

## EVALUACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS Y SOLUCIONES EN LA ESCUELA BÁSICA BELLAVISTA TOMÉ

*J. Navarrete Burgos*<sup>1</sup>, *C. Oyarzo Vera*<sup>2</sup> y *M. Chávez Delgado*<sup>3</sup>.

### RESUMEN:

El presente artículo expone la evaluación estructural de la Escuela Básica Bellavista. Esta construcción es perteneciente a la comuna de Tomé, Región del Biobío. fue construida por la empresa textil Oveja Tomé con el objetivo de entregar educación a hijos de sus trabajadores.

Esta escuela corresponde a una estructura de hormigón armado, albañilería y madera. Dividida en 4 módulos de 1 y 3 pisos.

La estructura fue inspeccionada por un equipo de estudiantes y profesores de la UCSC y la UNAB, con el fin de detectar las fallas específicas presentes. Se realizaron ensayos para determinar la calidad de los materiales constituyentes tales como, ensayos de martillo Schmidt, compresión en laboratorio, porosidad de muestras obtenidas en terreno, carbonatación mediante el método de la fenolftaleína y humedad de los elementos estructurales. Todos estos ensayos fueron realizados con el fin de revelar las patologías más recurrentes presentes en la escuela, para poder proponer soluciones y devolver la capacidad inicial de los elementos estructurales.

**PALABRAS CLAVES:** *Evaluación estructural, Patologías del hormigón.*

### ABSTRACT:

This article exposes the structural evaluation of the Bellavista primary school of Tomé, Biobio región Chile. This school was built by the “Oveja Tomé” textile Company, aiming to provide education to children of its workers.

This school is a structure a reinforced concrete, masonry and timber. and consists of 4 building blocks with 1 and 3 storys.

The structure was inspected by a team of students and researchs of UCSC and UNAB, in order to detect specific faults. Tests were carried out to determine the quality of the constituent materials as, Schmidt hammer test, compressive test at the laboratory, porosity of samples obtained in field, carbonation using the phenolphthalein method and moisture of the structural elements. All these tests were conducted in order to reveal most recurrent pathologies and to propose solutions to return the initial structural capacity to elements.

**KEYWORDS:** *Structural assessment, Concrete patologies.*

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE. [jlnavarrete@ing.ucsc.cl](mailto:jlnavarrete@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE. [coyarzo@ucsc.cl](mailto:coyarzo@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Co-guía, Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello, CHILE. [manuel.chavez@unab.cl](mailto:manuel.chavez@unab.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa Oveja Tomé que en 1943 producía el 76.7% del consumo nacional de tejidos de lana, daba trabajo a un 46 % de la población de Tomé, donde la mayoría eran familias completas que trabajaban para la empresa. Allí surge la necesidad de proveer de servicios básicos y construir diferentes estructuras para mantener la creciente población de trabajadores de la fábrica textil. Dentro de estas construcciones se encuentra el barrio textil, el edificio del sindicato, clubes sociales y la escuela Bellavista (Figura 1).

Ubicada en el sector Bellavista, Comuna de Tomé, región del Biobío, actualmente, La escuela Bellavista es administrada por la Ilustre Municipalidad de dicha comuna. Su personal, se compone de un equipo profesional de 50 personas. Consta con niveles de Pre-Básica (Pre-Kínder y Kínder) y educación Básica (Primero hasta Octavo básico), y tiene una matrícula total de 286 alumnos.

Esta construcción que data de la década de los 50 ha resistido diversos eventos naturales, tales como el terremoto de 1960 y el terremoto de 2010. Producto de lo anterior se requiere una evaluación y análisis de la construcción para determinar cuan segura es la estructura.

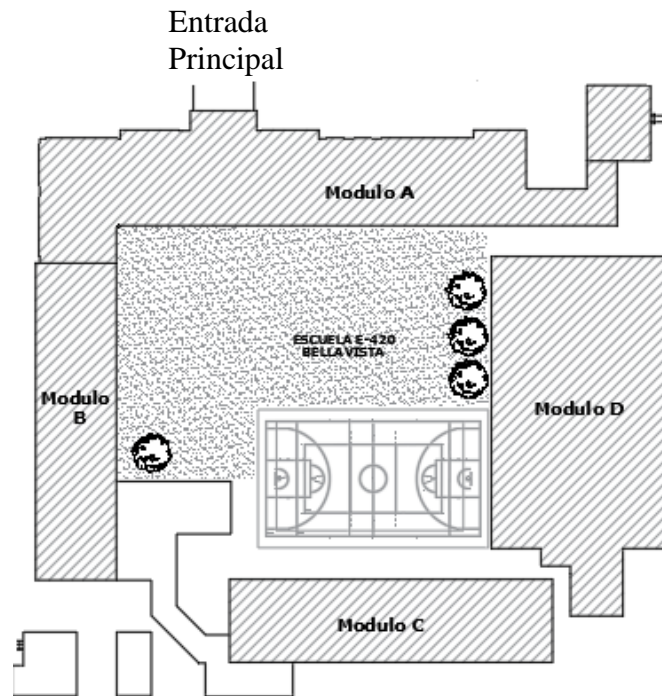
El objetivo central de esta tesis, es identificar las patologías presentes en la escuela y plantear soluciones para el tratamiento de los elementos estructurales dañados devolviéndoles su capacidad original.



*Figura 1: Escuela Básica Bellavista Tomé.*

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El edificio está dividido en 4 módulos, denominados módulo A, B, C y D. el modulo A es un edificio de 1 piso construido en albañilería y alberga las oficinas administrativas de la escuela. Los módulos B y C son de 3 pisos, están construidos en albañilería confinada y albergan las salas de clase. El módulo D corresponde al gimnasio. La distribución de estos módulos se muestra en la Figura 2.



*Figura 2: Distribución de los Módulos en la Escuela Bellavista*

Las estructuras analizadas corresponden al módulo B y C. Estos son edificios de 3 pisos que se dividen en 4 salas de clases por piso, cada uno con un área de 52 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Las dimensiones en planta de la estructura son de 9.8m de ancho x 39.7m de largo, y una altura entre pisos de 3.2m. La estructura está conformada por muros perimetrales de 35 cm de espesor, de ladrillo cerámico macizo unido por un mortero confinado con pilares, machones y vigas de hormigón armado. Los muros medianeros de las salas tienen un espesor de 30 cm. Las vigas que forman el esqueleto principal tienen un alto de 45 cm (sin tener en cuenta el espesor de la losa), mientras que las vigas menores ubicadas en las zonas donde se proyectan los baños (bajo las escalas del primer nivel) tienen una altura de 20 cm. En las salas de clases se puede apreciar un espesor de losa de 10 cm, sobre esta losa se encuentra un envigado de madera sobre el cual está el piso de madera. En los pasillos y escalas de la losa es completamente de hormigón y tiene 23 cm de espesor. La techumbre es una estructura de madera a dos aguas, está ubicada sobre un envigado de madera, de donde nacen las cerchas. La madera utilizada para las cerchas tiene escuadrías de 2x6" y 2x8"

### 3. DESCRIPCIÓN DE CONCEPTOS

Antes de describir el daño observado se establecerán algunas definiciones:

#### *Fisuras*

Las fisuras estructurales son aquellas debidas al alargamiento de las armaduras o a las excesivas tensiones de tracción o compresión producidas en el hormigón debidas a la aplicación de cargas o deformaciones impuestas.

Fisuras no estructurales son aquellas producidas en el hormigón, bien durante su estado plástico, o después de su endurecimiento, generadas por el comportamiento de sus materiales constituyentes.

Las armaduras se encuentran protegidas del exterior por el hormigón que las rodea, y es en la basicidad y cuando el hormigón está en un pH básico (13-14) se garantiza la pasivación de las armaduras.

Las fisuras correspondientes a la presencia de corrosión de las armaduras tienen el mismo sentido de las armaduras afectadas, tanto en pilares como en vigas y es frecuente que aparezcan manchas de óxido según el mismo trazado. (Caravantes, 2017)

#### *Corrosión*

Es el ataque destructivo producido por acción química o electroquímica sobre el acero. Se tiende a notar la presencia de la corrosión principalmente por un cambio en la coloración en el acero. Al cabo de un tiempo, la corrosión no solo presenta dicho cambio, si no que, el acero tiende a perder sección. (Quintián, 2005)

#### *Carbonatación*

Este fenómeno corresponde a la reacción de CO<sub>2</sub> del aire, que penetra en el hormigón a través de los poros del hormigón, y el hidróxido de calcio, proveniente del cemento. A la vez este proceso provoca una disminución del pH del hormigón a valores entre 9 y 10, provocando la despasivación de las armaduras, dado esto se comienza el proceso de corrosión en estas. Los factores a considerar en el caso de la carbonatación son: la permeabilidad del hormigón, ya que mientras más poroso sea el hormigón, con mayor facilidad entra el CO<sub>2</sub> a las armaduras, Y la humedad del hormigón, ya que si la humedad relativa se encuentra entre el 50 y 75% se produce la carbonatación acelerada. (Quintián, 2005)

### 4. CATASTRO DE DAÑOS EN TERRENO

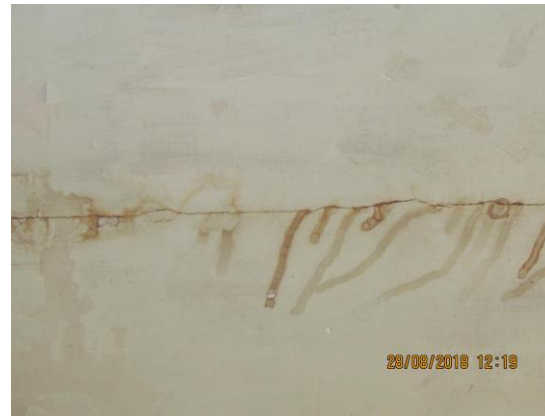
Este proceso permite determinar si los problemas y/o patologías se presentan por igual en todos los elementos con las mismas características en la estructura, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxidos, color, extensión y curso de fisuras, zonas de desprendimiento del recubrimiento del hormigón), degradación del hormigón, así como cualquier otra seña particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo. (DURAR, 2006)

Para realizar esto, se procede a realizar un levantamiento de campo por las salas y los pasillos de los pabellones B y C con el fin de detectar las fallas de manera visual. Al realizar esta actividad se pudo observar que las fallas más recurrentes correspondían a fisuras en las vigas y columnas que rodean las ventanas en el interior de la estructura, tal como se muestra en la Figura 3. En algunas de estas fisuras se

pudo observar la presencia de la armadura expuesta, las cuales presentan corrosión. A la vez que se pudo apreciar el tipo de armadura presente en esta edificación (armadura lisa). Por el exterior las fallas más significativas se pueden apreciar en los marcos de las ventanas observándose una pérdida de sección de estas y, armaduras expuestas debido al desprendimiento de su recubrimiento (Figura 4). Además, se pudo identificar significativas muestras de humedad en el hormigón.



a) Daño en viga.



b) Daño en losa.



c) daño en columna.

*Figura 3: Daños en el interior de la estructura.*



a) Daño en viga.



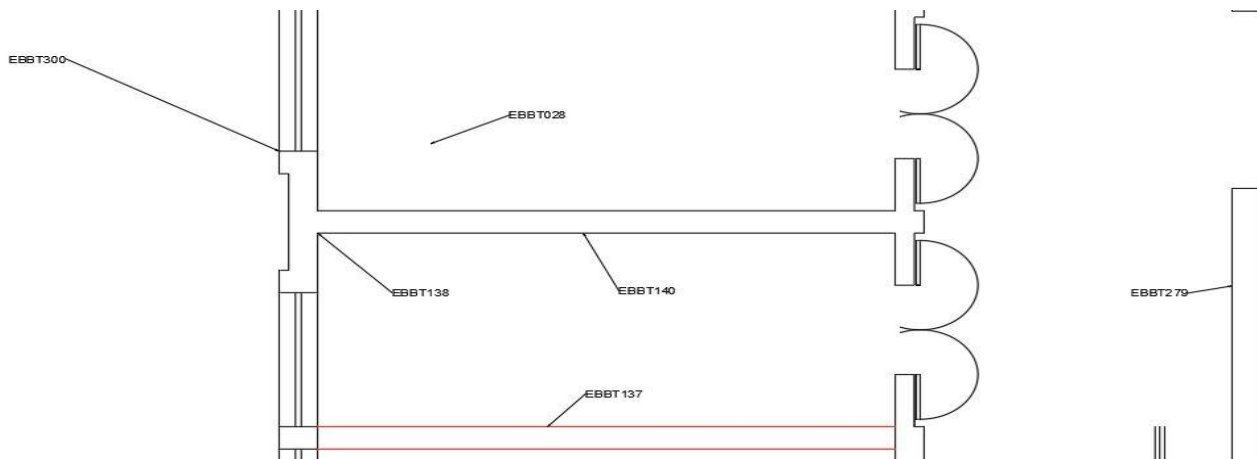
b) Daño en columna.



c) Daño en cornisa.

*Figura 4: Daños en el exterior de la estructura.*

Una vez realizado el catastro, se procede a etiquetar cada imagen con un nombre y número correlativo. En este caso se denominaron de la forma EBBT XXX (Escuela Básica Bellavista Tomé). Esta catalogación se realiza para poder identificar en un plano cada imagen y tener la ubicación de cada falla. Como un ejemplo de lo anterior podemos visualizar en la Figura 5 un extracto del plano del módulo B identificando la posición de cada imagen. En la Figura 6 se observa la imagen recolectada con nombre EBBT 300 la cual se encuentra ubicada físicamente en la parte exterior del módulo B en una columna, a su vez se puede observar la corrosión y evidente pérdida de sección presente en el acero de refuerzo y desprendimiento del hormigón de recubrimiento. Los planos de fallas y las imágenes se encuentran en el CD adjunto.



*Figura 5: Sección del plano modulo B indicando Imagen recolectada en el catastro.*



*Figura 6: Imagen etiquetada en el plano como EBBT 300*

Inmediatamente después de realizado el levantamiento en campo de las fallas, se pueden clasificar las fallas según su gravedad para esto establecemos los siguientes criterios para denominar su gravedad.

**Leve:** fallas provocadas por la humedad sin riesgo de desprendimiento ni pérdida de sección en los elementos estructurales.

**Media:** Presencia de fisuras en los elementos estructurales, sin riesgo de desprendimiento en los elementos estructurales (Figura 7).

**Grave:** Presencia de fisuras en elementos estructurales, con evidentes signos de patologías como corrosión, degradación del hormigón. Riesgo inminente de desprendimiento de material en los elementos estructurales (Figura 8).

Ya realizada la clasificación de las fallas y ordenándolas según su tipo, tenemos que, del total de fallas mapeadas, un 32% de las fallas son Graves, un 17% Medias y un 51% de estas son del tipo Leve. Las fallas de tipo grave se concentran principalmente en las vigas y columnas que rodean las ventanas en el exterior de las estructuras, las fallas medias y leves se encuentran principalmente en el interior de las salas, ya sea en los muros como en las losas.



a) Daño Leve



b) Daño Medio.

*Figura 7: Clasificación de fallas.**Figura 8: Falla del tipo Grave*

## 5. PRUEBAS DE CARBONATACIÓN

Las armaduras de acero pueden sufrir riesgo de corrosión si el material que lo recubre sufre de carbonatación.

El método más sencillo utilizado para medir la profundidad de carbonatación es el método de la fenolftaleína. Este método consiste en medir la profundidad de carbonatación mediante una disolución indicadora de fenolftaleína. A valores del pH de aproximadamente 9, el indicador produce en el hormigón una coloración purpura, de no ser así el hormigón simplemente no produce coloración. Solo el hormigón que presenta esta coloración purpura es lo suficientemente alcalino para que se pueda asegurar la pasividad del acero. (UNE14630, 2007)

En la Figura 9 podemos apreciar la aplicación de la disolución de fenolftaleína a una sección in situ en la cual se puede observar la armadura expuesta a la vez podemos ver que pasados unos minutos después de aplicada la disolución no se aprecian cambios de coloración lo cual nos indica que la sección donde se aplicó esta disolución se encuentra carbonatada.

En la Figura 10 podemos apreciar la aplicación a una muestra proveniente de la escuela, la cual fue cortada en el laboratorio y aplicada la disolución. En estas muestras se puede apreciar un cambio de

coloración en el centro de la probeta, la profundidad medida de la carbonatación fue de 2 cm, a la vez se puede apreciar una vía por donde la carbonatación se introduce hacia la armadura.



a) Aplicación de disolución de fenolftaleína.



b) Sección aplicada la disolución unos minutos después.

*Figura 9: Ensayo de la fenolftaleína in-situ.*



a) Aplicación de disolución de fenolftaleína.



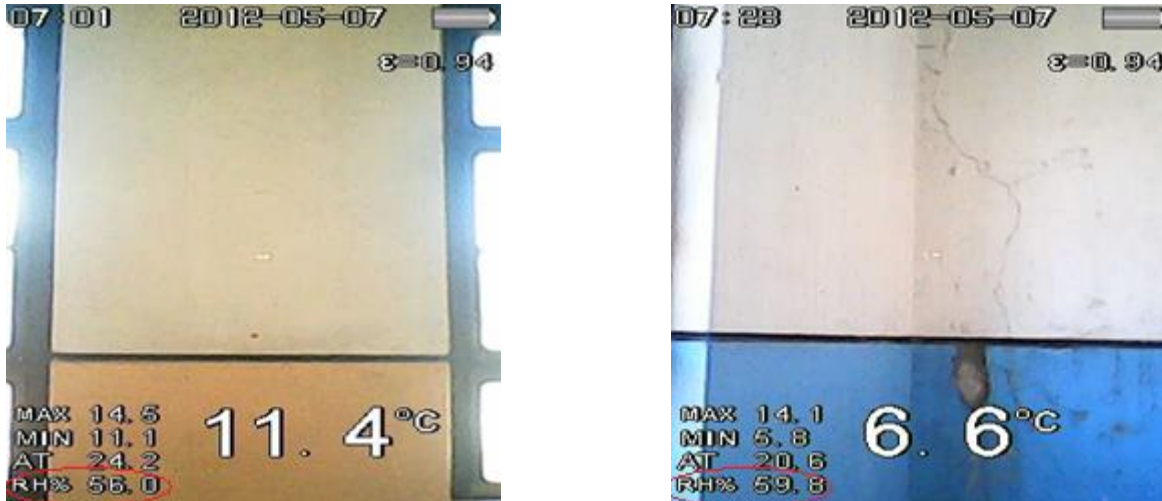
b) Probetas unos minutos después de aplicada la disolución.

*Figura 10: Ensayo de fenolftaleína en el laboratorio.*

## 6. ENSAYOS DE HUMEDAD

La reacción de carbonatación avanza más rápidamente cuando la humedad relativa en el concreto se encuentra entre 50 y 70%. A humedad más baja, no hay suficiente agua en los poros del concreto para que se disuelvan cantidades significativas de hidróxido de calcio. Por encima de 75 por ciento de humedad, la situación se revierte y los poros se bloquean progresivamente con agua (Montani, 2000). Para poder conocer la humedad que tienen los elementos estructurales se midió con un termómetro digital infrarrojo de doble láser marca Extech.

En la Figura 11 podemos observar una columna vista desde el interior del edificio, en esta se puede observar que la humedad relativa del elemento es de un 56% y un 59.8%, respectivamente.



a) Imagen columna tercer piso modulo B.

b) Imagen columna tercer piso modulo C.

Figura 11: Imágenes termómetro digital para medir las humedades relativas imágenes a y b.

## 7. ENSAYOS DE POROSIDAD

Como porosidad del hormigón se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de hormigones y morteros a consecuencia de la evaporación de agua excedente del amasado y del aire atrapado en su manipulación. (DURAR, 2006)

El espécimen se sumerge en agua totalmente durante 24 horas mínimo, al cabo se registra su peso fuera del agua (saturado) y dentro de agua sumergido. Finalmente, el espécimen se deja secar en un horno a 105°C hasta peso constante y se registra su peso. La porosidad se muestra en porcentaje de la siguiente manera

$$\% \text{ de porosidad total} = \frac{W_{\text{saturado}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{saturado}} - W_{\text{sumergido}}} * 100$$

Una vez registrados los pesos saturados, sumergidos y secos se proceden al cálculo de las porosidades para cada espécimen. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

*Tabla 1: Registro de datos para el cálculo de porosidad*

Probeta	Peso saturado (gr)	Peso Recipiente con agua (gr)	Peso muestra Flotando en recipiente (gr)	Peso Muestra flotando (gr)	Peso Muestra Seca (gr)	Porosidad (%)
1	355	2611	2785	174	329	14
2	359	2618	2795	177	332	15
3	334	2615	2778	163	309	15
4	416	2613	2816	203	386	14

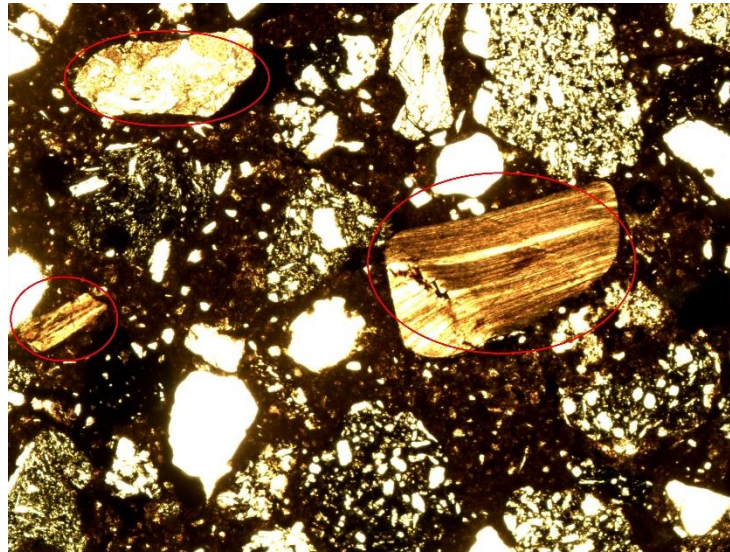
Para tener un criterio de evaluación utilizaremos el “Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.” el cual en su apartado 1.8.5 establece los siguientes criterios:

- ≤10% Indica un hormigón de buena calidad y compacidad
- 10%-15% Indica un hormigón de moderada calidad
- >15% Indica un hormigón de calidad inadecuada

Por lo tanto, debido a los especímenes ensayados, estos entregaron valores de porosidad del 14% y el 15% tenemos un hormigón de calidad moderada. Esta porosidad nos indica que existe una alta probabilidad que el CO<sub>2</sub> ingrese en dirección de las armaduras.

## 8. ENSAYO CORTE TRANSPARTE

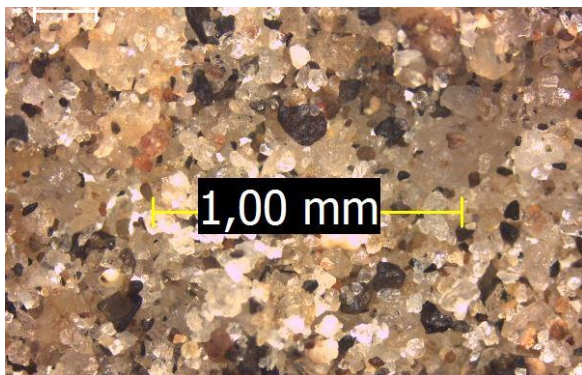
Este ensayo tiene como finalidad identificar el árido utilizado en la fabricación del hormigón utilizado en la construcción de la escuela. Diversos testimonios de los pobladores del sector Bellavista, relatan que, en las construcciones hechas por la empresa textil, el árido utilizado era proveniente de la playa del sector. Para poder confirmar la presencia de este tipo de árido se recurre a este ensayo. Se extrae una muestra de hormigón de la escuela, otra muestra extraída de la misma playa para así poder realizar las comparaciones. En la Figura 14 podemos observar la imagen extraída desde el microscopio donde se puede apreciar la presencia de “conchitas” de mar, y algunos fragmentos de coral. A la vez en esta muestra podemos ver alta presencia de basalto y granitos de la cordillera de la costa. Los granos encerrados en la Figura 14 son las “conchitas” de mar encontrados en la muestra analizada. Cabe destacar que la presencia de este tipo de granos (conchitas), son casos puntuales dentro de la muestra.



*Figura 14: Imagen obtenida del microscopio.*

Para complementar este ensayo se procedió a realizar medidas de los granos en los cuales estamos interesados. Para tener un rango de dimensiones los fragmentos están entre 0.24 mm y 0.76 mm de largo, de ancho el rango varía entre 0.06 mm y 0.4 mm.

En la Figura 15 podemos observar una muestra de la arena de la playa, con la cual podemos realizar la comparación de esta muestra con la anteriormente analizada del hormigón. De esta muestra podemos observar gran presencia de Basalto, cuarzo y granito de la cordillera de la costa de la misma configuración obtenida en la muestra de hormigón analizada. Al igual que en el hormigón podemos observar presencia de conchitas de mar. La cantidad de estas no son de gran magnitud.



a) Muestra general arena de playa.



b) Muestra específica arena de playa presencia de “conchitas” de mar

*Figura 15: Imagen obtenida del microscopio de la arena de playa.*

Al analizar las dos muestras y las similitudes presentes entre cada una podemos afirmar la presencia de arena de playa en el hormigón de la estructura. La utilización de este tipo de arena en las estructuras de hormigón armado, son totalmente inadecuadas ya que se produce un deterioro en el hormigón y principalmente en las armaduras de acero, pues la presencia de la salinidad de la arena de mar favorece el avance de la corrosión en estas.

## 9. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

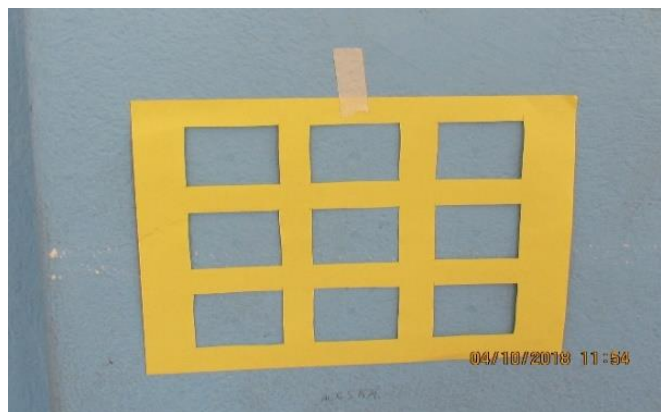
En conjunto con las pruebas mencionadas anteriormente se realizaron ensayos de resistencia no destructivos mediante martillo Schmidt. El martillo Schmidt es un instrumento que mide la dureza superficial del hormigón a partir del rebote de un embolo graduado. Luego esta dureza del hormigón se correlaciona con la resistencia a la compresión del material a través de ábacos (Proceq)

Se realizó una visita a terreno, para tomar el número de rebote de las columnas presentes en los pabellones B y C de la Escuela para esto se confecciono una plantilla (Figura 16), que nos permitió tomar 9 mediciones, y así obtener un valor promedio de rebotes.

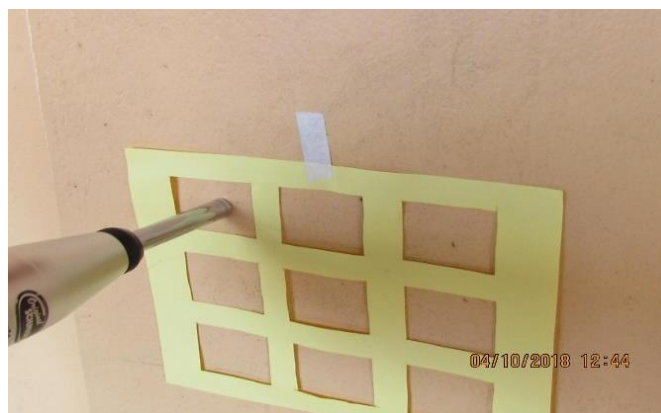
Se realizaron 12 ensayos en total, 6 ensayos realizados al pabellón B y 6 realizados en el pabellón C todos estos ensayos fueron realizados con el martillo en dirección horizontal (Figura 17).

Una vez obtenidos los números de rebote, se utilizaron las curvas de calibración (Figura 18), para la orientación del martillo. Estas curvas fueron obtenidas del “Manual de Operación de Proceq: Martillo para ensayos de hormigón”.

Los resultados obtenidos de las curvas de calibración se presentan en las Tablas 2 y 3.



*Figura 16: Plantilla para la toma de datos.*



*Figura 17: Toma de datos en columnas de la estructura.*

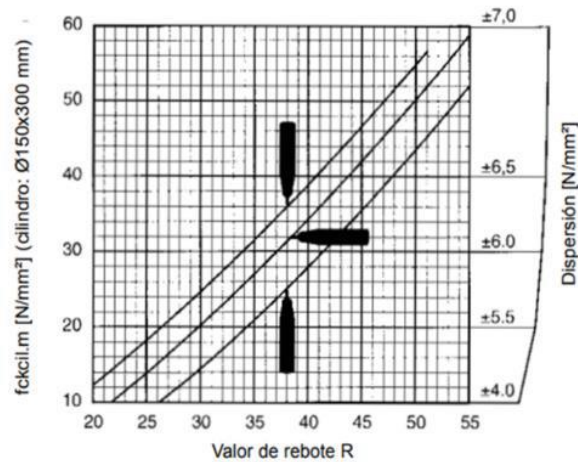


Figura 18: Curvas de calibración entregadas por el fabricante.

Tabla 2: Muestras en columnas Pabellón C

Superficie	1	2	3	4	5	6
Descripción	Pabellón C 3° Piso Muro Interior	Pabellón C 3° Piso Muro Exterior	Pabellón C 2° Piso Muro Exterior	Pabellón C 2° Piso Muro Interior	Pabellón C 1° Piso Muro Interior	Pabellón C 1° Piso Muro Exterior
Dirección	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Ensayo 1	32	31	32	32	28	28
Ensayo 2	34	30	30	27	30	30
Ensayo 3	35	32	30	30	30	28
Ensayo 4	31	36	33	30	28	28
Ensayo 5	32	32	32	26	27	28
Ensayo 6	34	31	31	30	31	32
Ensayo 7	30	29	33	30	33	28
Ensayo 8	34	38	32	29	23	31
Ensayo 9	35	32	30	31	35	28
Promedio	33	32	31	30	30	29
Resistencia (MPa)	<b>31</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>23</b>
Desv. Est.	1.7	2.8	1.5	2.4	3.5	2.4
CoV (%)	<b>5.2</b>	<b>8.5</b>	<b>4.8</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>8.4</b>

*Tabla 3: Muestras en columnas Pabellón B*

Superficie	7	8	9	10	11	12
Descripción	Pabellón B 1° Piso Muro Exterior	Pabellón B 1° Piso Muro Interior	Pabellón B 2° Piso Muro Exterior	Pabellón B 2° Piso Muro Interior	Pabellón B 3° Piso Muro Exterior	Pabellón B 3° Piso Muro Interior
Dirección	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Ensayo 1	40	36	35	40	33	30
Ensayo 2	39	37	33	33	38	36
Ensayo 3	47	32	32	39	33	34
Ensayo 4	42	40	36	39	32	34
Ensayo 5	35	40	31	31	31	39
Ensayo 6	44	33	30	40	37	35
Ensayo 7	40	36	30	41	33	33
Ensayo 8	42	33	29	37	36	38
Ensayo 9	35	37	29	41	38	40
Promedio	41	36	31	38	35	36
Resistencia (MPa)	<b>45</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>41</b>	<b>33</b>	<b>35</b>
Desv. Est.	3.8	2.6	2.5	3.3	2.5	2.8
CoV (%)	<b>9.2</b>	<b>7.2</b>	<b>8.1</b>	<b>8.7</b>	<b>7.1</b>	<b>8</b>

Según la NCh 1998.of89, se establecen procedimientos de evaluación de la calidad de hormigón. Para el caso de nuestras muestras se utilizó el método definido en el apartado 5.2.2 de la norma mencionada anteriormente.

$$f_{c_{prom}} = 31 \text{MPa}$$

$$s = 6.95$$

La norma define dos criterios los cuales se deben cumplir para conocer la resistencia del hormigón mediante este método.

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

$$b) \quad f_i \geq f_o = f_c - k_2$$

Donde

$f_m$  = resistencia media del lote, en MPa.

$f_c$  = resistencia especificada a la rotura en compresión, en MPa.

$s$  = desviación normal de las resistencias individuales  $f_i$ , en MPa.

$t$  = factor estadístico (Tabla 5).

$f_i$  = resistencia individual de cada muestra, en MPa.  
 $f_0$  = límite inferior para la resistencia  $f_i$  en cada muestra, en MPa.  
 $k_2$  = constante de evaluación (Tabla 4).

Tabla 4: Constante de evaluación, extraída NCh 1998

Fracción defectuosa aceptada %	Grado de hormigón				
		H5	H10	H15	H20 o superior
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 5: Factor estadístico, extraído NCh 1998

Número de muestras	Fracción defectuosa, %		
	5	10	20
11	1.812	1.372	0.879
12	1.796	1.363	0.876
13	1.782	1.356	0.873

De este proceso, se pudo clasificar el hormigón con una calidad G18, el cual posee una resistencia a la compresión  $f_c$  de 18 MPa. El resultado de las verificaciones mencionadas anteriormente, para los distintos niveles de fracción defectuosa se observan en la Tabla 5.

De la Tabla 6 podemos observar que todas las verificaciones se cumplen para el valor de  $f_c$  escogido.

Tabla 6: Verificaciones del valor  $f_c$ , según NCh 1998. of89

Nombre verificación	Fracción defectuosa %		
	5	10	20
a	$18+6.95*1.796=$ $30.5 \leq 31$	$18+6.95*1.363=$ $27.5 \leq 31$	$18+6.95*0.876=$ $24.1 \leq 31$
b	$18-2.5=15.5 \leq 23$	$18-3.5=14.5 \leq 23$	$18-5.5=12.5 \leq 23$

## 10. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Para la realización del ensayo de compresión (Figura 19) nos basamos en la norma, “NCh 1037.of2009 Ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas”. Debido a que nuestras probetas son cilíndricas nos centraremos en el apartado 5.1.

Se calcula la sección de la probeta determinada por la sección 5.1.1 b) de dicha norma.

$$S = 0.196 * (d1 + d2)^2$$

Luego procedemos a calcular la tensión de rotura según la sección 5.1.2

$$R = \frac{P}{S}$$

Donde:

R= tensión de rotura, expresada en MPa.

P= Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, expresada en N.

S= Sección de ensayo, expresada en mm

En la Tabla 7 podemos observar los valores obtenidos de los diámetros, tensión de rotura realizado por la máquina de compresión.



*Figura 19: Ensayo de compresión testigo proveniente escuela Bellavista.*



*Figura 20: probeta después del ensayo en la prensa.*

*Tabla 7: Resultados del Ensayo de Compresión*

h	55	mm	
d <sub>1</sub>	63	mm	
d <sub>2</sub>	63	mm	
s=	3111.696	mm <sup>2</sup>	Según NCh 1037
Tensión de rotura	83200	N	
R	26.7	MPa	Según NCh 1037

En la norma NCh 1171/1 podemos encontrar factores de corrección para las probetas con esbeltez entre 1 y 2. Para nuestro caso con una esbeltez de 0.87, se recurre a la Norma BS EN 12504.

Esta normativa presenta en su anexo factores de corrección a la resistencia a compresión de un testigo, según las dimensiones del testigo (factores de esbeltez) y la presencia de acero de refuerzo para ser aplicados como plantea la ecuación.

$$f_{test,corr} = F_a * F_{h/d} * f_{test}$$

Donde

$f_{test,corr}$  = Resistencia corregida de cada testigo, en MPa

$F_a$  = Factor de presencia de acero

$F_{h/d}$  = Factor de esbeltez

$$F_{h/d} = \frac{2}{1.5 + d/h}$$

Como no se encontró acero de refuerzo en el espécimen ensayado el factor de presencia de acero es igual a 1, entonces el resultado de la resistencia corregida se presenta en la Tabla 9

*Tabla 8: Resistencia Corregida Según Norma BS EN 12504*

Esbeltez	0.87		
h	55	mm	
d <sub>1</sub>	63	mm	
d <sub>2</sub>	63	mm	
s=	3112	mm <sup>2</sup>	Según NCh 1037
Tensión de rotura	83200	N	
R	26.7	MPa	Según NCh 1037
factor de esbeltez	0.76		Según Norma BS EN 12504
$F_{test,corr}$	20.2	MPa	

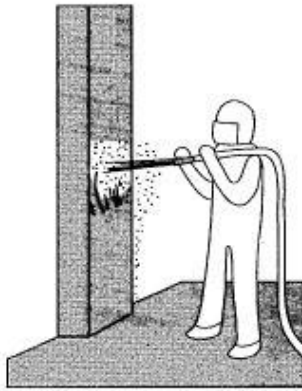
## 11. SOLUCIONES PROPUESTAS

Definidas las patologías presentes en la estructura, podemos proceder a detallar algún método para la reparación de estas, con el fin de otorgarles su capacidad estructural inicial.

Para comenzar con los procesos de reparaciones, primero tenemos que tener en cuenta, que, para tener una reparación efectiva, el proceso de preparación y limpieza del elemento a reparar son tan importantes que se consideran altamente responsables del éxito de la recuperación. La preparación consiste en un conjunto de trabajos realizados antes de la limpieza superficial y de la aplicación de los materiales y productos de corrección, es decir, son los procedimientos previos de la superficie de los elementos estructurales.

Para esto entregamos diferentes métodos para la preparación de los elementos a recuperar.

- Escarificación manual: este proceso consta en el corte de afuera hacia dentro, evitando golpes que puedan astillar las aristas y los contornos de la región que se trata. Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al hormigón sano, obteniendo una superficie rugosa y cohesiva, que propicie buenas condiciones de adherencia. Los materiales a utilizar para esta tarea son cincel y mazo. Las ventajas que provee este método es que se pueden alcanzar zonas de difícil acceso y pequeñas superficies, a su vez es un método el cual produce poco ruido, no necesita mano de obra especializada, tampoco requiere de instalaciones especiales.
- Chorro de arena seca o húmeda (Figura 21): para este procedimiento se debe mantener la salida del chorro en posición ortogonal con relación a la superficie de aplicación. Se debe mover constantemente en círculos, distribuyendo uniformemente el chorro para una mejor remoción de todos los residuos que puedan perjudicar la adherencia. Para esto es necesario tener un compresor de aire, equipo de chorro de arena, abrasivo (arena), manguera de alta presión, salida direccional y, eventualmente agua. La arena utilizada debe tener una granulometría adecuada, debe ser lavada, sin contener materia orgánica y tiene que estar seca en el momento de la utilización. La arena usada en los trabajos no es reutilizable. En el caso de chorros de arena y agua, el agua proveniente de un tanque o de la red pública debe ser sometida a presión por una bomba y conducida a un adaptador por una manguera de alta presión. Las ventajas de este método son que prepara las superficies que serán recuperadas o reforzadas eliminando todas las partículas sueltas, removiendo todo material que pueda afectar la adherencia de la capa protectora, a su vez permite la limpieza del acero de refuerzo, removiendo los productos de la corrosión que se forman en su superficie en caso de usar chorro húmedo se reduce la cantidad de polvo producido por este método.



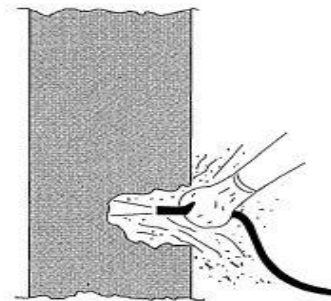
a) Esquema de aplicación.



b) Esquema de aplicación in-situ.

*Figura 21: Aplicación método chorro de arena sobre un elemento estructural para su reparación.*

- Chorro de aire comprimido (Figura 22): en zonas donde existen cavidades, colocar en su interior la extremidad de la manguera, ejecutando la limpieza del interior hacia el exterior. Una vez limpias, las cavidades deben ser rellenadas con papel, precediendo entonces a la limpieza de la superficie adyacente. Es importante comenzar siempre el proceso por las cavidades, pasando después por las superficies vecinas, para evitar depositar polvo en su interior. Este método es efectivo en la eliminación de polvo después de los procedimientos de preparación, como son la escarificación, Cepillado manual o Chorro de arena. También es usado cuando en la superficie fuera aplicada una resina de base epóxica, que requiere sustrato seco y limpio. Para esto es necesario tener una manguera de alta presión y un compresor dotado de filtro de aire y aceite, para garantizar la descontaminación.



*Figura 22: Método de limpieza, Chorro de aire comprimido.*

Para la realización del mantenimiento correctivo en los elementos estructurales dañados, nos basamos en el “Manual de Reparaciones y refuerzos estructurales del Ministerio de Vivienda y Urbanismo”.

- Reemplazo de armaduras utilizando barras de traslape: para las secciones, en las cuales se observa evidente pérdida de sección en el acero se recomienda este tipo de reparación. Esta técnica permite reparar y restituir la continuidad de una barra de acero cortada o que haya superado el

límite de fluencia, utilizando una barra de acero como “suple” que se traslapara a los extremos de la barra dañada. Para esto se requiere que el acero a utilizar sea del mismo diámetro que el dañado. Se debe despejar y picar el área afectada, retirando todo el hormigón circundante a la barra a conectar en al menos 2 cm, asegurando un volumen de trabajo lo suficiente para la colocación del suple. Se debe cortar todo el desarrollo de la o las barras dañadas. El largo del suple debe ser determinado respecto al diámetro de la barra a conectar y basado en las disposiciones del código ACI 318. Tanto el suple como la barra a conectar deben estar limpios y libres de residuos que impidan la unión de los elementos, para lo cual se debe efectuar una limpieza exhaustiva mediante aire a presión como se mencionó en el ítem anterior. Luego de esto se debe colocar el suple en su posición definitiva respetando el largo de traslapo determinado por el proyecto. El suple debe fijarse en su posición mediante alambres cada 10 cm como máximo en toda la longitud. El suple debe estar completamente recto y alineado con los extremos de la barra existente. Una vez colocados los suples se procede al relleno como se indica a continuación.

- **Hormigón vaciado in situ:** esta es una técnica de reparación estructural en la que un volumen de hormigón dañado es reemplazado por un nuevo hormigón de reparación estructural. Para esto se necesita de un hormigón de reparación con resistencia mayor o igual que la del elemento a reparar. El tamaño máximo del árido debe ser compatible con los espesores a hormigonar y la densidad de armaduras existentes. El tipo de hormigón dependerá de las características, accesibilidad y magnitud de la reparación, para el caso de las reparaciones a ejecutar en la escuela se recomienda utilizar hormigones o morteros fluidos ya que las reparaciones se realizarán en sectores estrechos de difícil acceso. Previo al vertido del hormigón se requiere el uso de un puente adherente epóxico como película de unión entre el elemento estructural y el hormigón de reparación. Se debe respetar de manera rigurosa la dosificación especificada en la ficha técnica del producto. Las herramientas a utilizar para esta tarea son una betonera y equipos de compactación. Para este método de reparación se debe remover todo el hormigón defectuoso y picar hasta alcanzar el hormigón sano. Se debe eliminar el exceso de irregularidades, dando una forma geométrica adecuada para facilitar el escurrimiento del hormigón, toda la superficie del elemento que estará en contacto con el nuevo hormigón vaciado in situ deberá estar limpio, libre de polvo, sin partes sueltas u otras materias extrañas que puedan impedir su adherencia. Se debe aplicar el puente adherente en todas las zonas donde el nuevo hormigón estará en contacto con el ya endurecido. Previo al vaciado del hormigón se deberán instalar moldajes, los cuales deben ser estancos y provistos de una boquilla si es necesario. Se deben rellenar todas las secciones con el nuevo hormigón, cuidando de no dejar vacíos en la sección a reparar.

## 12. CONCLUSIONES

La Escuela Básica Bellavista Tomé presenta un buen comportamiento estructural, a pesar de que esta es una estructura muy antigua, a soportado los diversos fenómenos naturales a lo largo de su vida, como lo son los terremotos de 1960 y 2010, esta estructura tiene daños leves, puesto que los daños principales son pérdida de sección en los elementos, corrosión en las armaduras.

Las patologías más recurrentes en la estructura es la corrosión en sus armaduras producto del proceso de carbonatación, la corrosión produce una pérdida de sección en estas, el óxido al tener menor densidad

que el acero en si tiende a expandirse, esta expansión del acero de recubrimiento provoca las fisuras en el hormigón, para después de un tiempo provocar el desprendimiento del recubrimiento de hormigón.

La carbonatación en si se encuentra favorecida por las condiciones de humedad y porosidad presentes en la estructura. Como se mostró en el ensayo de la fenolftaleína in situ, en conjunto con el análisis de la fenolftaleína aplicado en el laboratorio nos indica zonas puntuales en las cuales el hormigón de recubrimiento aún se encuentra sano, a la vez se puede observar un camino por el cual el  $\text{CO}_2$  puede entrar libremente hasta las armaduras.

Del ensayo de placa transparente podemos verificar los testimonios de los pobladores del sector. La construcción realizada por la empresa textil en esa época está construida en base de arena de mar, este hecho presentado nos muestra otra complicación en la estructura, debido a que la salinidad de la arena de mar nos aumenta el deterioro en las barras de refuerzo de acero.

De los ensayos de martillo Schmidt y ensayo de compresión, se obtiene los valores de resistencia a la compresión del hormigón. Con el ensayo de martillo Schmidt tenemos valores de resistencia de las curvas de calibración entregadas por el fabricante, una vez hecho el análisis estadístico propuesto por la norma chilena NCh 1998, tenemos que el hormigón clasifica como G18. A la vez, según el ensayo de compresión obtenemos un valor de resistencia de 20 MPa. Clasificándolo como G20. Para efectos de la norma NCh 170 of 2016, para un ambiente C1 clasificado en dicha norma como “hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de  $\text{CO}_2$ ” en el apartado 6.4.3.3 nos indica que para esta clasificación se requiere un hormigón con un grado de resistencia mínima G17, lo cual se cumple según las resistencias dadas según los métodos mencionados anteriormente.

Para las reparaciones propuestas cabe mencionar que, para tener una eficacia en la reparación de los elementos estructurales, se debe asegurar la limpieza en estos de manera eficiente, es decir, no deben quedar trozos de material suelto, los rastros de corrosión en el acero se deben eliminar totalmente, retirar el hormigón circundante al acero en caso de tener que aplicar un refuerzo a este. La idea principal de la reparación es eliminar las patologías presentes para así evitar que las fallas vuelvan a suceder en el tiempo. La superficie a reparar en los módulos B y C es de  $108 \text{ m}^2$  aproximadamente, esta superficie se considera tomando las fallas graves presentes en las estructuras. Para evitar que el  $\text{CO}_2$  vuelva a ingresar a las armaduras se recomienda utilizar pinturas del tipo vinil-acrílico en la totalidad de la superficie de los muros (interior y exterior).

### **13. AGRADECIMIENTOS**

A mis padres José Navarrete y Margarita Burgos, por apoyarme en este viaje y brindar siempre una palabra de apoyo. A mi hermana Susana Navarrete por estar siempre ayudándome cuando la necesitaba.

A mis profesores Claudio Oyarzo y Manuel Chávez por estar siempre disponibles a apoyar en este proceso de mi carrera.

A mis compañeros Giuseppe Chinetti, Gabriela Ojeda, Pedro Toledo y Daniela Donoso por brindar siempre una palabra de apoyo a lo largo de mi carrera.

A Felipe Macaya por brindarme su ayuda y experiencia para realizar este proyecto.

## 14. REFERENCIAS

- "DURAR", R. I. (2006). *Manual de inspeccion, Evaluación y diagnostico de corrosión de estructuras de hormigón armado*. Oladis Trocónis de Rincón, Aleida Romero de Carruyo, Carmen Andrade, Paulo Helene e Isabel Díaz.
- BSI. (2009). *Testing concrete in structures. Cored specimens. Taking, examining and testing in compression, BS EN 12504*.
- D.caravantes, J. A. (2017). *Patología y reparación de pilares de hormigón armado, Consideraciones iniciales*. Zigurat.
- Helene, D. P. (1997). *Manual de reparación, refuerzo y proteccion de las estructuras de concreto*. Mexico: Instituto Mexicano del cemento y concreto.
- INN. (1989). *Hormigón- Evaluación estadística de la resistencia Mecanica, NCh 1998 of 1989*.
- INN. (2009). *Hormigón- ensayos de compresion en probetas cubicas y cilindricas, Nch1037 of 2009*.
- INN. (2012). *Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo, NCh 1171 of 2012*.
- INN. (2016). *Hormigón- Requisitos Generales, Nch 170 of 2016*.
- MINVU. (2018). *Manual de Reparaciones y Refuerzos Estructurales*. Santiago: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional – Ditec, Minvu.
- Montani, R. (Diciembre de 2000). *La carbonatación, enemigo olvidado del concreto*. Obtenido de La carbonatación, enemigo olvidado del concreto:
- Proceq. (2017). *Manual para ensayos de hormigón* . Proceq.
- Quintián, P. (2005). *"Manual de patologias en las estructuras de hormigón armado"*. Proyecto final para optar al titulo de Arquitecto. Coruña, España: Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica.
- UNE14630. (2007). *Productos y sistemas para la proteccion y reparacion de estructuras de hormigon. Metodos de Ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el metodo de la fenolftaleina*. Madrid: AENOR.

## 15. ANEXOS

En el CD adjunto se encuentran los siguientes archivos anexos:

- Registro fotográfico días 28 y 29/08/2018.
- Registro fotográfico día 28/09/2018.
- Registro fotográfico día 04/10/2018.
- Planos Con ubicación de fallas.
- Registro fotográfico corte transparente, humedad, porosidad y carbonatación en laboratorio.
- Hoja Excel con registro de estado de gravedad.