

CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON DE UN EDIFICIO HABITACIONAL

L. Vergara Reyes⁽¹⁾, C. Oyarzo Vera⁽²⁾ y N. Maureira Carsalade⁽³⁾

RESUMEN:

La resistencia a la compresión del hormigón es una propiedad mecánica fundamental del material que se asocia a la resistencia global de una estructura. En este informe, se determina la resistencia a compresión del hormigón de un edificio habitacional, utilizando principalmente métodos experimentales no destructivos. Para este fin, se utilizó un instrumento denominado Martillo Schmidt, con el cual se midieron 260 puntos en las losas del edificio, distribuidos de manera de abarcar toda la estructura. Como el martillo Schmidt mide indirectamente la resistencia a través del principio de rebote, se calibraron los datos mediante la correlación entre los resultados de ensayos destructivos de compresión a testigos extraídos del edificio y los valores obtenidos con el martillo Schmidt. Esta correlación entregó un factor de calibración “alfa”. Es decir, los resultados obtenidos por el martillo se multiplicaron por este factor para obtener la resistencia real del material. Luego, de calibrar los datos se procedió a realizar una evaluación estadística de acuerdo a la NCh 1998, la que permitió tratar los 260 puntos realizados con el Martillo Schmidt como si se hubiese tratado de un testigo de hormigón endurecido extraído del edificio. Esta evaluación permitió agrupar los testigos en lotes de ensayo y de estos lotes conocer la resistencia a compresión final. Además, se logró obtener las resistencias del edificio y clasificar los hormigones según su resistencia, los cuales varían desde H-15 a H-30. Por último, se calculó el módulo de elasticidad de los hormigones, mediante una fórmula teórica entregada por el ACI 318M.

PALABRAS CLAVES: Martillo Schmidt, Resistencia a compresión del hormigón.

ABSTRACT:

The compressive strength of the concrete is a fundamental mechanical property of the material that is associated with the overall strength of a structure. In this report, the compressive strength of the concrete of a residential building is determined using non-destructive experimental methods. For this purpose, an instrument called the Schmidt's Hammer was used, with which 260 points were measured on the building slabs, distributed along the building in order to cover the entire structure. As the Schmidt's hammer indirectly measures the resistance through the rebound principle, the data were calibrated by correlating the results of destructive compression tests to cores taken from the building and the values obtained with the Schmidt hammer. This correlation gave a calibration factor designated as "alpha". That is, the results obtained by the hammer were multiplied by this factor to obtain the actual resistance of the material. Then, to calibrate the data, a statistical evaluation was carried out according to the NCh 1998, which allowed to treat the 260 points made with the Schmidt's Hammer as if it had been a hardened concrete token extracted from the building. This evaluation allowed the witnesses to be grouped in test batches and these batches to know the final compressive strength. In addition, it was possible to obtain the resistances of the building and to classify the concrete according to its resistance, which vary from H-15 to H-30. Finally, the modulus of elasticity of the concrete was calculated using a theoretical formula delivered by the ACI 318M.

KEYWORDS: Schmidt hammer, Compressive strength of concrete.

¹ Estudiante Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, lvergara@ing.ucsc.cl

² Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyarzov@ucsc.cl

³ Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, nmaureira@ucsc.cl
(Profesor informante)

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los principales materiales de construcción. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2008), el 48.5% del total de los muros de edificaciones habitacionales construidos en el país corresponde a hormigón armado. Este material ha ido en alza debido a lo atractivo de algunas de sus características constructivas, tales como su trabajabilidad que permite crear cualquier forma estructural en su estado fresco, además de su excelente desempeño tanto a compresión y tracción gracias a la combinación de hormigón y acero.

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes que tiene el hormigón, pues se asocia a la capacidad resistente global de la estructura y a su rigidez. En muchos casos este parámetro se utiliza como medida de verificación post construcción para determinar si la mezcla utilizada cumple con la resistencia especificada en el proyecto. En Chile el método utilizado para determinar la resistencia del hormigón se basa en ensayos a compresión simple de muestras representativas de la estructura. Los procedimientos están especificados en la norma NCh 1037 (INN, 1977), y generalmente estas muestras son probetas extraídas de un elemento de hormigón endurecido (testigos). Si bien, conocer la resistencia por el método de la compresión es seguro, tiene como principal desventaja el ser un ensayo destructivo. Para subsanar este problema, se han desarrollado otras técnicas menos invasivas e incluso no destructivas, que permiten estimar de buena forma esta propiedad del hormigón. Uno de estos métodos corresponde al ensayo mediante martillo Schmidt. Este es un instrumento que mide la dureza superficial del hormigón por el principio de rebote y a partir de esa característica se estima la resistencia a la compresión. Como este ensayo mide indirectamente la resistencia a través de la dureza superficial, se deben realizar calibraciones a los datos obtenidos.

En este estudio se muestra una metodología que permite determinar las propiedades mecánicas del hormigón de un edificio habitacional, mediante el uso del martillo Schmidt verificando la correlación de sus resultados con ensayos destructivos de compresión aplicados a testigos extraídos del edificio.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura a analizar corresponde a un edificio habitacional de 14 pisos, ubicado en la provincia de Concepción, Región del Biobío. El detalle de la ubicación e imágenes del edificio se omiten en este informe por un acuerdo de confidencialidad suscrita con los residentes del edificio. El edificio está estructurado en 4 módulos, denominados módulos A, B, C y D, distribuidos tal como se muestra en la Figura 1. Los módulos se separan mediante juntas de dilatación sísmicas similares a las que se muestran en la Figura 2. El primer piso del edificio está destinado a uso comercial y los 13 pisos restantes a uso habitacional. La estructuración principal del edificio corresponde a muros (15, 20 y 25 cm de espesor), marcos de hormigón armado y losas de hormigón armado de 15 cm de espesor.

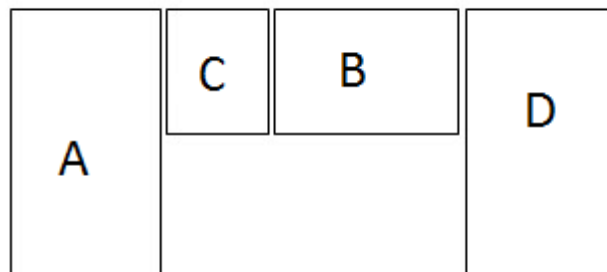


Figura 1: Identificación de los módulos en del edificio.



Figura 2: Juntas de dilatación sísmicas.

3. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYO DE REBOTE

En 1948, el ingeniero suizo Ernst Schmidt desarrolló un dispositivo de prueba para medir la dureza del hormigón. El principio utilizado por este instrumento es la correlación que existe entre la dureza de un material y su coeficiente de restitución. Este dispositivo se conoce como martillo Schmidt o esclerómetro (Proceq, 2011).

En este estudio se utilizó un martillo Proceq modelo N (Figura 3), cuyo bajo peso (1.8 Kg) es adecuado para su uso tanto en laboratorio como en terreno.



Figura 3: Martillo Schmidt. (Proceq, 2011)

3.1 Descripción general del martillo Schmidt

El martillo está compuesto principalmente por el cuerpo exterior, el émbolo, la masa del martillo y el resorte principal. El martillo incluye un mecanismo de enganche que bloquea la masa junto a la varilla del émbolo y una pestaña de desplazamiento para medir el rebote de la masa del martillo.

El funcionamiento del martillo consiste en soltar el émbolo de su posición de bloqueo. Esto se logra empujando el émbolo contra el hormigón y moviendo lentamente el cuerpo lejos del hormigón. Esto hace

que el émbolo se extienda desde el cuerpo y el pestillo se acopla a la masa del martillo en el vástago del émbolo (Figura 4.A).

Se mantiene el émbolo perpendicular a la superficie de hormigón y lentamente se empuja el cuerpo hacia el objeto de prueba. Como se empuja el cuerpo, el resorte principal que conecta la masa al martillo se estira (Figura 4.B). Cuando el cuerpo es empujado hasta el límite, el cierre se acciona automáticamente, y la energía almacenada en el resorte empuja la masa del martillo hacia la punta del émbolo (Figura 4.C). La masa afecta el hombro de la varilla del émbolo y produce rebotes. Durante la recuperación, el indicador deslizante se desplaza con la masa del martillo y registra la distancia de rebote (Figura 4.D). Un botón en el lado del cuerpo se empuja para bloquear el émbolo en la posición retraída y el número de rebote se lee de la escala (Iraira, 2015).

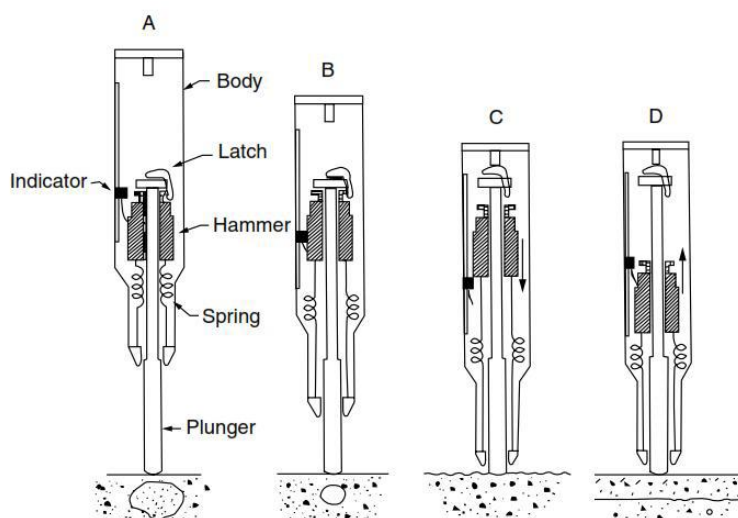


Figura 4: Funcionamiento general del martillo Schmidt (Malhotra & Cancino, 2004).

3.2 Factores que afectan las mediciones del martillo Schmidt

Existen diversos factores que afectan las mediciones del martillo, entre ellas se encuentran la homogeneidad de la superficie de prueba, tamaño forma y rigidez de las probetas, edad de la probeta, tipo de agregado grueso, tipo de cemento, tipo de moldaje y carbonatación de la superficie del concreto. De ellos los más relevantes para este proyecto son la edad del hormigón y la homogeneidad de la superficie de prueba.

Víctor (1963) y Zoldners (1957) señalan que, para la misma muestra, se obtienen mayores valores de rebote para probetas confeccionadas a los 28 días que a los 7 días de edad. En este caso el hormigón a analizar del edificio tiene aproximadamente 3 años de edad, por lo que puede ser considerado un hormigón “viejo”, y se hace indispensable realizar correlaciones directas entre los números de rebote tomados en la estructura y la resistencia a la compresión de la estructura.

Como el martillo Schmidt es un dispositivo que mide la dureza superficial del hormigón, cualquier anomalía en la superficie del elemento alterará las mediciones en el número de rebote, dichas anomalías pueden ser presentadas por diferentes causas. En este caso por malas técnicas de construcción, como en la Figura 5, donde se puede apreciar un recubrimiento defectuoso encontrado en el edificio en estudio.



Figura 5: Recubrimiento defectuoso en losa.

3.3 Toma de datos y resultados con el martillo Schmidt

La toma de datos se efectuó en 260 diferentes puntos del edificio, todos ellos ubicados en las losas de los diferentes pisos. De acuerdo a la ASTM C805 se deben considerar como mínimo 10 martillazos por punto de estudio, en este caso se efectuaron 12 martillazos por punto, descartándose los 2 que más se alejen de la media ($CoV > 10\%$). Para llevar un orden se implementó un sistema de cuadrícula tal como se muestra en la Figura 6. Los 260 puntos fueron medidos con el émbolo del martillo apuntando hacia abajo (Ver Figura 6), y la resistencia se determinó considerando la tabla que se muestra en la Figura 7 para el caso del martillo orientado hacia abajo.

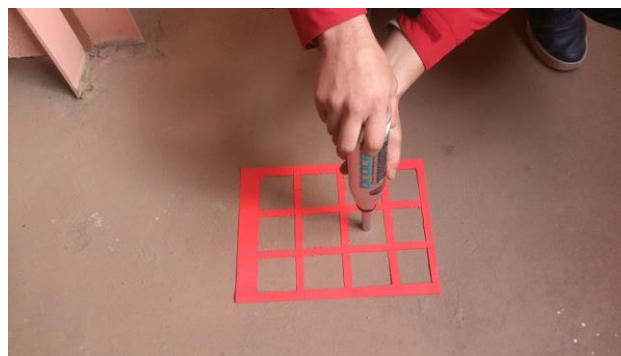


Figura 6: Cuadrícula y orientación (V-) del martillo para toma de datos.

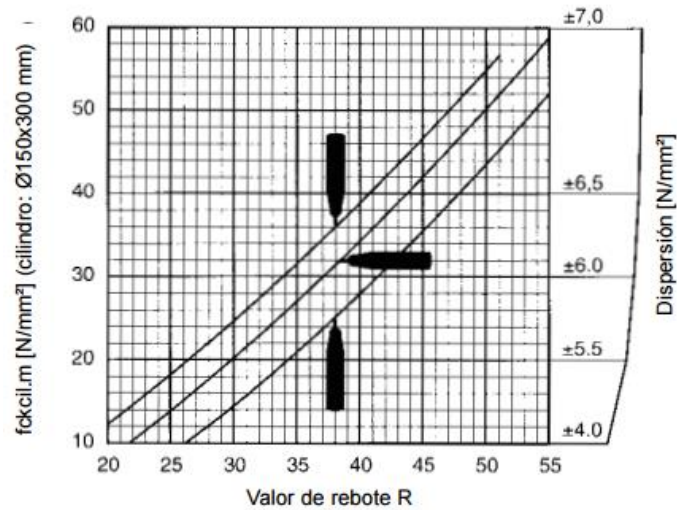


Figura 7: Curvas de calibración para distintos tipos de orientación de martillo Schmidt (Proceq, 2011).

Con **fck cil.m** en el eje ordenado izquierdo corresponde a la resistencia a la presión promedio de un cilindro (valor probable).

A modo de ejemplo, en la Tabla 1 se muestran los resultados para el piso 3, en los puntos indicados en la Figura 8. En total se realizaron 3120 mediciones los cuales están disponibles para revisión a solicitud del lector.

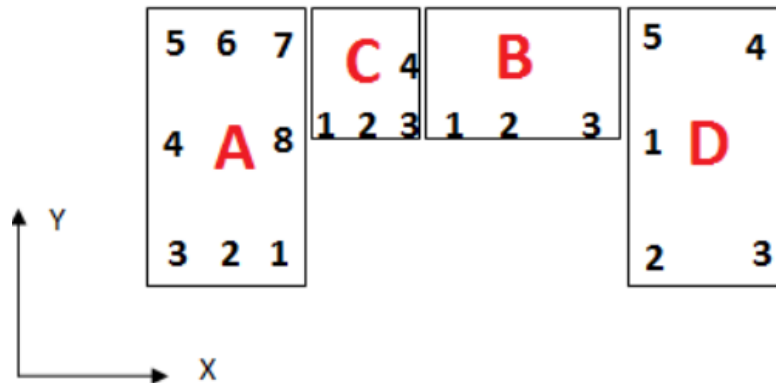


Figura 8: Ubicación referencial de los puntos en que se realizó ensayos con Martillo Schmidt.

**Tabla 1:** Mediciones tomadas con el martillo para el piso 3.

N° Piso	Punto	Orientación	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Promedio	<i>f_i</i> (MPa)
3	A1	V-	42	41	41	42	33	34	32	-	39	39	38	-	38	36
3	A2	V-	40	41	40	42	33	39	37	42	43	42	45	42	41	41
3	A3	V-	38	38	42	34	40	38	40	40	42	40	40	41	39	38
3	A4	V-	42	42	47	40	53	53	50	47	50	51	42	46	47	50
3	A5	V-	50	52	51	54	52	56	48	44	52	50	49	51	51	57
3	A6	V-	50	46	51	50	52	50	49	51	56	49	51	51	51	57
3	A7	V-	41	42	42	40	42	40	42	40	42	42	43	41	41	41
3	A8	V-	32	36	42	40	38	35	34	31	34	36	38	34	36	33
3	B1	V-	51	47	44	48	45	50	50	51	49	53	55	56	50	55
3	B2	V-	43	48	52	49	42	42	51	48	44	48	47	49	47	50
3	B3	V-	52	54	51	50	56	50	55	56	50	50	49	49	52	59
3	C1	V-	52	52	50	54	52	50	52	58	46	52	54	52	52	59
3	C2	V-	56	52	50	51	55	54	50	53	60	62	48	54	54	59
3	C3	V-	44	53	52	57	58	52	48	50	50	47	52	52	51	57
3	C4	V-	49	49	49	50	46	53	49	48	51	55	51	52	50	55
3	D1	V-	41	40	41	42	31	43	44	50	51	42	39	43	42	42
3	D2	V-	51	50	51	48	50	47	45	47	52	42	49	50	49	53
3	D3	V-	36	34	35	34	35	38	40	35	36	37	37	38	36	33
3	D4	V-	48	48	42	51	52	50	52	45	50	49	47	51	49	53
3	D5	V-	42	42	41	41	39	40	33	41	48	41	35	39	40	41

En aquellos puntos donde se encontraron resultados anómalos o muy bajos, se repitió la medición realizando el ensayo en la cara inferior de la losa (Figura 9). Estas anomalías por lo general, corresponden a una capa superficial de hormigón pobre en la losa. Esto puede ser causado por malas prácticas durante la construcción o efectos de carbonatación. De acuerdo a la NCh 1565 (INN, 1979) para la realización del Martillo Schmidt es necesario que la superficie de aplicación esté libre de recubrimientos como yeso, estuco o pasta.

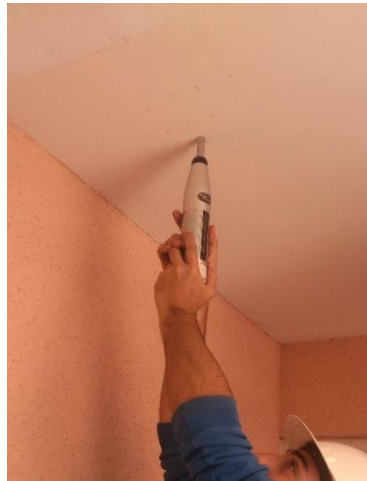


Figura 9: Orientación ascendente (V+) del martillo para toma de datos.

4. CALIBRACIÓN DE DATOS

La calibración de los datos obtenidos mediante martillo Schmidt consistió en extraer muestras (testigos) de hormigón de las losas del edificio según lo especificado en NCh 1171 (INN, 2001) y someterlas a ensayo de compresión, obteniendo la resistencia a compresión simple de hormigón endurecido mediante la norma chilena NCh 1037 (INN, 1977). Este valor se comparó con las mediciones efectuadas con el martillo Schmidt en el mismo lugar de la extracción de las muestras y se determinó un factor de calibración denominado “alfa” que es el cociente entre la resistencia entregada por los testigos y la resistencia entregada por el martillo Schmidt.

Se extrajeron 2 testigos del edificio. El primero se extrajo del piso 10 del módulo D (Muestra D10), y el otro se extrajo en el piso 9 del módulo A (Muestra A9). Estos se ensayaron en laboratorio (Ver Figura 10 y 11) y las características de cada probeta se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Mediciones de las características geométricas de las probetas antes de ser ensayadas.

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (kg)
D10	15	9.5	2.537
A9	14	9.5	2.449



Figura 10: Testigo de hormigón D10, antes del ensayo de compresión.



Figura 11: Testigo de hormigón A9, antes del ensayo de compresión.

Luego, se ensayaron ambas probetas y se obtuvo la carga máxima (P) aplicada por la máquina de ensayo. Dichas cargas máximas corresponden a 26149.2 Kg para la probeta D10 y 25699.5 Kg para probeta A9.

Obtenidas las cargas máximas, se procede a calcular la resistencia a compresión dada por la ecuación 1.

$$R = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Donde:

R: Tensión de Rotura, en Kg/cm².

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, en Kg.

S: Sección de ensayo, en cm².



La sección de ensayo, carga máxima y tensión de rotura de cada probeta se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Sección de ensayo, carga máxima y tensión de rotura de cada probeta.

Probeta	P máx. (Kg)	S (cm ²)	R (Kg/cm ²)
D10	26149.2	70.756	369.57
A9	25699.5	70.756	363.21

Esta tensión de rotura está asociada a una probeta cilíndrica de medidas de 150 mm de altura y 100 mm de diámetro, según la NCh 1171 (INN, 2001). La resistencia del testigo debe ser referida al cilindro normalizado de 150 mm de diámetro y 300 mm de alto. Esta norma establece que se debe corregir según su esbeltez. La ecuación 2 permite determinar la resistencia a compresión referida a la probeta normalizada.

$$R_{cilindro} = R_{testigo} \cdot K1 \tag{2}$$

Donde:

K1: Factor de corrección según esbeltez, especificado en Tabla 4 (INN, 2001).

Tabla 4: Factores de corrección por esbeltez del testigo, *K1*.

Esbeltez (h/d)	<i>K1</i>
2	1
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

La esbeltez corresponde a la relación entre la altura y el diámetro del testigo, estos valores se encuentran en la Tabla 2, resultando así una esbeltez de 1.6 para D10 y 1.5 para A9. El factor de la esbeltez de D10 no se encuentra explícitamente en la Tabla 4, pero la norma permite interpolar los valores, obteniendo así un factor de esbeltez de 0.97 para D10 y 0.96 para A9.

Obtenidos los factores de corrección por esbeltez, se obtiene la resistencia final de acuerdo a la ecuación 2, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Resistencia normalizada final de cada testigo.

Probeta	R norm (Kg/cm ²)	R norm (MPa)
D10	358	35
A9	349	34

Luego, se obtienen las resistencias a compresión estimadas mediante el ensayo utilizando el martillo Schmidt en cada punto donde se extrajeron las probetas. Se realizaron 12 mediciones por punto desde arriba y 12 mediciones desde abajo. De estas mediciones se obtiene el número de rebote que es el promedio



de las mediciones, esto de acuerdo a la NCh 1565 (INN, 1979). Estos promedios tienen asociado una resistencia en MPa. Lo anterior se resume en la Tabla 6.

Tabla 6: Mediciones y resistencia a la compresión mediante martillo Schmidt.

N° Piso	Mód.	Orien	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Prom. N° Rebote	<i>f_i</i> (MPa)	Prom <i>f_i</i> (MPa)
9	A	V-	42	40	40	42	41	41	36	39	37	42	39	39	40	40	40.5
9	A	V+	51	52		50	47	47	50	49	48		50	50	49	41	
10	D	V-	40	41	42	39	40	38	39	39	40	40	47	39	40	40	40.5
10	D	V+		52	53	46	48	52	51	50	46	47		48	49	41	

El promedio *f_i* de los datos observados en Tabla 6, corresponde a la resistencia del martillo tomada tanto por arriba y debajo de la losa, por tanto, la resistencia final que entrega el martillo Schmidt es de 40.5 MPa tanto para la zona donde se extrajo la probeta D10 y A9.

Una vez obtenidas las resistencias a compresión mediante el ensayo de testigos y martillo Schmidt, se procede a calcular el factor que permite la calibración de los 260 puntos obtenidos por el martillo Schmidt. Como ya se mencionó el factor se denomina “Alfa”, y es el promedio entre Alfa1 y Alfa2. Alfa1 corresponde a la relación entre la resistencia de la probeta D10 y la resistencia del martillo asociada a esa zona. Alfa2 corresponde a la relación entre la probeta A9 y la resistencia del martillo Schmidt asociada a la zona.

$$Alfa1 = \frac{Rt}{Rm} = \frac{35}{40.5} = 0.87$$

$$Alfa2 = \frac{Rt}{Rm} = \frac{34}{40.5} = 0.84$$

Así, Alfa corresponde a 0.86. Es decir, los 260 puntos con el martillo Schmidt deben reducirse en 14% para obtener la resistencia equivalente de un testigo que fuese extraído en dicho punto.



5. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS

La evaluación estadística se realizó de acuerdo a la NCh 1998 (INN, 1989). En este estudio se empleó la evaluación de los resultados de la resistencia mecánica por un total de muestras, la cual depende de los siguientes factores:

s: Desviación normal de las resistencias individuales, MPa.

t: factor estadístico según la fracción defectuosa y el número de muestras.

K2: Constante de evaluación para *f_i*.

f_m: Resistencia media del total de puntos tomados por piso, MPa.

f_i: Resistencia individual de cada muestra, MPa.

N: Número total de muestra que representa al piso.

La desviación normal se obtiene de la ecuación 3.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f_m)^2}{N - 1}} \tag{3}$$

Para que cada piso de los diferentes módulos cumpla con la resistencia característica se deben cumplir los siguientes dos elementos.

a) $f_m \geq f_c + s \cdot t$

b) $f_i \geq f_c - k2$

Donde los factores *k2* y *t* se obtienen de la Tabla 7 y 8 respectivamente (INN, 1989).

Tabla 7: Factor *k2* según fracción defectuosa y grado de hormigón. (INN, 1989)

Fracción defectuosa aceptada (%)		Grado de hormigón			
		H5	H10	H15	H20 o mayor
5	k2	0.6	1.2	1.9	2.5
10	k2	0.9	1.7	2.6	3.5
20	k2	1.4	2.7	4.1	5.5

**Tabla 8:** Factor estadístico t (INN, 1989)

Número de muestras	Fracción defectuosa %		
	5	10	20
3	2.92	1.886	1.061
4	2.353	1.683	0.978
5	2.132	1.533	0.941
6	1.015	1.476	0.920
7	1.943	1.440	0.906
8	1.895	1.415	0.896
9	1.86	1.397	0.889
10	1.883	1.383	0.883
30 o más	1.645	1.282	0.842

A modo de ejemplo se presenta la evaluación estadística para el piso 3 del módulo B del edificio.

La Tabla 9 muestra los resultados de las resistencias de los 3 puntos muestreados con el martillo Schmidt en el módulo B del piso 3 del edificio. Como ya se mencionó, se trató como una probeta de hormigón cada punto analizado con el martillo, por lo que se tendría “3 probetas”. Con estos tres puntos se calcula el promedio f_m .

Tabla 9: Evaluación estadística para módulo B piso 3.

Hormigón	f_i (MPa)
1	47
2	43
3	50
f_m (MPa)	47

Este análisis hecho al piso 3 del módulo B es representativo, pues la norma para la evaluación estadística exige como mínimo 3 muestras de hormigón para obtener un resultado válido, en este caso cumpliendo con dicho requisito. En todos los pisos de cada módulo se cumple este requisito, por lo que el análisis es representativo.

En la Tabla 10 se presentan los valores t , s y k_2 .

Tabla 10: Valores de s , t y k_2 para hormigón piso 3 mód B.

s	11.71
t	1.886
k_2	3.5

Donde, considerando $f_c = 25$ MPa

$$a) f_m \geq f_c + s * t$$



$$47 \geq 25 + 11.71 * 1.886$$

$$47 \geq 47.08$$

No cumple la restricción (a), por lo que no se acepta un hormigón H-25 y se debe considerar otra resistencia característica.

Considerando $f_c = 20$ MPa

$$a) f_m \geq f_c + s * t$$

$$47 \geq 20 + 11.71 * 1.886$$

$$47 \geq 42$$

Se cumple la restricción (a), luego

$$b) f_i \geq f_c - k2$$

$$f_i \geq 20 - 3.5 = 16.5$$

Todas las resistencias f_i especificadas en la Tabla 9 cumplen con la restricción (b).

Como se cumplen las condiciones (a) y (b), entonces se acepta el hormigón H-20.

6. RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS Y DETERMINACIÓN DE LA ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

El procedimiento se aplica luego a todos los pisos y los diferentes módulos del edificio. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Clasificación de hormigón según resistencia.

Piso	Mod A	Mod B	Mod C	Mod D
2	H-30	H-20	H-30	H-30
3	H-25	H-20	H-30	H-25
4	H-30	H-30	H-30	H-30
5	H-35	H-20	H-30	H-30
6	H-30	H-25	H-30	H-25
7	H-30	H-30	H-30	H-30
8	H-30	H-25	H-30	H-25
9	H-25	H-20	H-15	H-30
10	H-30	H-30	H-20	H-25
11	H-30	H-30	H-30	H-30
12	H-20	H-25	H-15	H-20
13	H-25	H-15	H-25	H-25
14	H-30	H-20	H-15	H-30



Se puede observar que algunos de los hormigones mostrados en la Tabla 11 tienen resistencias por debajo de lo especificado en la memoria de cálculo y planos (H-25 y H-30), llegando incluso a un hormigón H-15.

Respecto al módulo de elasticidad de los hormigones, este se calculó según ACI 318M (ACI, 2005), utilizada la fórmula teórica que se puede apreciar en la ecuación 4.

$$E = 4700\sqrt{f'c} \tag{4}$$

Donde $f'c$ debe ser ingresado en MPa y en la ecuación 4, E está en las mismas unidades.

Por tanto, en la Tabla 12 se pueden observar todos los módulos de elasticidad de cada uno de los hormigones característicos de los diferentes pisos del edificio.

Tabla 12: Módulo de elasticidad asociada a cada piso en MPa.

Piso	Mod A	Mod B	Mod C	Mod D
2	23500	18800	23500	23500
3	21019	18800	23500	21019
4	23500	23500	23500	23500
5	25742	18800	23500	23500
6	23500	21019	23500	21019
7	23500	23500	23500	23500
8	23500	21019	23500	21019
9	21019	18800	16281	23500
10	23500	23500	18800	21019
11	23500	23500	23500	23500
12	18800	21019	16281	18800
13	21019	16281	21019	21019
14	23500	18800	16281	23500

7. CONCLUSIONES

El martillo Schmidt demostró ser un excelente método para determinar la resistencia del hormigón siempre y cuando se haga una correcta calibración de sus resultados con ensayos de compresión. Para estudios donde se necesite conocer en muchos puntos la resistencia del hormigón, el utilizar el martillo proporciona una buena fuente de estimación, ya que es un método no destructivo y confiable, permitiendo así extraer un menor número de probetas.

La evaluación estadística propuesta por la NCh 1998 (INN, 1989) para lotes de hormigones resultó ser aplicable para los lotes de puntos obtenidos con el martillo Schmidt, obteniendo resistencias características tal como si se hubiese tratado de probetas de hormigón.

El martillo Schmidt demostró ser un método rápido y eficaz para la estimación de resistencias. Sin embargo, la NCh 1565 (INN, 1979) establece que el procedimiento para determinar el índice esclerométrico del



hormigón endurecido empleando un martillo de acero impulsado por resorte no es aplicable en ningún caso a la determinación de resistencias del hormigón y solo puede utilizarse con fines de investigación o una estimación de la resistencia. Por ende, no puede emplearse como base para aceptación o rechazo de la calidad del hormigón.

Las resistencias características obtenidas en los diferentes pisos del edificio, muestran un problema de baja resistencia en los hormigones, resultando en algunos casos hormigones H-15. De acuerdo a la NCh 170 (INN, 1985), este tipo de hormigón es usado en elementos medianamente solicitados, pero están dentro de los rangos para la construcción, como losas, vigas y pavimentos. Sin embargo, las bases de cálculo y especificaciones técnicas del edificio establecen claramente la utilización de hormigones H-25 y H-30. En consecuencia, no se estaría cumpliendo este requisito. El objetivo de este estudio ha sido determinar la resistencia de los hormigones mediante el martillo Schmidt y en ningún caso descalificar la empresa constructora, pero se evidencia un claro problema en la calidad de construcción, demostrado en la gran diferencia de resistencias entre pisos y módulos.

Aun cuando se evidenciaron claros problemas en la calidad de algunos materiales, no se puede afirmar con total certeza que el edificio tenga problemas en forma global, pues este estudio solo incluyó el análisis de losas. Para corroborar estos problemas sería recomendable extraer testigos de las zonas donde se evidenciaron anomalías, y ensayarlos a compresión y comparar los datos con los obtenidos mediante Martillo Schmidt.

En futuros estudios se recomienda analizar los elementos estructurales que componen el sistema resistente del edificio, tales como muros, permitiendo así tener una muestra más representativa de la totalidad del edificio. A los muros se les tendría que realizar nuevos ensayos mediante el Martillo Schmidt y calibrarlos con una correlación de ensayos de compresión a testigos extraídos de ellos. Esto permitiría evaluar la calidad de los hormigones y determinar si el problema en la calidad de la construcción fue solo en las losas o si también afectó otros elementos estructurales del edificio.

Para que el análisis de este estudio fuese más completo, se debería realizar otros ensayos no destructivos, por ejemplo, ensayos de pulso de ultrasonido. Este ensayo permite conocer la resistencia a compresión del hormigón, mediante el método de propagación de ondas mecánicas, ya que la velocidad de estas depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio. Este ensayo podría ser viable, ya que por recomendación se debe realizar en elementos delgados, y el edificio posee losas de 15 cm y muros de 15, 20 y 25 cm, lo que probablemente permitiría obtener buenos resultados y compararlos con los resultados obtenidos por medio del Martillo Schmidt.

8. REFERENCIAS

- ACI, C. S.** (2005). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02).
- ASTM C805.** (s.f.). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.
- INE.** (2008). Edificación Informe Anual. Gobierno de Chile, Chile.
- INN.** (1977). NCh 1037 Hormigón-Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
- INN.** (1979). NCh 1565 Hormigón- Determinación de índice esclerométrico.
- INN.** (1985). NCh 170 Hormigón- Requisitos Generales.
- INN.** (1989). NCh 1998 Hormigón- Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica.
- INN.** (2001). NCh 1171 Hormigón- Testigos de hormigón endurecido, Extracción y Ensayos.
- Iraira, D.** (2015). Diagnostico estructural del edificio monseñor Ricardo Ezzati basado en ensayos no destructivos. Tesis para optar al título de ingeniero civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.
- Malhotra, V. M and Carino, N. J** (2004). *Nondestructive testing of concrete*. Boca Raton London New York Washington, D.C.
- Proceq.** (2011). Manual de operación de martillo para ensayos de hormigón. Suiza.
- Víctor, D.J** (1963). *Evaluation of hardened field concrete with rebound hammer*. Indian Conc. J (Bombay), 37(11), 407.
- Zoldners, N. G** (1957). *Calibration and use of impact test hammer*, ACI J. PROC., 54(2), 161.