MINISTERIO DEL DEPORTE

CUARTO DE MAQUINAS

28-12-2021

CONTRATO DE CONSULTORIA CPS -1323- 2021

SELECCIÓN DE MÍNIMA CUANTÍA MC-41-2021, CUYO OBJETO ES "*PRESTAR SERVICIOS DE ESTUDIO DE PATOLOGIA PARA EL CUARTO DE MAQUINAS DE LA PISCINA UBICADO EN EL CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO EN ALTURA EN BOGOTA, ESTUDIO DE PATOLOGIADE CUBIERTAS PISCINA OLIMPICA*

CLIENTE

MINISTERIO DEL DEPORTE

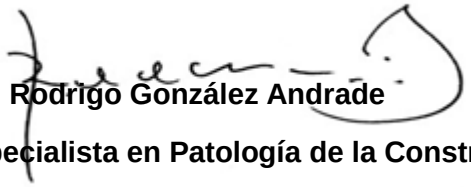
BOGOTA COLOMBIA

Bogotá, 28 de Diciembre de 2021
GC-1036-2021

SEÑOR: EDGAR MUÑOZ DAVID
MINISTERIO DEL DEPORTE
DIRECCIÓN DE RECURSOS Y HERRAMIENTAS DEL SISTEMA NACIONAL DEL DEPORTE
OBRA: Cuarto de máquinas / Centro del alto rendimiento - Calle 63 No 59a - 6 Cundinamarca – Ciudad Bogotá D.C.

El informe que presentamos a continuación presenta el estudio patológico realizado a las instalaciones de calderas, cuarto de máquinas y climatización de la piscina del centro de alto rendimiento ubicado en la calle 63 No 59a – 06 en la ciudad de Bogotá D.C, a continuación se plasman las metodologías, procedimientos de campo, ensayos de laboratorio y análisis efectuados a la información recopilada, los cuales permitirán determinar las causas asociadas a las patologías existentes y las consecuencias de las mismas en cuanto a la estabilidad estructural de la instalación.

Cordialmente



Ing. Rodrigo González Andrade

Especialista en Patología de la Construcción

C.C No 19.498.203 de Bogotá

Matrícula 25202-36225 CND

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1 INTRODUCCIÓN..... 6

2 OBJETIVOS..... 7
2.1 Objetivo General..... 7
2.1.2 Objetivos Específicos..... 7

3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO..... 8
3.1 CONTEXTO GEOGRAFICO..... 8
3.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO..... 8
3.3 TOPOGRAFÍA..... 9

4. CLIMA..... 10

5 MARCO TEÓRICO……..……..... 11
5.1 Generalidades……..... 11
5.1.1 Humedad de construcción……..... 11
5.1.2 Humedad de condensación…… 12
5.1.3 Humedad de lluvia…… 13
5.1.4 Humedad accidental……..…….. 14
5.1.5 Humedad proveniente del suelo…… 14
5.1.5.1 Tensión superficial y capilaridad…… 14
5.1.5.2 Características de la humedad proveniente del suelo……..... 15

6. MARCO CONCEPTUAL.....…..... 17
6.1 MARCO PATOLOGICO Y ESTRUCTURAL……..... 17
6.1.1 Patología por defectos.....…….....…….....…….

7.3.1 Indicador de ph disolución de fenolftaleína…….. 33
7.4 Fundamento del ensayo de compresión de núcleos……. 34
7.4.1 Extracción corte y compresión de núcleos de concreto……..…… 35
7.4.2 Selección de los sitios de muestreo…….. 35
7.4.3 Extracción…… 36
7.4.4 Corte …… 36
7.4.5 Acondicionamiento a la humedad…….. 36
7.4.6 Refrentado…….. 36
7.4.7 Mediciones……..……..……. 37
7.4.8 Ensayo de resistencia a la compresión…….. 37
7.5 Fundamentos del ensayo de FERROSCAN……..…….. 37
7.5.1 Aplicación……..……..…….. 37
7.5.2 Funcionamiento……..……..……..….. 37
7.5.3 Potencia de medición del sistema……..……..……..….. 37
7.5.4 Proceso de ensayo……..……..……...…... 38
7.6 Fundamento del ensayo de ultrasonido……..……..… 40
7.6.1 Exactitud de la medición de la longitud de la trayectoria del pulso……... 40
7.6.2 Instalación de los transductores……..…… 40
7.6.3 Factores que influyen en las mediciones de velocidad del pulso…….. 41
7.6.4 NSR-10……..……..…… 42

8. INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA ESTRUCTURA…….. 44
8.1 Metodología de trabajo…… 44

9. ANTECEDENTES……... 46

10 INSPECCIÓN VISUAL PATOLOGICA…… 48
10.1 Levantamiento de sintomatología de fallas……..…….. 48

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO…….. 56
9.1 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto……. 56
9.2 Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto……..…….. 58
9.3 Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos……..…… 58
9.4 Número de rebote del concreto endurecido…….……. 59
9.5 Detección del acero de refuerzo con el equipo FERROSCAN……. 60

10. RECOMENDACIONES…… 61

11. CONCLUSIONES……..…… 63

FIGURAS

1. Localización del proyecto CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO……... 8
2. Topografía general de la zona……..... 9
3. Parámetros climáticos Bogotá……..……..... 10
4. Humedad de construcción……..……..... 11
5. Humedad por condensación……..……..... 12
6. Humedad de lluvia……..……..... 13

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

7. Humedad accidental…….……..... 14
8. Ascensión de agua en un tubo capilar…….……..... 15
9. Equilibrio hídrico…….……..…….……..... 16
10. Humedad por capilaridad…….....…….……..... 16
11. Clasificación general de patologías en las edificaciones…….....…… 17
12. Porcentaje de incidencia de factores en la generación de las patologías…… 18
13. Aspectos para tener en cuenta en el diseño de una estructura…….. 22
14. Clasificación de las fisuras conforme a comportamiento…….. 23
15. Efectos del corrimiento.....…….……..... 24
16. Efectos del deslizamiento.....…….……..... 25
17. Efectos de las arcillas expansivas en las edificaciones..... 25
18. Comportamiento de un suelo expansivo a través del año..... 26
19. Mampostería confinada…….…….....…… 26
20. Mampostería estructural…….....…….…… 27
21. Esquema de funcionamiento esclerómetro…….……..... 28
22. Ensayo de esclerómetro…….....…….…… 30
23. Eflorescencia en fachada…….....…….……... 31
24. Identificaciones de zonas de pH según coloración del material…….. 33
25. Montaje típico para la extracción de núcleos de concreto……... 36
26. Selección de función de ensayo.....…….……... 38
27. Localización punto de partida.....…….……..... 38
28. Desplazamiento y ensayo.....…….…… 39
29. Cuadricula de ensayo.....…….……..…… 39
30. Ensayo de FERROSCAN.....…….…… 39
31. Métodos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos…….…... 41
32. Ensayo de ultrasonido.....…….……... 43
33. Diagrama metodológico.....…….…… 45
34. Identificación del espacio.....…….……..…… 46
35. Evidencia falta de mantenimiento.....……..…… 46
36. Planos de la instalación.....……..…… 46
37. Localización de los puntos de muestreo……..…….. 57

TABLAS

1. Causas y efectos en la generación de patologías en edificaciones…….. 19
2. Levantamiento de sintomatología de fallas…….……..…….. 48
3. Plan de ensayos de laboratorio…….……..……..… 56
4. Resultados de los núcleos extraídos…… 57
5. Resultados de ensayo de ultrasonido……... 58
6. Resultados de ensayo de carbonatación…….. 59
7. Resultado del índice esclerométrico…….. 59

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

1.0 INTRODUCCIÓN

Las funciones del ministerio del Deporte, corresponde a generar acciones que propendan a mantener en correcto funcionamiento la infraestructura, esto es las instalaciones, donde se desarrollan actividades del deporte, la recreación y el aprovechamiento del tiempo libre y la actividad física.

Lo anterior está enmarcado dentro de las funciones constitucionales.

Dentro del organigrama de funcionamiento, el Ministerio del Deporte, se encuentra la dirección de recursos y herramientas del sistema Nacional del Deporte, la cual se encarga de generar las actividades propias para mantener, administrar, la infraestructura recreativa y deportiva.

En este tipo de obligaciones el Ministerio del Deporte, en el mes de Noviembre del 2021, procedió a generar la invitación publica No 0041 de mínima cuantía, con el fin de realizar el estudio de patología del cuarto de máquinas, donde se localizan los equipos de tipo mecánico, que permiten el uso de la piscina del CENTRO DE ALTO RENDIMINENTO – CAR.

Por lo anterior el presente estudio de patología, del cuarto de máquinas realiza los procedimientos propios de este tipo de consultorías, con el fin de realizar las evaluaciones, realizar los diagnósticos, a fin de que, en este procedimiento metodológico, podamos verificar el origen de las lesiones que se evidencian en la totalidad del cuarto de máquinas, tanto en su parte inferior y lo observado sobre la cubierta y el cuarto dispuesto sobre la placa de cubierta.

Una vez se evidencia el origen de todas estas patologías, procedemos de conformidad a generar recomendaciones adecuadas, para subsanar debidamente estas lesiones y de esta salvaguardar la estructura en su vida útil.

Se puede evidencia, que estas instalaciones no han recibido un mantenimiento adecuado en los últimos años, durante los cuales aparecieron grietas en los muros, presencia de humedad, perdida de recubrimiento, eflorescencias, entre otras patologías que tienen un impacto negativo en la estética y funcionalidad de la estructura.

Los trabajos de investigación realizados tienen como fundamento el conocimiento integral de la zona de estudio para lo cual se adelantaron las siguientes actividades:

- Visita de inspección al lugar de la inspección por una comisión de ingeniería.
- Análisis de los estudios previos asociados a las patologías que presenta la estructura.
- Toma de información y recolección de muestras de campo.
- Ejecución de ensayos de campo y de laboratorio.
- Procesamiento y análisis de la información.
- Determinación de las causas asociadas al deterioro de la instalación.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar las causas asociadas al deterioro estructural que presenta la instalación ubicada en el centro del alto rendimiento con dirección calle 63 No 59a – 06 en la ciudad de Bogotá D.C, departamento de Cundinamarca.

2.1.2 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de información de campo, que sirva como base para la elaboración de los estudios.

- Efectuar ensayos de laboratorio in situ sobre los componentes estructurales de la instalación, que permitan evaluar la calidad de los materiales empleados.

- Ejecutar ensayos de laboratorio sobre muestras extraídas de la instalación para determinar las propiedades de resistencia de los componentes estructurales de las instalaciones.

- Realizar un análisis detallado de la información recolectada en campo y resultados de ensayos de laboratorio para emitir un concepto sobre las causas asociadas a las patologías de la instalación.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

3. LOCALIZACIÒN GENERAL DEL PROYECTO

3.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO

La ciudad de Bogotá se encuentra ubicada en la “sabana de Bogotá”, sobre el altiplano cundiboyacense de la cordillera Oriental de los Andes a una altitud aproximada de 2650 msnm y en sus puntos más altos alcanza una altitud de hasta 4500 msnm. *“EL Distrito Capital de Bogotá tiene un área total de 1775 km² incluyendo la localidad de Sumapaz y un área urbana de 384 km²”* según el boletín No. 22 de la secretaría distrital de planeación. Según referencias históricas de la colonización española, la ciudad de Bogotá se encontraba cubierta por pantanos y es posible afirmar que antiguamente era un lago, esto es notorio debido a la presencia de humedales en las zonas no urbanas; el suelo que conforma la zona sobre la cual se asienta la ciudad es proveniente en su mayoría del período cuaternario. La ciudad se encuentra limitada en su costado oriental de norte a sur por cerros de mediana altura, uno de estos es el cerro Monserrate el cual hace parte del conjunto orográfico que funciona como límite natural.

3.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La estructura de estudio está ubicada en la calle 63 # 59 a - 6, en los terrenos del parque metropolitano Simón Bolívar al Nor-oriente de la ciudad. Es una instalación aislada de forma rectangular. No presenta estructuras colindantes, pero es una instalación de calderas y climatización de una piscina:

- Norte: Zonas verdes con poca vegetación.
- Oriente: Zonas verdes y estructuras de 2 niveles.
- Sur: Estructuras de 2 niveles.
- Occidente: Zonas verdes y estructuras de 2 niveles.

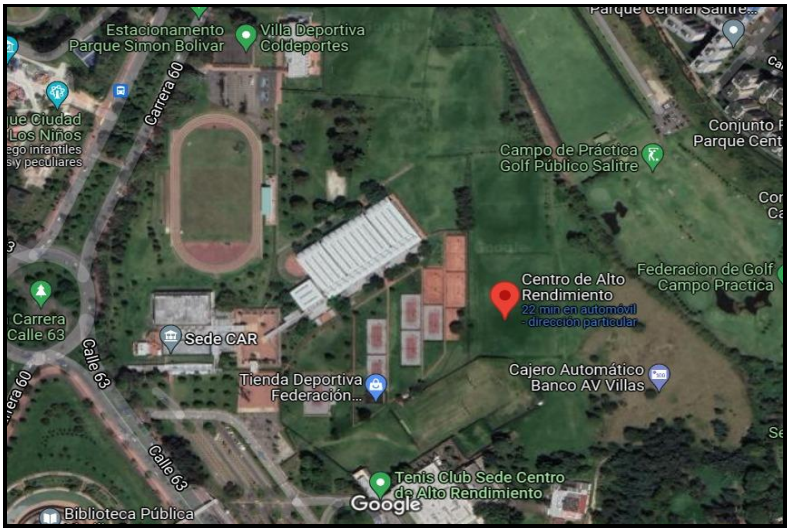


Figura 1. Localización del proyecto **CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO**. Fuente: Google Maps

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

3.3 TOPOGRAFÍA

La ciudad de Bogotá se encuentra ubicada sobre la cordillera oriental de los andes a una altitud entre los 2650 y los 4700 m.s.n.m, la ciudad tiene como coordenadas en Latitud Norte 4°35'56"57 Longitud Oeste de Greenwich 74°04'51"30; y limita al Oriente con el Municipio La Calera, al Occidente con los Municipios Funza y Madrid, al Norte con los Municipios Cota y Chía, y al Sur con el Municipio de Soacha.

Adicionalmente la población se localiza sobre la placa tectónica de Suramérica, debido a esto es susceptible a presentarse cierta actividad sísmica en la zona.

En términos generales la topografía regional es quebrada hacia los límites orientales de la ciudad ya que se encuentra sucedida por algunos anticlinales limitando con los cerros orientales, sin embargo hacia el occidente de la ciudad la zona presenta un topografía plana con pendientes suaves que oscilan entre el 3% y 8% tal como se puede observar en la figura 3, sin embargo, en las zonas donde se ubicará el proyecto, la micro topografía describe un comportamiento con pendientes muy suaves cercanas al 3%, lo cual es favorable con relación a la construcción debido a que los movimientos de tierra son casi nulos y el sistema de cimentación no tendrá mayores complicaciones al momento de consolidarlo en el terreno dada las condiciones de topografía mencionadas.



Figura 2. Topografía general de la zona. Fuente: Modificado Google Earth.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

4.0 CLIMA

Por causa de su gran altitud, Bogotá tiene un clima frío de montaña; por su baja latitud presenta una escasa oscilación térmica a lo largo del año. Las temperaturas regularmente oscilan entre los 6 y 22 °C, con una media anual de 14 °C.

Debido a su ubicación cerca del Ecuador, cuenta sólo con dos temporadas: lluvia y sequía, la precipitación es abundante de marzo a mayo y de octubre a noviembre, coincidiendo casi con los equinoccios de primavera y otoño del hemisferio norte, respectivamente, debido a que el sol cruza por la línea ecuatorial y la radiación solar es mayor, aumentando el calor en la selva y favoreciendo la formación de tormentas en la zona cordillerana.

Las temperaturas extremas registradas dentro de los límites de la ciudad han sido de 30 °C y −7.1 °C, ambos registros de la estación meteorológica del Aeropuerto Guaymaral. Lo anterior se evidencia en los registros presentados en la Figura 3.

Parámetros climáticos promedio de Observatorio Meteorológico Nacional, Bogotá (1971-2000) [ocultar]

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta (°C)	26.4	25.2	28.6	24.4	25.0	23.6	22.0	21.3	26.0	25.1	25.6	24.4	28.6
Temperatura máxima media (°C)	19.2	19.4	19.3	18.4	18.3	17.8	17.2	16.6	17.2	17.2	18.4	18.8	18.2
Temperatura media (°C)	14.3	13.9	13.7	13.5	13.4	13.1	12.9	12.7	13.2	13.4	13.5	13.8	13.5
Temperatura mínima media (°C)	5.6	7.4	8.5	9.2	9.3	9.1	8.7	7.1	8.2	8.6	8.7	8.0	8.2
Temperatura mínima absoluta (°C)	-1.5	-5.2	-0.4	0.2	0.2	1.1	-0.4	-0.4	0.3	1.8	0.5	-1.1	-5.2
Precipitación total (mm)	50	68	91	135	120	54	35	45	70	137	127	81	1013
Días de lluvias (≥ 1 mm)	9	12	14	18	19	17	15	14	16	21	16	11	182
Días de nevadas (≥)	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
Horas de sol	156	128	107	88	83	94	114	117	109	96	103	138	1328
Humedad relativa (%)	75	76	75	77	77	75	74	74	75	76	77	76	76

*Fuente: **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)***[64]

Figura 3. Parámetros climáticos promedio del Observatorio Meteorológico Nacional, Bogotá (1971-2000). Fuente Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Bogotá#Clima.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

5.0 MARCO TEÓRICO

5.1 GENERALIDADES:

Por definición, humedad es agua que está impregnando un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire. Dada esta definición (por la RAE) es claro que, en una edificación, como en todas partes, siempre existe un grado de humedad ya que se puede encontrar agua en los cuerpos, en los materiales de construcción, en el aire, en el suelo, etc.

El problema se produce cuando la humedad se presenta en exceso y no se han tomado las precauciones necesarias teniendo en cuenta las distintas fuentes de humedad que se pueden encontrar en una edificación.

De acuerdo con su naturaleza, la humedad puede clasificarse en los siguientes tipos:

- Humedad de construcción.
- Humedad de condensación.
- Humedad de lluvia.
- Humedad accidental.
- Humedad proveniente del suelo o por ascensión capilar.

5.1.1 Humedad de construcción.

Este tipo de humedad es el que se produce en toda construcción a base de agua, tal como ocurre tanto con la albañilería como con el hormigón.

Dado que hoy en día el tiempo es uno de los factores principales que rigen la construcción no hay tiempo para dejar secar las construcciones, como debería hacerse, ya que tan pronto se termina la obra gruesa es necesario comenzar con las terminaciones.

Los elementos construidos poseen agua. La forma de lograr un equilibrio y que no se produzcan problemas de humedad por esta causa es a través de la evaporación, pero, al no dar un tiempo de secado razonable a los elementos construidos, éstos retienen el agua lo que trae como consecuencia la posterior aparición de manchas en los muros, desprendimientos de pintura o papel mural, mohos, eflorescencias, etc.

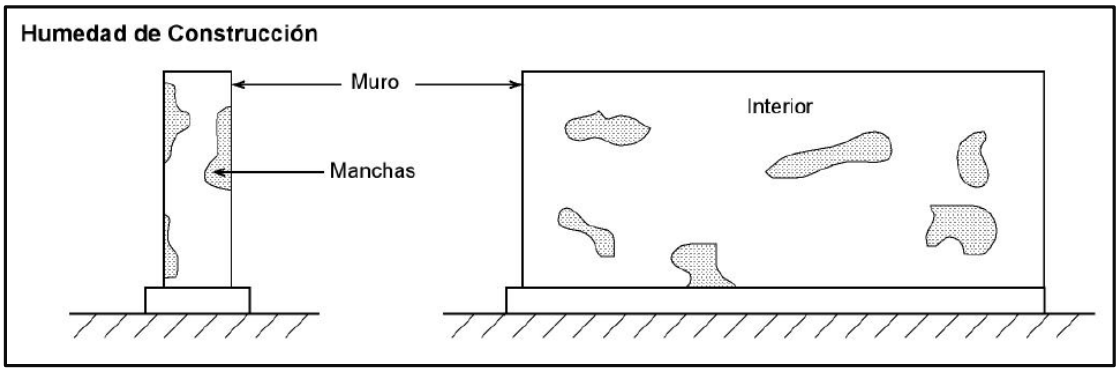


Figura 4. Humedad de construcción, Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Tal como se ve en la Figura 4, este tipo de humedad se presenta en forma de manchas en cualquier parte de la superficie del muro. Esto se explica en que las manchas sólo aparecen en los sectores que no han alcanzado a secarse, lo que depende de factores aleatorios, lo que hace que cualquier parte del muro sea susceptible a este problema, tanto por el interior como por el exterior de la vivienda.

Un elemento puede considerarse seco cuando no se producen intercambios de humedad considerables entre él y el medio ambiente. Para que esto ocurra inciden factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa del aire, la velocidad del viento y otros como la porosidad del material, el ancho del elemento, etcétera.

5.1.2 Humedad de condensación.

Este tipo de humedad se produce cuando el agua contenida en el aire en forma de vapor de agua licúa y se acumula en los elementos más fríos de una vivienda.

Humedad absoluta es la cantidad de agua que contiene el aire (medida en [gr/m3]) y solamente depende de la temperatura. Por otra parte, la humedad relativa del aire puede variar de acuerdo con la temperatura que se presente. El aire es capaz de acumular agua (en forma de vapor) hasta alcanzar la saturación. Es en este punto cuando se habla de 100% de humedad relativa del aire y es entonces cuando se presenta la condensación. No por esto puede suponerse que se debiera tener un ambiente, dentro de la vivienda, con una humedad relativa del aire de 0% ya que el hombre no puede prescindir de cierta humedad relativa en la atmósfera que lo rodea. Una humedad relativa necesaria para mantener el confort de una habitación debe fluctuar entre un 40% y un 60%.

Este ambiente de confort puede verse alterado por diversas fuentes productoras de vapor como es la calefacción (si es que no posee dispositivos de expulsión de gases al exterior), la transpiración de plantas y personas, así como también por condiciones constructivas como el alta tramitancia térmica de ventanas o los puentes térmicos.

Dado que las bajas temperaturas favorecen este tipo de humedad, ésta se presenta en forma estacional, preferentemente en invierno y en ambientes húmedos como cocinas, baños, lavaderos o lugares mal ventilados.

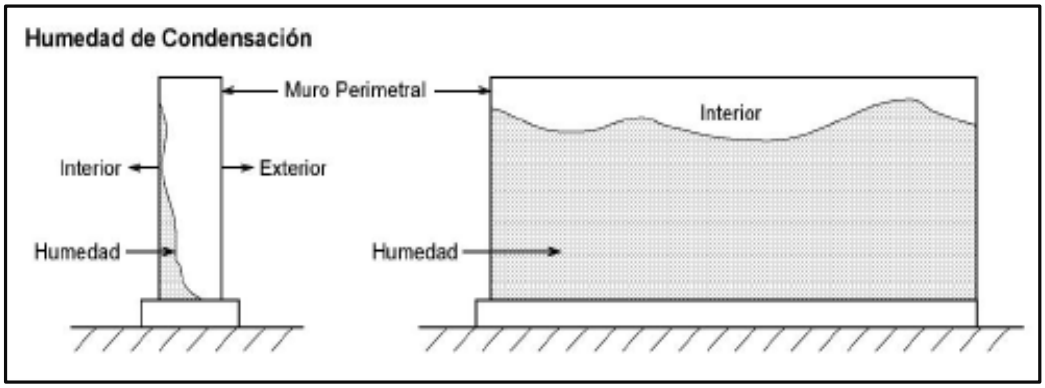


Figura 5. Humedad por condensación. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

5.1.3 Humedad de lluvia.

La lluvia es un fenómeno climático que se produce sobre todo en los meses de mayor frío durante el año. El alcance que tenga una lluvia sobre los muros de una construcción depende de varios factores que no se pueden prever con exactitud al momento de realizar la construcción de una vivienda, como la intensidad y el ángulo de la lluvia y la intensidad y la dirección del viento.

Esto hace que toda edificación sea susceptible a presentar problemas de humedad al momento de presentarse los meses de mayor lluvia si no se toman las medidas adecuadas como impermeabilizar muros exteriores, proteger los muros mediante aleros apropiados y establecer un buen sistema de canales y bajadas de agua. También es necesario controlar la existencia de grietas en muros exteriores ya que éstas facilitan la absorción de agua.

Cuando la lluvia impacta contra un muro, el agua penetra y se propaga en su interior, ya sea un muro de hormigón o de ladrillo, a través de los poros y las grietas del material.

El agua se introduce y avanza a través del espesor del muro. Si la presión del viento y de la lluvia fuese constantes podría esperarse un avance, del frente de humedad, paralelo al muro. Dado que esto no ocurre y junto a que la presión hidrostática del agua presente en el interior del muro varía de acuerdo con la altura, se tiene un frente húmedo diagonal, con un mayor espesor en la parte baja del muro, que disminuye con la altura.

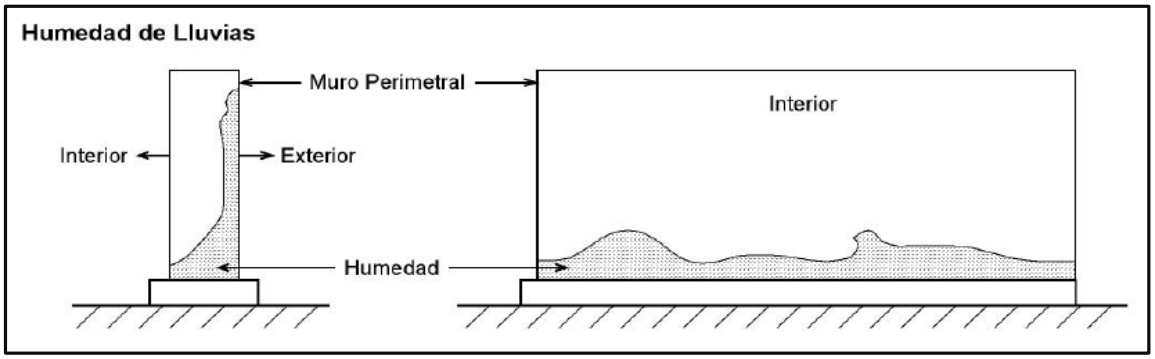


Figura 6. Humedad de lluvia. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

Dado que la lluvia impacta por la superficie externa del muro y penetra hacia el interior de la vivienda, es esa superficie del muro la más afectada por este tipo de humedad haciendo que en el interior de la edificación sólo se aprecien algunas manchas en la parte baja del muro.

Dentro de las soluciones para este tipo de humedad, lo más recomendable es un buen diseño de aleros para proteger de buena manera los muros perimetrales de la casa. Si el efecto del viento es considerable, es recomendable utilizar algún tipo de revestimiento para los muros exteriores para brindar una mayor protección.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

5.1.4 Humedad accidental.

Este tipo de humedad no se produce ni por condiciones climáticas ni por fallas constructivas, sino que tal como lo indica su nombre por accidentes.

Este problema se presenta cuando, por ejemplo, se rompe una cañería. Este es un problema de fácil solución ya que sólo hay que cambiar la cañería rota. Pero puede volverse un problema mayor si no se encuentra el lugar donde se produjo el rompimiento, lo que puede implicar que haya que romper pisos o muros en busca de la fuga. El tiempo que transcurre hasta identificar la pérdida, es el tiempo que el agua se alcanza a apozar lo que puede provocar humedad excesiva si no se cuenta con la aislación adecuada.

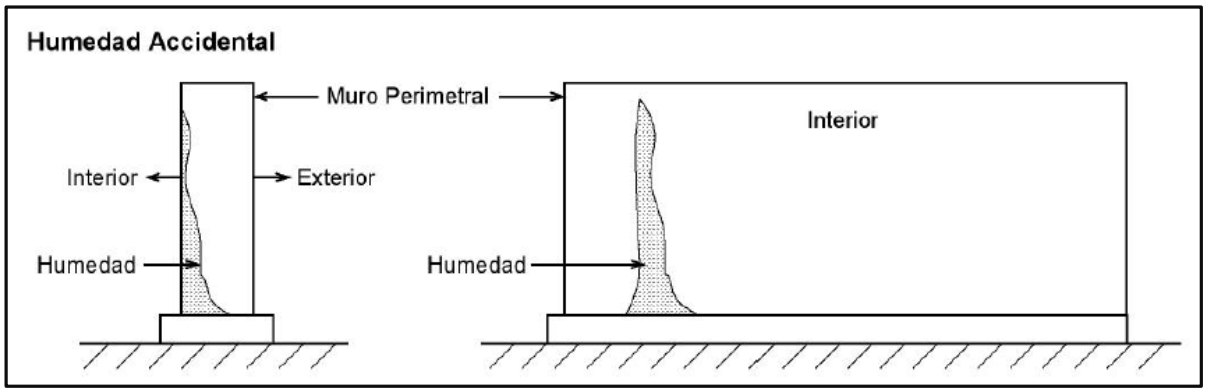


Figura 7. Humedad accidental. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

5.1.5 Humedad proveniente del suelo.

5.1.5.1 Tensión superficial y capilaridad.

La humedad presente en el suelo invade las construcciones ascendiendo por capilaridad a través de los espacios que quedan en el interior de los elementos. A continuación, se explica la teoría que rige este fenómeno.

Los efectos aparentes de tensión que ocurren en las superficies de los líquidos, cuando éstas están en contacto con otro líquido o con un sólido, dependen básicamente de las fuerzas de cohesión y adhesión. Estas fuerzas pueden ser despreciables en muchos problemas de ingeniería, pero en casos como el que se estudia en esta memoria cobran mucha relevancia.

De acuerdo con la ley de gravedad se esperaría que un líquido en reposo dentro de un tubo presentara una isóbara horizontal. Esto no ocurre si es que el tubo es de diámetro suficientemente pequeño (capilar) ya que el nivel del fluido aumenta en las zonas de contacto con el sólido si las fuerzas de adhesión superan a las de cohesión, o disminuye, en caso contrario.

Un claro ejemplo de lo anterior se visualiza cuando se compara el comportamiento de dos fluidos, el agua y el mercurio, al sumergir un tubo capilar en ellos.

El fluido forma un menisco en la parte superior del tubo. Dependiendo de qué líquido se trate, se obtiene un menisco cóncavo (mercurio) o uno convexo (agua). El ángulo que forma

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

la tangente al menisco con la pared del capilar se conoce como θ ángulo de contacto y varía para cada fluido. En aquellos donde las fuerzas de cohesión superan a las de adhesión se cumple θ<90° y por el contrario en los que las fuerzas de adhesión superan a las de cohesión se cumple θ>90°.

Llamando σ a la tensión superficial del líquido al interior del tubo de radio r, se tiene que la fuerza ejercida por ella en el contorno del tubo es $2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma$. La proyección vertical de esta fuerza se obtiene utilizando el ángulo θ y su valor es $2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \cdot \cos(\theta)$. Ésta es la fuerza responsable de elevar o disminuir el nivel del fluido dentro del tubo.

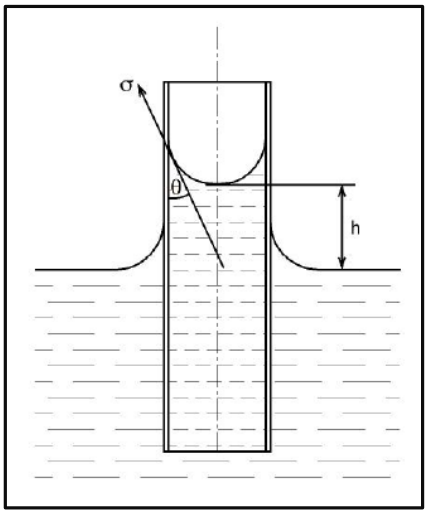


Figura 8. Ascensión de agua en un tubo capilar. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

Teniendo en cuenta que los capilares de los materiales utilizados en la construcción son del orden de 0.1*10-3m, teóricamente puede esperarse una ascensión de agua en los muros de 0.3m por sobre el nivel del suelo. Este número es sólo teórico y hay que tener en cuenta que en la altura que alcanza el agua interfieren otros factores como la consolidación del material, para el caso del hormigón o el tipo de mortero utilizado para armar la albañilería. En la práctica se aprecian ascensiones bastante parejas del orden de los 0.6m, habiendo casos extremos donde los niveles del agua han alcanzado a superar incluso los dos metros de altura.

5.1.5.2 Características de la humedad proveniente del suelo.

El equilibrio hídrico de un muro se efectúa si en él entra por su base tanta agua como la que se evapora por sus caras.

Mientras menor sea el diámetro de los capilares del muro mayor será la ascensión del agua a través de él, apreciándose en algunos casos altura de hasta 2.5m. Estos ascensos de agua se producen en forma relativamente constante en el sentido horizontal del muro y debido a su procedencia, este tipo de humedad afecta principalmente a muros de sótanos y primeros pisos ya que es necesario que los elementos estén en contacto directo con el suelo húmedo para que se produzca el traspaso de agua.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

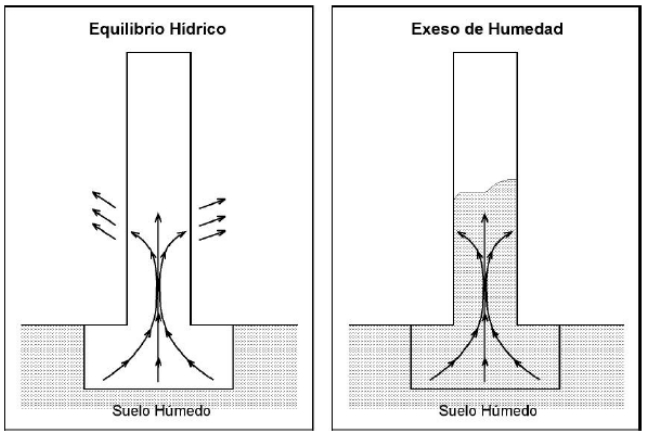


Figura 9. Equilibrio hídrico. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

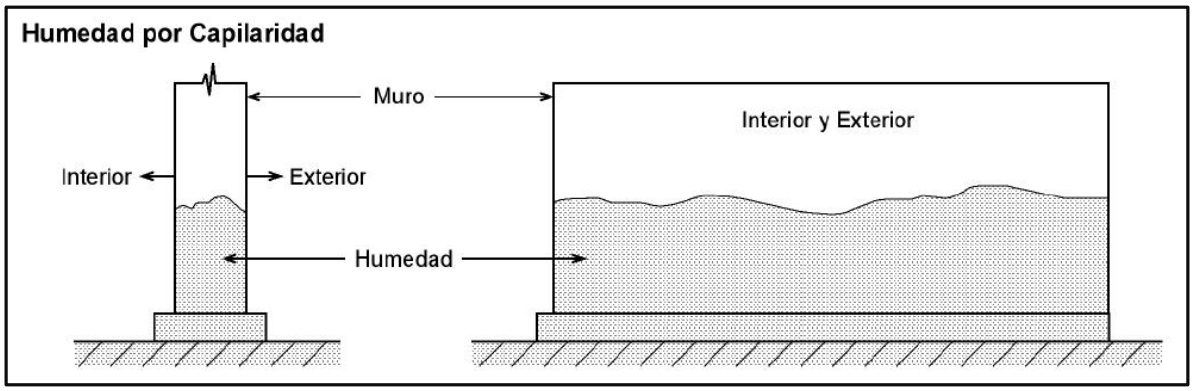


Figura 10. Humedad por capilaridad. Fuente Humedad en edificaciones. Fernández, 2008.

En la figura 9 se aprecia como el muro ve afectadas sus dos caras, tanto la del interior de la vivienda como la del exterior dado que el agua proviene del suelo y asciende en forma relativamente constante a través del eje horizontal del muro.

Dado que el nivel freático no varía notoriamente en pocos metros, otra característica de este tipo de humedad es que afecta por igual a viviendas vecinas siempre y cuando éstas hayan sido construidas con los mismos materiales, ya que distintos materiales poseen diámetros capilares distintos por lo que uno podría verse afectado mientras otro no.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE PATOLOGÍAS

6.1 MARCO PATOLOGICO Y ESTRUCTURAL:

La vulnerabilidad de las estructuras suele reflejase a través de patologías que aparecen en las edificaciones, ocasionando múltiples efectos, desde pequeños daños y molestias para sus ocupantes, hasta grandes fallas que pueden causar el colapso de la edificación o parte de ella.

Una manera sencilla de clasificar las patologías que se presentan en las edificaciones, es subdividiéndolas según su causa de origen. De acuerdo a esto, las patologías pueden aparecer por tres motivos: Defectos, Daños o Deterioro como se observa en la Figura 16.



Figura 11. Clasificación general de patologías en las edificaciones. Modificado CIGIR 2009

6.1.1 Patologías por defectos:

Las patologías que aparecen por defectos, son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, son los efectos que surgen en la edificación producto de un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o un empleo de materiales deficientes o inapropiados para la obra. Para evitar los defectos en las edificaciones, es necesaria la intervención de personal capacitado y honrado durante la elaboración y ejecución del proyecto. Es decir, estas patologías deben ser evitadas, controladas y corregidas por personas expertas. Un defecto en la edificación puede traducirse en altas vulnerabilidades, dejando la estructura expuesta a sufrir daños y deterioros de magnitudes incalculables.

Diversos estudios realizados por diferentes entidades del sector de la construcción han concluido que los daños que surgen en las edificaciones se deben en mayor medida, a los

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

defectos durante las fases de diseño y construcción del proyecto como se muestra en la Figura 12.

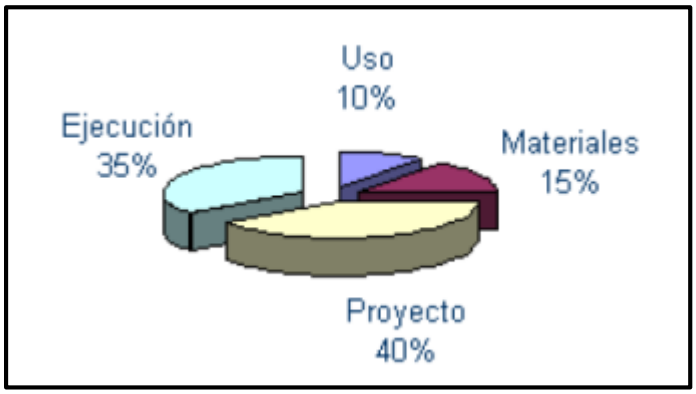


Figura 12. Porcentaje de incidencia de factores en la generación de las patologías. Modificado CIGIR (2009).

Las fases de diseño y construcción son cruciales en la permanencia, durabilidad y conservación de la edificación durante su vida útil, son fases determinantes en el comportamiento de la estructura cuando sea sometida a fuerzas externas, como las impuestas por los sismos, o a cualquier otra carga adicional e imprevista que pueda presentarse.

En términos generales, las cualidades de un buen diseño sismorresistente se pueden resumir en:

- Una configuración estructural apropiada
- Una selección adecuada del tipo de análisis estructural, que conlleve a resultados realistas y evidencie las zonas críticas de la estructura.
- Un dimensionamiento detallado que suministre a la estructura suficiente capacidad de absorción y disipación de energía
- Un sistema de fundaciones que garantice la estabilidad general y la trasmisión eficaz de las cargas al suelo.
- Utilización de materiales de primera calidad.
- Una adecuada ejecución de la obra debidamente controlada por una inspección honesta e inteligente.

6.1.1.1 Defectos en la construcción del proyecto:

Generalmente, la principal causa de defectos en la construcción se debe a la falta de personal calificado en las fases que comprende la ejecución del proyecto. Muchas veces el desconocimiento, la negligencia, la falta de supervisión y control, la escasez de mano de obra especializada o la rapidez exigida para el cumplimiento de los trabajos, impiden la correcta ejecución de las obras, afectando negativamente el resultado final y originando consecuencias que pueden llegar a ser inaceptables.

Todos los individuos involucrados en el proceso constructivo (operadores, maestro de obras, inspectores…) pueden con sus actos o decisiones, afectar el grado de calidad de una construcción. Este problema ocurre principalmente cuando las comunidades llevan a cabo algún proyecto, sin la asesoría e intervención de profesionales calificados.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Comúnmente los daños generados por defectos en la construcción se originan por:

- Errores en el replanteo
- Modificaciones del proyecto
- Incumplimiento de las normativas
- Falta de definición del proyecto
- Modificaciones en los materiales

Algunos de los incontables errores que pueden cometerse en la fase de construcción de una estructura, se presentan en la Tabla 1.

ERRORES EN LA FASE DE REPLANTEO		
DEFECTO	**VARIABLE INCIDENTE**	**DAÑO**
Colocación de las columnas en posición incorrecta	Cuando se coloca el acero de la columna en la cara opuesta a la estimada en el proyecto	Conlleva a modificaciones de las inercias
	Cuando las columnas se colocan giradas	Las columnas tendrán resistencias inferiores a la prevista
Falta de alineación vertical	Cuando el centro de una columna queda desviado con respecto al centro de su columna superior	Genera excentricidades que pueden causar graves problemas en el comportamiento sísmico de la estructura
ERRORES EN LA FASE DEENCOFRADO Y COLOCACION DE ARMADURA		
Recubrimiento excesivo o insuficiente	Exceso de recubrimiento en vigas o columnas.	El concreto sufrirá mayores retracciones, que en ocasiones pueden llegar a romperlo, dejando expuesto al acero
	Recubrimiento insuficiente	El acero se encontrará expuesto a las acciones agresivas del medio ambiente
Insuficiente longitud de anclaje o falta	La barra de acero se desliza en el concreto	Pueden aparecer pequeñas fisuras verticales en la parte superior de la viga, cerca del encuentro con la columna. existe riesgo de inestabilidad al no colaborar el acero y el concreto
Separación inadecuada del acero transversal	Cuando los estribos están muy separados entre sí	Puede originarse el pandeo del acero longitudinal.
		Se disminuye la resistencia a las fuerzas cortantes y a la torsión
		El concreto sufre mayores deformaciones y aparecen fisuras verticales en el centro de las caras

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Separación inadecuada del acero longitudinal	Cuando las barras de acero no están suficientemente separadas entre sí	La armadura muy junta no permite el paso fluido del concreto a través de la misma, lo que ocasiona una mala distribución de los elementos del concreto y por lo tanto, una distribución inadecuada de la resistencia
Falta de acero de retracción	Cuando no se colocan mallas de acero en losas	Se producen grietas producto de cambios de temperatura y retracción del concreto
ERRORES EN LA FASE VACIADO DEL CONCRETO		
Vibrado insuficiente del concreto	Se producen vacíos en el concreto que limitan su adherencia con el acero y no garantizan una distribución uniforme de la mezcla	Resistencia heterogénea dentro del mismo elemento
		Incide en la deformación y ayuda a la formación de grietas
		Facilita la entrada de agua y humedad
Mezcla de concreto inadecuada	Concreto de mala calidad, concreto defectuoso, exceso de agua, empleo de aditivos perjudiciales.	Disminuye la resistencia del elemento.
		Se producen vacíos en el interior del elemento.
		Falta de adherencia
		Facilita la corrosión de la armadura
Curado defectuoso del concreto	Curado defectuoso del concreto	Provoca fisuras, falta de adherencia y resistencia del concreto
		Aumenta los asentamientos
		Aumenta la retracción
Encofrado y desencofrado	Cuando se mueve el encofrado durante el fraguado del concreto	Se originan fisuras longitudinales en las vigas, más abiertas en la parte superior, y que se van cerrando a medida que desciende
	Cuando el desencofrado es inadecuado	Si se desencofra prematuramente, se producen mayores deformaciones
ERRORES EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMNTOS NO ESTRUCTUALES		
Anclaje inapropiado	Paredes, puertas y ventanas no anclados adecuadamente a la estructura	Desprendimiento de los elementos mal anclados

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Incorrecta ejecución de los techos	Colocación de pendientes y solapes inadecuados	Pueden ocasionar filtraciones de agua, conllevando a daños importantes

Tabla 1. Causas y efectos en la generación de patologías en edificaciones. Fuente: Propia.

6.1.1.2 Defectos en los materiales de construcción:

Los materiales para utilizar en la construcción, en especial de edificaciones importantes, deben ser materiales óptimos, que cumplan con requisitos mínimos de calidad, que sean apropiados para resistir las cargas de diseño y las condiciones del medio ambiente, que perduren en el tiempo durante la vida útil de la obra, que no sean culpables de fallas en las estructuras.

Todos los materiales y elementos constructivos deben llegar a la obra en su estado correcto, de manera que posean todas las características físicas, mecánicas y químicas que se les presuponen, ya que éstas serán absolutamente necesarias para que cumpla correctamente la misión que se les va a asignar en la edificación.

Si alguna de las características del material no es la apropiada, resultará más fácil que aparezca alguna lesión o patología en el elemento y, por lo tanto, su durabilidad será menor.

Los posibles defectos en los materiales de construcción son innumerables. A manera de ejemplo se expondrán algunos aspectos vitales en referencia a uno de los materiales más usado en el país: el concreto.

- La mezcla de concreto debe garantizar una apropiada relación de agua-cemento y de agregados-cemento.
- Se debe garantizar el uso de una granulometría adecuada, evitando partículas finas.
- Es conveniente emplear la mínima cantidad de cemento compatible con la resistencia deseada, ya que altas dosificaciones pueden generar retracciones.
- Los concretos muy porosos tienen menor resistencia, mayor retracción y mayor riesgo de ataque de sustancias perjudiciales.
- La proporción de aire en la mezcla deber cuidarse ya que puede disminuir su capacidad y resistencia.
- Los agregados deben contar con características uniformes, una buena distribución del tamaño de las partículas.
- Debe emplearse la cantidad de agua adecuada, su exceso disminuye enormemente la resistencia del concreto.

6.1.1.3 Defectos en el diseño del proyecto:

Muchas veces el diseño errado de una edificación, puede ser el principal causante de sus fallas, especialmente cuando la estructura es sorprendida por la acción de un evento sísmico. Una buena configuración estructural, desarrolla un papel muy relevante en la determinación de vulnerabilidad de toda la estructura, ofreciendo condiciones y características que permiten el comportamiento adecuado de la misma en casos de ocurrencia de los eventos desastrosos más impactantes sobre las mismas, que son los sismos. Una configuración y diseño inapropiados hacen que la estructura sea más vulnerable, presentando debilidades conceptuales que serán severamente penalizadas cuando ocurra un sismo de magnitud considerable.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

La configuración y diseño de una edificación está relacionada con la forma, el tipo, la disposición, la resistencia, la geometría, la fragmentación, entre otros aspectos que puedan presentar los diferentes elementos estructurales o la edificación completa, como estructura global.

Los principales problemas encontrados en el diseño y configuración de las estructuras se relacionan con asimetrías y cambios bruscos de dimensiones, masas, rigideces y flexibilidades como se enuncian en la Figura 13.

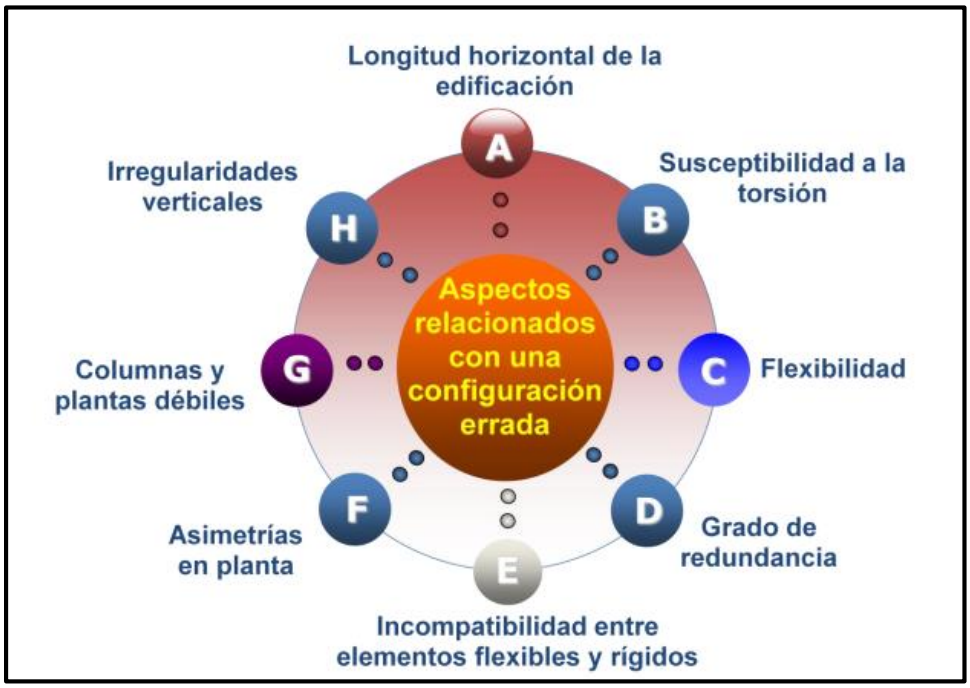


Figura 13. Aspectos para tener en cuenta en el diseño de una estructura. Fuente: Manual de patología (2018).

Uno de los aspectos relevantes en el diseño está relacionado con la flexibilidad, dado que una estructura se define como flexible cuando tiene la capacidad de moverse ante la acción de fuerzas, sin que ello implique su falla por falta de resistencia. La flexibilidad es una característica que le permite a la estructura una mejor disipación de la energía inducida por un sismo a través del suelo.

6.1.2 Patologías por daños:

Las patologías causadas por Daños son las que se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación. Los daños pueden ser producto de la ocurrencia de un evento natural, como un sismo, una inundación, un derrumbe, entre otros. Pero también pueden aparecer daños en las estructuras causados por el uso inadecuado de las mismas, por ejemplo, el caso en el que la edificación es obligada a soportar un peso superior al que fue concebido inicialmente (sobrecarga). Los daños muchas veces son inevitables, pero se pueden disminuir; no podemos impedir que ocurra un evento natural, pero sí podemos hacer que éste no se convierta en un desastre. Se deben concebir estructuras menos vulnerables, evitando los defectos en el diseño, materiales y construcción, seleccionando la ubicación adecuada para la edificación,

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

respetando los criterios de diseño, y muy especialmente, empleando un poco el sentido común.

6.1.3 Patologías por deterioro:

Otro origen de las patologías, puede ser el Deterioro de la edificación. Las obras generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura va presentando manifestaciones que deben ser atendidas con prontitud. La exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol, el contacto con sustancias químicas presentes en el agua, en el aire, en el entorno; hacen que la estructura se debilite continuamente. Por esta razón es de vital importancia para las edificaciones, un adecuado y permanente mantenimiento, que ayuda a prevenir el deterioro normal e inevitable causado por el tiempo.

La sintomatología que presenta una estructura puede ser indicativo de fallas en su seguridad o en su durabilidad. Las estructuras de concreto armado son capaces de presentar numerosos tipos de problemas, que muchas veces pueden ser peligrosos y difíciles de reparar. Las fisuras y grietas son lesiones muy comunes en estructuras de concreto armado, sus causas de origen son múltiples, al igual que sus niveles de daño para la estructura. Algunas de las patologías típicas por deterioro en el concreto se describen a continuación.

6.1.3.1 Fisuras y grietas:

Las fisuras en el concreto se atribuyen a múltiples causas y pueden sólo afectar la apariencia de una edificación, pero también pueden ser indicadoras de fallas estructurales significativas. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración.

Las fisuras son roturas de distintas longitudes, espesores y profundidades, que aparecen en los elementos de concreto armado, y se manifiestan externamente con un desarrollo lineal. En la Figura 14 se describe la clasificación de las fisuras conforme a su comportamiento.



Figura 14. Clasificación de las fisuras conforme a comportamiento. Modificado CIGIR (2009).

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Las causas de origen de una fisura pueden ser múltiples. Entre ellas destacan: curado deficiente del concreto, retracción, variaciones térmicas, ataque químico, cargas externas, cargas excesivas, errores en la ejecución, errores en la concepción del diseño, asentamientos, entre otros.

6.1.4 Tipología de agrietamientos por asentamientos:

6.1.4.1 Asentamientos del terreno:

El cedimiento del plano de asiento del edificio, equivale al descenso de una parte del apoyo de este. Dentro de las causas que generan este comportamiento se encuentran:

- Mala elección del firme.
- Errores en el dimensionado de la cimentación.
- Mala ejecución.
- Inadecuación del sistema constructivo al tipo de terreno.
- Fugas de agua, tubificación, excavaciones próximas.

6.1.4.2 Corrimientos y deslizamientos:

El “corrimiento”, que se da en los edificios exentos y a media ladera. Puede deberse a problemas de fugas persistentes en las tuberías o servicios exteriores de conducciones de agua. El corrimiento es un deslizamiento de la edificación y su manifestación son grietas verticales más anchas por abajo que por arriba, según se aprecia en la Figura 15.

El deslizamiento total del terreno es el caso de movimiento horizontal del mismo como aparece en la Figura 15 y se da en zonas de ruinas, cortes en terrenos en los que existen edificios con grandes cargas, etc.

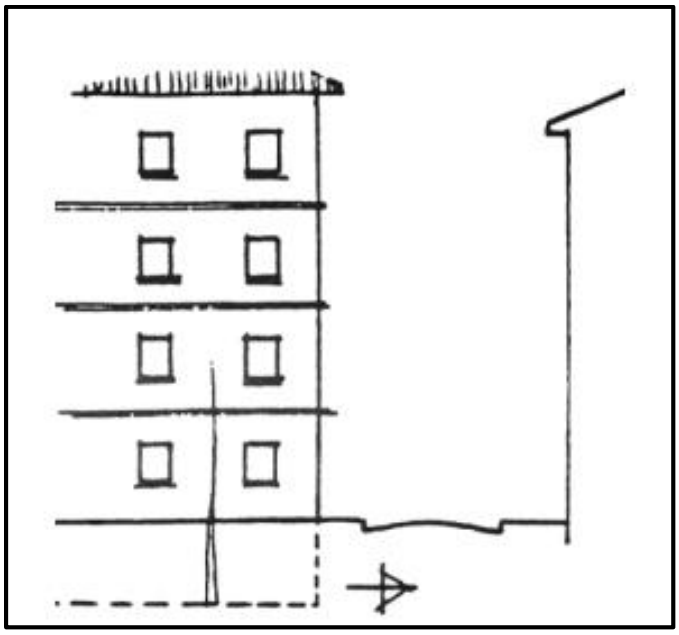


Figura 15. Efectos del corrimiento. Rodriguez (2004).

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

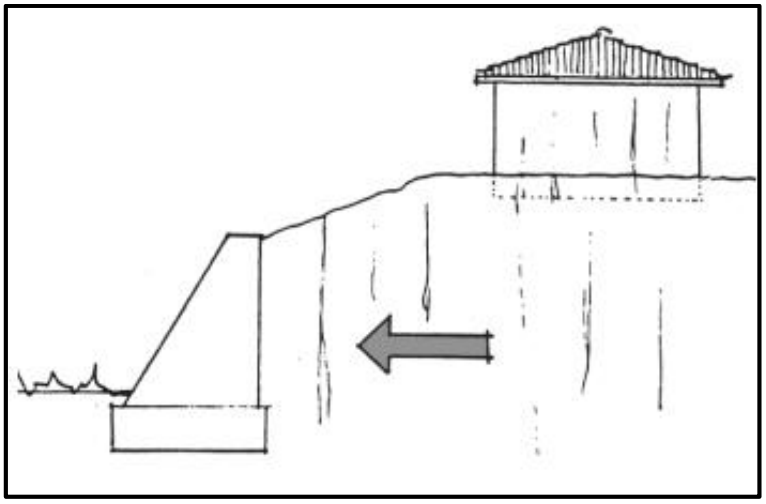


Figura 16. Efectos del deslizamiento. Rodriguez (2004).

6.1.4.3 Agrietamientos por arcillas expansivas:

La patología por arcillas expansivas se produce por los cambios de volumen que las mismas experimentan en función de la presencia o no de humedad en el terreno. De ahí que aún en circunstancias normales los simples cambios de humedad producidos en el suelo por las variaciones estacionales sean suficientes para generar este cambio de volumen generando los efectos que se muestran en la Figura 17.

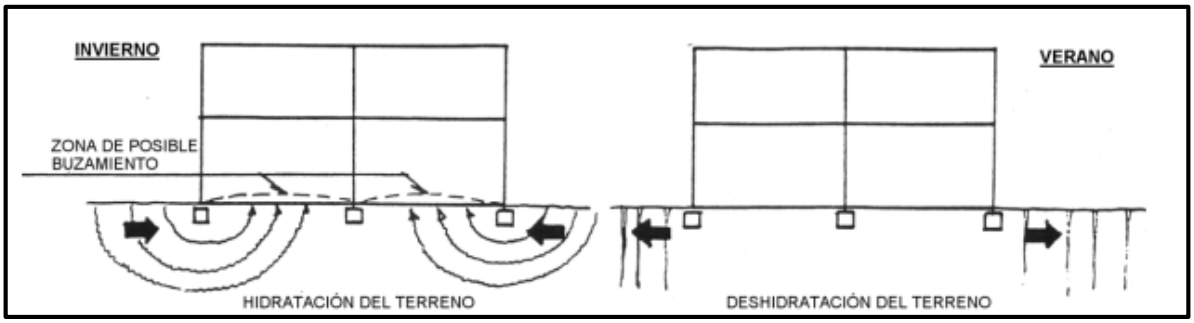


Figura 17. Efectos de las arcillas expansivas en las edificaciones. Rodriguez (2004).

Los efectos por este tipo de problemas son grietas verticales combinados con grietas inclinadas en ambos sentidos. Pero hemos de tener en cuenta cuestiones tales como que los edificios bajos y pequeños son más vulnerables que los altos; o que la cimentación superficial a zanja corrida es más vulnerable que la cimentación profunda y protegida. La Figura 23 representa el comportamiento del suelo de una arcilla expansiva.

Considerando tres puntos en el terreno expansivo, uno en la superficie (A), otro a un metro de profundidad (B) y un tercero por debajo de la cota estándar de humedad (C), en el gráfico de la derecha se representa las variaciones del grado de humedad en función de la estación del año que se representa.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313



Figura 18. Comportamiento de un suelo expansivo a través del año. Rodriguez (2004).

6.1.5 Sistemas estructurales:

6.1.5.1 Sistemas de mampostería:

Son aquellos en los cuales los elementos estructurales están conformados con bloques o ladrillos de concreto o de arcilla cocida, unidos entre sí con mortero de cemento. De acuerdo con su constitución se clasifican, a su vez en:

- **Sistema de mampostería confinada:** Sistema de muros de mampostería confinados perimetralmente por elementos de concreto reforzado con el mismo ancho del muro, ver Figura 20.

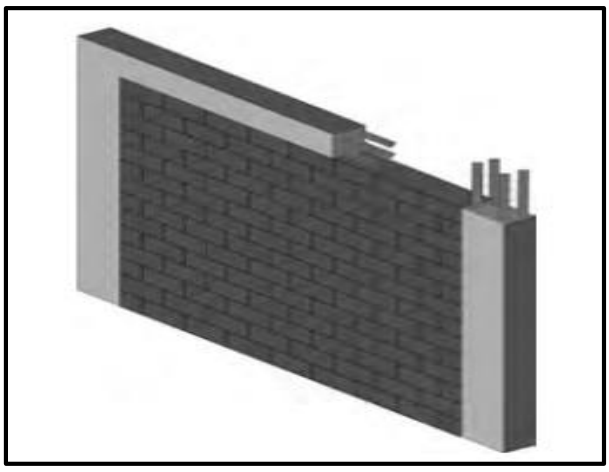


Figura 19. Mampostería confinada. FOPAE (2011).

- **Sistema de mampostería reforzada:** Es el sistema constituido por muros de mampostería cuyas unidades tienen perforaciones verticales en la cuales se colocan las barras de acero de refuerzo. Las perforaciones en las que se coloca acero se inyectan con concreto. El refuerzo horizontal se coloca tanto en las juntas como en cavidades horizontales rellenas de concreto, ver Figura 26.
- **Sistema de mampostería no reforzada no confinada:** Este sistema está constituido por muros sin refuerzo alguno. Las unidades pueden ser de piedra, de arcilla cocida o de concreto, macizas, o huecas. Este sistema está prohibido en zonas de amenaza sísmica intermedia o alta, para construcciones nuevas.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

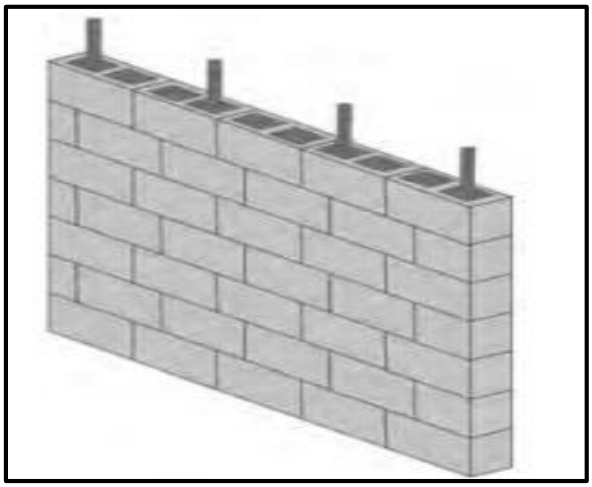


Figura 20. Mampostería estructural. FOPAE (2011).

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

7.0 MARCO ENSAYOS DE LABORATORIO EFECTUADOS EN LA INSTALACIÓN

7.1 Fundamento del ensayo de esclerómetro

Un martillo de acero impacta, con una energía predeterminada, un émbolo de acero en contacto con una superficie de concreto, midiéndose la longitud de rebote del martillo.

La prueba está basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa. En la prueba del martillo de rebote, una masa impulsada por un resorte tiene una cantidad fija de energía que se le imprime al extender el resorte hasta una posición determinada; esto se logra presionando el émbolo contra la superficie del concreto que se quiere probar. Al liberarlo, la masa rebota del émbolo que aún está en contacto con el concreto y la distancia recorrida por la masa, expresada como porcentaje de la extensión inicial del resorte, es lo que se llama número de rebote y es señalado por un indicador que corre sobre una escala graduada. El número de rebote es una medida arbitraria, ya que depende de la energía almacenada en el resorte y del volumen de la masa.

La prueba es sensible a variaciones locales en el concreto; por ejemplo, una partícula grande de agregado inmediatamente debajo del émbolo daría como resultado un número de rebote anormalmente elevado; por el contrario, la presencia de un vacío en el mismo lugar daría un resultado demasiado bajo. El error estándar de la media es más elevado que cuando la resistencia se determina mediante la prueba de compresión, pero el ahorro en esfuerzo, tiempo y costo es considerable.

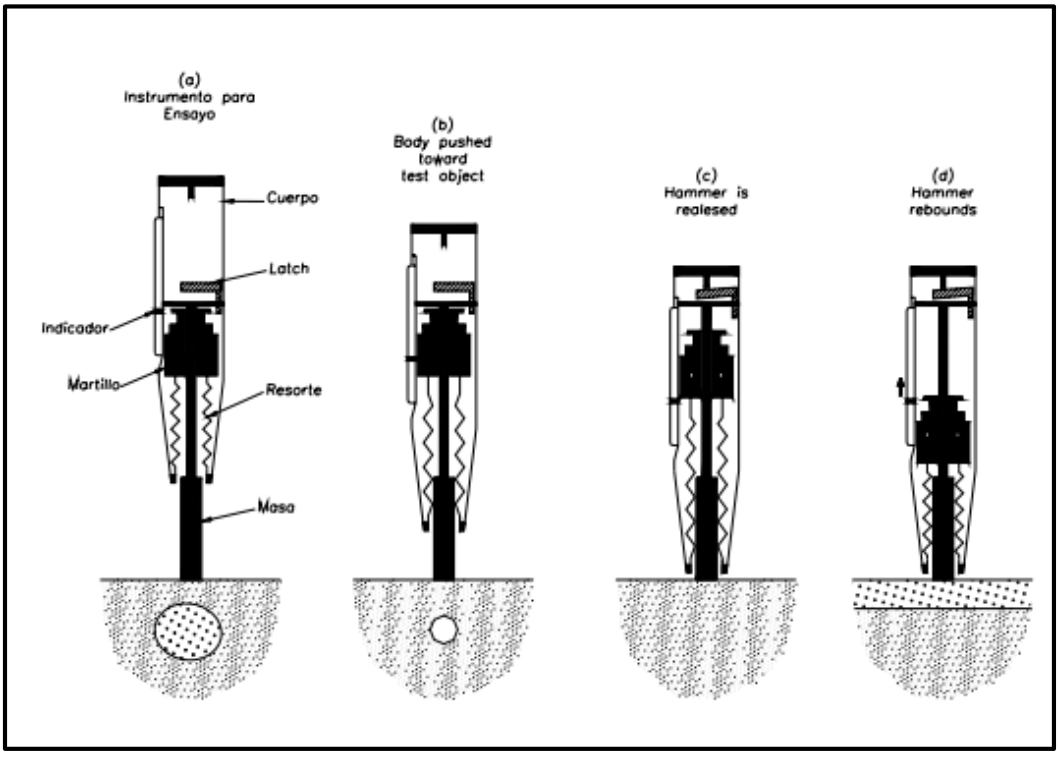


Figura 21. Esquema de funcionamiento esclerómetro. Fuente Malhotra 1976

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

7.1.1 Características del ensayo:

Se definirá la zona de estudio previamente al inicio del ensayo. Las superficies texturadas en exceso, con presencia de polvo o con pérdida de mortero, se alisarán usando la piedra abrasiva, hasta que presenten un aspecto liso. Las superficies obtenidas con encofrados lisos o alisadas pueden ensayarse sin pulido. Se eliminará cualquier presencia de agua sobre la superficie del hormigón…

Los elementos de hormigón a ensayar deberán tener un espesor mínimo de 100 mm y estar solidariamente fijos a una estructura. Se pueden ensayar probetas más pequeñas con la condición de estar firmemente sujetas. Se deben evitar las zonas que presenten exfoliaciones, textura rugosa o alta porosidad.

Para la selección de la zona de ensayo se tendrán en cuenta entre otros factores, los siguientes: resistencia del hormigón, tipo de superficie, tipo de hormigón, humedad de la superficie, carbonatación, movimiento del hormigón bajo ensayo y dirección de ensayo.

Se utilizará el esclerómetro de acuerdo con las instrucciones de manejo del fabricante. Se activa el esclerómetro al menos tres veces, antes de tomar cualquier lectura, para asegurar que funciona correctamente. El esclerómetro se sujetará firmemente en una posición que permita transmitir mediante el vástago un impacto perpendicular a la superficie de ensayo. La presión sobre el vástago ha de ser gradualmente incrementada hasta que se produzca el impacto del esclerómetro. Después del impacto, se anota el valor del índice de rebote.

Se han de tomar, al menos, nueve lecturas con el fin de disponer de una estimación fiable del índice de rebote de la zona de ensayo. Se anotará la posición y orientación del esclerómetro para cada conjunto de lecturas. No se deben elegir dos puntos de impacto a una distancia inferior a 25 mm entre ellos, ni a 25 mm del borde de la pieza. Es recomendable dibujar una cuadricula de líneas separadas entre 25 a 50 mm y tomar las intersecciones de las líneas como puntos de impacto.

Se examina cada huella efectuada en la superficie después del choque y si el impacto aplasta o rompe huecos próximos a la superficie, el resultado obtenido será desestimado.

7.1.2 Importancia y uso:

Este método de ensayo se puede emplear para evaluar la uniformidad del concreto in-situ, delimitar áreas de concreto pobre o deteriorado en las estructuras y estimar la resistencia del concreto en el sitio.

El uso de este método con el fin de estimar la resistencia requiere el establecimiento de una relación entre la resistencia y el índice esclerométrico para una determinada mezcla de concreto y un equipo determinado, dentro del rango de resistencias de interés. La relación se establece correlacionando los números de rebote medidos sobre la estructura con las resistencias de núcleos extraídos de los mismos lugares. Se deben tomar, al menos, muestras duplicadas en cada uno de seis lugares con números de rebote diferentes.

Los sitios de ensayo se deben escoger de manera de obtener un amplio rango de números de rebote en la estructura.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

El empleo de diferentes martillos del mismo diseño nominal puede dar índices que difieren de entre 1 y 3 unidades. Por lo tanto, las pruebas se deben hacer con el mismo martillo, si se quieren comparar los resultados. Si se usa más de un martillo, se deben realizar ensayos sobre un rango de superficies típicas de concreto, con el fin de determinar la magnitud de las posibles diferencias.

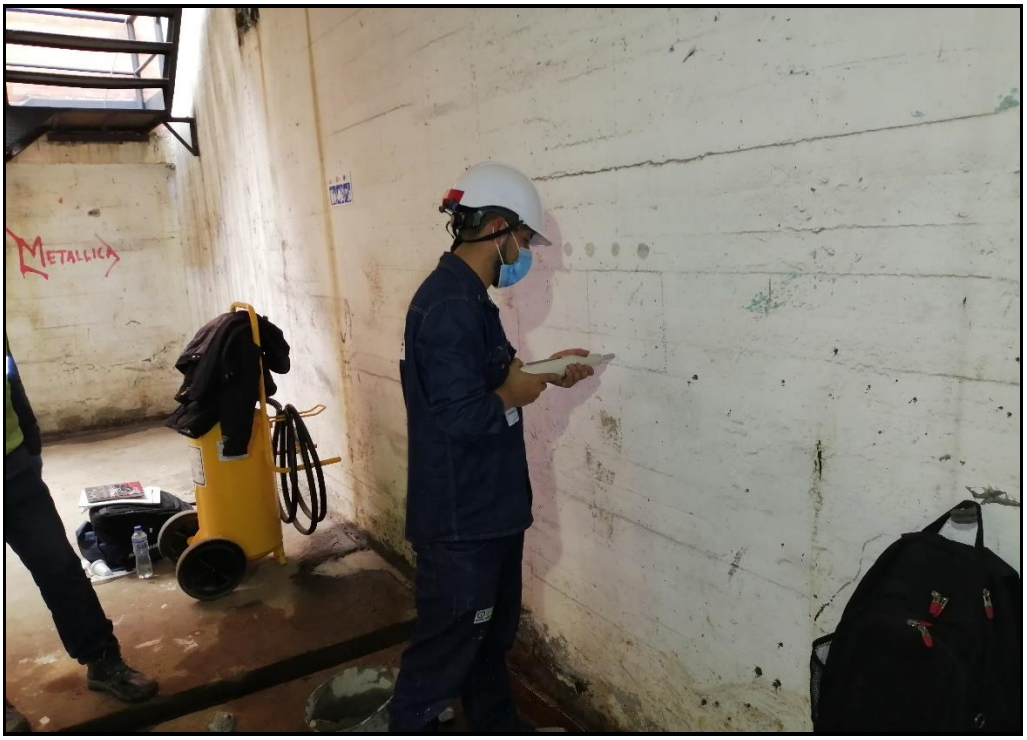


Figura 22. Ensayo de esclerómetro. Fuente: Propia.

7.2 Fundamento del ensayo de eflorescencia

Una de las patologías más frecuentes que se produce en las fachadas y vías con adoquín son las eflorescencias. Se trata de **manchas blanquecinas de aspecto irregular** que aparecen en superficies que han sufrido humedad. Cuando la superficie se seca y el agua se evapora se da la **cristalización de algunas sales solubles** que se encuentran en el agua y así aparecen las eflorescencias.

Los principales causantes de este problema son **las precipitaciones y la humedad** y, por ello, para prevenir y tratar las manchas de eflorescencia será fundamental proteger las superficies frente a estos factores.

7.2.1 Causas y tipos de eflorescencias.

Las eflorescencias, también conocidas como salitre o alcalinidad, además de un problema estético pueden suponer un peligro para el soporte en el que se encuentran, ya que pueden deteriorarlo gravemente. Generalmente, esta patología se da en superficies de hormigón, ladrillo y piedra y estos son algunos de los principales factores que provocan su aparición:

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

- **Materiales de construcción muy porosos** que contienen sales solubles.
- Las inclemencias meteorológicas como **la lluvia y las bajas temperaturas.**
- **La humedad** por capilaridad o por condensación

Se pueden distinguir dos tipos de eflorescencias:

- **Eflorescencia primaria:** es aquella que **se forma en las obras recién acabadas** como consecuencia de la humedad. Aunque su aparición suele ser inevitable, desaparecen al poco tiempo sin dejar rastro.

- **Eflorescencia secundaria:** se trata de aquellas que aparecen en obras más antiguas por **una mala construcción o una elección de materiales inadecuados**. También pueden surgir, como hemos visto anteriormente, por la elevada porosidad o la humedad.

7.2.2 Prevención y tratamiento de las eflorescencias.

Esta patología se puede prevenir de diversas maneras. En el caso de superficies de nueva construcción se debe tener un **especial cuidado a la hora de seleccionar los materiales** adecuados. En esta fase es importante **evitar el uso de aguas calcáreas** y morteros con una alta alcalinidad. También es esencial **respetar los tiempos de secado** de cada material que se emplee en la construcción.

En el caso de superficies ya existentes **es fundamental controlar la humedad**. Como se ha explicado antes, tanto la humedad por condensación como la humedad por capilaridad pueden causar eflorescencias. Cada una de ellas se debe tratar de una manera distinta: en el caso de las condensaciones la solución es aplicar un sistema de aislamiento térmico; mientras que **para tratar la humedad por capilaridad se necesitará una mejora constructiva**, ya que estas provienen del subsuelo.



Figura 23. Eflorescencia en fachada. Fuente: Propia.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Sin embargo, si las manchas causadas por las eflorescencias ya han hecho su aparición, entonces **la medida principal será la limpieza** y, posteriormente, la aplicación de una nueva medida de protección para el soporte. La manera más fácil de eliminarlas es mediante **agua a presión y un cepillo**, pero en ocasiones es necesario el uso de un limpiador específico para este tipo de patologías. Tras la limpieza es importante dejar que se seque bien la superficie para evitar que aparezcan de nuevo las manchas o problemas de humedad.

Para completar el proceso y evitar que vuelvan a aparecer estas antiestéticas manchas es conveniente **aplicar una protección extra a la fachada con un mortero de reparación** y pinturas con protección a la humedad y otro tipo de productos para tal fin que se consiguen en el mercado.

7.3 Fundamento del ensayo de Carbonatación

La alta alcalinidad del hormigón, que promueve la formación de una capa de óxidos sobre el acero, es debida principalmente a la portlandita formada durante la hidratación de los compuestos anhidros del cemento y a los hidróxidos de sodio y potasio presentes. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros del hormigón en valores entre 12,6 y 14, en el extremo más alcalino de la escala de pH. El descenso de la alcalinidad se produce principalmente por reacción de los compuestos de carácter básico de la fase acuosa del hormigón, hidróxidos de sodio, potasio y calcio, con los componentes ácidos de la atmósfera, dióxido de carbono (CO2) y de azufre (SO2), para formar carbonatos, sulfatos y agua. Puesto que el CO2 se encuentra en mayor proporción en el aire que el SO2, este proceso de descenso de la alcalinidad se denomina genéricamente carbonatación.

Además del efecto en la corrosión del refuerzo, la carbonatación puede dar lugar a aumentos en las resistencias a tracción y a compresión de las zonas afectadas, así como a tensiones y micro fisuración. Asimismo, dado que durante la reacción el CO2 atmosférico se fija de forma irreversible, la carbonatación del hormigón es también muy importante desde el punto de vista medioambiental.

Las moléculas de CO2 penetran en el hormigón a través de los poros capilares no saturados de agua y posteriormente se disuelven en la fase acuosa contenida en esos poros. Los iones $CO3^{2-}$ generados reaccionan con los iones Ca^{2+} presentes formando carbonato cálcico (CaCO3). Esta reacción se puede producir tanto con los iones Ca^{2+} de la portlandita como con los del gel C-S-H. Las reacciones simplificadas son las siguientes:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \overset{H_2O}{\longleftrightarrow} CaCO_3 + H_2O$$

$$C\text{-}S\text{-}H + CO_2 \overset{H_2O}{\longleftrightarrow} CaCO_3 + SiO_2 \cdot xH_2O$$

La carbonatación del C-S-H produce una descalcificación del gel y una polimerización de los silicatos, llegando en último término a formar, junto con el carbonato cálcico, un gel de sílice hidratado. El CaCO3 precipita en la mayoría de los casos en forma de calcita, aunque en determinadas condiciones se pueden generar también los polimorfos aragonito y vaterita.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Además de la portlandita y el C-S-H, las fases hidratadas AFm y AFt, aluminatos y sulfoaluminatos, también sufren transformaciones como resultado de la presencia del CO2. La carbonatación de la fase tipo AFt denominada ettringita da lugar a la formación de CaCO3, yeso y gel de alúmina. El comportamiento de las fases AFm en presencia de CO2 varía en función de su composición y de la concentración de aluminatos y sulfatos.

Los principales factores que hay que considerar en la carbonatación del hormigón son la porosidad, el tipo y la cantidad de cemento, el nivel de compactación, el tipo y el tiempo de curado, la relación agua/cemento, y las condiciones ambientales. La porosidad del hormigón es un parámetro fundamental en la carbonatación, puesto que la red de poros constituye el camino de avance del CO2 proveniente del exterior. A su vez, la porosidad está condicionada por el tipo y la cantidad de cemento, el nivel de compactación, el tiempo y tipo de curado y la relación agua/cemento. Un mal curado o una mala compactación del hormigón pueden dar lugar a una elevada porosidad, especialmente en la superficie externa del hormigón. En general, y dentro de unos límites aceptables de hidratación, una baja relación agua/cemento produce un hormigón menos permeable por la formación de poros pequeños no interconectados.

El tipo de cemento también influye en las condiciones de avance de la carbonatación, ya que el contenido en aluminatos y álcalis de las adiciones puede modificar la velocidad de avance del frente. La cantidad necesaria de CO2 para bajar el pH hasta rangos casi neutros, en los que las armaduras dejan de estar protegidas, variará en función de la reserva alcalina que el cemento aporte al hormigón, la cual depende tanto del tipo como de la cantidad de cemento utilizado.

Las condiciones ambientales determinan el contenido de humedad en el hormigón, que a su vez determina el grado de saturación de agua en los poros, parámetro fundamental en el proceso de carbonatación. A humedades bajas, por debajo del 50%, la velocidad de carbonatación se reduce por la necesidad de una presencia mínima de agua para la reacción de la portlandita, mientras que a humedades muy altas el agua de los poros dificulta la difusión del CO2 a través de ellos. Así, la carbonatación presenta un máximo para humedades relativas alrededor del 50-60%. También la temperatura influye en el contenido de humedad del hormigón y en la difusión del CO2. Además, la mayor o menor concentración de dióxido de carbono en el ambiente de exposición modifica la velocidad de reacción y la evolución del agua dentro del hormigón.

7.3.1 Indicador de ph disolución de fenolftaleína:

El indicador de pH de fenolftaleína permite diferenciar tres zonas de pH, inferior a 8, donde la disolución se torna incolora, entre 8 y 9,5, donde adquiere una tonalidad rosa suave, y mayor de 9,5, donde adquiere un color rojo púrpura intenso.

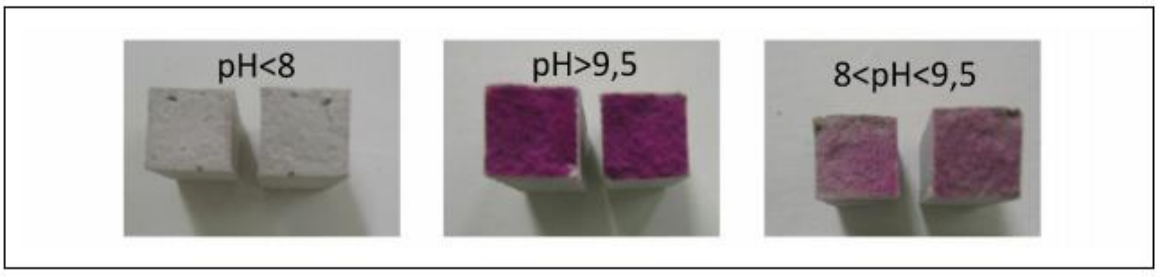


Figura 24. Identificaciones de zonas de pH según coloración del material.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

El ensayo de coloración por fenolftaleína se realizó fracturando la probeta en dos, según la norma UNE 112-011-94. Una vez fragmentada la probeta, se retira el polvo superficial de las caras recién fracturadas con un pincel e inmediatamente se aplica mediante un pulverizador la disolución de fenolftaleína al 1% en alcohol etílico. En pocos minutos se produce la coloración de las diferentes zonas y mediante un calibrador se mide la profundidad de carbonatación.

7.4 Fundamento del ensayo de compresión de núcleos

Cuando se tienen dudas en cuanto a resistencia del concreto usado en una estructura, ya sea porque no se tomaron las respectivas muestras de control (cilindros), porque las muestras arrojan resultados inferiores a los esperados o porque el concreto muestra signos de deterioro o un aspecto que pone en duda la resistencia del concreto utilizado en la estructura, se puede realizar ensayos sobre el concreto de la estructura que permiten determinar la resistencia del concreto utilizado.

En la norma NSR-10 título (C) parágrafo C.5.6.5, se plantea como posibilidad la extracción de núcleos y posterior ensayo de compresión para determinar un valor de resistencia muy próximo al real del concreto usado en la estructura.

Cuando se toma esta alternativa debemos entender inicialmente que los núcleos que se tomen no tendrán resistencias iguales a la expresada teóricamente, para el concreto que inicialmente fue vaciado en los elementos estructurales. Los métodos de curado, tamaños de la muestra y condiciones de obtención de estas, afectan directamente los resultados.

Si se tienen dudas y esta es la última opción, se toman núcleos de concreto, de los elementos en duda, teniendo en cuenta que, si el concreto fue utilizado en varios elementos estructurales, podemos dividir la toma de los núcleos en los elementos que considere la obra. Esto será representativo.

Los núcleos no deberían tomarse hasta tanto el concreto no haya endurecido totalmente, permitiéndonos obtener una muestra que no afecte el entrabamiento entre el mortero y el agregado grueso. Usualmente 14 días, es el límite mínimo que se debería contemplar para la extracción.

El número mínimo de núcleos a tomar es tres, y estos deben representar fielmente al concreto en duda. Desde el momento de la extracción se deben tener los cuidados necesarios para la misma: Se debe contar con personal profesional en estos temas, ya que desde ahí la prueba tendrá menos condiciones que puedan afectar el resultado final.

Los diámetros de estos especímenes usualmente deben estar por encima de 50 mm; o que su diámetro sea mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en el concreto. La longitud corresponde a dos veces el diámetro del núcleo.

Debemos decir que la longitud siempre debe estar ajustada a la medida del diámetro, sin embargo, alturas inferiores a 100 mm, pueden no ser recomendables.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Es importante orientar al profesional que efectúe la extracción sobre las características en cuanto al acero presente en la estructura, ya que núcleos con presencia de acero en su conformación, no deben ser ensayados. Si lo vemos con una mirada crítica, el elemento en duda por resistencia no puede ser afectado adicionalmente cortando el acero de este.

Luego de la extracción del núcleo, el mismo debe ser introducido en una bolsa hermética, que no permita alteraciones de ningún tipo. Debe ser llevado al laboratorio y almacenado en las mismas condiciones que estará el elemento estructural en duda. Deben estar a temperatura ambiente, no hay que suministrarle ningún tipo de curado ya que estas condiciones pueden afectar el resultado final. Cuando el elemento en duda vaya a estar sometido a condiciones de humedad permanente, el núcleo se mantiene a temperatura ambiente, y antes del ensayo, se sumerge en agua con cal por lo menos durante 40 horas.

Cuando se toma la alternativa de utilizar este tipo de metodología para solucionar dudas de resistencia en una obra, el tratamiento que se dé a esta muestra es importante en términos generales. Luego de la extracción cortar el núcleo a la longitud requerida es una actividad que requiere toda la atención posible para no alterar el espécimen por este proceso.

Preparar la muestra para el ensayo en este caso de compresión, significa colocar una película de recubrimiento sobre las caras del núcleo, que deje perfecta el área de exposición del esfuerzo que aplicará la máquina de ensayo. El recubrimiento es un mortero no adherido o en muchos casos azufre, que puede llegar a tener la resistencia adecuada para el ensayo. Este proceso es conocido como capinado. Se debe tener en cuenta que luego de colocar esta película, el ensayo se debe realizar después de mínimo una hora. Sobra decir que la máquina de ensayo debe garantizar una velocidad constante al espécimen, en un tiempo determinado, la ruptura no debe ser inmediata y la velocidad de ensayo depende del área transversal del espécimen.

Los resultados finales son calculados con base en factores de corrección del espécimen que son conocidos como factores de esbeltez. Estos dependen básicamente de la longitud con la cual quedaron luego del corte y capinado. [1]

Dichos resultados son evaluados bajo dos principios básicos que cita la NSR-10:

7.4.1 Extracción corte y compresión de núcleos de concreto: El ensayo permite la evaluación de la resistencia del concreto a partir de especímenes representativos obtenidos por extracción. Esta evaluación se realiza cuando se desea conocer la resistencia a la compresión del concreto en una estructura existente.

7.4.2 Selección de los sitios de muestreo: Los sitios de toma de muestras de concreto se determinaron de tal manera que no hubiera afectación del acero de refuerzo debido al

[1] Blog 360° en concreto, examinando y tomando muestras de concreto endurecido.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

proceso de corte, para esto se utilizó un detector de metal, se marcaron los sitios donde no hay riesgo de corte de varillas y en estos lugares se procedió a la extracción de los núcleos.

7.4.3 Extracción: El proceso de obtención de núcleos de concreto se realizó conforme a los procedimientos descritos en la Norma Técnica Colombiana NTC 3658, en primer lugar se marcaron los sitios en donde se tomarían las muestras, se empleó un detector de refuerzo para identificar los sitios en donde se encontraba el acero, posteriormente el taladro fue armado en el lugar de la extracción de tal manera que este quedara firme y no presentara movimientos que pudieran distorsionar o afectar la muestra, a continuación se niveló el motor con la broca para extraer núcleos perpendiculares al sitio de toma.



Figura 25. Montaje típico para la extracción de núcleos de concreto. Fuente: Propia.

El taladro se coloca de manera perpendicular a la superficie donde será extraído el núcleo y se inicia el proceso de corte. Una vez extraído el núcleo este se mide y se registra cualquier particularidad que esté presente.

Los núcleos son manipulados cuidadosamente, se envuelven en papel burbuja y posteriormente son depositados en cajas de icopor para ser transportados de manera segura al laboratorio.

7.4.4 Corte: Una vez los núcleos llegan al laboratorio son cortados con una relación longitud / diámetro de 2, se cuidó que las bases del núcleo (zonas de corte) quedaran totalmente lisas y perpendiculares al eje longitudinal del núcleo.

7.4.5 Acondicionamiento a la humedad: Dado que la estructura en sus condiciones normales de servicio se encuentra en estado seco, los núcleos se dejaron secar al aire durante 7 días siguiendo los procedimientos descritos en el numeral 7.3 de la norma NTC 3658 para luego ser refrentados.

7.4.6 Refrentado: Antes de realizar el ensayo de compresión en los núcleos extraídos se realizó el proceso de Refrentado siguiendo los parámetros establecidos en la norma NTC 504, esto con el propósito de garantizar una adecuada distribución de los esfuerzos producidos por la aplicación de la carga.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

7.4.7 Mediciones: Una vez fueron refrentados los núcleos estos se midieron tanto en longitud como en diámetro con un calibrador pie de rey con precisión de 0.1 mm, estas medidas se utilizaron para realizar los cálculos de relación longitud/diámetro.

También se realizaron medidas de masa con el propósito de hacer cálculos de densidad para los diferentes especímenes objeto de ensayo.

7.4.8 Ensayo de resistencia a la compresión: Una vez los núcleos son refrentados y medidos, se procede a realizar el ensayo de compresión siguiendo las indicaciones establecidas en la norma NTC 673.

7.5 Fundamentos del ensayo con FERROSCAN

A continuación, se presentan las características de los ensayos de Detección del refuerzo utilizando FERROSCAN.

El sistema Ferroscan FS 10 sirve para detectar una posición, determinar la profundidad y estimar el diámetro de hierros de armadura según se establece en los datos técnicos.

La herramienta se puede utilizar para diferentes aplicaciones de detección para armaduras de hormigón.

7.5.1 Aplicación

- Evitar los hierros de armadura al perforar sencillamente o con saca núcleos.
- Posición y diámetro para controles de carga.
- Definición de la cubierta sobre zonas amplias.

7.5.2 Funcionamiento

El principio de funcionamiento del sistema está basado en el desplazamiento directo del escáner sobre la superficie de la obra. Los datos recogidos se almacenan en el escáner hasta que puedan transferirse al monitor. El monitor se utiliza para almacenar grandes volúmenes de datos y poderlos visualizar. Además, se puede utilizar para el análisis in situ. Los datos pueden descargarse también en el PC. El software del PC ofrece opciones de análisis avanzadas y la posibilidad de imprimir rápidamente informes completos, así como de archivar datos.

7.5.3 Potencia de medición del sistema

Se deben cumplir las siguientes condiciones para obtener valores de medición fiables:

- Superficie del hormigón lisa y plana.
- Hierros de armadura no corroídos.
- La armadura debe estar paralela respecto a la superficie.
- El hormigón no contiene áridos o componentes con propiedades magnéticas.
- Los hierros de armadura deben estar exactamente a ± 5° en perpendicular respecto a la dirección de exploración.
- Los hierros de armadura no están soldados.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

- Los hierros adyacentes tienen un diámetro similar.
- Los hierros adyacentes tienen la misma profundidad.
- No debe haber interferencias de campos magnéticos externos u objetos cercanos con propiedades magnéticas.
- Los hierros deben tener una permeabilidad magnética relativa de 85–105.
- Las ruedas del escáner están limpias de arena o cualquier tipo de suciedad similar.
- Las 4 ruedas del escáner se dirigen al objeto que se pretende medir.

7.5.4 Proceso de ensayo

Se selecciona la opción Imagescan, la cual se utiliza para crear una imagen de la disposición de los hierros de armadura. Pueden determinarse estimarse la profundidad y el diámetro de los hierros de armadura.

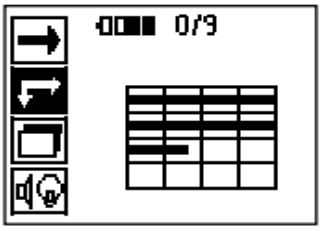


Figura 26. Selección de función de ensayo. Fuente Manual del usuario Hilti PS 200 / PS250

En primer lugar, se fija una cuadrícula de referencia en la pared. En la pantalla aparece una representación de la cuadrícula y se propone un punto inicial (triángulo). Este punto siempre se encuentra arriba a la izquierda, que sirve para la mayoría de las exploraciones. Los datos de imagen solo se muestran para las zonas de la cuadrícula que han sido exploradas tanto vertical como horizontalmente. En ciertos casos, los obstáculos pueden impedir que se proponga un punto de partida en la zona de exploración.

Se coloca el escáner en el punto inicial indicado por la flecha parpadeante. Se comprueba que las marcas de orientación del escáner se han orientado correctamente respecto a la cuadrícula de referencia, tal como se mostraba anteriormente.

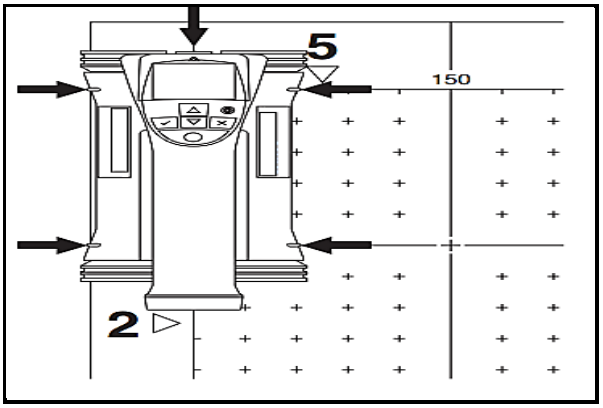


Figura 27. Localización punto de partida. Fuente Manual del usuario Hilti PS 200 / PS250

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Se pulsa la tecla de registro y se desplaza el escáner a lo largo de la primera línea. El progreso de la exploración se muestra por medio de una línea negra ancha que avanza por la pantalla a medida que el escáner se desplaza por encima de la superficie.

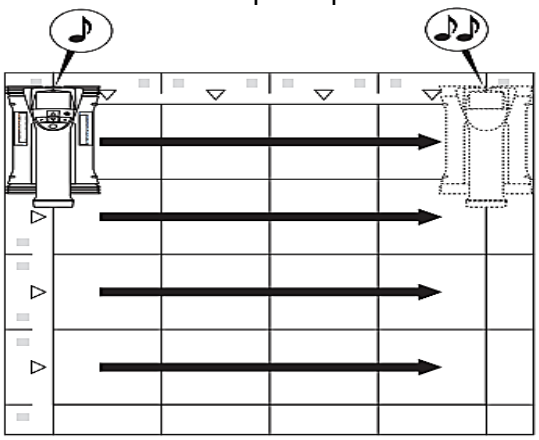


Figura 28. Desplazamiento y ensayo. Fuente Manual del usuario Hilti PS 200 / PS250

El procedimiento se repite para cada línea y columna y observe las peticiones que aparecen en pantalla.

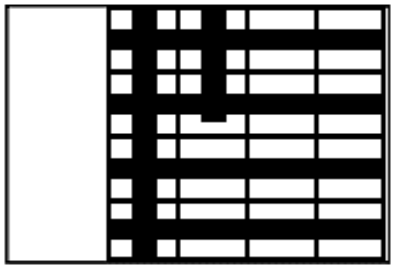


Figura 29. Cuadricula de ensayo. Fuente Manual del usuario Hilti PS 200 / PS250

Debe tenerse en cuenta que no se creará ninguna imagen para las zonas de la cuadrícula de referencia que no se hayan explorado en ambas direcciones.



Figura 30. Ensayo de FERROSCAN. **Fuente**: Propia.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

7.6 Fundamentos del ensayo de ultrasonido

Un pulso de vibraciones longitudinales es producido por un transductor electroacústica puesto en contacto con una de las superficies del elemento de concreto bajo estudio. Luego de atravesar una longitud conocida (L) en el concreto, el pulso de las vibraciones es convertido en una señal electroacústica por un segundo transductor. Circuitos electrónicos permiten medir el tiempo de tránsito del pulso (T).

La velocidad del pulso (V) expresada en km/s o en m/s viene dada por:

$$V = \frac{L}{T}$$

Donde:

L = longitud de la trayectoria
T = tiempo que requiere el pulso para atravesar tal longitud.
Se usa un pulso de vibraciones ultrasónicas en lugar de una frecuencia sónica por dos razones fundamentales:

a) Para dotar al pulso de un frente de entrada nítido
b) Para generar la máxima energía en la dirección de propagación del pulso.

Cuando el pulso es introducido por un transductor en el concreto, experimenta múltiples reflexiones en las interfases de los diferentes materiales que componen el concreto. Se desarrolla entonces un complejo sistema de ondas de tensión que incluyen ondas tanto longitudinales como transversales propagándose dentro del concreto. El transductor receptor detecta la llegada de la componente del pulso que arribe primero.

7.6.1 Exactitud de la medición de la longitud de la trayectoria del pulso

La exactitud requerida en la medición de la longitud de la trayectoria del pulso debe ser de ± 1 %. En el caso de que la medición de esta longitud no sea físicamente posible, se debe usar la dimensión nominal y la tolerancia, de acuerdo con lo especificado por el fabricante, y se debe informar el hecho de que la longitud no se pudo medir. Cuando se hacen ensayos de determinación de velocidad de pulso en esta forma, sobre trayectorias menores a 300 mm, se producen errores inaceptables.

7.6.2 Instalación de los transductores

El transductor receptor detecta la llegada del componente del pulso que llega primero. Este es generalmente el frente de entrada de la vibración longitudinal. Si bien la dirección en la cual la máxima energía es propagada forma ángulos rectos con la cara del transductor transmisor es posible detectar pulsos que han viajado a través del concreto en cualquier otra dirección. Es factible, por lo tanto, realizar mediciones de velocidad de pulso colocando los transductores sobre:

- Caras opuestas (transmisión directa)

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

- Caras adyacentes (transmisión semidirecta)
- La misma cara (transmisión indirecta o de superficie)

Estas tres formas de instalación de los transductores se muestran en las Figura 31.

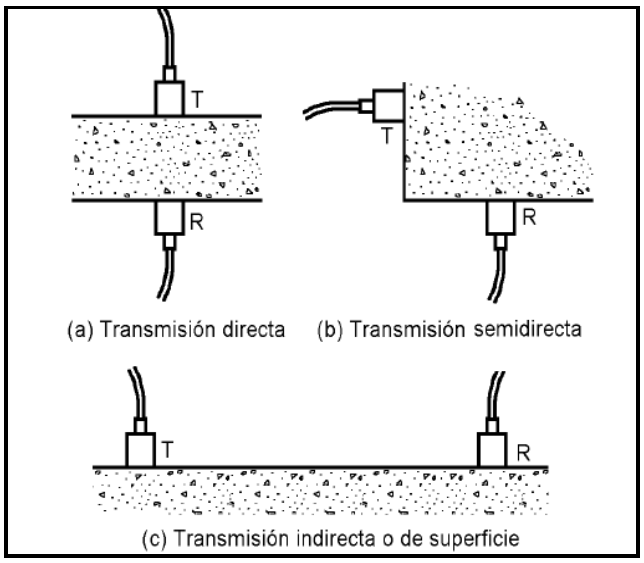


Figura 31. Métodos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos. Fuente NTC 4325

7.6.3 Factores que influyen en las mediciones de velocidad del pulso

Es necesario tener en cuenta varios factores que pueden influir en la velocidad del pulso y su correlación con varias propiedades físicas del concreto, si se quiere obtener mediciones de velocidad de pulso reproducibles y que dependan exclusivamente de las propiedades del concreto bajo estudio.

a) CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad tiene dos efectos sobre la velocidad del pulso, uno químico y el otro físico. Estos efectos son de importancia al establecer correlaciones para estimar la resistencia a compresión del concreto. Entre la velocidad del pulso a través de un cubo estándar de concreto, adecuadamente curado, y la velocidad del pulso a través de un elemento estructural elaborado con el mismo concreto hay diferencias significativas. La diferencia más importante está relacionada con el efecto de diferentes condiciones de curado sobre la hidratación del cemento, mientras que la presencia de agua en los poros tiene un efecto menor. De todas maneras, es de importancia tener en cuenta todos estos efectos al estimar la resistencia.

b) LONGITUD DE LA TRAYECTORIA

La longitud de la trayectoria sobre la cual se va a determinar la velocidad del pulso debe ser lo suficientemente larga para que no se vea influenciada de manera significativa por la heterogeneidad natural del concreto. Se recomienda que la longitud mínima de trayectoria del pulso sea de 100 mm para concreto con agregado de tamaño máximo nominal menor o igual a 20 mm y de 150 mm para concreto con agregado de tamaño máximo nominal

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

entre 20 mm y 40 mm. La velocidad del pulso no se ve, por lo general, afectada por los cambios en la longitud de la trayectoria, sin embargo, el aparato de control electrónico del tiempo puede mostrar una tendencia a reducir ligeramente la velocidad cuando se incrementa la longitud de la trayectoria. Esto se debe a que los componentes del pulso de frecuencia más alta se ven más atenuados que los componentes de menor frecuencia y la forma del frente de entrada se hace más redondeada al incrementarse la distancia recorrida. De esta manera, la aparente reducción en la velocidad del pulso surge de la dificultad de definir exactamente el frente de este y esto depende del método particular que se use para su definición.

c) FORMA Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN

La velocidad de pulsos cortos de vibración es independiente del tamaño y la forma del espécimen en el cual viajen, excepto cuando la menor dimensión lateral del elemento sea menor que un cierto valor mínimo. Por debajo de este valor, la velocidad del pulso puede verse reducida considerablemente. El tamaño de la reducción depende primordialmente de la relación entre la longitud de onda de la vibración del pulso y la menor dimensión lateral del espécimen, pero es insignificante si dicha relación es menor que la unidad.

d) EFECTO DEL ACERO DE REFUERZO

La velocidad del pulso medida en concreto reforzado en la vecindad del acero de refuerzo es normalmente mayor que en concreto que tenga la misma composición, pero no esté reforzado. Esto se debe a que la velocidad del pulso en el acero es hasta dos veces mayor que en el concreto simple y, bajo ciertas condiciones, el primer pulso en llegar al transductor receptor viaja parcialmente en el concreto y parcialmente en el acero.

7.6.4 NSR-10

Los ensayos con ultrasonido están descritos en la norma técnica colombiana NTC 4325 y en las normas de construcción sismo-resistente NSR-10, sección CR.5.6-comentarios, donde se menciona:

"Los ensayos no destructivos del concreto en obra, tales como esclerómetro, velocidad de pulso ultrasónico, pueden ser útiles para determinar si una porción de la estructura realmente contiene o no concreto de baja resistencia. Dichos ensayos son valiosos principalmente si se realiza para hacer comparaciones dentro de la misma obra, más que como mediciones cuantitativas de resistencia."

Este método permite deducir la resistencia a compresión del concreto a partir de la velocidad con que un pulso ultrasónico recorre la longitud del elemento evaluado. Sin embargo, existen varios factores que afectan los resultados cuando se realizan estas pruebas:

- La textura de la superficie del concreto.
- La humedad relativa del concreto.
- El tamaño de los elementos ensayados.
- La calidad de los agregados empleados en la elaboración del concreto.
- La relación agua/cemento empleado.
- La edad del concreto.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Adicionalmente se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos tienen un rango de incertidumbre de ± 20%, el cual es determinado directamente por el fabricante del equipo. Sin embargo, en caso de tener un elemento testigo como referencia para el ensayo se puede hacer un análisis cualitativo y comparativo de un grupo de elementos evaluados.



Figura 32. Ensayo de ultrasonido**. Fuente:** Propia.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

8. INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA ESTRUCTURA

Con el objetivo de tener un acercamiento al problema, en primera instancia se realizó una visita de campo, la cual buscó identificar los posibles problemas que se podían estar presentando en la zona de análisis. En ese punto y tras evidenciar las fisuras y algunas patologías, se planteó un esquema de trabajo el cual comprendió de una investigación detallada del lugar y la ejecución de algunas pruebas de laboratorio, que permitieran conocer el estado real de la estructura y sus posibles afectaciones o deterioro prematuro dadas las particularidades del lugar y determinar las causas asociadas a dichos eventos.

8.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO:

Dada la naturaleza del problema a evaluar en el cuarto de máquinas del centro del ato rendimiento (C.A.R) Ministerio del Deporte, ubicado en la calle 63 No 59 a – 6 y tras realizar la visita preliminar, el grupo técnico designado por la compañía planteó un esquema metodológico para el análisis de la situación de manera detallada, así como la ejecución de ensayos de campo para la determinación de los análisis y reconocimientos patológicos, con el objetivo de garantizar la integridad de la información recolectada.

De igual manera con cada uno de los ítems de ensayo recolectados en campo, se definió y ejecutó un plan de ensayos de laboratorio con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales, así como de resistencia de los concretos con los cuales fue construida la instalación.

Finalmente, con la información recolectada y analizada se procedió a la evaluación y planteamiento de las hipótesis y análisis correspondientes con el objetivo de definir las casusas incidentes en el comportamiento de la estructura actual, teniendo en cuenta las tres áreas anteriormente descritas.

Teniendo en cuenta los antecedentes suministrados previamente se plantea el diagrama metodológico mostrado en la Figura 33, el cual se centra en tres pilares básico bajo los cuales se plantea realizar el análisis de la estructura los cuales son el levantamiento patológico en campo con toma de muestras de ensayo de laboratorio, análisis de resultados de ensayos de laboratorio y el diagnostico patológico.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

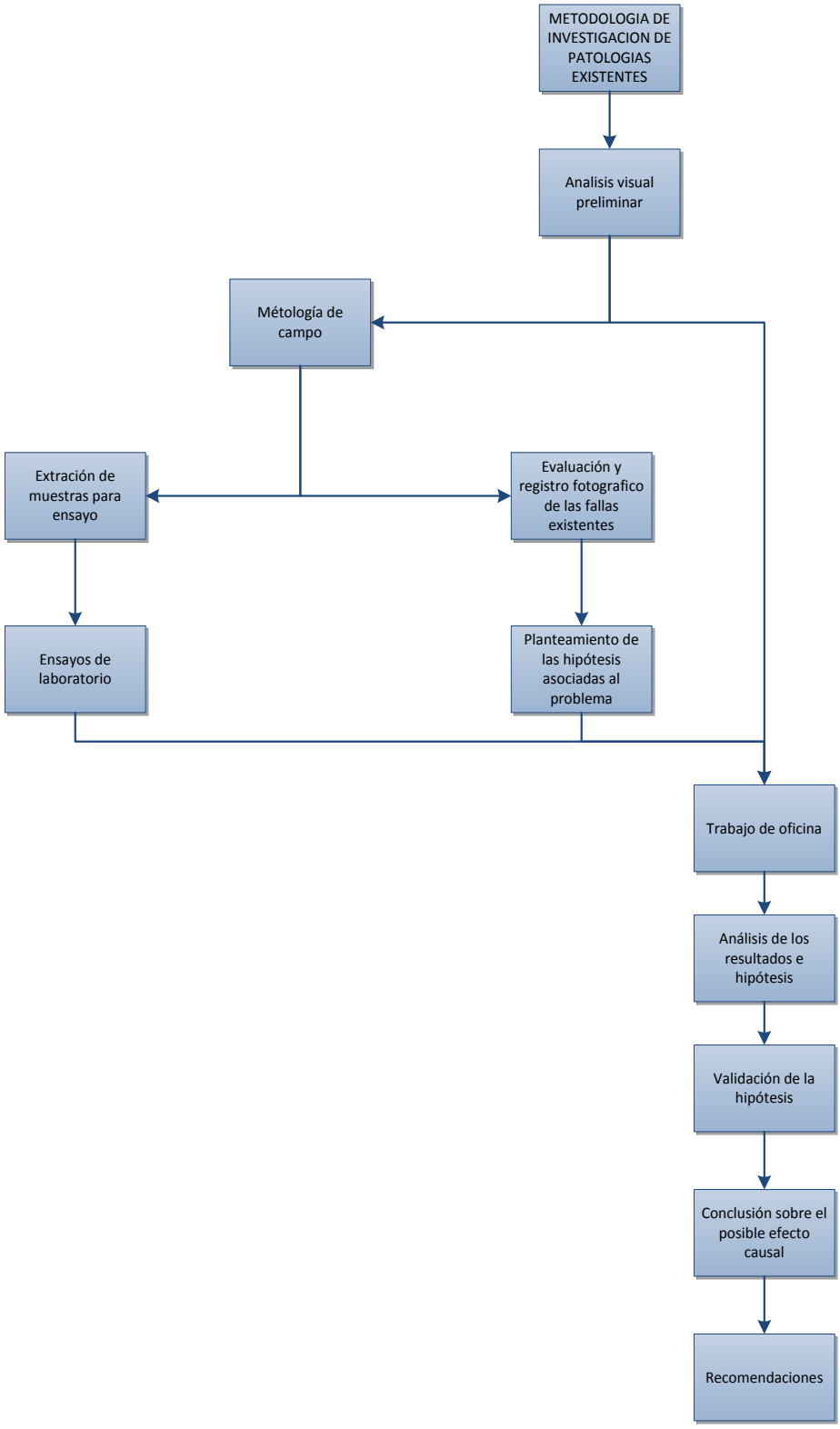


Figura 33. Diagrama metodológico. Fuente: Propia.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

9. ANTECEDENTES

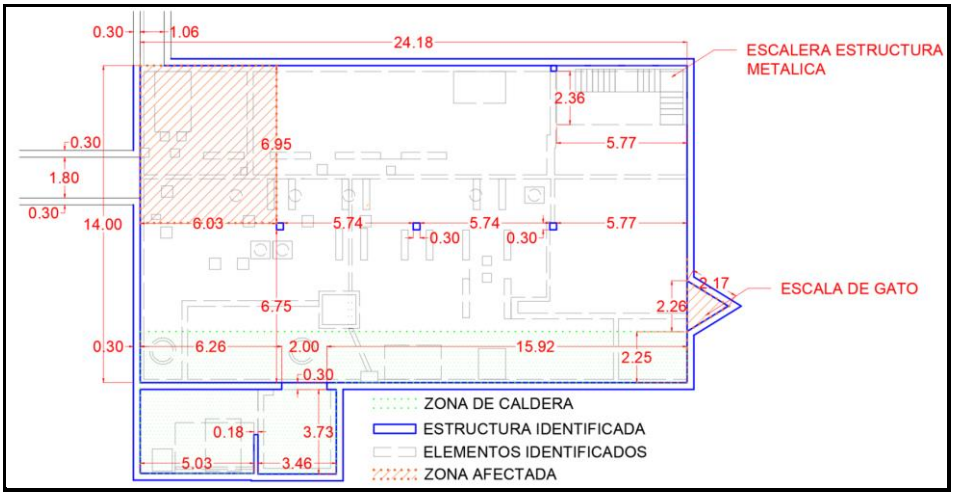
El día 28 de junio de 2021 los profesionales del Ministerio del deporte, ingeniera Paula Niño, arquitecto John Cortes, arquitecto Oswaldo Gutiérrez e ingeniera Stefania Guerrero, realizaron la visita técnica del cuarto de máquinas en acompañamiento de personal del IDRD. Hicieron la valoración cualitativa de la estructura del cuarto de máquinas, realizada por medio de la inspección visual que desarrollaron los días 28 de junio y 13 de agosto del presente año en el Centro de Alto Rendimiento - CAR localizado en la Avenida Calle 63 N° 59ª-06, sector Parque Distrital Salitre de la Localidad de Barrios Unidos. Presentaron en su informe una ausencia de mantenimiento como se evidencia en las figuras 34 y 35.



Imagen 34. Identificación del espacio

Imagen 35. Evidencia Falta de mantenimiento

En esta inspección establecieron que la estructura se encuentra enterrada a una profundidad aproximada de 3.00m y un área estimada de 375m^2, su sistema estructural se compone por muros perimetrales e=30cm, los cuales son elementos de contención, y pórticos, visiblemente tres (3) columnas de dimensiones 30cm x 30cm, los cuales permiten salvar la luz. La estructura posee dos accesos, una escalera en estructura metálica y una escala tipo gato, la cual no se encuentra disponible; asimismo, sobre la placa de cubierta se encuentra un espacio abierto tipo corredor, sin embargo, en una pequeña porción se encuentra la zona de caldera (36). Cabe destacar que existen elementos de anclaje en la placa aérea.



Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

En el informe entregado por el ministerio de deporte también es posible obtener la siguiente **Valoración cualitativa del grado de afectación** realizada por los ingenieros de la visita.

Considerando la descripción de la estructura y el levantamiento de la estructura, se puede inferir que la afectación identificada se relaciona con la falta de mantenimiento del cuarto de bombas. A continuación, se describe los daños observados.

- Estructura en general
  Se pudo evidenciar perdida de recubrimiento de placa de aérea y agrietamiento en muros y losa. Existen zonas con refuerzo expuesto y con corrosión visible.
- Daños causados por evidente carga puntual (dinámica o estática) aplicada en la placa por medio de anclaje, el cual se encuentra fracturado.
  Losa aérea: Perdida de recubrimiento, grietas profundas, se evidencian zonas con refuerzo expuesto. Muros perimetrales: Agrietamiento e infiltración por posible NAF elevado.
- Zona Acceso escalones tipo gato, Infiltración por NAF elevado en Muro Perimetral debido a falta de drenes en muros de contención.
- Zona de caldera, ubicada parcialmente en placa de cubierta del cuarto de bombas. Se observó agrietamiento en el muro de mampostería de la zona de calderas, evidenciando el asentamiento de la estructura de cuarto de bombeo.

Es importante resaltar que lo expuesto previamente en el apartado de antecedentes fue rescatado del informe entregado por el ministerio de deporte a raíz de una inspección visual realizada previamente.

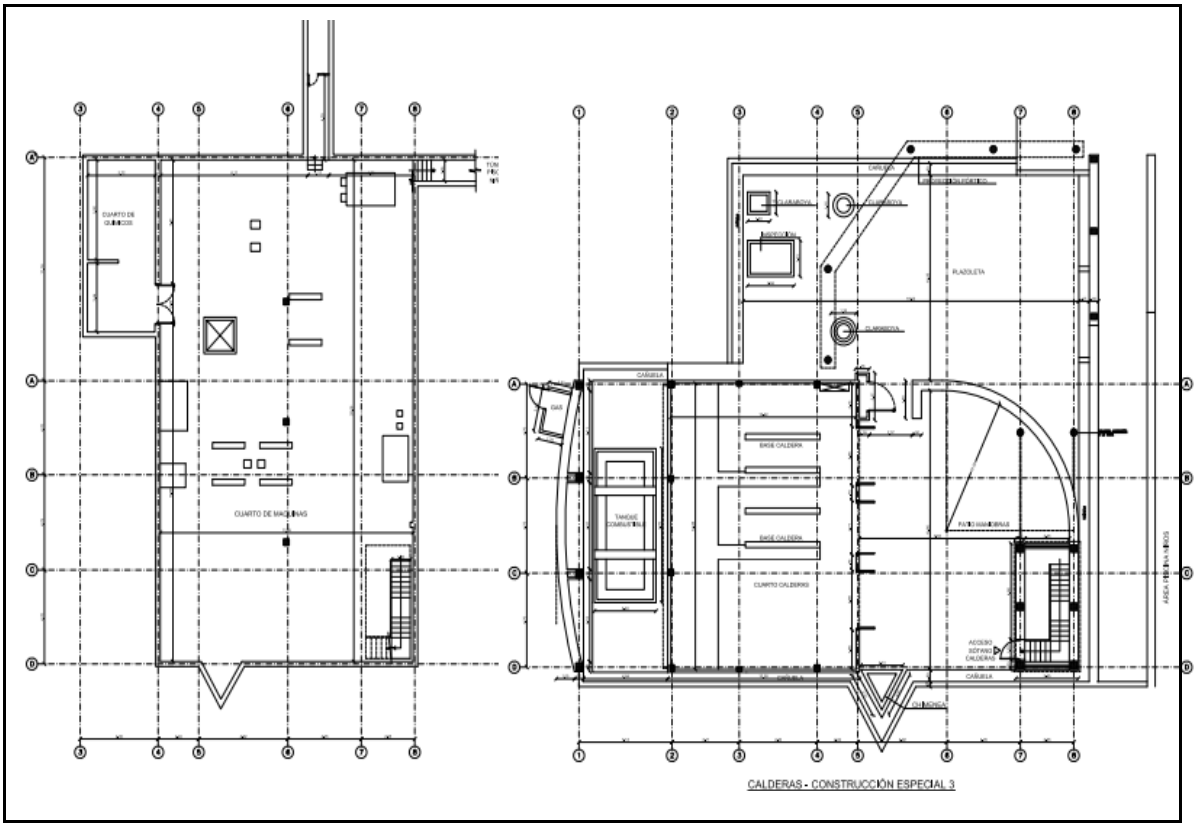
Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

ING. RODRIGO GONZALEZ ANDRADE INTERVENTORIA Y CONSTRUCCION	**10.1 LEVANTAMIENTO DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS Diciembre 2021**

Datos Generales de la Estructura

Tipo de estructura: Pórticos en concreto **Ubicación:** Bogotá D.C. **Tipo de ambiente:** Mixto (Interior/exterior)	**Sector:** Urbano **Edad:** Superior a 2 años **Fecha de inspección:** 10/12/2021

Ubicación en Planta



Registro de la inspección visual

Registro Fotográfico	Descripción

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

+ 	**Foto 1:** Genera una perspectiva general que evidencia la magnitud de la lesión; es posible observar el mal estado en que se encuentra el pavimento articulado, presentando una alta presencia de capa vegetal lo que a su vez también nos permite inferir que se ha perdido el material fino de los entrabamientos entre los adoquines, una posible causa es la fuerza con que cae el agua lluvia y generando que esta quede empozada, posteriormente este agua llega hasta la placa cubierta del sótano generando problemas de humedad. **Foto 2:** Una segunda perspectiva de las dimensiones de la lesión. El acercamiento a lesión evidencia la presencia de la capa vegetal en la superficie; se atribuye este problema a razón de una falta de mantenimiento al pavimento articulado.

Descripción de Falla

Sistema: Superficie con acabado en adoquín	**Nivel:** 1	**Elemento:** Área común
Descripción de la Falla: Patología causada por ausencia de mantenimiento y al impacto del agua lluvia con la superficie, generando la perdida de finos en los entrabamientos; se evidencia fisuras en algunos adoquines. Patología propensa a evolución.		

Registro de tipo de Falla 2

Registro Fotográfico	Descripción
 Foto 4. 	**Foto 3:** Permite evidenciar la lesión. **Foto 4:** Evidencia el desprendimiento de los muros de las canaletas, la presencia de sedimentos que impiden el libre escurrimiento del agua lluvia recolectada. Las partes de los muros de la canaleta se encuentran superpuestos y podrían desprenderse en cualquier momento. En términos generales las canaletas presentan un elevado nivel de afectación y pérdida de funcionalidad.

Descripción de Falla

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Sistema: Canaletas recolección aguas lluvias	**Nivel:** 1	**Elemento:** Canaletas

Descripción de la Falla:
Patología asociada al deficiente mantenimiento, falencias en los materiales que la conforman dado el prematuro deterioro que se evidencia y posibles asentamientos diferenciales de las estructuras conlindantes; el problema se propaga por todo el recorrido de las canaletas, además, en algunos puntos las grietas tienen una profundidad considerable y en otros puntos perdida de la integridad del elemento.

Registro tipo de Falla 3

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 5:** Foto que evidencia la lesión**.** Es posible observar varias grietas algunas paralelas y otras diagonales que surgen a raíz de un mismo problema. Si bien esta patología no genera riesgo de colapso para los elementos estructurales, es posible que en caso de no intervenirse con premura se pueda generar colapso del muro, debe ser intervenida con el fin evitar su propagación; adicionalmente, genera un impacto estético negativo.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural, muro	**Nivel:** 1	**Elemento:** Muro

Descripción de la Falla:
Patología asociada a asentamientos diferenciales de la estructura, posiblemente generada debido a un asentamiento elástico propiedad del suelo donde se apoyan los cimientos de la instalación; tiene una longitud considerable a lo largo de todo el muro; adicionalmente; se presentan lesiones pequeñas cercanas y una importante en la esquina superior; Patología propensa a evolución (propagarse a una mayor área) en el muro.

Registro de tipo de Falla 4

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 6:** Permite evidenciar la gravedad de la lesión. En este caso se logra observar el escalón que funciona como paso sobre las canaletas, este presenta fractura en su extremo, se logra observar presencia de vegetación y una continua degradación de los materiales.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Descripción de Falla

Sistema: No estructural	**Nivel:** 1	**Elemento:** Escalón
Patología a causa de asentamientos diferenciales de la estructura, asociado a un asentamiento elástico propiedad del suelo de fundación donde se apoyan los cimientos de la estructura; el desprendimiento de los adoquines se evidencia fácilmente, adicionalmente; se presenta vegetación en el escalón.		

Registro tipo de Falla 5

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 7:** Se logra evidenciar la presencia de eflorescencia sobre la viga y parte del muro los cuales se encuentran descendiendo por las escalaras hacia el sótano. El elemento se encuentra a una altura considerante al piso del sótano por ende se descarta la posibilidad de humedad por capilaridad ascendente del agua en las cimentaciones de la instalación. **Foto 8:** Otras evidencias se pueden observar en el cuarto de máquinas principalmente en las pantallas donde se presentan fuertes signos de humedad.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Entrada al Sótano	**Elemento:** Vigas y muros
Descripción de la Falla: Patología a causa de humedad y filtración de aguas lluvias y de escorrentía, cabe recalcar que es una de las patologías más frecuentes en las fachadas, posibles causas debido a exposición constante del elemento al agua lluvia, falta de mantenimiento y limpieza de este. Presenta alta humedad. Patología propensa a evolución en los muros.		

Registro tipo de Falla 6

Registro Fotográfico	Descripción

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

	**Foto 9:** Se logra evidenciar la presencia de hongos sobre la viga y presencia de una capa de musgo y vegetal sobre el borde expuesto de la misma, el elemento se encuentra descendiendo por las escalaras hacia el sótano. El elemento se encuentra a una altura considerante al piso del sótano por ende se descarta la posibilidad de humedad por capilaridad ascendente del agua en las cimentaciones de la instalación. **Foto 10:** Misma patología en otra ubicación, Se observa la degradación que ha sufrido la superficie de la estructura del sótano y la severidad del problema debido a la ausencia de mantenimiento.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Superficies
Descripción de la Falla: Patología a causa de humedad en la estructura, se debe resaltar la severidad del problema ya que a falta de un mantenimiento se ha propiciado un ambiente para el crecimiento de vegetación lo que genera alteración en la estructura del concreto. Presenta alta humedad como es mencionada anteriormente. Patología propensa a evolucionar si no es intervenida.		

Registro tipo de Falla 7

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 11:** Es posible observar la pérdida del recubrimiento en la losa área que funciona como techo del sótano; esta patología deja expuesto el acero de refuerzo del sistema estructural, se evidencia la presencia de humedad y desprendimiento de la pintura. **Foto 12:** Brinda otra imagen de la inspección patológica en otro punto de la instalación compartiendo las mismas características. Se agrega que es una patología frecuente en la estructura.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Placa área
Descripción de la Falla:		

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Patología de perdida de recubrimiento y fisura del elemento estructural, Se presenta en primera medida a razón de un bajo espesor de recubrimiento y por la exposición continua del acero de refuerzo a la humedad, lo que genera corrosión y expulsión del concreto; también presenta una continua degradación de los bordes y la armadura de refuerzo se encuentra oxidada, se evidencia en general sobre toda la placa área. En algunos puntos la profundidad de las grietas es considerable, con bordes discontinuos.

Registro tipo de Falla 8

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 13:** Es posible observar diferentes fisuras en las superficies tanto de muros como de la placa aérea; estas fisuras no presentan un espesor considerable, sin embargo, su longitud se extiende cubriendo extensas áreas. **Foto 14:** Brinda otra vista de la patológica en otro punto de la instalación compartiendo las mismas características. Se agrega que es una patología frecuente en la estructura.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Placa área

Descripción de la Falla:
Patología de fisuras y grietas en el elemento estructural; su aparición se debe a diferentes causas, puede ser por malos cálculos constructivos, movimiento de suelos o efectos de la humedad, no se descartan las últimas dos posibles causas. Propensa a una evolución reflejada en la longitud y espesor de las fisuras y, en la aparición de nuevas patologías de este tipo.

Registro tipo de Falla 9

Registro Fotográfico	Descripción

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

	**Foto 15:** Es posible observar la pérdida de la capa de pintura y/o el descascara miento de esta en la losa área que funciona como techo del sótano; evidencia la presencia de humedad y manchas a causa de filtraciones de agua. **Foto 16:** Brinda otra imagen de la inspección patológica en otro punto de la instalación compartiendo las mismas características.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Placa área

Descripción de la Falla:
Patología de descascara miento de la capa de pintura del elemento estructural, es posible afirmar que existe una alta humedad y que es lo que genera este problema; en primera medida es de aspecto estético, sin embargo, si no se interviene el problema, el agua podría generar problemas más graves en la estructura como es evidente en otros puntos de la instalación.

Registro tipo de Falla 10

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 17:** Permite evidenciar la lesión; es un problema que se encuentra presente en todo el recorrido de las canaletas internas del sótano. **Foto 18:** Evidencia el desprendimiento y la degradación de los muros de las canaletas en el interior del sótano, la presencia de escombros y sedimentos que impiden el libre escurrimiento del agua recolectada. Las partes de los muros de la canaleta se encuentran superpuestos y podrían desprenderse en cualquier momento como ya es evidente en algunos tramos. En términos generales las canaletas en el interior del sótano presentan un elevado nivel de afectación y pérdida de funcionalidad.

Descripción de Falla

Sistema: Canaletas en el interior del sótano	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Canaletas

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Descripción de la Falla:
Patología relacionada con una falta adecuada de mantenimiento, falencias en los materiales que la conforman dado el prematuro deterioro y la degradación que se evidencia en los bordes; el problema se propaga en todos los tramos de las canaletas al interior del sótano, además, en algunos puntos ya se evidencia el empozamiento de agua y la obstrucción por escombros.

Registro tipo de Falla 11

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 19:** Genera una perspectiva general que evidencia la magnitud de la lesión; es posible observar el mal estado en que se encuentra la escalera vertical, el suelo y las partes inferiores de los muros, presentando una alta presencia de oxido, hongos y eflorescencias. Es posible observar la perdida de la capa de pintura y/o el desprendimiento de esta. Es importante resaltar el empozamiento de agua en la zona afectada. **Foto 20:** Evidencia el empozamiento de agua en la zona afectada, la acumulación de capas de oxido y el mal estado de la parte inferior de los muros.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural / Zona de acceso **Nivel:** -1 Sótano **Elemento:** Escaleras verticales

Descripción de la Falla:
Patología de desprendimiento de la capa de pintura en toda la zona, es posible afirmar que existe una alta humedad y que es la causa de este problema, afectando las escaleras verticales y generando que estas se oxiden; en primera medida es de aspecto estético, sin embargo, si no se interviene el problema, el agua podría generar problemas más graves en el piso y la parte inferior de los muros de la zona ya que se evidencia empozamiento del fluido y acumulación de oxido.

Registro tipo de Falla 12

Registro Fotográfico	Descripción
	**Foto 21:** Genera una evidencia sobre la magnitud de la lesión; es posible observar el mal estado en que se encuentran los muros de las instalaciones. Es posible observar la perdida de los bordes de lo muros y su constante degradación y/o el desprendimiento de estos. Los muros en estas zonas presentan fisuras acompañadas de eflorescencia, presencia de oxido e incluso hongos.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

	**Foto 22: Presenta otra** Evidencia el mal estado de los bordes de los elementos estructurales en otro punto de las instalaciones.

Descripción de Falla

Sistema: Estructural	**Nivel:** -1 Sótano	**Elemento:** Muros y columnas

Descripción de la Falla:
Patología en función del desprendimiento de los bordes de los muros y las columnas, es posible afirmar que esta patología es causada por fenómenos relacionados a posible deformación estructural que ha sufrido la instalación con el paso del tiempo, esta deformación esta acompañada por filtraciones de agua en los muros de las instalaciones, la acumulación de esta provoca una sobrecarga que da lugar a las fisuras, genera la presencia de eflorescencias y hongos.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Como información complementaria a la inspección visual orientada a la determinación de patologías en la estructura del cuarto de máquinas, se generó un plan de ensayos con el propósito de realizar una evaluación de la calidad de los materiales instalados en cuanto a resistencia, distribución de aceros de refuerzo, homogeneidad de los elementos estructurales y afectación del concreto por los agentes externos como intemperismo.

Dentro del plan de ensayos de laboratorio se realizaron los ensayos relacionados a continuación con las respectivas cantidades.

NORMA DE ENSAYO	ENSAYO	CANTIDAD	INFORME
NTC 673	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	5	I-16163
NTC 3692	Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido	10	I-16171
UNE 112011	Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicios	5	I-16161
-	Detección de refuerzo con equipo Ferroscan	10	I-16307
NTC 4325	Método de ensayo para la determinación de la velociad de pulso ultrasónico a través del concreto	3	I-16306

Tabla 3. Plan de ensayos de laboratorio. Fuente: Propia.

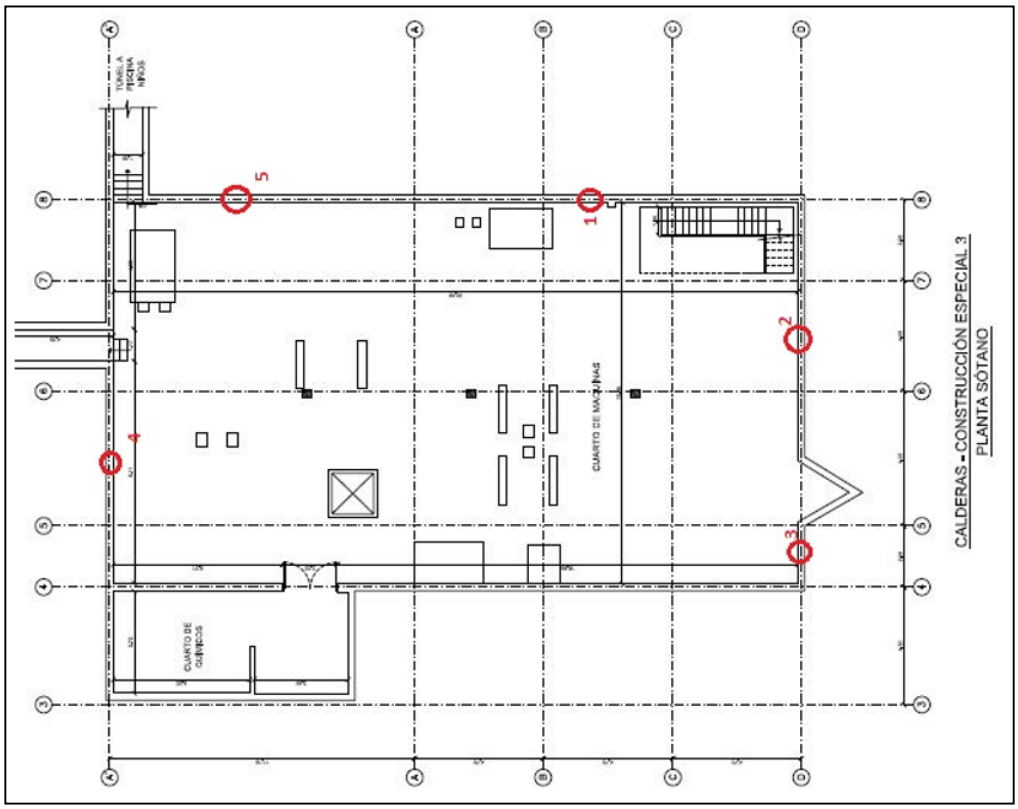
Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

La ejecución de los ensayos fue contratada con la compañía IDICOL SAS y estos fueron ejecutados el día 10 de Diciembre del año 2021, en la tabla No 3 se relaciona el número de informe correspondiente, el cual contiene los resultados de los ensayos de laboratorio.

A continuación, se realiza un análisis de los resultados de ensayo de laboratorio.

9.1 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto:

Se realizó la toma de cinco (5) núcleos distribuidos aleatoriamente, pero buscando cubrir la totalidad del área de estudio y de esta manera determinar un valor de resistencia del concreto que conforma la estructura, en la siguiente imagen se indica los puntos en donde fueron extraídos los especímenes de ensayo.



Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Figura 37. Localización de los puntos de muestreo (extracción de núcleos de concreto). Fuente: Propia.

Los resultados de resistencia de los núcleos extraídos se relacionan a continuación:

NÚCLEO	LOCALIZACIÓN	RESISTENCIA (MPa)
1	MURO 8 EJE B-C	24,9
2	MURO D EJE 6-7	30,6
3	MURO D EJE 4-5	24,1
4	MURO A´EJE 4-5	27,3
5	MURO 8 EJE A´-A	28,4
PROMEDIO		**26,7**

Tabla 4. Resultados de los núcleos extraídos. Fuente: Propia.

Según informe de resultados I-16163-2021 emitido por la compañía IDICOL SAS, el resultado promedio de resistencia a la compresión de los especímenes evaluados es de 26.7 MPa, el menor valor de resistencia es de 24.1 MPa obtenido en el Muro D entre ejes 4 – 5, esto indica que el concreto empleado para la construcción de la estructura del cuarto de máquinas es de adecuada calidad partiendo que la resistencia nominal de estos elementos de 28 MPa, en este sentido haciendo la comparación del menor valor de resistencia con respecto a la resistencia nominal se tiene que el porcentaje de resistencia es de 86.1%, teniendo en cuenta el valor promedio el porcentaje de resistencia es de 95.4%.

Según el numeral C.5.6.5.4 del reglamento NSR-10 el concreto de la zona representada por los núcleos se considera adecuado si el promedio de al menos 3 núcleos es superior o igual al 85% de la resistencia nominal, por tal razón y de acuerdo a los resultados obtenidos se considera que el concreto de la estructura es adecuado.

9.2 Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto:

Mediante este ensayo es posible determinar la homogeneidad del concreto partiendo del principio de propagación de ondas, entre mayor sea la densidad del concreto mayor es la velocidad de propagación de la onda que emite el equipo. Este ensayo es complementario a la compresión de núcleos de concreto y permite evaluar otras zonas sin necesidad de realizar una afectación directa a la estructura.

Si durante el ensayo de ultrasonido se obtiene velocidades de propagación similares, se puede inferir que los elementos evaluados presentan resistencias relativamente semejantes.

A continuación, se presentan los resultados de ensayos de laboratorio emitidos por la compañía IDICOL SAS, mediante informe I-16306-2021.

PUNTO	LOCALIZACIÓN	VELOCIDAD (m/s)
1	COLUMNA EJE 6 ENTRE B - C	4768
2	MURO EJE D - 6	3937
3	MURO EJE 4 ENTRE D - C	4195

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

PROMEDIO	4300

Tabla 5. Resultados de ensayo de ultrasonido. Fuente: Propia.

Asociando el resultado promedio de resistencia mediante núcleos de concreto cuyo valor es de 26.7 MPa, al valor de velocidad promedio del ensayo de ultrasonido de 4300 m/s, se tiene que el valor de resistencia asociado a la velocidad de 3937 m/s obtenido en el muro EJE D – 6, es de 24.4 MPa este valor corresponde a 87.1% con respecto a la resistencia nominal de 28 MPa, este resultado ratifica que el concreto evaluado mediante prueba de ultrasonido presenta adecuada resistencia.

9.3 Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos:

En términos generales la carbonatación es el descenso de la alcalinidad del concreto que favorece el proceso de oxidación del acero de refuerzo del concreto y cuyo desarrollo desencadena en daños al acero de refuerzo y al concreto, por tal razón es importante determinar si el frente de carbonatación a superado la distancia de recubrimiento del acero de refuerzo.

La evaluación del frente de carbonatación se realizó sobre los núcleos de concreto extraídos para las pruebas de resistencia a la compresión, esto para no afectar otras zonas y debilitar la estructura, los resultados obtenidos se presentan en el informe I-16161-2021 emitido por IDICOL SAS, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

PUNTO	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD (mm)
1	MURO 8 EJE B-C	24,4
2	MURO D EJE 6-7	22,7
3	MURO D EJE 4-5	27,8
4	MURO A´EJE 4-5	20,5
5	MURO 8 EJE A´-A	15,9
PROMEDIO		22,3

Tabla 6. Resultados de ensayo de carbonatación. Fuente: Propia.

Según los resultados emitidos el promedio de avance del frente de carbonatación en la estructura evaluada es de 22.3 mm, según el reglamento NSR-10 en la sección C.7.7.1 el recubrimiento de concreto en mm para una estructura en contacto con el suelo o a la intemperie es de 50 mm, lo que en teoría supone que el acero de refuerzo de la estructura no ha sido afectado por efectos de la carbonatación.

Existen zonas puntuales en donde se evidenció refuerzos expuestos en los cuales las profundidades de recubrimiento son inferiores a 50 mm, estos son casos particulares que deben ser intervenidos y cuyo tratamiento se indica en otro capítulo del presente informe.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

9.4 Número de rebote del concreto endurecido:

Conocido también como ensayo de esclerómetro permite determinar la homogeneidad de los materiales sobre el cual se realiza la prueba, el índice de rebote depende de la dureza del material en la cual impacta la masa del esclerómetro, por tal razón si el concreto evaluado presenta similares resistencias, el valor del índice esclerométrico también debe ser similar, esta prueba es complemento de la resistencia a la compresión de núcleos de concreto, una práctica usual es tomar núcleos en la estructura a evaluar y en un punto cercano realizar la determinación del índice esclerométrico, esto permite asociar un valor de resistencia a un valor de número de rebote.

El laboratorio IDICOL SAS mediante informe de resultados de ensayo I-16171-2021, reportó los siguientes valores de resistencia deducida en los puntos evaluados.

Indice esclerométrico	Resitencia Deducida (MPa)	Resistencia mediante núcleos (Mpa)	Observaciones
39,8	29,9	24,9	MURO 8 EJE B-C
40,4	30,6	30,6	MURO D EJE 6-7
33,8	24,1	24,1	MURO D EJE 4-5
33,3	23,6		MURO A´EJE 5-6
35,0	25,2	28,4	MURO 8 EJE A´-A
35,5	25,7		MURO 4 EJE C-D
42,4	32,6		MURO 4 EJE A-B
39,0	29,2		MURO A´-A EJE 3-4
32,2	22,5		MURO A´EJE 7-8
44,2	34,3		COLUMNA 6 EJE B-C

Tabla 7. Resultado del índice esclerométrico. Fuente: Propia.

Según los resultados reportados, la resistencia deducida de menor valor es de 22.5 MPa, determinando el porcentaje de resistencia con respecto a la resistencia nominal de 28 MPa, se tiene un valor del 80.3% superior al 75% exigido por la NSR-10, con respecto al valor promedio de los resultados 27,8 MPa, el porcentaje de resistencia es de 99.2%.

En términos generales la evaluación realizada mediante ensayo de compresión de núcleos de concreto, velocidad de pulso ultrasónico y determinación del índice esclerómetrico, apunta a que el concreto empleado en la construcción de la estructura del cuarto de máquinas es adecuado y atiene satisfactoriamente a una resistencia nominal de 28 MPa.

9.5 Detección del acero de refuerzo mediante equipo Ferroscan:

Los resultados presentados en el informe I-10307-2021 emitido por la compañía IDICOL SAS, arroja que las pantallas y columnas están reforzados mediante barras de acero dispuestas en sentido vertical y horizonal, en el sentido vertical se identificaron barras de acero No 6 y en el sentido horizontal barras de acero No 3, con espaciamientos que oscilan entre 15 cm y 20 cm, en los reportes de los resultados de ensayo se puede evidenciar recubrimientos que varían entre 20 mm y 80 mm.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

10.0 RECOMENDACIONES

- Uno de los problemas más recurrentes en la estructura evaluada es la presencia de humedad, ocasionada por la filtración de aguas lluvias desde la planta superior (área común) hacia el interior del cuarto de máquinas, por otra parte, se tiene también ingreso de aguas de nivel freático dada la ubicación del cuarto de máquinas con referencia al terreno (sótano); es importante destacar que las arcillas que se encuentran después de los muros pantallas presentan elevados contenidos de humedad que pueden oscilar de acuerdo al régimen de lluvias.

Es evidente el ingreso de aguas desde el exterior a través de los muros mediante los lloraderos ya que estos presentan un constante flujo de agua y deterior a razón de un constante funcionamiento y poco mantenimiento. Se recomienda hacer una intervención rápida enfocada al sellado de fisuras para que los signos de humedad y patologías asociadas no evolucionen generando patologías más severas.

- Se recomienda inspecciones periódicas con el objetivo de detectar filtraciones y una vez estas sean detectadas actuar inmediatamente antes de que se afecte más a la estructura. Para ello es importante conocer cuáles son los tipos de humedades.

- Las rehabilitaciones propuestas para los diferentes tipos de humedades encontrados en la edificación se generaron considerando el origen de cada humedad, es decir por filtración y por capilaridad. Para las humedades de filtración las rehabilitaciones consisten en el sellado de los puntos por donde éstas se generan, para esto se propone la aplicación de resinas en dilataciones entre diferentes elementos, resaltando como punto focal las pequeñas perforaciones en la placa aérea del sótano, además se propone el reemplazo de los acabados y de la pintura por otros, los cuales posean entre sus características propiedades hidrofugas o impermeabilizantes y cambios de algunas piezas deterioradas de los elementos que se encuentran sobre la placa aérea del sótano. se debe efectuar el mantenimiento de los lloraderos los cuales ya se encuentran instalados en la estructura, esto permite liberar las presiones de agua y las cargas sobre los muros y también reduce las presiones de agua que generan infiltración en las fisuras.

- Con el objetivo de solventar el problema de la humedad en la placa área que funciona como techo del sótano, se recomienda remover los adoquines por completo ya que la integridad de este se encuentra afectada, al evidenciarse vegetación entre los entrabes de los adoquines se concluye que hay perdida de finos y posibles empozamientos de agua lluvia los cuales afectan directamente a la placa aérea del sótano; una vez removidos los adoquines se debería emplear un material aislante como los son los geomembranas la cual va a aislar la superficie de la placa cubierta evitando así el paso del agua lluvia, posteriormente se debe continuar con el proceso constructivo reemplazando los adoquines de la zona.

- Se recomienda la sustitución de las canaletas que se ubican en el perímetro de la zona de estudio, ya que estas manifiestan signos de deterioro y en otros sectores rotura de los elementos, perdiendo funcionalidad, también se encontró presencia de vegetación y acumulación de sedimentos que interfieren con el drenaje de las aguas de escorrentía

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

generadas por el agua lluvia, esto con el fin de evitar empozamientos del fluido que puedan perjudicar la estructura.

Así mismo se deben generar mantenimientos preventivos orientados a la remoción de sedimentos y vegetación que impidan la libre circulación de las aguas.

- El muro que delimita el cuarto de calderas ubicado junto a la chimenea presenta una serie de afectaciones especialmente de tipo fisuras vertical paralela a la columna y diagonales, este elemento debe ser intervenido diligentemente ya que puede colapsar, esta intervención se debe realizar mediante la demolición del muro y posterior reemplazo de este.

- Se identificaron diferentes puntos donde existe filtraciones de agua y presencia de hongos y vegetación, por tal razón se debe generar un mantenimiento orientado a la remoción de la totalidad de la pintura, sellado de fisuras, aplicación de herbicidas para limitar la aparición de hongos, posteriormente, se debe aplicar algún tipo de impermeabilizante que mitigue los efectos de humedad y por último una pintura resistente a los hongos y la humedad.

- Se evidenciaron zonas en donde existen descascaramientos ó pérdida de recubrimiento del acero de refuerzo; en estos puntos se debe demoler parcialmente el concreto circundante para exponer el acero de refuerzo y generar limpieza de este, evitando la propagación de la corrosión, posteriormente, se debe reponer el concreto mediante un mortero de alta resistencia generando recubrimiento sobre el acero intervenido.

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

11. CONCLUSIONES

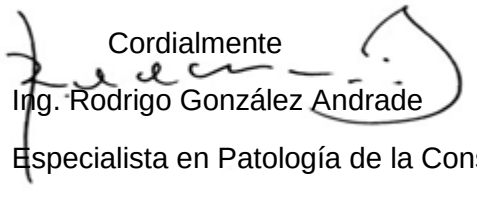
- El estudio consistió en la inspección visual, recopilación de un registro fotográfico detallado de los elementos constructivos afectados, ensayos estructurales y toma de testigos que constituyen la estructura, se identificaron cualidades propias de los materiales con ensayos de laboratorio, así como también se realizó un análisis detallado de las patologías que permitieron describir patrones de afectación de los distintos materiales que conforman el área de estudio.

- El desarrollo del presente estudio ha permitido identificar las patologías presentes en las instalaciones del cuarto de máquinas del centro de alto rendimiento en la ciudad de Bogotá, información de suma importancia para constatar las condiciones físicas y el estado patológico de estas. Siguiendo la metodología propuesta para realizar esta investigación se logró localizar, caracterizar e identificar las patologías más recurrentes de la estructura. A partir de los objetivos propuestos previamente, se logró valorar el estado actual de los elementos constructivos y presentar un diagnóstico integral al respecto.

- Con base a los resultados obtenidos durante la inspección visual y el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio realizado sobre los especímenes tomados de la estructura de cuarto de máquinas del centro de alto rendimiento, se concluye que la principal causa de las patologías está relacionada con problemas de humedad y que la razón del estado avanzado de las mismas es la ausencia de un mantenimiento adecuado y periódico en las instalaciones. El contenido de humedad que se filtra a la estructura es tan elevado que causa estos defectos en los elementos de concreto y sobre los acabados. La causa secundaria de este fenómeno es la humedad del suelo que genera presión sobre los muros del sótano y el mal estado de los lloraderos y canaletas encargados evacuar el agua. Muy importante es tener en cuenta como un factor terciario la precipitación de la zona, considerada como media-alta.

- De acuerdo a los resultados de ensayos de laboratorio orientados a determinar la calidad de los materiales empleados en la construcción, se determinó que el concreto y la estructura presentan un adecuado comportamiento en términos de resistencia; por lo tanto no es necesario realizar algún tipo de intervención de tipo de reforzamiento estructural, se debe generar un mantenimiento integral de la zona evaluada y se deben generar mantenimiento periódicos para mantener las condiciones de servicialidad de la estructura y que no se genere la sensación de inestabilidad o riesgo de colapso de la misma.

Cordialmente



Ing. Rodrigo González Andrade

Especialista en Patología de la Construcción

C.C No 19.498.203 de Bogotá

Matrícula 25202-36225 CND

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313

Rodrigo Gonzalez Andrade / Email: Ingroca9@hotmail.com
CALLE 64 No 10 - 45 Oficina 313