	16	13	0,81	81,25
T16 - L110	Losa 10	120,5	16	12	0,75	75,00
T10 - VE111	Encadenado 11	432	40	23	0,58	57,50
T11 - VE104-a	Encadenado 4 - Tramo a	435	40	32	0,80	80,00
T12 - V102	Viga 2	214	15	24	1,60	160,00
T15 - V102	Viga 2	192	15	19	1,27	126,67
T14 - V113-b	Viga 13 - Tramo 3	189	15	20	1,33	133,33
T13 - V113-b	Viga 13 - Tramo 3	193	15	16	1,07	106,67
C4 - C17	Columna 17	105	20	14,15	0,71	70,75
C5 - C10	Columna 10	101	20	6,18	0,31	30,90

Des. El valor porcentual de R representa el avance de la carbonatación respecto al recubrimiento del refuerzo.

Tabla 4. Resultados de resistencia a compresión de los testigos de hormigón extraídos.

Código	Estructura ensayada	Fecha de hormigonado	Fecha del ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Relación L/D	Área (cm²)	Carga (kgf)	Resistencia (MPa.) *
T6-L108	Losa 8	sin dato	15/10/2020	-	7,42	10,47	1,41	43,18	7.918,61	18,34
T7-L108	Losa 8	sin dato	15/10/2020	-	7,45	9,97	1,34	43,53	10.329,87	23,73
T8-L110	Losa 10	sin dato	15/10/2020	-	7,47	10,75	1,44	43,77	8.173,65	18,68
T9-L110	Losa 10	sin dato	15/10/2020	-	7,46	10,42	1,40	43,71	7.931,05	18,15
T10-VE111	Encadenado 11	sin dato	14/10/2020	-	7,46	15,46	2,07	43,71	7.742,50	17,71
T10-VE111	Encadenado 11	sin dato	14/10/2020	-	7,48	14,58	1,95	43,94	4.976,69	11,33
T11-VE104-a	Encadenado 4 - Tramo a	sin dato	14/10/2020	-	7,49	15,22	2,03	44,00	4.930,50	11,21
T11-VE104-a	Encadenado 4 - Tramo a	sin dato	14/10/2020	-	7,49	15,22	2,03	44,00	4.683,98	10,64
T12-V102	Viga 2	sin dato	14/10/2020	-	7,45	17,46	2,34	43,59	6.061,00	13,90
T13-V113-b	Viga 3 - Tramo b	sin dato	14/10/2020	-	7,46	14,91	2,00	43,71	8.160,50	18,67
T14-V113-b	Viga 3 - Tramo b	sin dato	14/10/2020	-	7,46	16,98	2,28	43,71	9.823,00	22,47
T15-V102	Viga 2	sin dato	14/10/2020	-	7,48	15,34	2,05	43,94	7.353,00	16,73
T16-L108	Losa 8	sin dato	15/10/2020	-	7,46	9,92	1,33	43,65	9.400,07	21,54

- Evaluación de resultados generales de la obra

Se realizaron los ensayos esclerométrico y de ultrasonido sobre columnas internas y externas. Por el primer ensayo citado se determinó que la dureza superficial del hormigón de la columna interna dio una resistencia que está dentro del rango de 17,64 MPa y 27,76 MPa, adoptándose el menor por razones de seguridad. El segundo ensayo mencionado, aplicado en la columna interna calificó al hormigón como bueno ya que la velocidad de las ondas alcanzó un valor de 3030,30 m/s.

Por otro lado, el avance de la carbonatación en la columna interna es de 30,90% respecto del hormigón de recubrimiento, esto implica que la carbonatación avanzó 6,18 mm, sin superar el recubrimiento de 20 mm que presentó el elemento según la pachometría.

También se relacionaron el índice esclerométrico obtenido y la velocidad de propagación de la onda ultrasónica mediante el

método SONREB, dando así la resistencia a compresión de la columna, un valor de 8,40 MPa.

Con las condiciones superficiales definidas por estos ensayos, se puede estimar que la resistencia actual del hormigón de las columnas internas es de 17,64 MPa, pues en comparación con 8,40 MPa y el avance de carbonatación sin superar el recubrimiento, se estima que ese valor es el más representativo. Además, teniendo en cuenta que la resistencia de proyecto fue de 18 MPa, da aún más fiabilidad al resultado de 17,64 MPa. Además, superficialmente la columna presentaba fisuras que coinciden con el espesor de recubrimiento y se extienden hasta arriba.

El pilar externo, con la esclerometría hecha, dio una resistencia estimada entre 29,46 y 43,54 MPa. Con el ensayo de determinación de la carbonatación se estableció que son 14,15 mm de 20 mm de recubrimiento los que se encuentran carbonatados, por lo que se presume que este fenómeno influyó indirectamente en los índices de rebote obtenidos por esclerometría y por consiguiente a la resistencia estimada.

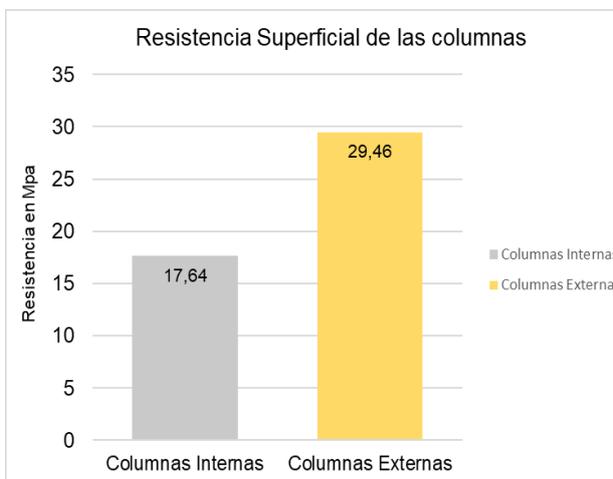


Fig.11. Resistencia superficial de las columnas.

CARBONATACIÓN EN %

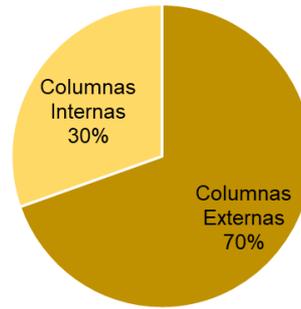


Fig.12. Carbonatación en %.

Teniendo los datos de resistencia superficial y carbonatación del hormigón en las columnas exterior e interior se puede suponer que mientras mayor sea el porcentaje de carbonatación del elemento se tiene mayor dureza superficial por el método de esclerometría, es decir, que en este caso son directamente proporcionales.

El ensayo de ultrasonido, estableció que el hormigón de la columna externa califica como bueno, y teniendo en cuenta la velocidad de pulso ultrasónico alcanzado con el índice esclerométrico obtenido, la resistencia a compresión estimada mediante el método SONREB fue de 14,18 MPa.

La información previa que se tuvo sobre el hormigón estructural empleado es que fue hecho a pie de obra y que el mismo cumplía con 18 MPa de resistencia. Comparando los 29,46 MPa estimados por esclerometría, y 14,18 MPa obtenidos con el ultrasonido y la esclerometría, se podría asumir que el valor con mayor nivel de fiabilidad es el segundo, pues a pesar de ser menor al valor establecido por norma, es el más próximo a la resistencia con la que el hormigón de la obra fue proyectado, presumiendo que la disminución se pudo haber dado por la

exposición del hormigón a factores ambientales a lo largo de los años.

Para abarcar todos los elementos a compresión, se estima que la resistencia actual del hormigón de los mismos es de 14,18 MPa, siendo menor a los 20 MPa establecidos para hormigones estructurales según las especificaciones técnicas estudiadas. Y que por los ensayos de ultrasonido hechos se puede estimar que entre ellos poseen una buena uniformidad ya que se encuentran en el mismo rango de valores.

Por otra parte, la resistencia estimada de las vigas, según el ensayo de esclerometría, se encuentra en un rango de variabilidad de 27,44 MPa y 40,56 MPa, tomando de referencia el menor valor como el apropiado teniendo en cuenta los factores de seguridad. Estos datos podrían haber sido afectados por la carbonatación que presentaron los testigos extraídos, pues el ensayo reveló que el avance de la carbonatación es de 24 mm, superando 9 mm el espesor del recubrimiento de las armaduras.

Para obtener la resistencia a compresión simple de las vigas se determinó el promedio entre los valores obtenidos en las muestras, cuyo resultado fue 17,94 MPa. Teniendo en cuenta la naturaleza destructiva del ensayo y la confiabilidad para determinar las propiedades mecánicas del hormigón, en contrapartida a los ensayos no destructivos hechos, se admite como valor actual de resistencia a la compresión de las vigas el otorgado por este ensayo.

Se realizó el ensayo de ultrasonido al hormigón de las losas, que, con la velocidad obtenida, se calificó al hormigón como bueno, según la escala de valores de velocidad de las

bibliografías estudiadas.

Las muestras testigo de hormigón fueron sometidos a los ensayos de determinación de carbonatación, que dio como resultado un porcentaje de carbonatación igual a 81,25 %.

Esto indica que el avance de la carbonatación en el hormigón es de 13 mm de espesor, restando 3 mm para que la disminución del pH del hormigón alcance a las armaduras de refuerzo.

A través del ensayo a compresión simple de los testigos de hormigón de las losas, se determinaron los valores de resistencia de las muestras y una vez promediadas arrojaron el valor de la resistencia a compresión de las losas equivalente a 20,09 MPa.

En cuanto a las vigas de encadenado analizadas, se realizó ensayo de esclerometría que arrojó un rango de valores de 15,24 y 24,56 MPa, por lo que se adoptó como referencia el extremo inferior, por seguridad. El avance carbonatación que presentó el núcleo de hormigón extraído fue de 32 mm, invadiendo 80% del espesor de recubrimiento del elemento estructural, por lo que se estima que la carbonatación influyó en los índices de rebote de la esclerometría hecha.

El contraste entre 15,24 MPa de resistencia estimada por esclerometría y 10,64 MPa obtenido por compresión simple permite asumir que la resistencia actual del hormigón es esta última, considerando el alcance y la naturaleza del ensayo a compresión simple y a pesar de que es menor a lo establecido en las especificaciones para hormigones estructurales según el Reglamento CIRSOC 201 del año 2005.

De igual forma fue analizada por esclerometría la viga pared que conforman los lados del

huevo para ascensor. El lado Este, ensayado a distintas alturas, arrojó una resistencia superficial estimada en el intervalo de 24,46 y 36,54 MPa. En cambio, del lado Oeste, se obtuvo un valor de resistencia estimado dentro del rango de 15,24 MPa y 24,56 MPa.



Fig.13. Resistencia superficial de la viga pared.

Se estima que del lado Oeste el hormigón se encuentra más afectado por las acciones ambientales, o bien el nivel de uniformidad del hormigón difiere entre lados.

De la diferencia entre resistencias superficiales mencionadas, se adopta 15,24 MPa como la resistencia superficial actual del hormigón de las vigas pared, considerando las consecuencias de su exposición al medio y el nivel de seguridad que el ensayo no destructivo otorga.

En el gráfico siguiente se puede apreciar los valores, en el caso de las losas aumenta en 10,4% respecto a la resistencia inicial del proyecto (18 MPa), en las vigas se mantiene muy próximo a dicho valor, en cuanto a las columnas y viga de encadenado se encuentran por debajo del mismo en un 21,22% y 40,89% respectivamente.

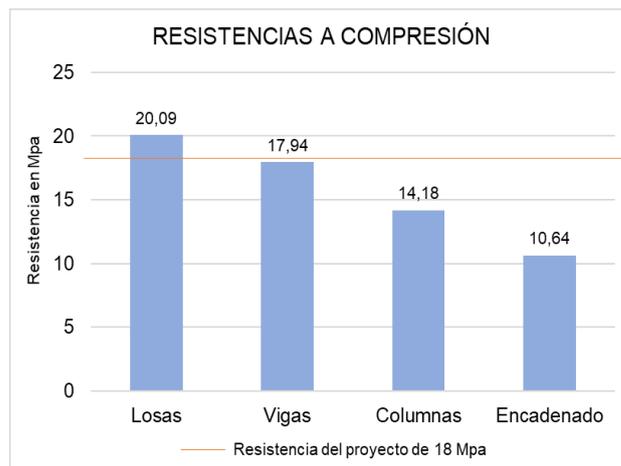


Fig.14. Resistencias a compresión de elementos estructurales analizados

5 Conclusiones

La investigación para la evaluación del estado estructural del hormigón armado en edificaciones de distintas edades en la ciudad de Encarnación se realizó mediante los resultados obtenidos en ensayos destructivos y no destructivos. El mismo comprendió un periodo de 8 meses, evaluándose un total de 4 obras, cada una de ellas cumplió con la delimitación establecida de al menos 5 años de servicio.

Con los métodos aplicados para la recolección de datos, se sostiene que no es conveniente realizar solamente los ensayos superficiales para la evaluación del hormigón armado, más bien deben ser complementados por los ensayos destructivos. Este es el caso de los ensayos de esclerometría hechos, pues el aumento de resistencia superficial del hormigón como resultado de la carbonatación del recubrimiento de los elementos estructurales, restó fiabilidad en comparación con los resultados obtenidos por los ensayos a compresión simple, valores a los que se le atribuye mayor confiabilidad por la naturaleza

propia del ensayo.

Si se habla de los ensayos de forma individual se podría decir que el ensayo de ultrasonido hecho, a pesar de calificar la calidad del hormigón, es utilizado como un complemento para los demás ensayos practicados para poder determinar la resistencia o la homogeneidad del hormigón armado.

Las obras estudiadas presentaron resistencias a la compresión menores a las exigidas en la actualidad por la Norma CIRSOC 2005 que establecen que el valor mínimo de resistencia para hormigones con armadura es de 20 MPa, teniendo en cuenta la edad de las edificaciones analizadas en donde no se tienen datos sobre su resistencia inicial se estima que utilizaron valores pertenecientes a la Norma CIRSOC 201-1982 que consideraba como hormigón estructural a partir de 17 MPa de resistencia característica.

Además, se observó que cada elemento estructural analizado presentó resistencias variables unas con otras, por lo cual se puede estimar que en la mayoría de los casos el proceso en la etapa de ejecución de las estructuras entre los elementos de las mismas no fue homogéneo, pudiendo darse por una mala dosificación de materiales, o una incorrecta puesta en obra, que en algunos elementos ocasionaron superficies mal acabadas o coqueas, las cuales se presumen tienen una gran repercusión negativa en la resistencia y durabilidad de dichas estructuras.

En elementos estructurales analizados son más evidentes los daños y sus causas, pues los detalles técnicos normalizados respecto a métodos de armado, de encofrado o compactación fueron descuidados, o bien no fueron respetados por falta de rigurosidad.

Algunos de los casos concretos fueron: recubrimiento deficiente de armaduras siendo este menor a los 20 mm normalizados en las bibliografías técnicas estudiadas, y la incorrecta disposición de armaduras a tracción y compresión en elementos flexo traccionados, que ocasionan deformaciones y fisuras en los elementos estructurales.

Todas las obras analizadas se ven afectadas por las repercusiones de la carbonatación presente en los elementos estructurales, pues este fenómeno es propio de ambientes cíclicos, en cuanto a fenómenos atmosféricos se refiere, e inicia desde el momento en que el hormigón adquiere resistencia y se puede confirmar el avance de carbonatación a través de una intervención apropiada ya que este es un proceso lento pero inevitable en toda estructura de hormigón.

En la actualidad no se presta suficiente atención a la pérdida de pH del hormigón, ya que superficialmente aumenta su resistencia, pero se ignora o se minimiza el hecho de que la carbonatación presenta agentes que favorecen la oxidación que también afecta a las armaduras, pues inicia en ellas un proceso de corrosión que va progresando a lo largo de los años, si no se realizan las intervenciones necesarias, reduciendo la sección de las varillas de acero y en consecuencia genera pérdida de resistencia en el hormigón armado.

Esta situación no tiene gran influencia en las columnas de hormigón armado, pues su función principal es soportar toda la estructura de hormigón, pero en el caso de losas y vigas, con el paso del tiempo, las manifestaciones patológicas son más evidentes, siendo signo de alteraciones en la funcionalidad de estos elementos. La vida útil nominal del hormigón

armado para edificios destinados a viviendas u oficinas se estima es de 50 años, y los bajos resultados respecto a las propiedades mecánicas del hormigón armado más el avance de la carbonatación reducen los años de vida útil.

Al hablar de vida útil también se habla de la durabilidad de una obra, que está ligada al mantenimiento de la misma, ya sea este preventivo o correctivo. Según la inspección hecha a las 4 obras, 2 de ellas en uso y las otras 2 inconclusas, se puede resumir en:

- Caso A: se puede estimar que la estructura ha llegado a una vida útil técnica ya que presenta un hormigón con disgregaciones, en donde la estructura ya se volvió insegura teniendo en cuenta las fisuras por la mala colocación de las armaduras y la poca resistencia que prevén las vigas y losas debido al mismo factor.
- Caso B: Presenta resultados bajos en cuanto a sus propiedades mecánicas y físicas los cuales comprometen a la estructura y considerando que la segunda planta se encuentra en uso, la situación de deterioro actual de la obra resulta desfavorable por la edad que posee. La misma debe ser evaluada de manera constante para verificar la presencia de nuevas manifestaciones patológicas que comprometan aún más a la estructura y de esta manera analizar la necesidad de una intervención.
- Caso C: Al ser una estructura relativamente joven y al no estar en uso se encuentra expuesta a factores ambientales ya que el principal fenómeno que le aqueja es la carbonatación, y por esas condiciones se deteriora y disminuye

su vida útil. Para paliar el avance de la misma se requerirán de mantenimientos preventivos.

- Caso D: Según los resultados obtenidos en dicho elemento estructural se tienen condiciones favorables para su continuidad. Pero siendo ésta una evaluación preliminar se deberán realizar evaluaciones detalladas referentes al estado de las cimentaciones, estado de las armaduras, etc.

Las obras A, B y D necesitan reparaciones correctivas debido a daños moderados, y en elementos específicos daños extremos que se manifiestan, en cambio en la obra C se precisa de mantenimientos preventivos principalmente para evitar el avance de la carbonatación, de esta manera se podrá mantener o ampliar la vida útil de la estructura.

Además de restituir funcionalidad al esqueleto de hormigón estructural, se podría contemplar la adición de los recursos materiales que cada obra necesita para adaptarlos a las condiciones actuales del medio en el que se encuentran, a fin de mitigar efectos.

Es clave resaltar que en las obras analizadas no se realizaron mantenimientos preventivos, que en teoría se deberían efectuar a lo largo de los 5 primeros años de vida útil, esto constituye una de las falencias principales en estas estructuras de avanzada edad, por las cuales se originaron varias de las patologías encontradas en el hormigón armado, con esto se puede establecer que es de vital importancia que se realice, en todas las obras ejecutadas, un seguimiento rutinario para su conservación y cuidado de manera a que se evite llegar a mantenimientos correctivos y aumentar los costos que éstos conllevan.

6 Referencias Bibliográficas

- [1] American Concrete Institute, *ACI 201.1R-08 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service*. Farmington Hills: ACI, 2008.
- [2] American Concrete Institute, *ACI 201.1R-08 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service*. Farmington Hills: ACI, 2008.
- [3] American Concrete Institute, *ACI 210.2R-01 Guía para la Durabilidad del Hormigón*. Farmington Hills: ACI, 2001.
- [4] American Concrete Institute, *ACI 228.2R-13 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. Farmington Hills: ACI, 2013.
- [5] American Concrete Institute, *ACI 365-1R-00 Service-Life Prediction-State-of-the-Art Report*. Farmington Hills: ACI, 2000.
- [6] American Society for Test and Materials, *ASTM C125-10a Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. West Conshohoken: ACI, 2010.
- [7] American Society for Testing and Materials, *ASTM C 105-07 Especificación Normalizada para Cemento Portland*. West Conshohocken: ACI, 2007.
- [8] American Society for Testing and Materials; *ASTM C42/C42M-04 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled and Sawed Beams of Concrete*. West Conshohocken: ASTM, 2004.
- [9] American Society for testing and Materials; *ASTM C597-09 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*; West Conshohocken: ASTM, 2009.
- [10] American Society for Testing and Materials; *ASTM C805-02 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened*. West Conshohocken: ASTM 2002.
- [11] American Society for Testing Materials, *ASTM C39/C39-14 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken: ASTM, 2014.
- [12] O. Bieber. *Manual de Materiales de Obras Civiles: Hormigón, Armadura y Encofrado*, Asunción, Paraguay: Litocolor S.R.L., 2011.
- [13] J. Calavera. *Patología de Estructuras de Hormigón de Armado y Pretensado: Tomo 1*, Madrid, España: INTEMAC. 1996
- [14] C. Porras, M. Aguilar y R. Puig, "Casos de estimación de la resistencia a compresión del hormigón armado validando ecuaciones de regresión que combinan el empleo de ensayos no destructivos (NDT) con ensayos destructivos (DT) en Cuba". *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, Vol. No. 13, pp. 1-11, Febrero 2019.
- [15] Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles; *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. Edición julio 2015; Buenos Aires: INTN-CIRSOC, 2005.
- [16] J. Montenegro, (2011, septiembre 28). Civilgeeks.com Ingeniería y Construcción: El concreto en climas fríos [En línea]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2011/09/28/el-concreto-en-climas-frios-consideraciones/>.
- [17] CivilGeeks, (2011, marzo 17). Civilgeeks.com Ingeniería y Construcción: Uso de concreto en climas cálidos [En línea]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2011/03/17/uso-de-concreto-en-climas-calidos/>.
- [18] V. Córias. *Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. 2ª Edición. Portugal: IST PRESS, 2009.
- [19] P. Helene y F. Pereira. *Manual de*

Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección, México: CYTED, 1997.

[20] Ingeniero de caminos, blog de Ingeniería Civil, Arquitectura y Construcción. Ingeniero de caminos [En línea]. Disponible en: <https://ingeniero-de-caminos.com/hormigon-homogeneidad/>.

[21] P. Jiménez, A. García y F. Morán. *Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili S.A., 2000.

[22] I y E. Vidau, "La carbonatación en el concreto reforzado" *Construcción y Tecnología en Concreto Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* pp20-23. Enero 2012 [En línea]. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistacyt/enero2013/pdfs/ingenieria.pdf>

[23] C. Llopiz. *Hormigón I: Unidad 2, características mecánicas del hormigón y del acero*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ingeniería Civil.

[24] P. Kumar Metha. *Concreto: Microestructura, propiedades e materiais*. San Pablo : IBRACON, 2008.

[25] J. Porrero. *Manual de Concreto Estructural*. Caracas: Miguel Ángel Velázquez, 2014.

[26] G. Rivera. *Concreto Simple*. Cauca: civilgeeks.com Ingeniería y Construcción, 2013.

[27] J. Rodríguez. *Ensayos Físicos*. Madrid: SÍNTESIS S.A.

[28] A. Simoes. *Gestao Gestão e Manutenção Preventiva de Bairros de Habitação de Bairros de Habitação*. Porto: Edições Afrontamento, 2015