



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Patologías. Impacto Microbiológico en el Hormigón

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Correa Jaramillo, Diego Fernando

DIRECTOR: Maza, Bolívar Hernán, Ing. M.Sc.

CO-DIRECTOR: Zúñiga Suarez, Alonso Rodrigo, Ing. M.Sc.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero, MSc.

Bolívar Hernán Maza

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Patologías. Impacto microbiológico en el hormigón**, realizado por **Diego Fernando Correa Jaramillo**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Junio del 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Diego Fernando Correa Jaramillo** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Patologías. Impacto microbiológico en el hormigón, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Bolívar Hernán Maza director y Alonso Rodrigo Zúñiga Suarez co-director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Correa Jaramillo Diego Fernando

Cédula: 1104289119

DEDICATORIA

La presente investigación lo dedico a Dios, a mis padres, Jaime y Berenice, quienes han estado pendiente de mí y de cada problema que se me presentaba a lo largo de mi vida. Y gracias a su esfuerzo me dieron la posibilidad de continuar con mis estudios y alcanzar mi gran sueño de ser Ingeniero Civil.

A mi hermana, Paola, por su amor incondicional y todo el apoyo que me ha brindado durante toda mi vida.

A mis queridos sobrinos, Juan Andrés y Santiago Israel, que con su existencia alegran mi vida y me motivan a ser un buen tío para ellos.

A mi familia, a mis abuelitos desde el cielo intercediendo por mí y a mi abuelita, Iralda, que me motiva mucho con sus sonrisas a seguir adelante.

A todos mis amigos que con sus consejos y paciencia me han ayudado a ser mejor persona.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la vida y sabiduría para terminar mi trabajo de investigación de la mejor manera, ser mi soporte en los momentos más difíciles y regalarme la familia que tengo, ya que sin ellos no hubiese logrado cumplir mi tan anhelada meta.

Agradecerles mucho a mis formadores de la carrera de Ingeniería Civil, en especial a mi director de tesis, Ing. Bolívar Maza y mi co-director, Ing. Alonso Zúñiga, por brindarme los conocimientos necesarios y el tiempo para la realización de esta tesis. Así como al Ing. Juan Carlos Guanín, por ayudarme con su tiempo y experiencia en el manejo de los equipos. También a la Mgrt. Eliana Baculima por los conocimientos adquiridos en el ámbito microbiológico.

Agradezco mucho a todos mis amigos de la carrera de Ingeniería Civil por compartir las mejores experiencias en éstos años de estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
GENERALIDADES	5
1.1. Justificación.....	6
1.2. Objetivos.	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivo Específicos.	6
1.3. Antecedentes.....	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. El hormigón y el hormigón armado.	9
2.1.1. Cemento Portland.....	10
2.1.1.1. Composición química del cemento Portland.	11
2.2. Manifestaciones patológicas en el hormigón armado.....	13
2.2.1. Permeabilidad.....	14
2.2.2. Porosidad.	16

2.2.3.	Capilaridad.	16
2.3.	Fase de observación.	17
2.3.1.	Afectaciones térmicas y cambios de humedad.	18
2.3.2.	Tamaño máximo del agregado.	19
2.3.3.	Corrosión de armaduras.	20
2.3.3.1.	Disminución de alcalinidad en el hormigón.	20
2.3.3.2.	Alto contenido de iones de cloruro.	22
2.3.3.3.	Proceso de corrosión.	23
2.3.4.	Fisuración.	27
2.3.4.1.	Fisuras originadas por retracción plástica.	28
2.3.4.2.	Fisuras originadas por asentamiento plástico.	30
2.3.4.3.	Fisuración por asentamientos diferenciales.	30
2.3.5.	Ataque físico.	31
2.3.5.1.	Exposición a altas temperaturas.	32
2.3.5.2.	Desgaste de la superficie del concreto.	32
2.3.6.	Ataque químico.	33
2.3.6.1.	Actividad microbiana.	34
2.3.6.2.	Ataque por sulfatos.	37
2.4.	Fase de recopilación de información.	38
2.5.	Fase de inspecciones técnicas.	38
CAPÍTULO III.		40
METODOLOGÍA.		40
3.1.	Zona de estudio.	41
3.2.	Toma de muestras para identificación de vida microbiana.	43
3.3.	Método de extracción y ensayo a la compresión de núcleos de hormigón.	47
3.3.1.	Determinación de la resistencia a la compresión de núcleos de hormigón.	51
3.3.1.1.	Diámetro.	51
3.3.1.2.	Longitud.	52
3.4.	Ensayo de porosidad en núcleos de hormigón.	52

3.4.1. Determinación del porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.....	53
3.5. Test de alcalinidad del hormigón.	54
3.6. Análisis químico del hormigón.	56
3.7. Avance de corrosión del acero de refuerzo.....	57
CAPÍTULO IV	58
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
4.1. Microorganismos identificados.....	59
4.2. Resultados del ensayo de compresión simple de núcleos de hormigón extraídos. 61	
4.2.1. Elemento estructural “CB”.....	61
4.2.2. Elemento estructural “VC”.....	62
4.3. Resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.....	64
4.4. Análisis y resultados de la alcalinidad del hormigón.	67
4.5. Análisis y resultados de la composición química del hormigón.	68
4.6. Análisis del avance de corrosión de las varillas de refuerzo del hormigón armado.71	
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS.....	82
Anexo 1. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B2.	83
Anexo 2. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 4N.	84
Anexo 3. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 5N.	85
Anexo 4. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 13.....	86
Anexo 5. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 14.....	87
Anexo 6. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 15.....	88

Anexo 7. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN1.....	89
Anexo 8. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN2.....	90
Anexo 9. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN3.....	91
Anexo 10. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B1P.....	92
Anexo 11. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B2P.....	93
Anexo 12. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B3P.....	94
Anexo 13. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C1P.....	95
Anexo 14. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C2P.....	96
Anexo 15. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C3P.....	97
5.1. Fotografías.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de cementos Portland españoles.....	12
Tabla 2. Composición química de cementos Portland de los E.E.U.U.	12
Tabla 3. Relación entre el contenido de cloruros y el riesgo de corrosión del acero de refuerzo.	22
Tabla 4. Condiciones favorables para corrosión del acero en el hormigón armado.....	24
Tabla 5. Factor de corrección de resistencia a la compresión.....	52
Tabla 6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón contaminados por microorganismos.....	61
Tabla 7. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón no contaminados por microorganismos.....	62
Tabla 8. Resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón libre de microorganismos.	64
Tabla 9. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “B1P”.	65
Tabla 10. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “B2P”.	65
Tabla 11. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “B3P”.	65
Tabla 12. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C1P”.	66
Tabla 13. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C2P”.	66
Tabla 14. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C3P”.	67
Tabla 15. Resultados del nivel de pH del hormigón en “CB”	67
Tabla 16. Nivel de pH del elemento estructural de hormigón “VC”.....	68
Tabla 17. Cuantificación del análisis químico del elemento estructural de hormigón “CB” ...	69
Tabla 18. Composición química del elemento estructural de hormigón “VC”.	69
Tabla 19. Reducción por oxidación del diámetro del acero de refuerzo obtenido en “CB”	71
Tabla 20. Pérdida por corrosión del diámetro de la varilla de refuerzo extraído en “VC”	72
Tabla 21. Volumen reducido de la varilla de refuerzo en “CB”	72
Tabla 22. Pérdida de volumen del acero de refuerzo en “VC”.....	73
Tabla 23. Resultados de la oxidación del acero de refuerzo en “CB”.....	73
Tabla 24. Cuantía de acero en “CB”.	74
Tabla 25. Avance de corrosión del acero de refuerzo en “VC”.....	74
Tabla 26. Cuantía del acero de refuerzo en “VC”	75

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón.....	13
Gráfica 2. Influencia de la relación agua-cemento en la permeabilidad del hormigón.	14
Gráfica 3. Influencia del curado en la permeabilidad del hormigón.	15
Gráfica 4. Influencia de la compactación en la permeabilidad del hormigón.	15
Gráfica 5. Efecto de la relación a/c y duración del curado sobre la permeabilidad del mortero.	16
Gráfica 6. Tiempo inicial y final de fraguado a diferentes temperaturas.	29
Gráfica 7. Composición química de la muestra de hormigón extraída en “CB”.....	70
Gráfica 8. Análisis químico del elemento estructural de concreto en “VC”.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fisuración por efecto de la contracción impedida.....	19
Figura 2. Varilla de acero corroída.	20
Figura 3. Corrosión del acero de refuerzo por carbonatación.....	21
Figura 4. Esquematzación de corrosión electrolítica de una varilla de acero en el hormigón armado.	24
Figura 5. Esquematzación de la corrosión del acero por picado.	26
Figura 6. Condiciones para la corrosión del acero en el hormigón armado.	27
Figura 7. Fisura por contracción plástica.....	28
Figura 8. Fisuras de una viga de concreto reforzado por asentamiento plástico.	30
Figura 9. Aparición de fisuras por asentamientos diferenciales.....	31
Figura 10. Desgaste de la superficie de hormigón por el rápido movimiento del agua.	33
Figura 11. Biopelícula colonizada por algas.....	36
Figura 12. Desintegración de una columna de concreto.	37
Figura 13. Zona de estudio 1.	41
Figura 14. Zona de estudio 2.	42
Figura 15. Elemento estructural “CB”.....	42
Figura 16. Elemento estructural “VC”.....	43
Figura 17. Toma de muestras para ensayo microbiológico.	44
Figura 18. Muestra colocada en medio de cultivo sabouraud.....	45
Figura 19. Colocación de violeta cristal en la muestra.	45
Figura 20. Visualización microscópica de los microorganismos.	46
Figura 21. Turbiedad signo de presencia de colonias microbianas.	47
Figura 22. Señalización del refuerzo longitudinal y transversal.	48

Figura 23. Extracción de núcleos de hormigón.	49
Figura 24. Curado de núcleos de hormigón.	49
Figura 25. Refrentado de las bases de los núcleos de hormigón con azufre.....	50
Figura 26. Prueba de resistencia a la compresión de un núcleo de hormigón.....	51
Figura 27. Núcleo individual de hormigón.	53
Figura 28. Núcleos de hormigón sumergidos en agua a ebullición.....	53
Figura 29. Núcleo de hormigón sumergido en agua.....	54
Figura 30. PH-metro HI 2221.	55
Figura 31. Calibración del pH-metro HI 2221.	55
Figura 32. Medición del nivel de pH de un concreto contaminado por microorganismos.....	56
Figura 33. Equipo de FRX marca Bruker.	56
Figura 34. Varilla sumergida dentro de una probeta con agua.	57
Figura 35. Crecimiento de Levaduras en agar sabouraud.....	59
Figura 36. Observación morfológica de Levaduras	59
Figura 37. Bacterias en crecimiento en placa agar macconkey.....	60
Figura 38. Observación morfológica de Pseudomonas.	60
Figura 39. Desprendimiento de una parte de la cadena de hormigón con la mano.	63
Figura 40. Cadena de desplante del elemento estructural “VC”.	63
Figura 41. Estado de corrosión del acero de refuerzo.....	76
Figura Anexo 1. Medio de transporte para muestras microbiológicas.	98
Figura Anexo 2. Medios de cultivos agar sabouraud para desarrollo de microorganismos. .	98
Figura Anexo 3. Medio de cultivo agar sangre (izquierda) y macconkey (derecha).	98
Figura Anexo 4. Extracción de núcleos de hormigón.	99
Figura Anexo 5. Cilindros de concreto sacados mediante broca diamante.	99
Figura Anexo 6. Refrentado del núcleo de hormigón.	100
Figura Anexo 7. Cilindros de concreto.	100
Figura Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión del núcleo de concreto.....	100
Figura Anexo 9. Tipo de falla de núcleos de concreto sometidos a ensayo de compresión.	101
Figura Anexo 10. Núcleos de hormigón saturados en agua a ebullición.	101
Figura Anexo 11. Masa de hormigón saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición.....	101
Figura Anexo 12. Masa de concreto seca al horno.	102
Figura Anexo 13. Medición de pH de muestra de hormigón contaminada por microorganismos en “CB”	102

Figura Anexo 14. Medición de pH de muestra de hormigón contaminada por microorganismos en "VC".	102
Figura Anexo 15. Análisis químico de muestra contaminada de hormigón en "CB".	103
Figura Anexo 16. Extracción del acero de refuerzo del elemento estructural "VC"	103
Figura Anexo 17. Aumento del nivel del agua al ingresar la varilla de acero.	104

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, analiza la calidad del hormigón contaminado por microorganismos colonizados en los elementos estructurales de dos edificaciones ubicadas en los barrios Clodoveo y la Banda de la ciudad de Loja. La finalidad de esta investigación es conocer la respuesta del concreto ante medios agresivos como son las bacterias u hongos del hábitat que lo rodea y saber la influencia que tienen en la oxidación del acero de refuerzo.

Para ello, se extrajeron núcleos de hormigón contaminados por microorganismos y otros no contaminados, dentro del mismo elemento estructural estudiado, para comparar su resistencia y porosidad frente a un ataque microbiano. De igual manera se tomó muestras de la sección contaminada para someterlas a un test de alcalinidad y fluorescencia de rayos x, las mismas que nos aclaran los componentes necesarios de un concreto, para el óptimo desarrollo de estos microorganismos. Y finalmente se extrajo una varilla de acero de la zona de concreto contaminado, para medir cuantitativamente el volumen perdido por oxidación mediante el principio de Arquímedes.

PALABRAS CLAVE: Concreto armado, corrosión del acero de refuerzo, actividad microbiana, bacterias, hongos, biodeterioro del concreto.

ABSTRACT

The present research work analyzes the quality of the contaminated concrete by colonized microorganisms in the structural elements of two buildings located in the Clodoveo and Banda districts of the city of Loja. The purpose of this study is to know the response of the concrete to aggressive media such as bacteria or fungi from the surrounding habitat and to know the influence they have on the oxidation of reinforcing steel.

Therefore, contaminated concrete nuclei by microorganisms and other uncontaminated ones were extracted, within the same structural element studied, to compare their resistance and porosity against a microbial attack. Likewise, samples of the contaminated section were taken to test them for alkalinity and x-rays fluorescence, the same ones that clarify us the necessary components of a concrete, for the optimal development of these microorganisms. Finally, a steel rod was extracted from the contaminated concrete zone, to quantitatively measure the lost volume through oxidation by the Archimedes principle.

Keywords: Reinforced concrete, reinforcing steel corrosion, microbial activity, bacteria, fungi, concrete biodeterioration.

INTRODUCCIÓN

Una estructura de hormigón armado debe estar preparada para todo evento externo para la que se diseñe, como es el caso de movimientos sísmicos o agentes ambientales como la corrosión del acero de refuerzo. Este último probablemente influye en gran parte a la pérdida de capacidad a largo plazo en su sistema estructural y consecuentemente potenciales pérdidas económicas (Sanchez y Rosowsky, 2008).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014) el número de permisos de construcción en el Ecuador, por tipo de material predominante en el año 2014, es el concreto reforzado. Por lo que indagar las causas principales que conllevan al biodeterioro y anomalías de este elemento de construcción, es primordial para el medio en que vivimos.

En 1968, Hueck, citado por (Allsopp, Seal, y Gaylarde, 2004) conceptualizó el biodeterioro del concreto. “Es cualquier cambio indeseable en las propiedades de los materiales causados por las actividades vitales de los organismos” (p. 1).

Los excrementos por los procesos metabólicos de los microorganismos, o la desintegración del material como fuente de alimento para ellos, forman parte de las actividades microbianas que atentan al material cementante (Sanchez y Rosowsky, 2008). Con ellas se formaría un camino para que los microorganismos aceleren la oxidación de las varillas de acero, modificando sus propiedades mecánicas (Videla, 1996).

Las patologías presentes en el hormigón, como las fisuras o la alta permeabilidad, son contribuyentes a un impacto corrosivo del acero de refuerzo. González y Miranda (2007) afirman que este material contiene poros por su constitución, y los agentes agresivos externos tendrán una vía de ingreso a través de ellos, disminuyendo su durabilidad.

La palabra patología en términos de ciencia médica, proviene del término griego Pathos que significa enfermedad, y Logos que es tratado o estudio (Elguero, 2004). Para nuestro interés, la patología es la parte de la Ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles (Helene y Pereira, 2003).

Se estima que el 75% de los casos de patologías constructivas, son causados por el mal diseño y mala calidad de la mano de obra, que se podrían solucionar y evitarse con trabajo técnico especializado. El 22% corresponde a la falta de mantenimiento o un uso inadecuado de la estructura y un 3% por fenómenos accidentales (Elguero, 2004). Además el 50% de

estas patologías son generadas por la humedad del medio, y una correcta impermeabilización del concreto evitaría el deterioro a corto plazo (Florentín y Granada, 2009).

Ante estas manifestaciones patológicas, las acciones inconsecuentes como reparaciones superficiales de las estructuras, refuerzos injustificados, crean un problema tal que la estructura no cumple su vida útil y consecuentemente se ejecutará su demolición (Helene y Pereira, 2003). Ésto generará un costo económico considerable de las construcciones, alcanzando hasta un 50% del total de la inversión, por realizar la mayor parte de las intervenciones en situaciones extremas, que exigen la reparación casi global de la edificación (Del Río Bueno, 2008).

La corrosión del acero de refuerzo es muy preocupante en el Ecuador, llegando a limitar el período de vida útil de la estructura de concreto, siendo uno de los factores que originan daños en su sistema mecánico (Solís, Moreno, y Castro, 2005) y la desintegración del material por acciones bacterianas, surge como mecanismo de aceleración a la oxidación del hierro de refuerzo (De Turrís, Ocando, Fernández, y F. De Romero, 2013).

La metodología a emplear frente al surgimiento de ésta problemática, es la de investigar el comportamiento del hormigón ante medios agresores. La extracción de núcleos de concreto, determinará las condiciones y características de vida de los microorganismos que destruyen el material, por medio de ensayos mecánicos como resistencia a la compresión y porcentaje de vacíos, así como pruebas químicas como el test de alcalinidad y fluorescencia de rayos x.

En el presente trabajo los capítulos se enfocarán a las patologías de una estructura de concreto reforzado, el origen, causas y vulnerabilidad ante un ataque microbiano. Se conocerán los diferentes tipos de microorganismos que originan un estado de deterioro al material cementante y los ensayos del laboratorio para identificarlos.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Justificación.

El hormigón estructural, puesto en obra, se ve afectado por la actividad microbiana, llega a la oxidación del acero de refuerzo, de tal manera que disminuye el período de vida útil, es evidente que esta actividad depende de las condiciones del entorno, impactando con mayor o menor intensidad. Existen sobradas razones para realizar esta variante de la investigación tradicional, ya que afecta directamente al costo final de la obra, reduce la vida útil de la misma, incrementa los costos de mantenimiento, prevenir las patologías del hormigón asegura el éxito del proyecto en todas sus etapas.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Investigar la oxidación del acero de refuerzo del concreto estructural, ocasionada por la actividad microbiana.

1.2.2. Objetivo Específicos.

- Conocer los espacios y su capacidad de acogida, como nicho de los microbios que afectan al hormigón.
- Conocer la actividad microbiana en el hormigón y sus impactos en el acero de refuerzo.
- Investigar la respuesta de la calidad del hormigón frente a los medios agresivos.

1.3. Antecedentes.

La falta de control y desinterés sobre la vida útil y durabilidad del hormigón han sido objetivo para que los diferentes tipos de microorganismos que viven en el ambiente, ocasionen grandes lesiones tanto en la superficie como dentro de su matriz. La mayoría de estructuras de concreto reforzado en la ciudad de Loja se encuentran vulnerables a un ataque microbiano, principalmente por la despreocupación post construcción del propietario de la edificación. Toda estructura construida con este tipo de material cementante combinado, cumple un objetivo de ser portante con las cargas asignadas y resguardar la vida de sus propietarios. Pero con el tiempo va perdiendo su capacidad estructural por lo que ejecutar un mantenimiento y rehabilitación de la estructura es imprescindible. El presente trabajo enfoca las diversas patologías que presenta una estructura de hormigón armado, en especial al ataque microbiano favorecido por concreto desprotegido, corroído por los

mismos microorganismos, carbonatación y el impacto negativo que genera en el acero de refuerzo.

Las diversas patologías constructivas son generadas en parte por el uso inadecuado y falta de mantenimiento de la edificación. Pasado unos años después de su construcción, la vivienda sufre cambios notables en su fachada. Estos cambios, se reflejan al encontrar sobre su superficie grietas, fisuras, humedad, coloraciones y manchas oscuras, diferentes al color inicial de la obra. El elevado porcentaje de humedad sobre la superficie del hormigón contribuye favorablemente para el crecimiento de microorganismos, cuyo impacto negativo es acelerar la oxidación de las varillas de refuerzo, alcanzando una etapa de pérdida en su rugosidad y posteriormente la separación con la pasta cementante, lo que disminuirá su capacidad estructural. En caso favorable, una rehabilitación estructural, sería la respuesta ante la problemática e impedir la demolición global de la edificación. Así se evitaría potenciales pérdidas económicas, un impacto social negativo por el desalojo de los inquilinos que viven en la estructura y una catástrofe ambiental irreparable si llegase el caso de una demolición.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. El hormigón y el hormigón armado.

Probablemente unos de los pioneros en utilizar el hormigón como material de construcción fueron los romanos. Los componentes del concreto incluían arena y gravilla, con la ayuda de aglutinantes naturales hidráulicos. Como “cemento natural” emplearon tierras volcánicas o puzolanas, ubicadas en el conocido yacimiento de Pozzuoli (Mattheib, 1980). Alrededor del siglo II A.C., los romanos extraían cenizas volcánicas cerca de Pozzuoli, suponiendo que era arena. Al combinarla con cal, notaron un aumento considerable en la resistencia de la mezcla. El descubrimiento tuvo efecto en la industria de la construcción. El material no era arena sino cenizas volcánicas, conteniendo sílice y alúmina, las cuales combinadas con cal, producen cemento puzolánico (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

Transcurridos los años desde la época del imperio romano hasta el año 1824, Joseph Aspdin, un albañil inglés, patenta el primer cemento portland, con una mezcla calcinada de piedra caliza y arcilla en sus componentes. El lugar de adquisición de la piedra caliza de grano fino era en la isla de Portland, que pasó a ser la más usada en Londres por su durabilidad (Perles, 2006). Sin embargo, en 1845, Johnson de White afirmó que había quemado el cemento crudo con una temperatura demasiado alta hasta que la masa casi se vitrificó, produciendo el cemento portland conocido en la actualidad. Este cemento se volvió el más popular y se propagó de Inglaterra para varias partes del mundo. La producción de cemento portland en Ecuador, inició por el año de 1926 (Kosmatka et al., 2004).

En 1854, el francés Lambot, en una exposición mundial en París, presentó una lancha de remos elaborada de hormigón armado con alambre de hierro y al año siguiente hizo patentar su idea. Consecuentemente François Coignet propuso en el año 1861, la aplicación del hormigón armado para techos, paredes de carga, bóvedas y tubos, asumiendo conocido el comportamiento resistente de este material y proponiendo recomendaciones de proyectos para elementos de hormigón armado (Mattheib, 1980).

El jardinero francés Joseph Monier, construyó el primer puente de hormigón armado para el paso de peatones con una luz de 16.5 m de largo por el año de 1875. Monier se dedicaba a la fabricación de macetas de hormigón armado con alambre de hierro, y en 1873 patentó su idea para la construcción de puentes. Se conocía que las patentes de Monier no estaban basadas en ninguna explicación teórica sobre el comportamiento del hormigón armado, sino que las aplicaciones propuestas se basaban en su experiencia. En el año de 1877 se publicó un informe de pruebas realizadas en vigas y paneles de hormigón armado, por los investigadores Hyatt, Jackson y Ransom. En su publicación, expusieron ya la adherencia

entre el acero y el hormigón y la influencia de las armaduras de acero como elemento tensados. Fue el inicio para que Monier desarrollase otros métodos de construcción con hormigón armado (Mattheib, 1980).

Hasta que Mathias koenen en 1886, propuso una base del diseño del hormigón armado y el primer método empírico de cálculo de secciones de hormigón armado sujetas a flexión. Publicó el libro "Das System Monier", fundamentadas en los métodos desarrollados por Monier, donde propone las siguientes hipótesis (Moreno, 2008)

- El acero resiste la totalidad de la tracción
- Existe una adherencia perfecta entre el hormigón y el acero
- No se producen cambios térmicos significativos
- Se ignora la diferencia entre los módulos de elasticidad de ambos materiales

2.1.1. Cemento Portland.

El cemento Portland es un proceso de mezcla pulverizada de caliza y arcilla dentro de un horno, adecuado a una temperatura que oscila entre 1400° - 1500°C, que al reaccionar entre sí, forman una masa llamada clinker. Una vez que se enfría el clinker, se pulveriza conjuntamente con pequeñas cantidades de yeso, obteniendo finalmente el conocido cemento Portland (Mingarro, 2009).

Kosmatka et al.,(2004) afirman que durante la calcinación, el calcio conjuntamente con los demás componentes del clinker, reaccionan entre sí, llegando a formar los cuatro principales compuestos del cemento, que representan el 90% de su masa total, descritos a continuación:

- Silicato tricálcico (C_3S)
- Silicato dicálcico (C_2S)
- Aluminato tricálcico (C_3A)
- Ferroaluminato tetracálcico (C_4FA)

Taylor, 1997, citado por (Kosmatka et al., 2004) asegura:

El silicato tricálcico (C_3S), constituye del 50% hasta 70% del clinker, mientras que el silicato dicálcico (C_2S) es responsable por sólo 15% hasta 30%. Los compuestos de

aluminato tricálcico (C_3A) constituyen aproximadamente del 5% hasta 10% del clinker y los compuestos de ferrita del 5% hasta 15%. (p. 52)

Mientras que el C_3S actúa en el incremento de la resistencia temprana del hormigón a los 28 días, el C_2S presenta una hidratación diferida, que actúa principalmente en la resistencia final. Entre tanto el C_3A actúa en el tiempo de fraguado y resistencia a las primeras horas y el C_4FA le da colocación a la pasta (Barboza, 2012).

En contacto con el agua, los silicatos de calcio, C_3S y C_2S , se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado o gel de tobermorita (Kosmatka et al., 2004). En 2010, Becker, citado por Barboza (2012) destaca:

Este gel es el responsable del desarrollo de la resistencia y la durabilidad del concreto, pero el rol del hidróxido de calcio es fundamental para la protección del acero por su elevado valor de pH (aproximadamente 12.5) priva a éste de un medio apto para el desarrollo de la corrosión. (p. 7)

2.1.1.1. Composición química del cemento Portland.

En la composición química del cemento Portland, se puede destacar dos grupos de componentes mediante el análisis químico. Los que por su participación cuantitativa o función se denominan componentes principales, y los componentes secundarios, que por determinados aspectos de la fabricación y utilización del cemento, desempeñan un papel importante (Mingarro, 2009).

Los principales componentes del cemento son:

- Sílice (SiO_2)
- Alúmina (Al_2O_3)
- Óxido de hierro III (Fe_2O_3)
- Cal (CaO)

El grupo de los componentes secundarios incluyen:

- Magnesia (MgO)
- Alcalinos ($Na_2O + K_2O$)
- Trióxido de azufre (SO_3)

No es exacta la composición química cuantitativa del cemento, las proporciones pueden variar entre ciertos límites. Su cantidad se expresa en porcentaje de acuerdo a la masa total del cemento. De estas proporciones depende el porcentaje de componente hidráulicamente activo, que acondiciona las características del cemento (Mingarro, 2009). Se ha investigado varios análisis químicos de los cementos Portland en determinadas zonas. En la tabla 1 se presenta la composición química de cementos Portland en España y en la tabla 2 en los E.E.U.U.

Tabla 1. Composición química de cementos Portland españoles

Componente Químico	Abreviatura	Porcentaje (%)
Sílice	(SiO ₂)	20.5
Alúmina	(Al ₂ O ₃)	5.5
Óxido de Hierro III	(Fe ₂ O ₃)	3.3
Cal	(CaO)	61.5
Magnesia	(MgO)	2.1
Alcalinos	(Na ₂ O + K ₂ O)	0.4
Trióxido de azufre	(SO ₃)	2.5
Residuo insoluble		2

Fuente: (Mingarro, 2009)

Elaboración: Autor

Tabla 2. Composición química de cementos Portland de los E.E.U.U.

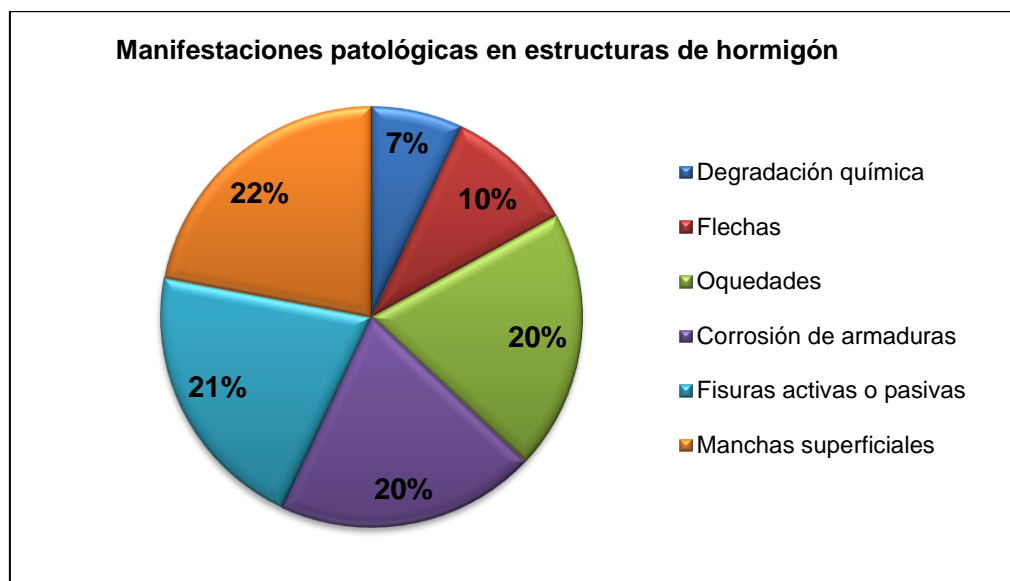
Tipo de cemento portland	Composición química %						Na ₂ O
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
I (min-max)	18.7-22.0	4.7-6.3	1.6-4.4	60.6-66.3	0.7-4.2	1.8-4.6	0.11-1.2
I (promedio)	20.5	5.4	2.6	63.9	2.1	3.0	0.61
II (min-max)	20.0-23.2	3.4-5.5	2.4-4.8	60.2-65.9	0.6-4.8	2.1-4.0	0.05-1.12
II (promedio)	21.5	4.6	3.5	63.8	2.1	2.7	0.51
III (min-max)	18.6-22.2	2.8-6.3	1.3-4.9	60.6-65.9	0.6-4.6	2.5-4.6	0.14-1.2
III (promedio)	20.6	4.9	2.8	63.4	2.2	3.5	0.56
IV (min-max)	21.5-22.8	3.5-5.3	3.7-5.9	62.0-63.4	1.0-3.8	1.7-2.5	0.29-0.42
IV (promedio)	22.2	4.6	5.0	62.5	1.9	2.2	0.36
V (min-max)	20.3-23.4	2.4-5.5	3.2-6.1	61.8-66.3	0.6-4.6	1.8-3.6	0.24-0.76
V (promedio)	21.9	3.9	4.2	63.8	2.2	2.3	0.48
Blanco (min-max)	22.0-42.4	2.2-5.0	0.2-0.6	63.9-68.7	0.3-1.4	2.3-3.1	0.09-0.38
Blanco (promedio)	22.7	4.1	0.3	66.7	0.9	2.7	0.18

Fuente: (Kosmatka et al., 2004)

Elaboración: Autor

2.2. Manifestaciones patológicas en el hormigón armado.

En la industria de la construcción, los ingenieros tratan de conseguir que el hormigón sea un material prácticamente eterno, poniendo un importante cuidado en el mantenimiento global de la estructura de concreto. Pero se encuentran construcciones que presentan manifestaciones patológicas de significativa intensidad e incidencia (Gráfica 1), acompañadas de elevados costos para su rehabilitación (Helene y Pereira, 2003)



Gráfica 1. Incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón.

Fuente: (Helene y Pereira, 2003)

Elaboración: Autor

El origen de éstas manifestaciones son debidas por diferentes causas y casi siempre presentan exposiciones externas (defectos, daños o lesiones) a partir de las cuales se puede deducir cual es la naturaleza y mecanismos, por los que puedan crear un problema patológico (Helene y Pereira, 2003). Todo problema patológico nace a través de un proceso o mecanismo que evoluciona con el tiempo y tiende a deteriorar a una estructura de hormigón.

De nuestro interés, la corrosión de armaduras por ataque microbiano, es parte también una patología del hormigón porque contribuyen a erosionar la superficie y aumentan la porosidad del hormigón, es decir incrementar la capilaridad y facilitando ingreso de iones de cloruro (Sanchez y Rosowsky, 2008).

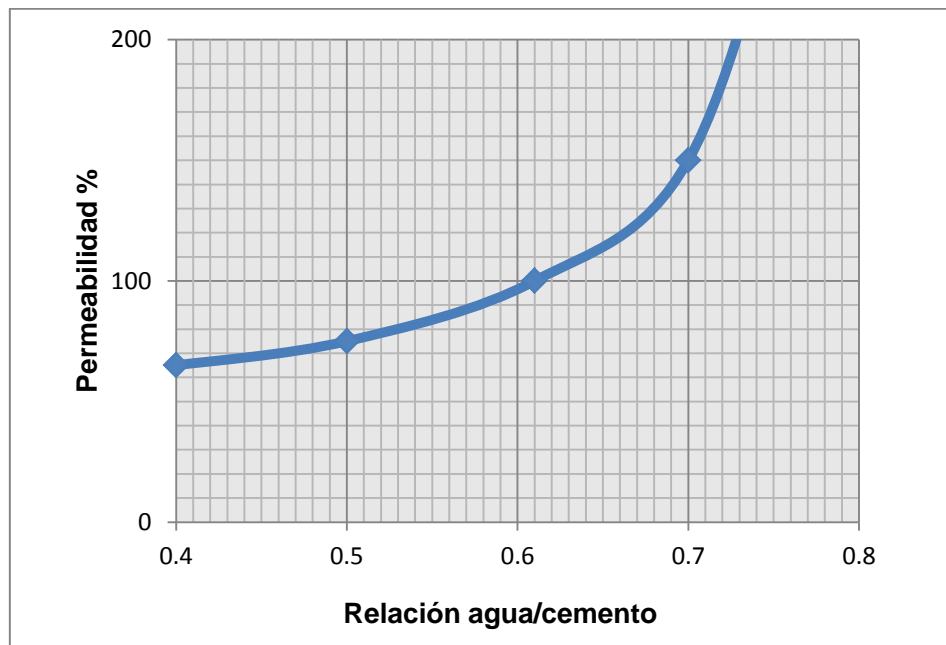
2.2.1. Permeabilidad.

La permeabilidad es la capacidad del concreto en resistir a la penetración del agua o cualquier otra sustancia (líquidos, gases o iones). (Kosmatka et al., 2004) testifica que la permeabilidad del concreto está en función de:

- La permeabilidad de la pasta
- La permeabilidad y la granulometría del agregado
- La calidad de la pasta y la zona de transición del agregado
- La proporción relativa de pasta y agregado

Si existe menor permeabilidad incrementará la resistencia al ingreso de sulfatos, iones de cloruro y otros ataques químicos como la actividad microbiana. Una relación de agua-cemento baja y un período de curado apropiado, tendrá como resultado un concreto de baja permeabilidad (Kosmatka et al., 2004).

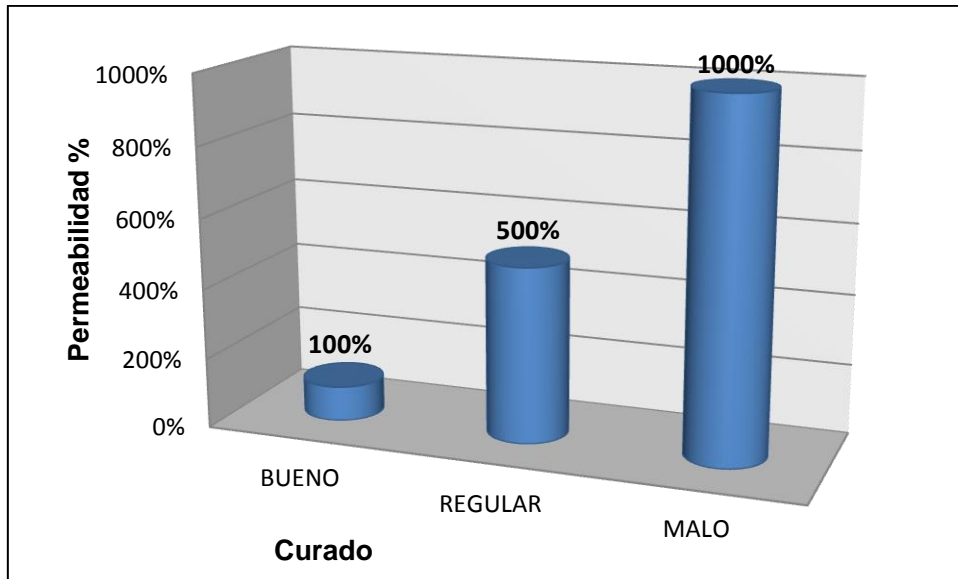
En las gráficas 2,3 y 4 se aprecia, la enorme influencia que la relación agua-cemento, el curado y la compactación tienen sobre la permeabilidad del hormigón.



Gráfica 2. Influencia de la relación agua-cemento en la permeabilidad del hormigón.

Fuente: (González y Miranda, 2007)

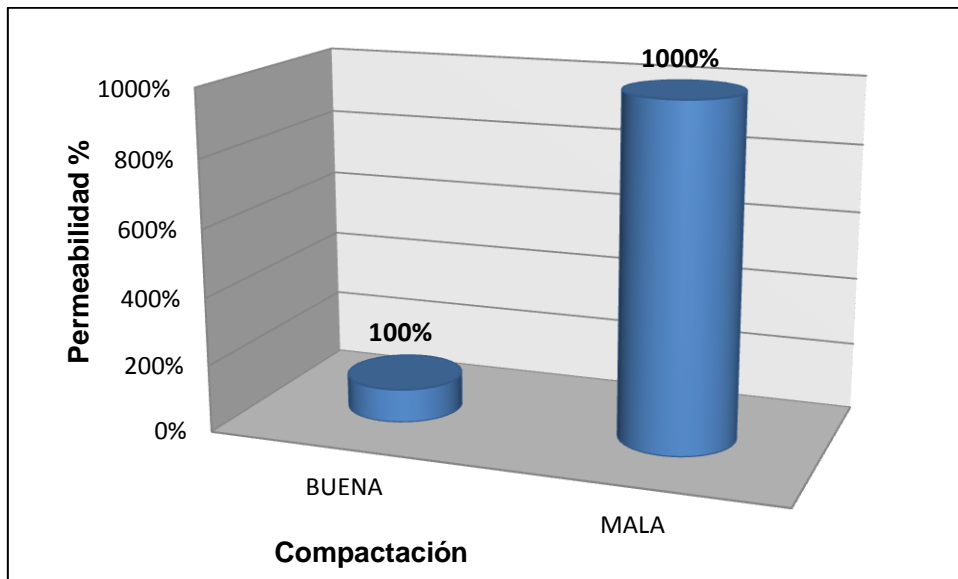
Elaboración: Autor



Gráfica 3. Influencia del curado en la permeabilidad del hormigón.

Fuente: (González y Miranda, 2007)

Elaboración: Autor

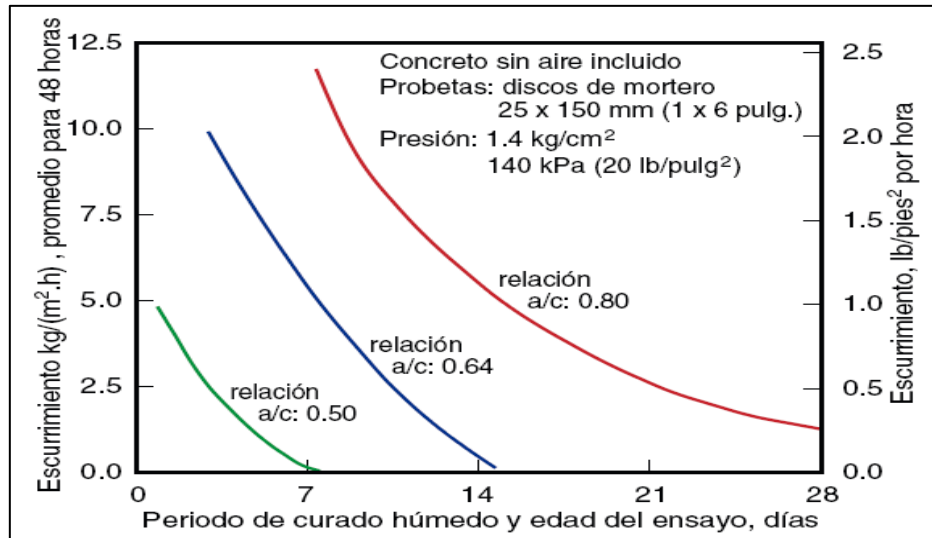


Gráfica 4. Influencia de la compactación en la permeabilidad del hormigón.

Fuente: (González y Miranda, 2007)

Elaboración: Autor

Así mismo de manera más específica, (Kosmatka et al., 2004) presenta ensayos de discos de morteros sin aire incluido y una presión hidrostática de 1.4 Kg/cm^2 (gráfica 5). Los resultados favorables a un bajo escurrimiento (hormigón impermeable), se debe a la baja relación agua-cemento y un aumento del período de curado.



Gráfica 5. Efecto de la relación a/c y duración del curado sobre la permeabilidad del mortero.

Fuente: (Kosmatka et al., 2004)

Elaboración: (Kosmatka et al., 2004)

2.2.2. Porosidad.

El concreto como todo material de construcción es una mezcla de arena, grava, cemento y agua que, al combinarlos, cierta cantidad de aire ingresa en el concreto, ocupando un espacio dentro de su matriz aún después de ser vertido en la obra (López, 2004). En el proceso de endurecimiento del concreto, aparece el fenómeno del sangrado, donde todos los elementos que conforman el hormigón (grava, arena, cemento) descienden por gravedad y sobre la superficie aflora el agua por ser el más liviano. Con el tiempo el agua se evapora, dejando huecos entrelazados en todas las direcciones conocidos como porosidad.

El árido también puede contener poros dentro de la masa de concreto pero la pasta de cemento llega al punto de envolver el agregado y no contribuirían a la permeabilidad del concreto. Pero el hormigón posee vacíos en su interior por causa de una compactación incompleta, alta relación de agua-cemento, extremada exudación del agua por sangrado, falta de curado, etc. Éstos vacíos pueden llegar a ocupar entre el 1% al 10% del volumen total del concreto, siendo 10% el caso extremo significando un concreto altamente segregado y resistencia muy baja (López, 2004).

2.2.3. Capilaridad.

La capilaridad es un fenómeno físico propio de cualquier material, que influye como mecanismo de transporte de líquidos en el concreto, que por su porosidad se puede asemejar a un grupo de tubos cilíndricos colindantes entre sí, con diminuto espesor

(Estrada, 2016). De igual manera, Estrada (2016) enfatiza que determinar la capacidad de absorción capilar es un método seguro para caracterizar la estructura y morfología porosa del hormigón. La absorción o succión capilar es la unión de las moléculas de agua a las paredes de los poros del hormigón por acción de fuerzas de adhesión entre ambas, creando un mecanismo de transporte a medios agresores (Villagrán, Zega, y Sosa, 2012).

Barboza (2012) refiere que la presencia de agua generalmente es un factor desencadenante de los procesos degradantes del hormigón y constituye éste el principal mecanismo de aporte para que los medios agresores, penetren hacia el interior. Un medio de acceso es un hormigón poroso o con alta permeabilidad, por ser de fácil acceso a los agentes agresivos mediante capilaridad (González y Miranda, 2007).

Existen varios métodos para identificar éstas manifestaciones patológicas que servirán como guía para detectar una patología en el hormigón armado, con mayor enfoque al impacto de microorganismos como vía de acceso, a la corrosión del acero de refuerzo.

Según Broto (2006), el análisis de una edificación ya sea su resistencia, integridad, forma y aspecto, son parte de un estudio patológico. Criterios que exigen de un procedimiento sistemático basado en un análisis del proceso patológico. El autor pone énfasis en tres fases.

- Fase de observación
- Fase de recopilación de información
- Fase de inspecciones técnicas

2.3. Fase de observación.

Para detectar las anomalías de una estructura se requiere una serie de observaciones simples en situ, de manera permanente o periódica. Con una simple observación se puede obtener bastantes datos, los cuales se complementarán y ampliarán con análisis posteriores, así detectar de mejor manera el efecto o daño producido en el edificio (Broto, 2005).

Mediante estas observaciones, podemos determinar un proceso patológico manifestado como síntomas, que con el tiempo se convierten en graves lesiones o daños a la estructura. Es por ello que Broto (2005) sugiere que se detecte la lesión, se identifique el porqué de su aparición y se la aisle para su seguimiento.

Los síntomas de mayor incidencia en el hormigón son las fisuras, causadas por cambios de humedad, por mal control del hormigón en estado fresco y endurecido, por carbonatación, por corrosión de armaduras, ataques químico - físico (Helene y Pereira, 2003; Becker, 2010). Constatada esta situación se optó aclarar cada una de las manifestaciones patológicas o síntomas del hormigón armado, con el aporte singular de algunos autores.

2.3.1. Afectaciones térmicas y cambios de humedad.

La presencia de cambios climáticos tiene mucha importancia sobre las propiedades del hormigón, atacando principalmente su trabajabilidad y resistencia, sobretodo en sus etapas iniciales, que por las malas condiciones climáticas, alteran los procesos de hidratación, fraguado y endurecimiento (Barboza, 2012).

En cambio, el hormigón en estado endurecido por cambios de temperatura, experimenta variaciones de volumen al igual que cualquier sólido, que cuando se calienta este se dilata y cuando se enfría se contrae. Así mismo pasa con los cambios de humedad en el hormigón, se hincha cuando se humedece y se contrae a medida que se seca (Helene y Pereira, 2003).

Éstos fenómenos se exteriorizan en forma homogénea en toda la sección, por la aparición de fisuras, provocadas por las tensiones de vínculos externos o internos, impidiendo una libre deformación como muestra la figura 1. Como vínculos externos pueden ser elementos estructurales vinculados, tal es el caso de losas apoyadas sobre el piso (fricción), apoyos fijos, etc. Como vínculos internos se cita la presencia de varillas de armadura, cambios bruscos de sección, entre otros (Helene y Pereira, 2003).

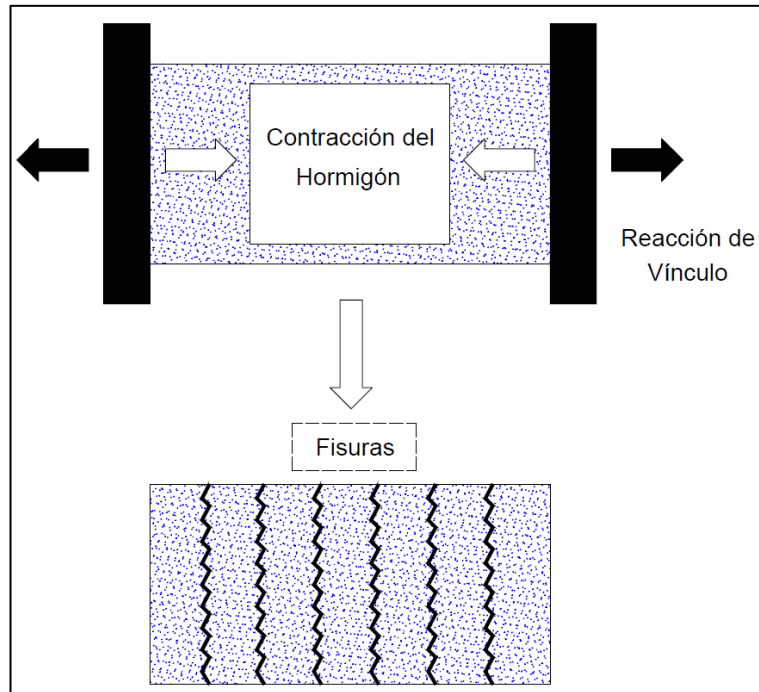


Figura 1. Fisuración por efecto de la contracción impedida.

Fuente: (Helene y Pereira, 2003)

Elaboración: Autor

Es simple la morfología de las fisuras, son aproximadamente paralelas entre sí y perpendicularmente a la tensión de tracción. Puesto que el hormigón es de lento avance en su etapa de secado y las fisuras aparecerán después de algunas semanas o incluso meses (Helene y Pereira, 2003). Por ausencia de recursos para evadir la contracción del concreto, se puede minimizar y controlar las tensiones mediante el diseño de juntas de contracción o de dilatación, espaciadas específicamente para reducir la aparición de fisuras (Helene y Pereira, 2003).

2.3.2. Tamaño máximo del agregado.

Es importante conocer el tamaño máximo del agregado para el concreto ya que, sin conocimiento de ello, colocar un árido demasiado grande puede ocupar un volumen capaz de obstruir el paso del hormigón incrustándose en las varillas de refuerzo y produciendo porosidad en la matriz del hormigón.

La normativa americana ACI 318 aclara que el tamaño máximo del agregado grueso no puede superar $\frac{1}{5}$ de la menor separación entre los lados del encofrado. Así como $\frac{1}{3}$ del espesor de las losas y la última depende de la separación libre entre barras o alambres de

individuales de refuerzo, el agregado no debe superar $\frac{3}{4}$ del espaciamiento libre entre varillas (ACI 318S, 2014).

2.3.3. Corrosión de armaduras.

La mayoría de estructuras de hormigón armado diseñadas y ejecutadas de la manera correcta, son propensas a alcanzar una buena durabilidad. Al ser bien construidas, el hormigón presentará una alta alcalinidad entorno a sus poros, proporcionando un ambiente ideal para la acogida del acero de refuerzo y asegurando una protección contra la corrosión (Berrocal, Lundgren, y Löfgren, 2016). Tuutti (1982) añade que por la alcalinidad de los poros que rodean al acero de refuerzo, se forma una película de óxidos principalmente de Fe_3O_4 y Fe_2O_3 , la unión de ellos, le denomina capa pasiva, que reduce el movimiento de iones entre el acero y el hormigón. Disminuyendo drásticamente e insignificadamente la velocidad de corrosión.

La oxidación de la varilla de refuerzo en el concreto se inicia al momento que el pH disminuye (el pH del hormigón es superior a 13) a valores que logran inestabilidad en los óxidos pasivantes, ocasionado por procesos de carbonatación, lixiviación o por el alto contenido de iones de cloruro sobre la superficie del acero, tales que originan el deterioro de la capa pasivante (Villagrán, 2012). En la figura 2 se observa el avance de corrosión de una varilla de acero (arriba), con respecto a una varilla del mismo diámetro en estado normal (abajo).



Figura 2. Varilla de acero corroída.

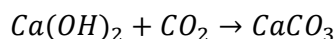
Fuente: Autor

Elaboración: Autor

2.3.3.1. Disminución de alcalinidad en el hormigón.

La pérdida de alcalinidad en el concreto ($\text{pH} \leq 9$), da origen a la despasivación de la capa compactada que rodea al acero. Este proceso puede darse como resultado de la lixiviación o disolución de las sustancias alcalinas alojadas en los poros del material cementante, o por

carbonatación (Helene y Pereira, 2003). (Ocampo et al., 2005) afirma que la despasivación de la armadura por carbonatación ocurre por el ingreso de anhídrido carbónico (CO_2) al concreto, penetrando por sus poros y llegando a combinarse con el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, formando reacciones como esta:



Como resultado a esta reacción se forma el carbonato de calcio (CaCO_3) que acidifica el hormigón. El progreso de este fenómeno transita hacia el interior de su masa a una velocidad generalmente proporcional a $t^{1/2}$, cuya variable t es el tiempo (Helene y Pereira, 2003). En el transcurso de la carbonatación, los carbonatos pueden reaccionar de manera drástica si existen elevados contenidos de CO_2 y agua (H_2O), generando el bicarbonato de calcio $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$, cómplice de la reducción adicional del pH del concreto (Böhni, 2005).

El proceso de carbonatación es completamente natural afectando al material por variables naturales, en gran medida, al contenido de humedad que posee y la porosidad a la que se encuentra (Ocampo et al., 2005). Barboza (2012) señala que la despasivación de la capa compactada solo sucederá de forma significativa en ambientes sometidos a períodos húmedos o humedades relativas que rondan entre el 60% y el 75%, y se puede asegurar que no existiría corrosión en ambientes menores a 60% de su humedad relativa. De igual manera si está por encima de un 75% de humedad relativa en el concreto, se revierte la situación, ya que sus poros se bloquean paulatinamente con el agua, dificultando el paso del CO_2 (Ocampo et al., 2005). Sin duda, la oxidación del hierro de refuerzo dependerá en mayor parte, al correcto estado físico del hormigón y el medio en el que se desarrolla. En la figura 3 se aprecia la corrosión de armadura de un poste de concreto, deteriorado por carbonatación



Figura 3. Corrosión del acero de refuerzo por carbonatación.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

2.3.3.2. Alto contenido de iones de cloruro.

La entrada más rápida de cloruro en el hormigón es provocada por la succión capilar del agua que contenga cloruro como agua de mar, suelos que contengan cloruro (suelo de magnesia), aguas con sales disueltas de deshielo (Böhni, 2005). La aparición de iones de cloruro destruye la capa pasivante que resguarda inicialmente a las armaduras de acero y al tener contacto con la superficie de la armadura, la corroe. Este tipo de fenómeno se lo conoce como corrosión por picado (Ocampo et al., 2005).

Se conoce que, a mayor contenido de iones de cloruro en el material cementante, mayor corrosión por picadura ocurrirá. Es aceptado que el nivel de cloruro en las superficies de las varillas de refuerzo tiene que superar un valor base de acuerdo a varias investigaciones (Böhni, 2005). Helene y Pereira (2003) refiere que generalmente el valor crítico de cloruros en la práctica es de 0.4% en masa de cemento. Este valor depende de varios factores tales como el pH y contenido de humedad del concreto o como el contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento. Puesto que el pH del hormigón varía en función de su composición (tipo de cemento, relación agua-cemento) un valor fijo o único no se puede esperar (Böhni, 2005).

Las investigaciones de muchos países han colaborado en llegar a una aproximación del daño que genera los iones de cloruro de acuerdo a su cantidad. Böhni (2005) muestra la siguiente tabla de relación entre el contenido de cloruros (% en masa de cemento) y el riesgo de corrosión.

Tabla 3. Relación entre el contenido de cloruros y el riesgo de corrosión del acero de refuerzo.

% de cloruros presentes en masa de cemento	Riesgo de corrosión del acero de refuerzo
< 0.2%	Bajo riesgo
0.40%	Mediano riesgo
> 1.0%	Alto riesgo

Fuente: (Böhni, 2005)

Elaboración: Autor

Una vez que se ha empezado la corrosión, los daños se manifiestan en general bajo tres rutas. (Ocampo et al., 2005) señala que la disminución del diámetro inicial del acero es una manifestación de la corrosión. Así también sobre el hormigón, al originarse acumulación de óxidos expansivos en la interface acero – hormigón, genera fisuras y desprendimientos. Y

por último la desunión del acero con el hormigón, llegando a perder su adherencia inicial. Al disminuirse la sección del acero del refuerzo, la estructura entraría a un rango de Estado Límite Último (ELU) (Barboza, 2012), alcanzando el límite de su capacidad y más su poca adherencia pondrían a la estructura en riesgo de colapsar.

El ACI 224.1R (2007) especifica de manera técnica y poco conservador que para una buena protección y durabilidad de una estructura de hormigón armado sea de optar un suficiente recubrimiento libre y el buen control de calidad del concreto. La normativa chilena D.S. N° 60 2011 “Reglamento que fija los requisitos de diseño y cálculo para el hormigón armado”, sugiere un recubrimiento libre mínimo de 30 mm para condiciones normales y 40 mm en condiciones severas, cuyos diámetros sean iguales o menores de Ø 16, caso contrario aumentaría 10 mm de espesor.

Así como Helene y Pereira (2003) explica que la ejecución de una obra con cemento de alta resistencia a los sulfatos es vulnerable al ataque de iones de cloruro por su elevada permeabilidad respecto a los otros cementos y es conveniente proteger las armaduras de refuerzo que el ataque al hormigón.

2.3.3.3. Proceso de corrosión.

La corrosión de armaduras es un proceso electroquímico que genera la oxidación (degradación) del acero en el concreto (Helene y Pereira, 2003). Todo proceso electroquímico solicita de cuatro participantes fundamentales: el ánodo que contribuye electrones y lugar de oxidación del acero, el cátodo donde se receptan los electrones y se produce la reducción, un conductor eléctrico que comunique los electrones liberados en el ánodo y consumidos en el cátodo y el conductor iónico o electrolito (Villagrán, 2012). En la figura 4 se puede entender de mejor manera el proceso electroquímico.

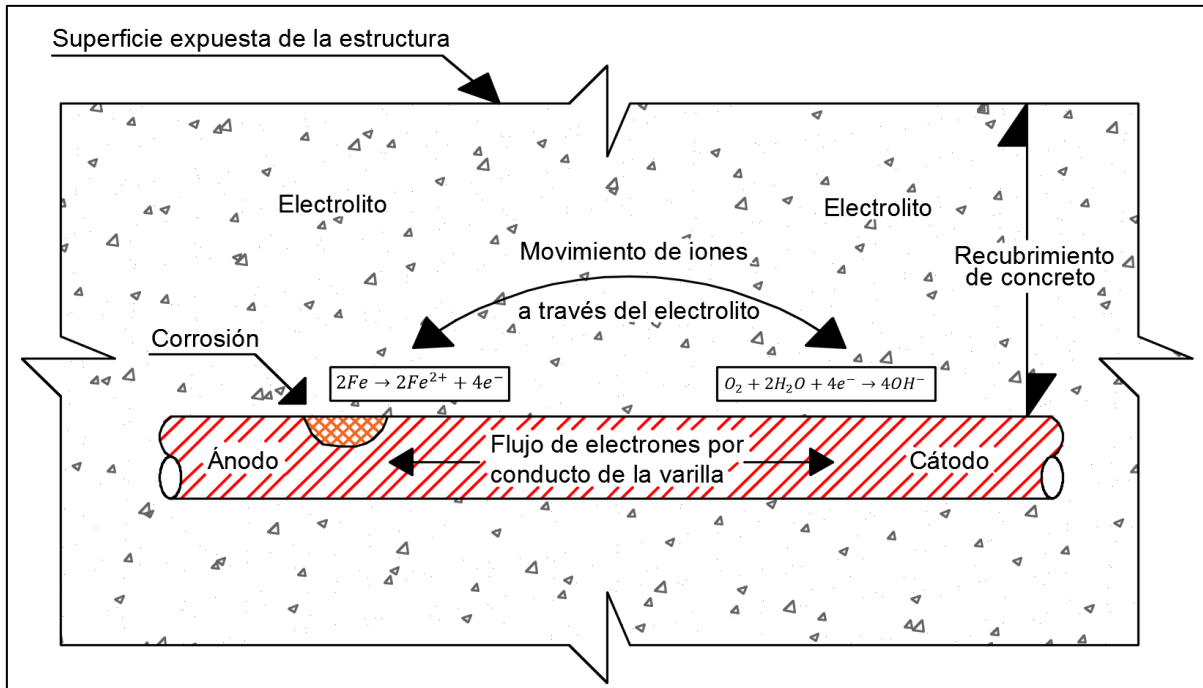


Figura 4. Esquematación de corrosión electroquímica de una varilla de acero en el hormigón armado.

Fuente: Nieves, 2004, citado por Barboza (2012)

Elaboración: Autor

En la siguiente tabla se presenta las condiciones necesarias del hormigón armado, para que se produzca corrosión en su acero de refuerzo

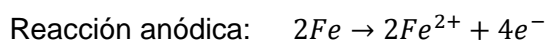
Tabla 4. Condiciones favorables para corrosión del acero en el hormigón armado.

Condición para corrosión del acero en el hormigón	Condición se cumple si:
1. Una reacción anódica es posible.	La capa pasiva de la barra de acero se rompe y produce despasivación del acero. Causado por la carbonatación del hormigón.
2. Una reacción catódica es posible.	El oxígeno, como fuerza impulsora del proceso de corrosión, está disponible en la interfaz de la armadura en una cantidad razonable.
3. Un flujo de iones entre la reacción anódica y el sitio de la reacción catódica es posible.	El electrolito entre el sitio de la reacción anódica y el sitio de la reacción catódica conduce bien.
4. Un flujo de electrones es posible.	Hay una conexión metálica entre las reacciones anódica y catódica. Para las estructuras de hormigón armado monolíticas se cumple esta condición por lo general.

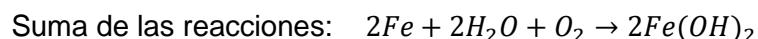
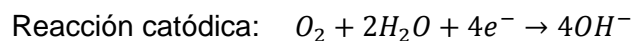
Fuente: (Böhni, 2005)

Elaboración: Autor

(Ocampo et al., 2005) aclara que, si la estructura presenta carbonatación, favorecida por la presencia de cloruros inicial en el agua de amasado del cemento, se perdería la capa pasivante, alcanzando la corrosión por reacción anódica, disolviéndose en iones ferrosos como muestra la siguiente reacción:



Los cuales llegan a integrar diversos óxidos bajo la acción de concentración de oxígeno y de la humedad presente. En esta etapa se empieza apreciar el agrietamiento y astillamiento del concreto, producido por el ensanchamiento de hasta 14 veces el volumen original de los óxidos pasivantes (Ocampo et al., 2005). Al mismo tiempo en otra parte de la barra de acero se produce la reacción catódica como por ejemplo la reducción del oxígeno, mostrada a continuación:



El producto de estas reacciones, la unión de iones de hierro, con el oxígeno y el agua crean el conocido hidróxido ferroso $[Fe(OH)_2]$, culpable del agrietamiento del hormigón y ensanchamiento del volumen del acero corroído (Broomfield, 2007).

Si la estructura es atacada por la presencia iones de cloruro, se visualiza la formación de picaduras que se expanden en su superficie hasta desarrollarse un mecanismo generalizado de corrosión. Este proceso es conocido como picado de cloruro o corrosión localizada (Villagrán, 2012). En un lugar apropiado en la superficie del acero (como puede ser un poro o vacío en la pasta de cemento o incorporación de sulfuro en el acero) la capa pasiva queda desprotegida originando una diferencia de potencial electroquímico, que atrae a los iones de cloruro (Broomfield, 2007). La formación de picaduras se ilustra en la figura 5.

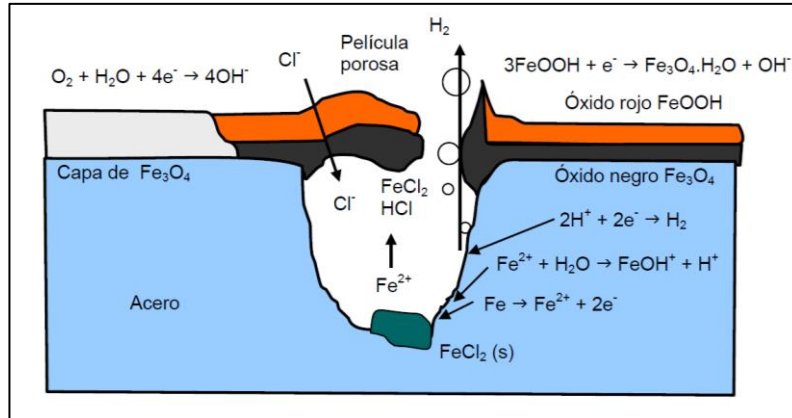
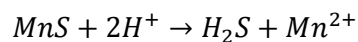
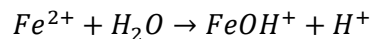


Figura 5. Esquematación de la corrosión del acero por picado.

Fuente: (Broomfield, 2007)

Elaboración: (Villagrán, 2012)

Broomfield (2007) concluye que una vez iniciada la corrosión se llegan a formar ácidos como el ácido sulfhídrico (H_2O) a partir del monosulfuro de manganeso (MnS) y el ácido clorhídrico (HCl) presentes del cloruro. Estos ácidos disuelven el hierro y reacciona con el agua de la siguiente manera:



Sobre la picadura se forjan hoyos, permitiendo concentraciones de ácido (H^+) y ausencia oxigenación. Así el hierro se mantiene en solución, evitando la reconstrucción de la capa de óxido protectora o capa pasiva y acelerando la corrosión del acero de refuerzo (Broomfield, 2007; Villagrán, 2012)

El flujo de iones y electrones respectivamente pueden ser una medida de la velocidad de corrosión. De acuerdo a varios estándares de medida se puede optar por: Masa perdida por unidad de área en un determinado tiempo (g/m^2 día). O también como reducción del espesor de la varilla de acero por unidad de tiempo ($mm/año$) (Böhni, 2005). De igual manera Böhni (2005) valida las siguientes medidas de velocidad de corrosión para acero y hierro:

$$1 \frac{mA}{cm^2} \approx \frac{11.6mm}{año} \approx 250g/m^2 dia$$

$$1 \frac{\mu A}{cm^2} \approx \frac{12\mu m}{año} \approx 0.25g/m^2 dia$$

La velocidad del fenómeno de corrosión dependerá de la relación entre los procesos anódico y catódico (oxidación y reducción), y la menor de las velocidades de ambos

procesos determinará la velocidad de corrosión (Villagrán, 2012). En el caso de varillas de acero embebidas en el hormigón, la velocidad se restringe por dos factores. El primero por la velocidad de llegada de oxígeno al cátodo para reducirse en su superficie y el segundo por la velocidad de transferencia iónica en el electrolito (Tuutti, 1982). Bertolini, 2003, citado por Villagrán (2012) afirma que el primer caso es de control catódico y se da por la ausencia de oxígeno, como en el caso de un hormigón saturado permanentemente. El segundo es de control anódico y depende del electrolito, es decir de la solución del poro del hormigón.

De acuerdo a la figura 6, se resumen que, sin oxígeno, sin un electrolito como el concreto y sin un agente que deteriore la capa pasivante del acero (carbonatación, iones de cloruro), la varilla de acero no estaría expuesta a la corrosión de su superficie y cumpliría con su funcionamiento estructural sin ningún problema.

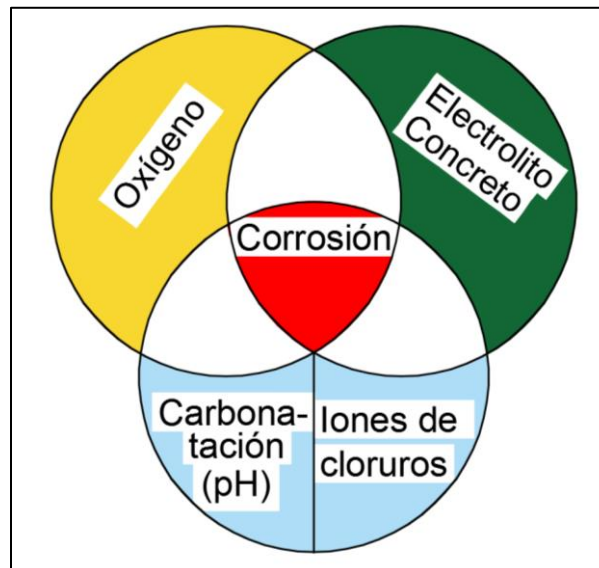


Figura 6. Condiciones para la corrosión del acero en el hormigón armado.

Fuente: (Böhni, 2005)

Elaboración: Autor

2.3.4. Fisuración.

Todos los constructores (ingenieros, arquitectos y albañiles) se esfuerzan por evitar el surgimiento de fisuras, pero todas las edificaciones construidas con cemento, tienden a mostrar fisuras, ya sea al cabo de unos años o meses, incluso transcurridas unas horas de su colocación. Las causas son varias y su apreciación es dificultosa, pero la mayoría de ellas podría evitarse o por lo menos reducirse y así los gastos de reparación serían mínimos (Joisel, 1981).

Las fisuras implican una pérdida de estanqueidad, dejando una libre circulación reducida pero continua de agua, oxígeno o dióxido de carbono, en zonas al interior de la masa de hormigón. En casos especiales estos componentes pueden servir de acceso a medios agresores, afectándose la durabilidad del hormigón y su armadura de refuerzo (Del Río Bueno, 2008). Florentín y Granada (2009) refiere que se pueden distinguir varias fisuras de acuerdo a su manifestación, como son las reacciones químicas, por reacciones electroquímicas, reacciones térmicas, explicadas anteriormente. El enfoque central de ésta patología son las fisuras provocadas mayormente en la parte constructiva de una edificación de hormigón armado y su posterior mantenimiento.

2.3.4.1. Fisuras originadas por retracción plástica.

Entre los defectos más insistentes ocurridos en el momento que el hormigón se encuentra en estado fresco, son las fisuras de retracción plástica y las de asentamiento plástico (Becker, 2010). La contracción plástica se compete a los cambios que ocurren mientras el concreto aún está en estado fresco, antes de endurecerse e implica mayormente a superficies grandes de hormigón no protegidas, como losas estructurales, pavimentos rígidos, que al estar al aire libre están expuestas a condiciones atmosféricas, que aceleran la evaporación del agua superficial (velocidad de evaporación > velocidad de exudación), y finalmente sufren una contracción diferencial, creando fisuras alrededor (Becker, 2010).

La figura 7 muestra aproximadamente el tamaño longitudinal de la fisura por contracción plástica y la profundidad aproximada de 2 a 3 cm, dependiendo de las condiciones ambientales, las técnicas de protección y curado que se le apliquen (Becker, 2010).



Figura 7. Fisura por contracción plástica.

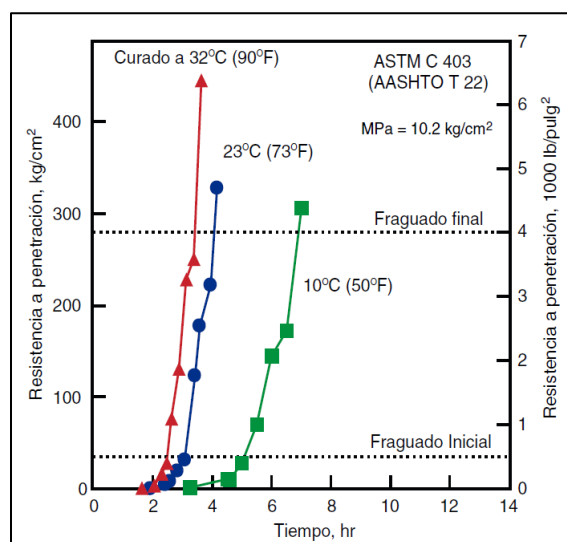
Fuente: Autor

Elaboración: Autor

De acuerdo a (Kosmatka et al., 2004), la contracción plástica se puede controlar, disminuyendo la velocidad de evaporación superficial mediante rociado, rompevientos, cubiertas de láminas de plástico y auxiliares de acabado aerosol (retardadores de evaporación). Un poco de sangrado colabora con el control de la fisuración por contracción plástica, así mismo si el sangrado es excesivo incrementa la relación a/c en la superficie, creando una camada superficial y débil. En cambio, la falta de agua de exudación o sangrado conlleva a una superficie muy seca difícil para realizar el acabado (Kosmatka, 1994).

El tiempo que tarda en exudar el hormigón es de aproximadamente una hora, pero dependerá de la profundidad de la sección del hormigón y de las propiedades de los materiales de la pasta (Kosmatka, 1994). Igualmente Kosmatka (1994) señala que no se puede realizar un terminado de superficie o acabado sin que el agua de exudación se haya evaporado. Ya que la formación de vacíos y bolsas de agua son productos de un acabado prematura de la superficie.

Indicado anteriormente para evitar la propagación de fisuras es conveniente efectuar un curado correspondiente a la falta de agua de exudación, eliminada por la evaporación. Es necesario tener conocimiento del tiempo de fraguado de una mezcla de concreto, ya que una vez finalizado el fraguado el hormigón pierde agua por exudación y es necesario incluirle para que alcance su máxima resistencia. La gráfica 6 muestra las propiedades de fraguado de mezclas de concreto a diferentes temperaturas.



Gráfica 6. Tiempo inicial y final de fraguado a diferentes temperaturas.

Fuente: Burg, 1996, citado por (Kosmatka et al., 2004)

Elaboración: Burg, 1996, citado por (Kosmatka et al., 2004)

2.3.4.2. Fisuras originadas por asentamiento plástico.

El asentamiento plástico es un fenómeno que experimenta todos los elementos de hormigón cuando inicia la exudación, y esta aumenta en mezclas mal dosificadas como la alta relación a/c, lo que origina una importante reducción de volumen y en aquellas zonas donde está restringido el movimiento del hormigón, se producirán fisuras (Becker, 2010). En la figura 8 se observa el elemento viga hormigonada que sufre asentamiento plástico y su armadura longitudinal y transversal superior sirven de restricción produciéndose fisuras en el hormigón paralela al refuerzo (Becker, 2010).

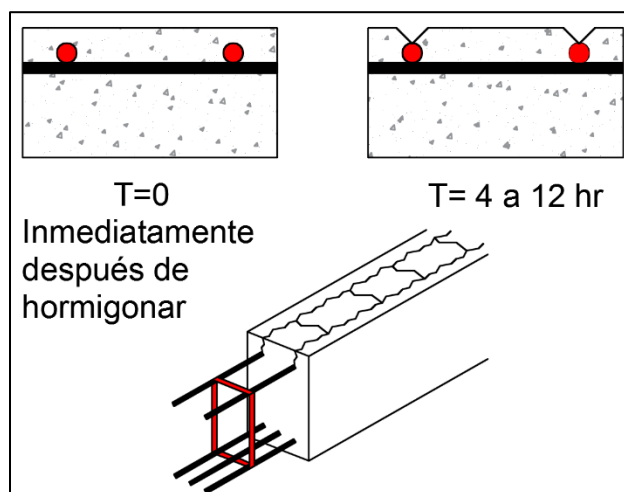


Figura 8. Fisuras de una viga de concreto reforzado por asentamiento plástico.

Fuente: (Becker, 2010)

Elaboración: Autor

Las fisuras provocadas por asentamiento plástico afecta la durabilidad de las barras de acero, sobre todo su adherencia con el hormigón y otros elementos estructurales, disminuyendo el recubrimiento libre y el fácil ingreso de agentes corrosivos (Becker, 2010).

2.3.4.3. Fisuración por asentamientos diferenciales.

Unas de las causas frecuentes que suscitan la manifestación de fisuras y daños estructurales en edificaciones de hormigón armado, están los conocidos asentamientos diferenciales (Helene y Pereira, 2003). La estructura presentará fisuras por el esfuerzo tensional acumulado, ocasionado por un desplazamiento vertical de un apoyo, diferente al de los otros apoyos. Calavera (2005) explica que este problema es el inicio de múltiples procesos patológicos, ya que el descenso de un pilar diferente al del resto, ocasiona una

sobrecarga repartida a los elementos estructurales adyacentes. La figura 9 muestra una tensión acumulada en zonas donde existe la presencia de fisuras.



Figura 9. Aparición de fisuras por asentamientos diferenciales.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los asentamientos diferenciales pueden ser provocados por diversos motivos los cuales Helene y Pereira (2003) marca los más importantes mencionados a continuación:

- Deformaciones excesivas del suelo de fundación por desconocimiento o examinación errónea de sus características.
- Deformaciones extremas del suelo por la aparición de alteraciones imprevistas (inundación, vibración, erosión, socavación, etc.)
- Ejecución de proyectos sobre pozos mal cegados, rellenos de material orgánico, alteraciones del terreno desconocidas, etc.
- Fundación de una misma estructura sobre distintos tipos de suelo, distintos sistemas de cimentación y a diferentes niveles de fundación.
- La presencia de suelos expansivos.

2.3.5. Ataque físico.

Se llamará ataque físico al conjunto de acciones del medio ambiente que causan un deterioro del concreto. Anteriormente se ha tratado patologías del hormigón que son ocasionadas por acciones ambientales, pero para este ítem se estudiará como la acción de altas temperaturas y el fenómeno de la erosión y abrasión, crean un deterioro en el hormigón. La acción de bajas temperaturas también daña la estructura del concreto, pero en

la ciudad de Loja, es poco probable que ocurran temperaturas muy bajas, por lo que no se tratará esta patología en el presente trabajo de investigación.

2.3.5.1. Exposición a altas temperaturas.

Un caso importante de deterioro que puede presentarse en estructuras de hormigón, son las altas temperaturas provocadas por la acción del fuego. Aunque el hormigón se comporte mejor ante el fuego por su baja conductividad térmica e incombustibilidad, una exposición prolongada a temperaturas muy altas, logra daños irreparables en las estructuras, principalmente en su resistencia, quedando vulnerable en su capacidad estructural (Becker, 2010).

El grado de alteración de los componentes del concreto dependerá principalmente al nivel de temperatura alcanzado por el fuego, el tiempo de exposición y de la composición del hormigón. Un ejemplo es la pérdida de adherencia del acero con el hormigón, ya que la dilatación de las armaduras de refuerzo por el calor, crean micro fisuras alrededor de las barras y su posterior aislamiento con las paredes del hormigón (Helene y Pereira, 2003)

Es necesario precisar el grado de afectación que muestra la estructura para aprobar su demolición o su reparación. Un método más común para definir el grado de daño de una estructura, es el de la auscultación por ultrasonido, conjuntamente con la capacidad resistente de la edificación por medio de la extracción de probetas de hormigón, en la zona de análisis, siempre con el respaldo de profesionales con experiencia en el tema (Helene y Pereira, 2003).

2.3.5.2. Desgaste de la superficie del concreto.

Se denomina abrasión y desgaste de la superficie del concreto al conjunto de acciones ligadas a esfuerzos que ocasionan un desprendimiento del hormigón (Helene y Pereira, 2003). Según ACI 116R, citado por ACI 201.2R (2001) define a la abrasión como la facultad de una superficie para oponer resistencia al desgaste por frotamiento y/o fricción debido por acciones mecánicas como el tránsito de vehículos o peatones, el arrastre de sedimentos en un canal revestido, la lluvia, etc.

La resistencia al desgaste está vinculada a la resistencia intrínseca del hormigón, pero la importancia del cuidado en la calidad y dureza del agregado y la eficacia del curado superficial es fundamental (Helene y Pereira, 2003). Con experiencia Helene y Pereira (2003) recomienda para mejorar la resistencia a la abrasión, la implementación de

endurecedores minerales y/o químicos o emplear hormigones especiales con fibras de acero.

Según Helene y Pereira (2003) afirma que en las superficies de hormigón en contacto con agua en rápido movimiento, logran producir picaduras que posteriormente conducen a un desprendimiento sucesivo del hormigón como es el caso de la figura 10, que por la acción reiterada de gotas de lluvia y por el movimiento del agua hasta la desembocadura, generó un desgaste superficial del hormigón.



Figura 10. Desgaste de la superficie de hormigón por el rápido movimiento del agua.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

2.3.6. Ataque químico.

El ataque químico según Becker (2010) son los procesos de deterioro del hormigón generados por actores agresivos procedentes del ambiente externo a la estructura, que se infiltran al interior por lo general en solución química, reaccionando con la pasta de cemento. Existen varias sustancias y agentes agresivos al hormigón como son las aguas blandas, los ácidos, sales de sulfatos, etc. Una de las variables que tiene gran importancia en el ataque químico al hormigón es la porosidad, así como la estructura de los poros, ya que éstos factores intervienen con el mecanismo de transporte de la sustancia nociva hacia el interior del hormigón, es decir en las propiedades de permeabilidad, en la capilaridad y difusión (Sanguinetti, Astori, y Bizzotto, 2006).

Las manifestaciones de ataques químicos en el hormigón para la presente investigación, han sido necesarias estudiar las actividades de los microorganismos que anidan en el concreto, así como el deterioro del mismo por el ataque de sulfatos.

2.3.6.1. Actividad microbiana.

La mayoría de estructuras de hormigón armado presentan anomalías en la superficie del hormigón, que a simple vista son como manchas, pero en realidad son microorganismos que crecen según el medio en el que vive y las condiciones que proporciona el material (Videla, 1996). Roberts, Nica, Zuo, y Davis (2002) denomina corrosión microbiana del concreto a la expulsión de reacciones químicas nocivas provocadas por las actividades metabólicas de los microorganismos, lo que modifican las propiedades mecánicas del concreto y ocasionan un biodeterioro del material.

El biodeterioro se produce en el límite entre la ingeniería y la biología, generalmente la microbiología. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta los mecanismos físicos y químicos que utilizan los microorganismos para alterar las propiedades mecánicas del material (Sanchez y Rosowsky, 2008). Acorde a (Gaylarde, Ribas Silva, y Warscheid, 2003) el biodeterioro se puede clasificar en: rotura física, deterioro estético y afectación química. La explicación de cada una de las clasificaciones del biodeterioro están basadas al criterio de Sanchez y Rosowsky (2008).

- El deterioro físico son las acciones como el crecimiento o movimiento de los microorganismos vivos, que desintegran y producen daños en el material.
- El deterioro estético es la creación de una capa microbiana o biofilm en la superficie del hormigón, formada por microorganismos en descomposición o excrementos por sus procesos metabólicos, degenerando la apariencia del hormigón, pero no su rendimiento.
- El deterioro químico se divide en asimilatorio y disimilatorio. Es asimilatorio cuando los microorganismos se alimentan del hormigón como fuente de energía y es disimilatorio cuando los microorganismos excretan sustancias como ácido sulfhídrico (H_2S) o sulfuro ferroso (FeS) que perturban negativamente al material

Si las estructuras de concreto armado se encuentran generalmente en condiciones ambientales favorables como por ejemplo alcalinidad del hormigón (pH alto), baja humedad, restringirá el crecimiento microbiano y su biodeterioro, pero es necesario conocer las

características individuales de los microorganismos que atentan con la vida útil del hormigón armado (Sanchez y Rosowsky, 2008).

Los microorganismos más comunes asociados al biodeterioro del hormigón son: los perforadores marinos, los hongos (*Aspergillus*, *Monilla*), las bacterias (Cianobacterias, *Bacillus*, *Pseudomonas*). La existencia y desarrollo de estos microorganismos demanda buenas condiciones ambientales tales como la disponibilidad de agua, luz, oxígeno y nitrógeno, todo dentro un medio con temperatura y pH adecuado (Sanchez y Rosowsky, 2008)

Existen microorganismos que se aprovechan del ambiente apropiado en el que conviven para producir ácidos como las bacterias oxidantes de azufre o bacterias sulfooxidantes (SOB) que segregan ácido sulfúrico (H_2SO_4), que reaccionan con el hidróxido de calcio y aluminato tricálcico propio del hormigón, formando etringita. La etringita es la hinchazón y formación de grietas en el concreto, debilitando su matriz (porosidad) y acelerando la corrosión del acero de refuerzo (Moradian, Shekarchi, Pargar, Bonakdar, y Valipour, 2012).

La presencia de estos microorganismos diminutos, les permite colonizar en hoyos diminutos o adherirse en las superficies sólidas que forman las biopelículas celulares. La formación de biopelículas comienza cuando las pequeñas moléculas orgánicas se incrustan a una superficie inerte, posteriormente las células microbiológicas son absorbidas, permitiendo la colonización de microorganismos como bacterias y hongos. Las biopelículas de hasta 100um de espesor no son inusuales y casi siempre contienen bacterias atrapadas. Estas biopelículas se convierten complejas cuando se forman colonias por células adheridas, células muertas, polímeros y material orgánico atrapado (Videla, 1996). En la figura 11 se muestra una biopelícula colonizada por algas sobre la superficie del hormigón.

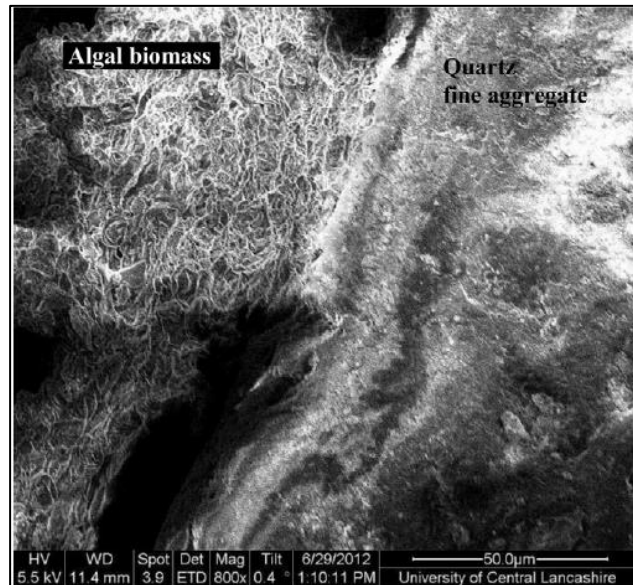


Figura 11. Biopelícula colonizada por algas.

Fuente: (Hughes et al., 2013)

Elaboración: (Hughes et al., 2013)

Muchas de estas especies microscópicas como bacterias, algas y hongos, se adhieren a superficies sólidas y forman una biopelícula, su desarrollo se produce en cuatro etapas según Borenstein (1994):

- El acondicionamiento mediante la absorción química instantánea de compuestos orgánicos. Aún no están involucrados los microorganismos.
- Aparición de las pioneras especies bacterianas como las bacterias epifitas se adhieren a las superficies sumergidas en cuestión de horas.
- La colonización de otros microorganismos como algas y hongos llegan a vincularse sobre la superficie habitada por las especies pioneras en cuestión de días.
- El desarrollo mediante la acumulación y atrapamiento de partículas, células muertas, polímeros.

La acción de los microorganismos sobre las estructuras de hormigón puede clasificarse de acuerdo a sus anomalías presentes como manchas de color y exfoliación superficial del concreto, fisuración y grietas dentro de la matriz del concreto (Sanchez y Rosowsky, 2008). Para que suceda todo esto debe haber una acogida de parte del hormigón como es su pH, temperatura, humedad, factores que con el tiempo erosionan la superficie del hormigón y forman un medio de crecimiento para los microorganismos.

En seguida de terminada la construcción, el concreto es por lo general inmune al ataque biológico debido a su alcalinidad o alto valor de pH (11 – 13) y aunque tenga un alto valor de pH, existen microorganismos que pueden crecer y desarrollarse en ambientes alcalinos. Según Brock en 1970, citado por Sanchez y Rosowsky (2008) denomina a estos microorganismos como “Alcalinofílico” por su adaptamiento y desarrollo en hormigones con valores de pH entre 9 y 11. A medida que pasa el tiempo el hormigón va perdiendo su alcalinidad debido a las condiciones ambientales a las que están sometidas principalmente al dióxido de carbono (CO₂) en el aire y la presencia de sulfuro de hidrógeno (H₂S) sobre la superficie del concreto (Sanchez y Rosowsky, 2008).

Por lo general, el pH de la superficie del hormigón se reduce a niveles de 9 – 9.5 cuyos valores son óptimos para el desarrollo y crecimiento de la mayoría de bacterias. Unas de las bacterias más comunes son las thiobacillus que tienen la capacidad única de convertir sulfuro de hidrógeno (H₂S) en ácido sulfúrico (H₂SO₄) en presencia de oxígeno, que contribuye a la disminución del pH del hormigón. Existe también la bacteria thiobacillus thiooxidans conocida por su nombre en latín “concretivorous” que significa “come hormigón”, siendo perjudicial para la vida útil del hormigón (Sanchez y Rosowsky, 2008). En la figura 12 se observa la desintegración de una columna de concreto, originada por actividad microbiana.



Figura 12. Desintegración de una columna de concreto.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

2.3.6.2. Ataque por sulfatos.

Gran cantidad de sulfatos presentes en el suelo y en el agua llegan a alterar y destruir un concreto pobremente elaborado. Los sulfatos como los sulfatos de calcio, sulfato de sodio y

sulfato de magnesio, reaccionan con los compuestos hidratados de la pasta de cemento, creando presiones suficientes para despedazar la pasta de cemento y como resultado su desintegración (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia) (Kosmatka et al., 2004).

Los iones de sulfato pueden estar tanto en soluciones ácidas como ácido sulfúrico (H_2SO_4), en soluciones alcalinas como el sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$ o en sales como los sulfatos de calcio ($CaSO_4$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$) y sulfato de sodio (Na_2SO_4) (Helene y Pereira, 2003).

El daño que provoca el ataque de iones de sulfato depende de la velocidad de ingreso de la solución al concreto, por lo que se considera que los hormigones de baja permeabilidad, es decir, con una baja relación de a/c. Una correcta compactación y curado del hormigón, son los menos susceptibles a un daño por la acción de sulfatos (Helene y Pereira, 2003).

2.4. Fase de recopilación de información.

Una vez analizado e identificado el síntoma o lesión, se procede con la toma de datos o información. Esto implicará visitas repetidas, seguimiento mediante instrumentos de análisis y evolución de la lesión, apoyándose en fotografías para plasmar gráficamente la lesión en un determinado tiempo, colaborando con el proceso evolutivo del síntoma (Broto, 2005).

En esta fase podemos conseguir una serie de datos físicos, e incluso muestras de materiales (Broto, 2005), que para esta investigación, existen diversos factores como la coloración y manchas superficiales en el hormigón, con la hipótesis de colonias microbianas, resistencia superficial del hormigón, entre otros, que son elementos de vital importancia para proceder con la fase posterior.

2.5. Fase de inspecciones técnicas.

Tras las dos fases presentadas anteriormente, surge la fase de inspecciones técnicas, siendo la fase última para elaborar el informe final. Solo es necesaria esta fase si, las anteriores no lograron aclarar el problema que causó la lesión del elemento de concreto. Broto (2005) sugiere en esta etapa, la ejecución de análisis, ensayos y pruebas con equipos de alta precisión, siendo imprescindible la asistencia de técnicos especializados.

Siendo indispensable la fase de inspecciones técnicas para la identificación de vida microbiana en elementos estructurales de hormigón, se pueden identificar los tipos de

microorganismos que viven en el hormigón por medio de un análisis microbiológico y su morfología a través del microscopio. Para la adquisición de la muestra se frota en la superficie del hormigón infectado con hisopos esterilizados, para su respectivo análisis microbiológico. Se deberá extraer núcleos de hormigón mediante la normativa ASTM C42-04, para relacionar la resistencia a la compresión de estos núcleos de hormigón colonizados por diferentes tipos de microorganismos con la resistencia de un hormigón sano. La determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón se realiza mediante la normativa ASTM C39 y el porcentaje de vacíos de especímenes de concreto endurecido con la norma técnica guatemalteca NTG 41017. Posteriormente es necesario conocer la composición química del concreto afectado por microorganismos y determinar el daño que provocan en su alcalinidad, medida por el pH-metro, basado en la normativa americana ASTM D-4262.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio.

La búsqueda comienza con viviendas de hormigón armado deshabitadas, para realizar la respectiva extracción de núcleos de hormigón, sin que afecte a la estructura y sobre todo a las personas que vivan ahí. La ciudad de Loja por encontrarse en la cordillera de los Andes, posee abundante vegetación gracias a las bajas temperaturas y su contenido elevado de humedad por las lluvias, creando un ambiente muy favorable para el desarrollo microbiano.

Se constató por escoger dos zonas de estudio diferentes, las cuales están ubicadas en viviendas abandonadas. Dentro de ellas se aprecia algunos elementos estructurales que, visualmente muestran características de vida microbiana, como el color y manchas, la proliferación de vegetación, contacto con el suelo, etc. Y para constatarlo es primordial realizar un análisis microbiológico de la zona supuestamente afectada. Gracias que la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) cuenta con un laboratorio de microbiología acreditado, se puede detectar la presencia de microorganismos en el hormigón obteniendo resultados confiables.

La primera zona de estudio es una vivienda localizada en el barrio “La Banda” (figura 13), cuyo elemento estructural analizar es la columna de concreto reforzado y en adelante se la conocerá como “CB” (Columna la Banda).



Figura 13. Zona de estudio 1.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

La segunda zona de estudio al igual que la anterior es una edificación ubicada en el barrio “La Clodoveo” (figura 14), posee una viga de cimentación de concreto armado en mal estado y formará parte de la investigación. La nomenclatura de este elemento estructural será “VC” (Viga la Clodoveo).



Figura 14. Zona de estudio 2.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Ambas edificaciones están desalojadas por el mal estado en que se encuentran debido a un asentamiento de tierras. Los elementos estructurales a estudiar son dos: columna la Banda (CB), como se muestra en la figura 15 y viga Clodoveo (VC), se aprecia en la figura 16.



Figura 15. Elemento estructural “CB”

Fuente: Autor

Elaboración: Autor



Figura 16. Elemento estructural "VC"

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.2. Toma de muestras para identificación de vida microbiana.

Visualmente se puede valorar el deterioro de la superficie del hormigón, como la porosidad, desprendimientos, manchas, descoloración etc. Tras las características físicas que presenta su superficie, una posible anomalía que muestra, es la colonización de microorganismos y mediante un ensayo microbiológico, se confirmaría esta hipótesis.

Cada elemento estructural "CB" y "VC", presenta una parte contaminada (manchas oscuras o descoloración del hormigón) y otra parte del mismo, en estado normal. Por visualización macroscópica se aprecia el buen estado del concreto (sin manchas, sin coloración) sin necesidad de comprobarlo microbiológicamente. En cambio, en la parte contaminada por manchas oscuras es necesario frotar un hisopo esterilizado en toda su superficie y con mucho cuidado de no perturbar la muestra, es recomendable colocarse de un par de guantes desinfectados. En la figura 17 se observa la toma de muestras mediante un hisopo esterilizado, en la parte contaminada del elemento estructural "VC" por manchas oscuras.



Figura 17. Toma de muestras para ensayo microbiológico.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Con mucho cuidado de que no se contamine la muestra y sobre todo que no altere el funcionamiento vital de los presuntos microorganismos, se los coloca en un medio de transporte marca “Stuart”, capaz de almacenarlos y multiplicarlos dentro de un gel, que funciona como hábitat para su desarrollo, hasta llevarlos al laboratorio de microbiología de la UTPL.

Una vez en el laboratorio de microbiología la muestra se cultiva en tres medios de crecimiento microbiano: agar sangre y agar macconkey (para bacterias) y agar sabouraud (para hongos) como se muestra en la figura 18. El óptimo desarrollo se alcanza, ingresando los medios de cultivos dentro de una estufa a 37°C, durante un período comprendido entre 24 y 48 horas (Becton Dickinson and Company, 2015). En la presente investigación para tener un rango aceptable de validez se empleará 7 muestras para cada zona de estudio. En total constará de 14 medios de cultivo, 7 agar sangre y 7 agar sabouraud, ya que este método carece de una patente.



Figura 18. Muestra colocada en medio de cultivo sabouraud.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Pasado el tiempo de incubación, se toma una pequeña muestra de colonia y se la expande en una placa de vidrio o lamina portaobjetos, con el fin de aplicar una tinción que ayudará con la identificación morfológica de los microorganismos. La tinción es conocida como Tinción de Gram, que consiste en utilizar 4 tintes: violeta cristal, lugol, alcohol cetona y safranina; necesarios para determinar el tipo de bacterias y hongos colocados en las placas de vidrio (Brooks, Carroll, Butel, Morse, y Mietzner, 2010). En la figura 19 se aprecia la aplicación del colorante violeta cristal, sobre las placas de vidrio, preparadas anteriormente de las muestras de agar.



Figura 19. Colocación de violeta cristal en la muestra.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Y finalmente se llevan las placas teñidas al microscopio de luz marca Olympus Cx31 (figura 20), para reconocer la morfología del microorganismo.

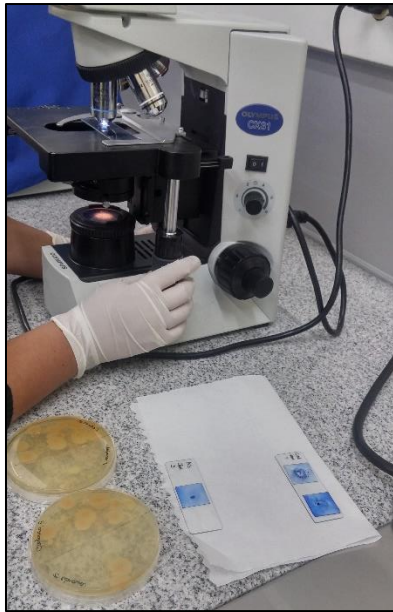


Figura 20. Visualización microscópica de los microorganismos.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Aquellas colonias que crecen en agar sangre, pasan por un medio selectivo de agar macconkey por lo que sí existe crecimiento de colonias, se tratarían de bacterias Gram negativo (Becton Dickinson and Company, 2014). La tripticasa soya se aplica a continuación como medio nutritivo, en caso de poco crecimiento de colonias en el medio de cultivo agar macconkey, a fin de incitar un mayor crecimiento de los microorganismos, siendo su turbidez un resultado positivo (figura 21).



Figura 21. Turbiedad signo de presencia de colonias microbianas.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Del mismo modo con el medio de cultivo agar sabouraud, se pueden identificar el tipo de hongos y levaduras ya sea con la forma de crecimiento en el agar y comprobado con su morfología mediante el microscopio de luz.

3.3. Método de extracción y ensayo a la compresión de núcleos de hormigón.

La normativa americana ASTM C 42 – 04 “Método normalizado de ensayo y obtención de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto”, manifiesta el procedimiento técnicamente adecuado para la obtención de núcleos de concreto. De igual manera, se ha visto pertinente guiarse de la normativa de Colombia y Guatemala, que basadas en la americana, exponen el mismo procedimiento y metodología.

La señalización del acero en el hormigón mediante el detector de aceros es lo principal, ya que, la broca del taladro puede comprometer la estructura al cortar la varilla, el cilindro de concreto saldrá con hierro dentro de su masa y los resultados de resistencia a la compresión, no serán confiables. En la figura 22 se observa la delimitación de las varillas de refuerzo con ayuda del escáner de aceros.



Figura 22. Señalización del refuerzo longitudinal y transversal.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Es necesario extraer los núcleos de hormigón con suficiente cuidado para no alterar su resistencia, colocarse en una posición correcta para que el taladro no se salga de la posición con respecto a la superficie a extraer, conseguir una fuente de abastecimiento de agua para el taladro y otros factores a tomar en cuenta para una exitosa extracción. Se obtendrán los núcleos de concreto de la zona colonizada por microorganismos y en zonas no afectadas por los mismos, como método de comparación entre ambos especímenes.

La normativa chilena NCh.1171 (2012) afirma que la zona de extracción del elemento estructural de hormigón debe estar en el tercio central de la altura del hormigonado y la separación entre un testigo a otro testigo a extraer debe ser en más de dos diámetros entre sí.

En lo posible, los núcleos de hormigón deben ser extraídos perpendicularmente a una superficie horizontal del concreto y el lugar correcto de extracción es en el centro de la pieza y no cerca de bordes o juntas. Si se ejecuta de manera perpendicular a la superficie horizontal, es satisfactorio un taladro de percusión, pero si se taladra en otra dirección o se requiere un diámetro exacto de la probeta, es preciso utilizar una broca de diamante (I.N.V.E 418-07, 2007). En la figura 23 se observa el momento de extracción de cilindros.



Figura 23. Extracción de núcleos de hormigón.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Las probetas extraídas se deben colocar dentro de una bolsa de plástico o contenedor no absorbente, selladas mediante una tela húmeda para que no pierda su humedad. A continuación, las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23^{\circ} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$, por un período no inferior a 40 horas, antes de ponerlas a prueba mediante el ensayo de resistencia a la compresión (figura 24) (I.N.V.E 418-07, 2007).



Figura 24. Curado de núcleos de hormigón.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Después de sumergir las probetas por un período no inferior a 40 horas, se debe aplicar el refrentado a las bases del núcleo de hormigón antes del ensayo de resistencia a la compresión. Los especímenes endurecidos pueden ser refrentados con mortero de azufre o yeso de alta resistencia. Se tiene que refrentar, cortar o pulir aquellos extremos que no sean

planos dentro de una tolerancia de 0.05 mm. Las capas de refrentado pueden tener un espesor aproximado de 3 mm y en ningún caso superior a 8 mm (I.N.V.E 403-07, 2007). En la figura 25 se aprecia el refrentado de cilindros de concreto.

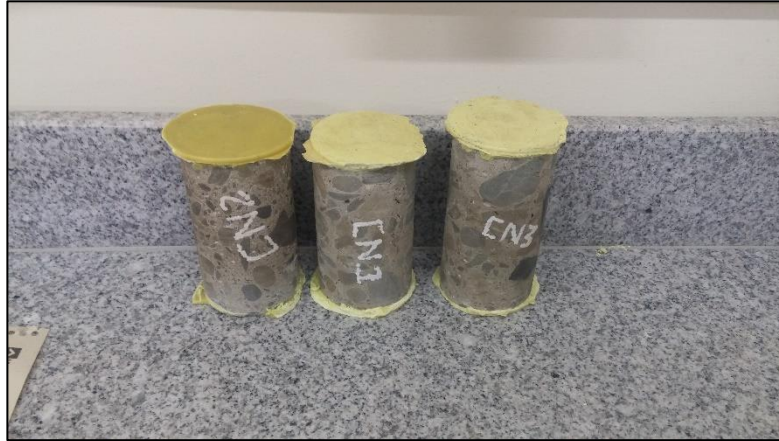


Figura 25. Refrentado de las bases de los núcleos de hormigón con azufre.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Las dimensiones a extraer serán de acuerdo a la normativa con que se trabaje y al ensayo que se quiera realizar. En el presente trabajo se sacarán 3 núcleos de hormigón para examinar su resistencia a la compresión, como indica la normativa americana ASTM C 42-04. En la figura 26 se observa el momento de la prueba del espécimen de concreto en la máquina de ensayo. El plazo a ensayarlos son de siete días a la extracción si no se especifica de otra manera (I.N.V.E 418-07, 2007).



Figura 26. Prueba de resistencia a la compresión de un núcleo de hormigón.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.3.1. Determinación de la resistencia a la compresión de núcleos de hormigón.

Acorde con las normativas optadas, para determinar la resistencia a la compresión de núcleos extraídos de hormigón, es preciso establecer un diámetro y altura normalizada del espécimen extraído.

3.3.1.1. Diámetro.

El diámetro nominal mínimo debe ser de 95 mm (3.75"). Se permite una disminución de 95 mm si es imposible obtener núcleos con una relación longitud-diámetro (L/D) igual a uno, factor esencial para definir la resistencia a la compresión (I.N.V.E 418-07, 2007). Igualmente, la norma colombiana afirma que para hormigones con tamaño máximo nominal mayor a 37.5 mm (1 ½"), el diámetro nominal debe ser preferible a tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y obligatoriamente como mínimo dos veces.

3.3.1.2. Longitud.

La longitud tiene que rondar entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro nominal. Si la relación longitud-diámetro (L/D) del núcleo sobrepasa de 2.1, se debe reducir la longitud del núcleo para cumplir con lo estipulado anteriormente (NTG 41049, 2011). Las probetas con relaciones (L/D) menores a 1.75, requieren una corrección en la resistencia a la compresión estipulada en la tabla 5.

Tabla 5. Factor de corrección de resistencia a la compresión.

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

Fuente: (NTG 41049, 2011)

Elaboración: Autor

Estos factores de corrección se destinan para concreto liviano (1600 a 1920 Kg/m³) y a concreto normal, aplicables a concreto seco y húmedo al instante del ensayo. Las probetas cuya altura sea inferior al 95% de su diámetro nominal, no pueden ser ensayadas (I.N.V.E 418-07, 2007).

Antes del ensayo, se mide la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2.5 mm), empleada para el cálculo de la relación longitud-diámetro (L/D). El diámetro se obtiene promediando dos medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, cerca de la mitad del testigo y su aproximación mínima será también a la décima de pulgada (2.5 mm) (I.N.V.E 418-07, 2007).

3.4. Ensayo de porosidad en núcleos de hormigón.

Existen diferentes métodos para determinar si un hormigón es poroso o no. Una opción puede ser mediante visualización con un microscopio electrónico de barrido (MEB), siendo una técnica de observación directa. Así mismo con un análisis experimental del porcentaje de vacíos que contiene el hormigón (López, 2004). Por falta de recursos para la visualización de poros del hormigón, se debe emplear un análisis experimental, es decir estableciendo la cantidad de vacíos del cilindro de hormigón.

3.4.1. Determinación del porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.

De acuerdo con la norma técnica guatemalteca NTG 41017, asegura que en lo posible se debe contar con varias porciones individuales de concreto y ensayarlas cada una por separado. Las porciones individuales pueden ser porciones de cilindros, núcleos extraídos de concreto o de vigas de cualquier forma, siempre que el volumen de cada porción supere los 350 cm^3 o un peso de 800g para concreto de peso normal. En la figura 27 se muestra las porciones individuales de hormigón libres de fisuras o golpes que puedan llegar alterar el resultado.



Figura 27. Núcleo individual de hormigón.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El procedimiento acorde a la NTG 41017 indica, determinar la masa de las porciones secas al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Una vez secada las porciones, se debe sumergir en agua a una temperatura de 21°C por un período no menor de 48h. Con una toalla se remueve la humedad superficial de las probetas para determinar su masa saturada. Luego estas porciones son colocadas en un recipiente con agua potable para hacerlas hervir por un tiempo de 5h (figura 28).



Figura 28. Núcleos de hormigón sumergidos en agua a ebullición.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

A continuación, se las seca al aire por pérdida natural de calor por un período de 14h o más, hasta que su temperatura se estabilice por los 20°C. De nuevo se remueve la humedad saturada superficial con una toalla para determinar su masa saturada después de ebullición en agua. Se determina la masa sumergida aparente, colocando el espécimen inmerso en agua como se observa en la figura 29.



Figura 29. Núcleo de hormigón sumergido en agua.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.5. Test de alcalinidad del hormigón.

Existen varios métodos para medir el pH del hormigón a estudiar, cuyo propósito es conocer el nivel de alcalinidad en que habitan los microorganismos sobre la superficie del hormigón. En la presente investigación se obtiene el pH del hormigón mediante un pH-metro marca HI 2221 “Calibration Check pH/ORP Meter” (figura 30), que es un sensor que mide el pH de una muestra en disolución por el proceso electroquímico detallado en la normativa ASTM D-4262.

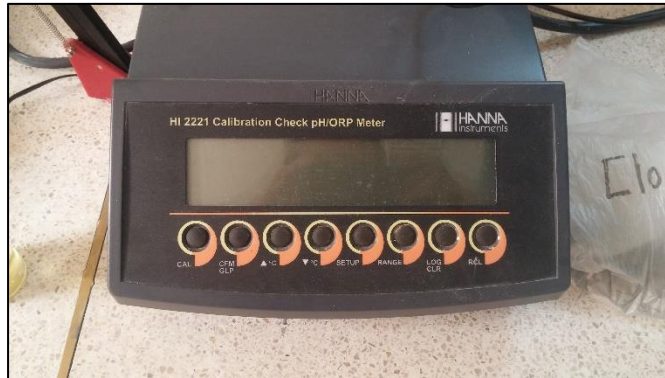


Figura 30. PH-metro HI 2221.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Se calibra el equipo conforme al manual del pH-metro HI 2221, el mismo que pide niveles de pH en rangos de 7 y 4 como base para una correcta medición. El laboratorio de mineralogía y metalurgia de la UTPL, posee dos tampones químicos o buffers que son estabilizadores de pH, el rojo marca un nivel de 4 y el amarillo 7 como se aprecia en las figuras 31.

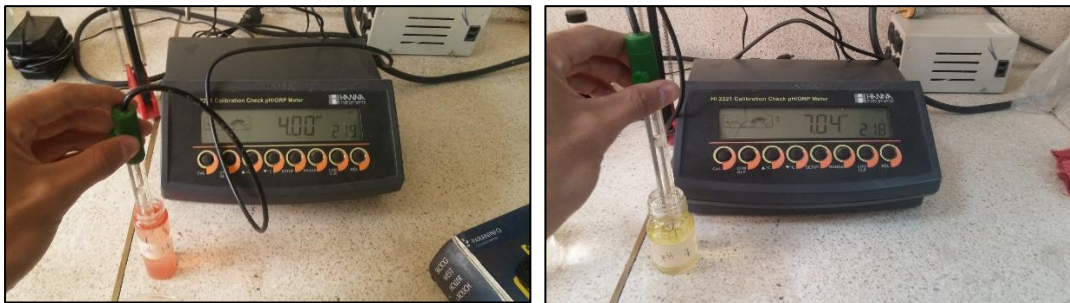


Figura 31. Calibración del pH-metro HI 2221.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El procedimiento de acuerdo a la normativa americana ASTM D-4262 destaca que se debe realizar dos lecturas de pH por lo menos y cada 500 pies cuadrados o porciones de la misma. Las lecturas serán tomadas aleatoriamente, después de vaciar 75 ml de agua desionizada en un recipiente de 10 gramos aproximadamente de hormigón triturado y pulverizado. En seguida se llevan las muestras al medidor de pH una vez estabilizado y calibrado en rangos de 7 a 10 o de acuerdo al equipo y se introducirá el hisopo debidamente lavado con agua destilada para realizar las lecturas correspondientes (ASTM D4262, 2005). En la figura 32 muestra la disolución de una superficie de hormigón contaminada por microorganismos, para determinar su nivel de alcalinidad.

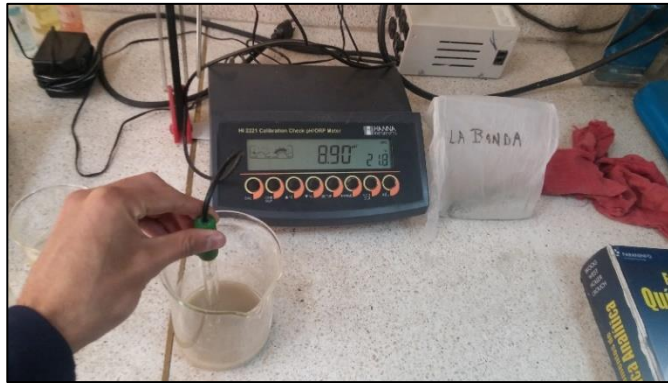


Figura 32. Medición del nivel de pH de un concreto contaminado por microorganismos.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.6. Análisis químico del hormigón.

Para cuantificar e identificar los elementos químicos que posee una muestra de hormigón se realiza un ensayo de fluorescencia de rayos x (FRX). El ensayo consiste en extraer la muestra para ser triturada y pulverizarla mediante el equipo RETSCH RS 200 y el peso de la muestra no debe pasar los 150gr, para el óptimo funcionamiento del equipo. Posteriormente se homogeniza la muestra y se la lleva al equipo de espectrometría FRX marca BRUKER modelo S1 TURBO (figura 33), en bolsas esterilizadas. El método de ensayo con que se trabaja es “Mining Light Elements”.



Figura 33. Equipo de FRX marca Bruker.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.7. Avance de corrosión del acero de refuerzo.

Se opta por extraer una varilla de acero de 10cm de longitud, de la parte contaminada del elemento estructural "CB" y del elemento estructural "VC". Para apreciar la disminución del diámetro del acero de refuerzo, provocado por la oxidación superficial de la varilla, se puede considerar una ayuda mediante los principios de Arquímedes. Es necesario determinar el volumen de la varilla para encontrar el diámetro que posee, cuyo principio de Arquímedes afirma que si un cuerpo se sumerge dentro de un recipiente con agua, el nivel del agua inicial sube, debido al desalojo del agua por la presencia del cuerpo y el volumen del agua desalojada es igual al volumen del cuerpo sumergido (Slisko, 2005). En la figura 34 se aprecia un cuerpo sumergido dentro de una probeta con agua.

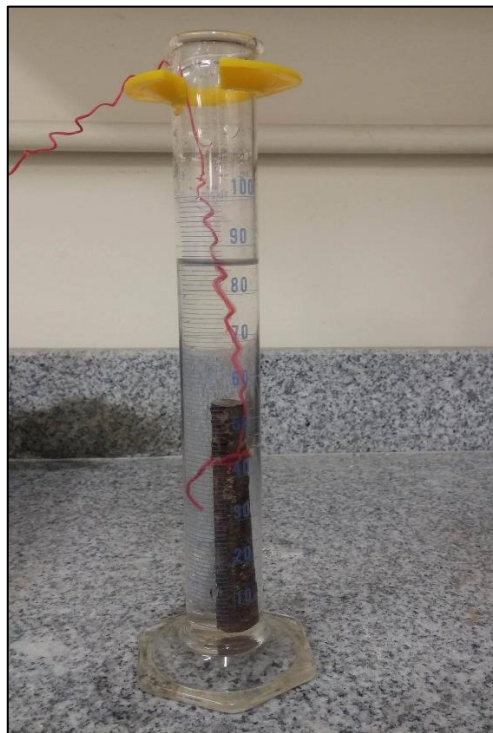


Figura 34. Varilla sumergida dentro de una probeta con agua.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Sabiendo el volumen de agua desalojada, se conoce el volumen del cuerpo sumergido (varilla de refuerzo). El diámetro del acero de refuerzo se obtiene por la siguiente ecuación matemática:

$$V = \frac{\pi \phi^2}{4} * L$$

Donde:

V= Volumen de la varilla.

ϕ = Diámetro de la varilla.

L= Longitud de la varilla sumergida en agua.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Microorganismos identificados.

De los resultados en el medio de cultivo agar sabouraud (figura 35), se logró identificar un tipo de hongos conocido como levaduras o monilla, por su aspecto color cremoso a blanco y por su crecimiento en forma circular (Becton Dickinson and Company, 2003).



Figura 35. Crecimiento de Levaduras en agar sabouraud.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Para comprobar el tipo de microorganismos, se corrobora mediante visualización microscópica. Tras conocer la morfología física que poseen las levaduras, se afirma la presencia de este tipo de hongos en la figura 36, tomada del microscopio.

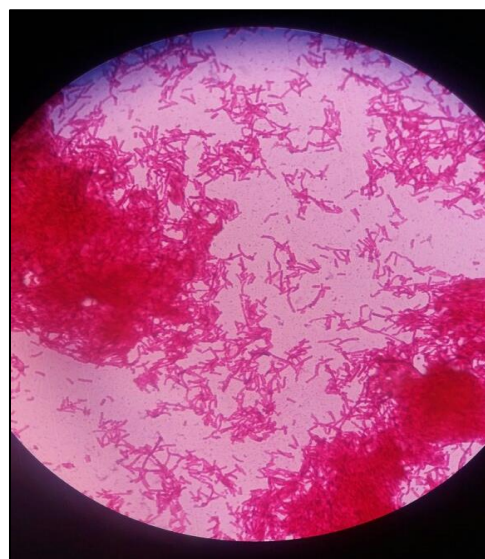


Figura 36. Observación morfológica de Levaduras

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

De las colonias obtenidas en agar sangre se procedió a sembrar en un medio selectivo macconkey (figura 37) para bacterias Gram negativas puesto que, uno de los microorganismos identificado pertenece a este grupo (Becton Dickinson and Company, 2014).

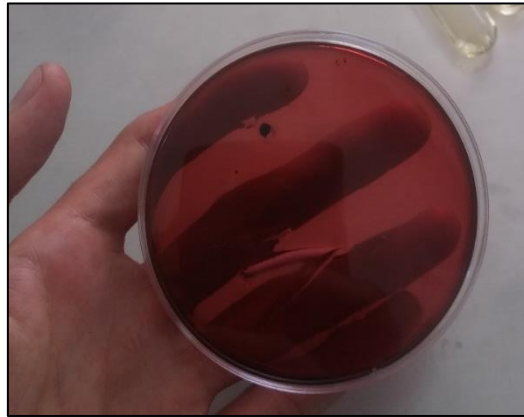


Figura 37. Bacterias en crecimiento en placa agar macconkey.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Mediante la observación en el microscopio se pudo observar las características morfológicas clásicas de una bacteria Gram negativa, que en conjunto con la morfología de las colonias obtenidas tanto en agar sangre como en agar macconkey son presuntivas para “*Pseudomona spp*” (figura 38)

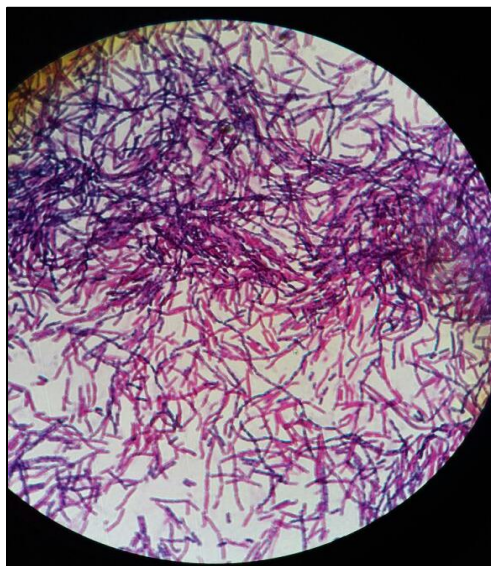


Figura 38. Observación morfológica de Pseudomonas.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.2. Resultados del ensayo de compresión simple de núcleos de hormigón extraídos.

Se extrajeron tres núcleos de hormigón por cada parte dividida del elemento estructural analizado de las dos zonas de estudio. Cada parte dividida del elemento estructural se delimitó conforme a los resultados del análisis microbiológico.

4.2.1. Elemento estructural “CB”.

En la tabla 6 se da a conocer los resultados del ensayo de compresión simple de tres núcleos de hormigón contaminados por vida microbiana, cada uno consta de una observación sobre el estado en que fue probado el núcleo.

Tabla 6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón contaminados por microorganismos.

Resistencia a la compresión de núcleos de hormigón contaminados por microorganismos		
Muestra	Resistencia (MPa)	Observaciones
B2	19.03	Normal
4N	17.13	Normal
5N	19.40	Normal

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

De los datos obtenidos el promedio de resistencia a la compresión de núcleos de concreto es **18.52 MPa**. Este valor es comparado con un hormigón sin presencia de vida microbiana.

En la siguiente tabla se da a conocer los resultados del ensayo de compresión simple de tres núcleos de hormigón no contaminados por vida microbiana, cada uno consta de una observación sobre el estado en que fue probado el núcleo.

Tabla 7. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón no contaminados por microorganismos.

Resistencia a la compresión de núcleos de hormigón no contaminados por microorganismos		
Muestra	Resistencia (MPa)	Observaciones
13	25.46	Normal
14	21.73	Normal
15	20.74	Normal

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El promedio de resistencia a la compresión de núcleos de concreto en ausencia de microorganismos es de **22.64MPa**.

La diferencia de resistencia entre un hormigón contaminado por microorganismos y de uno en carencia de los mismos, es de **4.12MPa**. Las pocas colonias microbianas sobre este elemento estructural sustentan la baja diferencia de resistencia de concretos corrompidos por vida microbiana y concretos en perfecto estado.

4.2.2. Elemento estructural “VC”.

Los resultados no fueron los esperados, ya que al momento de extraer los núcleos de concreto sobre la parte donde se encontraba contaminado por microorganismos, el espécimen se rompió al poco tiempo de empezar a extraerlo con el taladro. Tras el fallido intento se constató que la consistencia del hormigón se encontraba en muy mal estado, a tal punto de llegar a extraer parte del hormigón con la mano (figura 39).



Figura 39. Desprendimiento de una parte de la cadena de hormigón con la mano.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

La falta de consistencia en la cadena de hormigón armado, apunta que la resistencia a la compresión simple es muy baja, aunque no podemos extraer núcleos de hormigón. Pero a continuación, a lo largo del mismo elemento, se constató el buen estado del material cementante, cuya consistencia era muy buena con respecto a la cadena deteriorada. En la siguiente figura se muestra la cadena de hormigón colonizada por vida microbiana (rojo) y en perfecto estado (azul).



Figura 40. Cadena de desplante del elemento estructural "VC".

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los resultados del ensayo de compresión simple validado en tres probetas de concreto y extraídas de la zona contaminada por microorganismos del elemento estructural “VC”, se describen en la tabla 8, cada uno consta de una observación sobre el estado en que fue probado el núcleo.

Tabla 8. Resistencia a la compresión simple de núcleos de hormigón libre de microorganismos.

Resistencia a la compresión de núcleos de hormigón no contaminados por microorganismos		
Muestra	Resistencia (MPa)	Observaciones
CN3	29.11	Descartado
CN2	18.19	Normal
CN1	19.89	Normal
Promedio	19.04	

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El promedio se tomó de las dos últimas muestras, ya que el valor de la primera “CN3”, está muy alejado con respecto a las otras dos. La resistencia a la compresión a esperar de la cadena de desplante es de **19.04 MPa**, como se aprecia en la zona no contaminada por vida microbiana, pero debido a la colonización de los mismos, su consistencia es muy baja en la zona contaminada.

4.3. Resultados del ensayo de porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.

En las siguientes tablas se muestran los valores en masa de los tres núcleos de hormigón extraídos del elemento estructural contaminado por microorganismos, por cada zona de estudio. Con estos valores se determinaron las densidades, absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido, siendo esta última la de nuestro interés. Los cálculos obtenidos se adjuntan en la parte de anexos. Por la poca separación entre los estribos de refuerzo del elemento estructural, el diámetro del núcleo y su longitud no lograron cumplir el peso mínimo para ensayo, pero se trabajó con un aproximado.

- Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleos de hormigón extraídos en “CB”

Tabla 9. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra "B1P".

Muestra B1P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	555.96g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	607.46g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	620.31g
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	342.7g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	11.57%
Densidad seca global (o bruta)	2.00 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.61 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	23.37%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 10. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra "B2P".

Muestra B2P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	480.81g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	525.89g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	536.08g
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	298.1g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	11.50%
Densidad seca global (o bruta)	2.02 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.63 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	23.19%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 11. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra "B3P".

Muestra B3P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	309.96g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	339.55g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	346.38
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	190.2g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	11.75%
Densidad seca global (o bruta)	1.98 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.59 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	23.55%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Con el resultado del porcentaje de vacíos por densidades de las tres muestras, se hace un promedio de ellas, cuyo valor es **23.37%**. López (2004) señala que un hormigón con un porcentaje de vacíos menor al 10% es por causa de una compactación incompleta, alta relación de agua-cemento, extremada exudación del agua por sangrado, falta de curado, etc. Como se tiene un valor superior a 10%, se trata de un hormigón de baja calidad, implicando la actividad microbiana como resultado de su alto valor de porosidad.

- Porcentaje de vacíos de núcleos de hormigón extraídos en “VC”.

Tabla 12. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C1P”.

Muestra C1P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	419.77g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	453.35g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	456.9g
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	263.3g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	8.85%
Densidad seca global (o bruta)	2.17 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.68 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	19.03%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 13. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C2P”.

Muestra C2P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	593.68g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	632.37g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	636.17g
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	364.4g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	7.16%
Densidad seca global (o bruta)	2.18 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.59 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	15.83%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Tabla 14. Resultados del porcentaje de vacíos de la muestra “C3P”.

Muestra C3P	Masas obtenidas
Masa de muestra seca al horno (A)	518.27g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión (B)	555.73g
Masa de muestra saturada de superficie seca después de ebullición (C)	560.96g
Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua (D)	324.3g
Resultados	
Absorción después de inmersión y ebullición	8.24%
Densidad seca global (o bruta)	2.19 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad aparente	2.67 $\frac{g}{cm^3}$
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables)	17.98%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Promediando los resultados del volumen de vacíos de las 3 muestras, se obtiene un valor de **17.61%** considerado un valor alto de porosidad y propio de un concreto de baja calidad.

4.4. Análisis y resultados de la alcalinidad del hormigón.

El pH de los elementos estructurales de hormigón armado contaminados por actividad microbiana, se describen a continuación.

- Alcalinidad de la muestra de hormigón tomada en “CB”

Tabla 15. Resultados del nivel de pH del hormigón en “CB”

Muestra	pH
1	8.9
2	9.05
Promedio	8.98

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El resultado de pH del elemento estructural “CB” es de **8.98**. Ubicándolo dentro de una zona entre neutra y alcalina, pero cercana a 9. Sanchez y Rosowsky (2008) señalan que, la reducción de los valores de pH de la superficie del hormigón a niveles entre 9 – 9.5, son valores óptimos para el desarrollo y crecimiento de la mayoría de bacterias. Los organismos thiobacillus intermedius y T. nouellus, crecen en este tipo de ambiente, cuyo alto nivel de corrosión sobre el hormigón es preocupante, por la producción de ácidos principalmente de ácido sulfúrico (H_2SO_4) que deterioran el material (K. Milde, Sand, Wolff, y Bock, 1983).

- Nivel de pH de la muestra de hormigón recogida en “VC”

Tabla 16. Nivel de pH del elemento estructural de hormigón “VC”.

Muestra	pH
1	8.88
2	8.65
Promedio	8.77

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El nivel de pH del elemento estructural de hormigón “VC” es de **8.77**. Se observa menor alcalinidad con respecto al hormigón del elemento estructural “CB”, así mismo es un valor de pH perfecto para crecimiento de bacterias como thiobacillus, capaces de producir algunos ácidos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y bajar considerablemente la alcalinidad del hormigón cuyo valor inicial de vida es alrededor de un pH de 13 (Villagrán, 2012).

4.5. Análisis y resultados de la composición química del hormigón.

Mediante el ensayo de Fluorescencia de rayos X (FRX), se tiene los elementos químicos cuantificados en porcentaje de las dos zonas analizadas cada una de un elemento estructural de hormigón contaminado por vida microbiana. Se analizaron solo los elementos químicos con mayor cuantificación del total de la muestra, algunos no se los colocó por su bajo porcentaje.

- Resultados del análisis químico de la muestra de hormigón obtenidos en “CB”

En la siguiente tabla se aprecia un elevado porcentaje de sílice debido a la combinación en la mezcla de cemento, arena y grava para formar el hormigón. Con respecto a la composición química del cemento, los principales componentes químicos son: sílice, cal, alúmina y óxido de hierro III; mientras que magnesia y óxido de potasio son secundarios (Kosmatka et al., 2004). El resto de compuestos identificados, pertenecen a los áridos que se utilizaron para la fundición de la obra.

Tabla 17. Cuantificación del análisis químico del elemento estructural de hormigón "CB"

Componente químico	Fórmula	%
Sílice	SiO ₂	68.4
Cal	CaO	11.4
Alúmina	Al ₂ O ₃	10.7
Óxido de Hierro III	Fe ₂ O ₃	3.94
Magnesia	MgO	1.76
Óxido de potasio	K ₂ O	1.6
Óxido de antimonio III	Sb ₂ O ₃	1.06
Óxido de titanio IV	TiO ₂	0.46
Azufre	S	0.22
Óxido de manganeso II	MnO	0.11
Óxido de estaño IV	SnO ₂	0.09

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

- Porcentaje químico de la muestra de hormigón extraído en "VC".

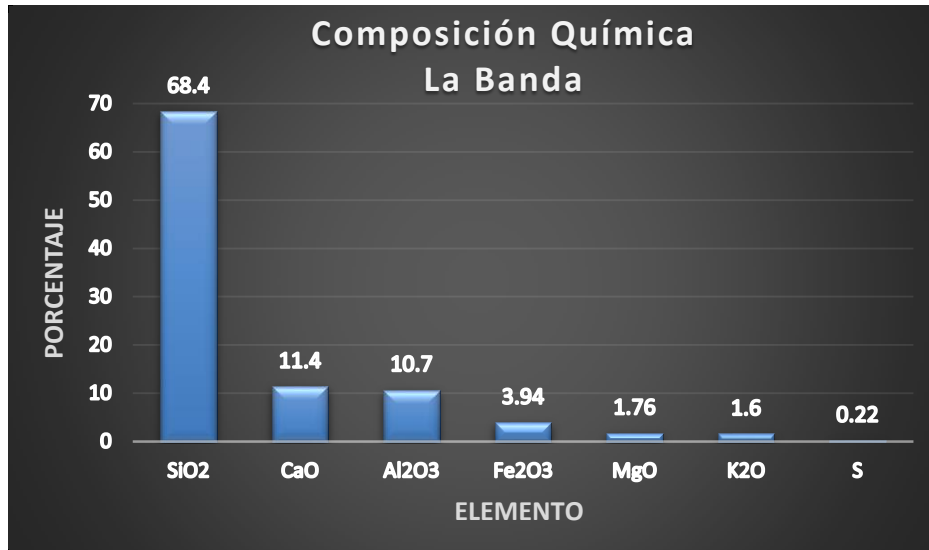
Tabla 18. Composición química del elemento estructural de hormigón "VC".

Componente químico	Fórmula	%
Sílice	SiO ₂	70.1
Alúmina	Al ₂ O ₃	13.2
Cal	CaO	6.67
Óxido de Hierro III	Fe ₂ O ₃	4.41
Óxido de potasio	K ₂ O	2.86
Óxido de titanio IV	TiO ₂	0.54
Óxido de antimonio III	Sb ₂ O ₃	0.51
Óxido de fósforo III	P ₂ O ₅	0.49
Magnesia	MgO	0.43
Óxido de estaño IV	SnO ₂	0.23
Azufre	S	0.13
Óxido de manganeso II	MnO	0.11

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

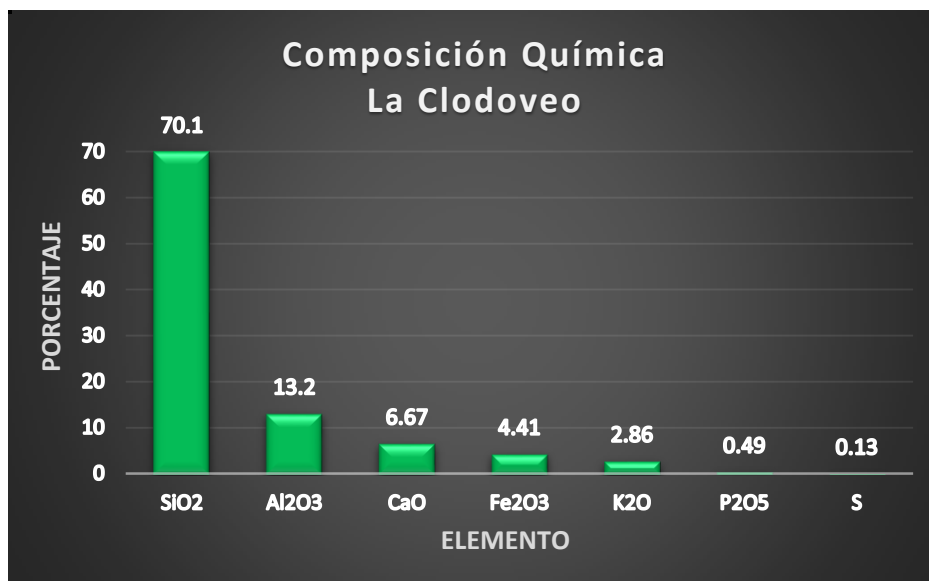
Semejante a la tabla anterior, la tabla 18 presenta los componentes químicos del elemento estructural de concreto contaminado por bacterias y hongos. Para un mejor entendimiento de apreciación, se transportaron los resultados de tablas a gráficas, y se escogieron algunos elementos químicos para comparar y discutir los resultados.



Gráfica 7. Composición química de la muestra de hormigón extraída en “CB”.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor



Gráfica 8. Análisis químico del elemento estructural de concreto en “VC”.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En las gráficas 7 y 8 se aprecia una similitud de valores entre ambas zonas de estudio, cuya mínima diferencia está en los óxidos de calcio (CaO), mayor porcentaje en “CB” (11.4%) que en “VC” (6.67%). Pero todo lo contrario con la alúmina (Al₂O₃). Un elemento químico que más llamó la atención es el azufre (S), aunque en pequeñas cantidades, es una fuente de energía para los microorganismos. Sanchez y Rosowsky (2008) explican que las bacterias oxidantes de azufre o bacterias sulfooxidantes (SOB) emiten ácido sulfúrico (H₂SO₄) a partir de la presencia de azufre y desarrollarse en condiciones anaerobias, es decir en ausencia

de oxígeno. El mismo ácido que producen éstas bacterias, disminuye en parte el nivel de pH conjuntamente con el dióxido de carbono (CO₂), así como la formación de etringita cuyo resultado final es originar grietas e hinchazón dentro de la matriz del hormigón, elevar el porcentaje de porosidad y acelerar considerablemente la oxidación del acero.

4.6. Análisis del avance de corrosión de las varillas de refuerzo del hormigón armado.

En las tablas 19 y 20, se adjuntan valores de dos diámetros de varillas de refuerzo extraídas de un hormigón deteriorado por vida microbiana.

Tabla 19. Reducción por oxidación del diámetro del acero de refuerzo obtenido en "CB"

Medición	Descripción		
1	Longitud varilla	10	cm
	Altura inicial del nivel de agua	90	ml
	Altura final del nivel de agua	101	ml
	Volumen de la varilla	11	ml
	Diámetro	11.83	mm
2	Longitud varilla	10	cm
	Altura inicial del nivel del agua	80	ml
	Altura final del nivel del agua	91	ml
	Volumen de la varilla	11	ml
	Diámetro	11.83	mm
Diámetro Promedio		11.83	mm

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 19, el diámetro colocado en la construcción fue de 12mm y después de un proceso de oxidación terminó con **11.83mm**. Con información del municipio de Loja, los años de vida de la estructura son de 5 años. Por lo tanto, la velocidad de corrosión de la varilla de refuerzo es de $0.034 \frac{mm}{año}$

Tabla 20. Pérdida por corrosión del diámetro de la varilla de refuerzo extraído en “VC”

Medición	Descripción		
1	Longitud varilla	10	cm
	Altura inicial del nivel del agua	90	ml
	Altura final del nivel del agua	96.5	ml
	Volumen de la varilla	6.5	ml
	Diámetro	9.1	mm
2	Longitud varilla	10	cm
	Altura inicial del nivel del agua	80	ml
	Altura final del nivel del agua	86.5	ml
	Volumen de la varilla	6.5	ml
	Diámetro	9.1	mm
Diámetro Promedio		9.10	mm

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 20, el diámetro inicial fue de 10mm y después de un proceso de oxidación terminó con **9.10mm**. Los años de vida de la estructura son de 12 años. Por siguiente, $0.075 \frac{mm}{año}$ disminuirá la varilla con los años. De igual manera para lograr una mejor precisión del avance de corrosión de la varilla de refuerzo, se comparó el volumen final de una varilla en estado de corrosión, con el de una varilla normal.

Tabla 21. Volumen reducido de la varilla de refuerzo en “CB”

Medición	Descripción		
1	Longitud varilla	10	cm
	Diámetro inicial	12	mm
	Diámetro reducido por oxidación	11.83	mm
	Pérdida de diámetro de la varilla	0.17	mm
	Volumen reducido de varilla	0.0023	ml

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 21, el volumen reducido por oxidación de la varilla de refuerzo es de 0.0023cm^3 , en una longitud de 10cm.

Tabla 22. Pérdida de volumen del acero de refuerzo en “VC”

Medición	Descripción		
1	Longitud varilla	10	cm
	Diámetro inicial	10	mm
	Diámetro reducido por oxidación	9.10	mm
	Pérdida de diámetro de la varilla	0.9	mm
	Volumen reducido de varilla	0.0637	ml

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 22, se aprecia una pérdida de 0.0637cm^3 en razón al volumen del acero de refuerzo. Posteriormente se adjunta la pérdida de volumen del acero de refuerzo en 30 y 50 años.

- **Elemento estructural “CB”**

Tabla 23. Resultados de la oxidación del acero de refuerzo en “CB”

Pérdida de diámetro	0.17	mm
Años de vivienda	5	años
Avance de corrosión	0.034	$\text{mm}/\text{año}$
En 30 años	1.02	mm
En 50 años	1.7	mm
Volumen reducido	0.0023	ml
En 30 años	0.0817	cm^3
En 50 años	0.227	cm^3
En 30 años	0.0082	cm^3/cm
En 50 años	0.023	cm^3/cm

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 23 se aprecia los resultados negativos que generan los microorganismos sobre el acero de refuerzo durante el período de vida útil de la estructura. En 50 años de vida, la

varilla de acero se reducirá 1.7mm en su diámetro inicial aproximadamente y $0.023 \frac{cm^3}{cm}$ expresado en unidad de longitud.

Se conoce que las dimensiones de la columna son de 25x25cm, la cuantía mínima estipulada por el código ACI 318 para una columna es del **1%**, es decir 625mm² de sección de acero mínima. En la tabla 24 se muestra que, a mitad de vida útil de la estructura, no cumpliría su cuantía de acero normalizada.

Tabla 24. Cuantía de acero en “CB”.

En 30 años		
Diámetro de la varilla	10.98	mm
Sección del acero	94.69	mm ²
Número de varillas	4	u
Cuantía	0.606	%
En 50 años		
Diámetro de la varilla	10.3	mm
Sección del acero	83.32	mm ²
Número de varillas	4	u
Cuantía	0.533	%

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

- **Elemento estructural “VC”**

Tabla 25. Avance de corrosión del acero de refuerzo en “VC”.

Disminución del diámetro	0.9	mm
Años de vivienda	12	años
Avance de corrosión	0.075	mm/año
En 30 años	2.25	mm
En 50 años	3.75	mm
Volumen reducido	0.0637	ml
En 30 años	0.398	cm³
En 50 años	1.104	cm³
En 30 años	0.0398	cm³/cm
En 50 años	0.11	cm³/cm

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Los resultados del proceso de corrosión del acero de refuerzo en el elemento estructural “VC” se aprecian en la tabla 25. El impacto negativo es mucho mayor por la gran cantidad de colonias microbianas adheridas en las paredes del concreto lo que generará la disminución del diámetro de la varilla hasta unos 3.75mm en un tiempo de 50 años.

Las dimensiones de la viga de cimentación son de 25cm de base y 20cm de peralte. Con estos datos se obtiene la cuantía mínima de acero y su influencia al paso de los años. El recubrimiento es de 3cm.

Tabla 26. Cuantía del acero de refuerzo en “VC”

En 30 años		
Diámetro de la varilla	7.75	mm
Sección del acero	47.17	mm ²
Número de varillas	2	u
Cuantía	2.22	‰
En 50 años		
Diámetro de la varilla	6.25	mm
Sección del acero	30.68	mm ²
Número de varillas	2	u
Cuantía	1.444	‰

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En la tabla 26 se aprecia la disminución de la cuantía de acero a flexión con que trabaja la viga de cimentación. De acuerdo al código ACI 318 relata que la cuantía mínima de una viga a flexión es de **3.33‰**, es decir en nuestro estudio a mitad de vida útil de la estructura, no cumpliría con la cuantía normalizada.

En la figura 41, se muestran las dos varillas de refuerzo, cada una con un símbolo que las identifica. La varilla de la izquierda con las abreviaturas “CLD”, pertenece al elemento estructural Viga la Clodoveo (VC). El acero de la derecha con las abreviaturas “BAN”, corresponde al elemento estructural Columna la Banda (CB).



Figura 41. Estado de corrosión del acero de refuerzo.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

CONCLUSIONES

- Las bacterias de tipo “Pseudomonas spp” y hongos (Levaduras) identificadas en la presente investigación, son los principales microorganismos vivos colonizadores del hormigón, que ocasionan graves lesiones sobre su superficie y disminuyen considerablemente su capacidad de resistencia a largo plazo.
- La gran cantidad de microorganismos colonizados en el elemento estructural “VC”, ha generado una pérdida de consistencia entre las partículas del concreto a tal punto de no poder extraer núcleos de concreto, incluso arrancar parte de la masa de hormigón con la mano y cuya resistencia debía alcanzar los 19.04MPa, dicho valor no fue alcanzado por la falta de consistencia del material.
- El alto porcentaje de vacíos en los núcleos de hormigón extraídos en “CB” (23.37%) y en “VC” (17.61%), son respuesta de las actividades microbianas como la excreción por sus procesos metabólicos o la desintegración del material como fuente de alimento, producto de crear espacios en las paredes internas del concreto y aumentar su porosidad.
- Los niveles de pH del elemento estructural “CB” (8.98) y “VC” (8.77), forman una capacidad de acogida favorable para la reproducción microorgánica, conjuntamente con la humedad del medio, proliferan rápidamente. El bajo nivel de pH contribuye a la despasivación de la capa protectora del acero, exponiéndolo al hierro al ataque de agentes ambientales y acelerando su oxidación.
- Del estudio químico del hormigón se notó la presencia de azufre (S) en las dos zonas de estudio. De las investigaciones realizadas, las bacterias sulfooxidantes “SOB”, aprovechan el azufre como fuente de alimento y secretan ácido sulfúrico (H_2SO_4) en situaciones anaerobias (sin oxígeno), lo que disminuye drásticamente la alcalinidad del concreto.
- La velocidad de corrosión del acero de refuerzo depende directamente de la cantidad de microorganismos colonizados en el hormigón. En 30 años de vida de la estructura, la cuantía de acero en ambos elementos estructurales no cumpliría el mínimo, exponiéndola al colapso por su pérdida de capacidad mecánica.
- Las conclusiones planteadas cumplen en base a los objetivos propuestos y lleva relación directa con las hipótesis de la investigación.

RECOMENDACIONES

- Determinar el número de viviendas de hormigón armado que presentan manifestaciones patológicas como manchas o coloraciones, para conocer el porcentaje de edificaciones que sufren éstos daños y poder dar soluciones.
- Analizar el tipo de minerales y elementos químicos que poseen los agregados para la construcción. Detalladamente evitar colocar agregados del tipo de mineral piritas y pirrotitas, así como minerales que contengan sulfatos en su composición química.
- Colocar protección sobre las paredes del hormigón que se encuentran expuestas a la intemperie, como impermeabilizantes a base de poliuretano, ideales para obras civiles como revestimiento, cuya función es de reducir la porosidad del concreto, aislar la humedad del medio y bajar los costos de mantenimiento y reparaciones.
- Exigir en los municipios un control y mantenimiento de las estructuras de hormigón armado después de finalizarlas, promover campañas y capacitaciones para evitar las pérdidas económicas en reparaciones y rehabilitaciones, así como el impacto social y ambiental que se generaran.
- Construir con calidad adecuada el concreto estructural para obras civiles, respetando las normativas de elaboración y dosificación de la masa cementante, así como el soporte técnico calificado para la colocación y curado del mismo.
- Replicar la investigación en alguna ciudad costera del Ecuador sería muy constructivo en la ampliación del tema, considerando características ambientales de crecimiento microbiano muy diferentes al del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 201.2R. (2001). *Guide to durable concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ACI 224.1R. (2007). *Causes, evaluation and repair of cracks in concrete structures*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ACI 318S. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Allsopp, D., Seal, K., & Gaylarde, C. (2004). *Introduction to biodeterioration*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- ASTM D4262. (2005). *Standard test method for pH of chemically cleaned or etched concrete surfaces*. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- Barboza, J. (2012). *Aporte al estudio sobre la incidencia de los fenómenos patológicos en puentes de hormigón armado en el Uruguay*. Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Porto Alegre, Brasil.
- Becker, E. (2010). Comportamiento del hormigón estructural durante su vida de servicio. Buenos Aires, Argentina: Loma Negra. Retrieved from <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Bibliografia/DURABILIDAD DEL HORMIG%D3N.pdf>
- Becton Dickinson and Company. (2003). BD Sabouraud GC Agar / CHROMagar Candida Medium (Biplate). Heidelberg, Germany: BD. Retrieved from <http://www.bd.com/resource.aspx?IDX=25740>
- Becton Dickinson and Company. (2014). BD MacConkey II Agar. Heidelberg, Germany: BD. Retrieved from <http://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8770>
- Becton Dickinson and Company. (2015). BBL Blood Agar Slants. Sparks, USA: BD. Retrieved from <http://www.bd.com/resource.aspx?IDX=22234>
- Berrocal, C. G., Lundgren, K., & Löfgren, I. (2016). Corrosion of steel bars embedded in fibre reinforced concrete under chloride attack: State of the art. *Cement and Concrete Research*, 80, 69–85.
- Böhni, H. (2005). *Corrosion in reinforced concrete structures*. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC.
- Borenstein, S. (1994). *Microbiologically influenced corrosion handbook*. Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing Ltd.
- Brooks, G., Carroll, K., Butel, J., Morse, S., & Mietzner, T. (2010). *Microbiología médica* (25th ed.). México D.F., México: Mc.Graw.Hill.
- Broomfield, J. (2007). *Corrosion of steel in concrete* (2nd ed.). New York, USA: Taylor & Francis.
- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona, España: Structure.
- Broto, C. (2006). *Tratado Broto de la construcción. Patologías de los materiales*. Barcelona, España: Structure.
- Calavera, J. (2005). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado* (1st ed.).

Madrid, España: INTEMAC.

- De Turrís, A., Ocando, L., Fernández, M., & F. De Romero, M. (2013). ¿Pueden los microorganismos impactar los materiales de construcción? Una revisión. *Ciencias Aplicadas*, 10, 23–33.
- Del Río Bueno, A. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*. Madrid, España: E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Elguero, A. M. (2004). *Patologías elementales*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- Estrada, J. (2016). *Estudio de propiedades físico mecánicas y de durabilidad del hormigón con caucho*. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Florentín, M., & Granada, R. (2009). *Patologías constructivas en los edificios. Prevenciones y soluciones*. (R. Meyer, Ed.) (1st ed.). Asunción, Paraguay: Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte. Universidad Nacional de Asunción.
- Gaylarde, C., Ribas Silva, M., & Warscheid, T. (2003). Microbial impact on building materials: an overview. *Materials and Structures*, 36(5), 342–352.
- González, J., & Miranda, J. (2007). *Corrosión en las estructuras de hormigón armado: Fundamentos, medida, diagnosis y prevención*. Madrid, España: Gráficas Varona, S.A.
- Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón. Reparación, refuerzo Y protección*. San Pablo, Brasil: Paulo Helene y Fernanda Pereira editores.
- Hughes, P., Fairhurst, D., Sherrington, I., Renevier, N., Morton, L. H. ., Robery, P. ., & Cunningham, L. (2013). Microscopic study into biodeterioration of marine concrete. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 79, 14–19.
- I.N.E.C. (2014). Anuario de edificaciones 2014. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2014/Edificaciones2014_Presen.pdf
- I.N.V.E 403-07. (2007). *Refrentado de cilindros de concreto*. Instituto Nacional de Vías, Colombia.
- I.N.V.E 418-07. (2007). *Toma de núcleos y vigas en concretos endurecidos*. Instituto Nacional de Vías, Colombia.
- Joisel, A. (1981). *Fisuras y grietas en morteros y hormigones. Sus causas y remedios* (5th ed.). Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, S.A.
- Kosmatka, S. (1994). Bleeding. *ASTM International*, 12, 88–111.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.
- López, J. (2004). *Porosidad del concreto*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Mattheib, J. (1980). *Hormigón armado*. (J. Pinós, Ed.). Madrid, España: Reverté, S.A.
- Milde, K., Sand, W., Wolff, W., & Bock, E. (1983). Thiobacilli of the Corroded Concrete Walls

of the Hamburg Sewer System. *Microbiology*, 129(1983), 1327–1333.
<http://doi.org/10.1099/00221287-129-5-1327>

- Mingarro, F. (2009). *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*. Madrid, España: Complutense.
- Moradian, M., Shekarchi, M., Pargar, F., Bonakdar, A., & Valipour, M. (2012). Deterioration of concrete caused by complex attack in sewage treatment plant environment. *Performance of Constructed Facilities*, 26(2), 124–134.
- Moreno, E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón: Estudio experimental de la variación de la ductilidad en armaduras corroídas aplicando el criterio de acero equivalente*. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España.
- NCh 1171. (2012). *Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo*. Norma Chilena Oficial, Santiago, Chile.
- NTG 41049. (2011). *Método de ensayo. Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto*. Norma Técnica Guatemala, Guatemala.
- Ocampo, I., Torres, A., Solorza, B., Onorato, M., Borbore, S., & Moreno, N. (2005). *Aumento de la vida útil de estructuras de hormigón armado corroídas, mediante realcalinización*. Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.
- Perles, P. (2006). *Hormigón armado*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- Roberts, D. J., Nica, D., Zuo, G., & Davis, J. L. (2002). Quantifying microbially induced deterioration of concrete : initial studies. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 49, 227–234.
- Sanchez, M., & Rosowsky, D. (2008). Biodeterioration of construction materials: State of the arte and future challenges. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(5), 352–365.
- Sanguinetti, B., Astori, R., & Bizzotto, M. (2006). Evolución del deterioro de hormigones de alto desempeño elaborados con materiales de la zona del nordeste argentino, frente a la acción química. *Comunicación Científicas Y Tecnológicas*.
- Slisko, J. (2005). Sacándole más jugo al problema de la corona. Primera parte: el tratamiento conceptual. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 2, 364–373.
- Solís, R., Moreno, É., & Castro, P. (2005). Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería*, 9, 13–18.
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete*. Stockholm, Swedish: Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- Videla, H. A. (1996). *Manual of Biocorrosion* (CRC Press). Florida, USA: Lewis Publishers.
- Villagrán, Y. (2012). *Estimaciones del ingreso de cloruro en hormigón y de la despasivación localizada de armaduras*. Universidad Nacional de la Plata. La Plata, Argentina.
- Villagrán, Y., Zega, C., & Sosa, M. (2012). ¿Cuán apto es el método para medir velocidad de succión capilar cuando es aplicado en hormigones de muy baja capilaridad?. La Plata, Argentina: CONICET. Retrieved from http://www.academia.edu/4442964/_Cu%C3%A1n_apto_es_el_m%C3%A9todo_para_medir_velocidad_de_succi%C3%B3n_capilar_cuando_es_aplicado_en_hormigones_de_muy_baja_capilaridad

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B2.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	B2
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 4.91cm	Diámetro 2: 4.9cm
Diámetro promedio: 4.905cm	
Área de la sección transversal: 0.00188 m²	
Longitud antes de refrentado: 5.36cm	Después del refrentado: 5.5cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.899	
Carga máxima: 39.8KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
21.17 MPa	19.03 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 6 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 26 de octubre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 1 de noviembre del 2016	
Observaciones: Afloramiento superficial de microorganismos	

Anexo 2. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 4N.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	4N
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 4.45cm	Diámetro 2: 4.45cm
Diámetro promedio: 4.45cm	
Área de la sección transversal: 0.00155 m²	
Longitud antes de refrentado: 7.6cm	Después del refrentado: 8.2cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.987	
Carga máxima: 27KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
17.36 MPa	17.13 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 6 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 26 de octubre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 1 de noviembre del 2016	
Observaciones: Afloramiento superficial de microorganismos	

Anexo 3. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 5N.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	5N
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 4.45cm	Diámetro 2: 4.45cm
Diámetro promedio: 4.45cm	
Área de la sección transversal: 0.00155 m²	
Longitud antes de refrentado: 6.38cm	Después del refrentado: 6.88cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.964	
Carga máxima: 31.2KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
20.13 MPa	19.4 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 6 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 26 de octubre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 1 de noviembre del 2016	
Observaciones: Afloramiento superficial de microorganismos	

Anexo 4. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 13.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	13
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.80cm	Diámetro 2: 5.80cm
Diámetro promedio: 5.80cm	
Área de la sección transversal: 0.00264 m²	
Longitud antes de refrentado: 7.12cm	Después del refrentado: 7.72cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.939	
Carga máxima: 71.6KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
27.12 MPa	25.46 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 2 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 04 de marzo del 2017	
Fecha de ensayo de núcleo: 06 de marzo del 2017	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 5. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 14.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	14
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.83cm	Diámetro 2: 5.80cm
Diámetro promedio: 5.815cm	
Área de la sección transversal: 0.00265 m²	
Longitud antes de refrentado: 8.01cm	Después del refrentado: 8.61cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.957	
Carga máxima: 60.2KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
22.71 MPa	21.73 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 2 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 04 de marzo del 2017	
Fecha de ensayo de núcleo: 06 de marzo del 2017	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 6. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra 15.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	15
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.81cm	Diámetro 2: 5.80cm
Diámetro promedio: 5.805cm	
Área de la sección transversal: 0.00264 m²	
Longitud antes de refrentado: 8.6cm	Después del refrentado: 9.2cm
Coeficiente de corrección (L/D): 0.966	
Carga máxima: 56.7KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
21.47 MPa	20.74 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 2 días en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 04 de marzo del 2017	
Fecha de ensayo de núcleo: 06 de marzo del 2017	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 7. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN1.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	CN 1
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.81cm	Diámetro 2: 5.85cm
Diámetro promedio: 5.83cm	
Área de la sección transversal: 0.00267 m²	
Longitud antes de refrentado: 9.95cm	Después del refrentado: 10.55cm
Coeficiente de corrección (L/D): 1	
Carga máxima: 53.1KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
19.89 MPa	19.89 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 48 horas en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 21 de noviembre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 23 de noviembre del 2016	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 8. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN2.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	CN 2
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.81cm	Diámetro 2: 5.81cm
Diámetro promedio: 5.81cm	
Área de la sección transversal: 0.00265 m²	
Longitud antes de refrentado: 10.15cm	Después del refrentado: 10.75cm
Coeficiente de corrección (L/D): 1	
Carga máxima: 48.2KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
18.19 MPa	18.19 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 48 horas en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 21 de noviembre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 23 de noviembre del 2016	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 9. Cálculo de la resistencia a la compresión de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra CN3.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Extracción y ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	CN 3
Norma extracción de núcleos:	I.N.V. E - 418 - 07
Norma ensayo de resistencia de compresión:	I.N.V. E - 410 - 07
Informe de los resultados	
Diámetro 1: 5.81cm	Diámetro 2: 5.85cm
Diámetro promedio: 5.83cm	
Área de la sección transversal: 0.00267 m²	
Longitud antes de refrentado: 10.78cm	Después del refrentado: 11.38cm
Coeficiente de corrección (L/D): 1	
Carga máxima: 77.7KN	
Resistencia a la compresión:	Resistencia a la compresión corregida:
29.11 MPa	29.11 MPa
Condición de humedad en el momento de ensayo: Sumergida por 48 horas en agua saturada con cal a temperatura 10°C	
Fecha de extracción de núcleo: 21 de noviembre del 2016	
Fecha de ensayo de núcleo: 23 de noviembre del 2016	
Observaciones: Superficie no contaminada de microorganismos	

Anexo 10. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B1P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	B1P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
<p>A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g</p> <p>B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g</p> <p>C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g</p> <p>D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g</p> <p>g_1 = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>g_2 = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$</p>	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
<p>A = 555.96g</p> <p>B = 607.46g</p> <p>C = 620.31g</p> <p>D = 342.7g</p>	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 9.26%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 11.57%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 2 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2.61 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 23.37%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 23.18%

Anexo 11. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B2P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	B2P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g	
B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g	
C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g	
D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g	
g ₁ = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$	
g ₂ = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$	
p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
A = 480.81g	
B = 525.89g	
C = 536.08g	
D = 298.10g	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 9,38%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 11.50%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 2.02 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2.63 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 23.19%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 23.22%

Anexo 12. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “CB”, muestra B3P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	B3P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
<p>A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g</p> <p>B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g</p> <p>C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g</p> <p>D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g</p> <p>g_1 = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>g_2 = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$</p>	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
<p>A = 309.96g</p> <p>B = 339.55g</p> <p>C = 436.38g</p> <p>D = 190.20g</p>	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 9,55%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 11,75%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 1,98 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2,59 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 23,55%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 23,32%

Anexo 13. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C1P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	C1P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
<p>A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g</p> <p>B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g</p> <p>C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g</p> <p>D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g</p> <p>g_1 = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>g_2 = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$</p>	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
<p>A = 419.77g</p> <p>B = 453.35g</p> <p>C = 456.90g</p> <p>D = 263.30g</p>	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 8.00%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 8.85%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 2.17 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2.68 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 19.03%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 19.18%

Anexo 14. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C2P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	C2P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
<p>A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g</p> <p>B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g</p> <p>C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g</p> <p>D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g</p> <p>g_1 = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>g_2 = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$</p>	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
<p>A = 593.68g</p> <p>B = 632.37g</p> <p>C = 636.17g</p> <p>D = 364.40g</p>	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 6.52%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 7.16%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 2.18 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2.59 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 15.83%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 15.63%

Anexo 15. Cálculo del porcentaje de vacíos de núcleo de hormigón extraído en “VC”, muestra C3P.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL	
Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido	
Laboratorio:	Laboratorio de resistencia de materiales
Laboratorista:	Diego Fernando Correa Jaramillo
Identificación de la muestra:	C3P
Norma:	NTG 41017
Simbología	
<p>A = Masa de muestra seca al horno, al aire, g</p> <p>B = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión, g</p> <p>C = Masa de muestra saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición, g</p> <p>D = Masa sumergida aparente de la muestra suspendida en agua, después de inmersión y ebullición, g</p> <p>g_1 = Densidad global (bruta) seca, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>g_2 = Densidad aparente, $\frac{Mg}{m^3}$</p> <p>p = Densidad del agua = $1 \frac{Mg}{m^3}$ ó $1 \frac{g}{cm^3}$</p>	
Masas obtenidas en el laboratorio:	
<p>A = 518.27g</p> <p>B = 555.73g</p> <p>C = 560.96g</p> <p>D = 324.30g</p>	
Cálculos:	
Absorción después de inmersión, % = $[(B - A)/A] \times 100$	= 7.23%
Absorción después de inmersión, % = $[(C - A)/A] \times 100$	= 8.24%
Densidad seca global (o bruta) = $g_1 = [A/(C - D)] \times p$	
$g_1 = 2.19 \frac{g}{cm^3}$	
Densidad aparente = $g_2 = [A/(A - D)] \times p$	
$g_2 = 2.67 \frac{g}{cm^3}$	
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(g_2 - g_1)/g_2] \times 100$	= 17.98%
Volumen de vacíos (espacio de poros permeables), % = $[(C - A)/(C - D)] \times 100$	= 18.04%

5.1. Fotografías.



Figura Anexo 1. Medio de transporte para muestras microbiológicas.



Figura Anexo 2. Medios de cultivos agar sabouraud para desarrollo de microorganismos.



Figura Anexo 3. Medio de cultivo agar sangre (izquierda) y macconkey (derecha).



Figura Anexo 4. Extracción de núcleos de hormigón.



Figura Anexo 5. Cilindros de concreto sacados mediante broca diamante.



Figura Anexo 6. Refrentado del núcleo de hormigón.



Figura Anexo 7. Cilindros de concreto.



Figura Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión del núcleo de concreto.

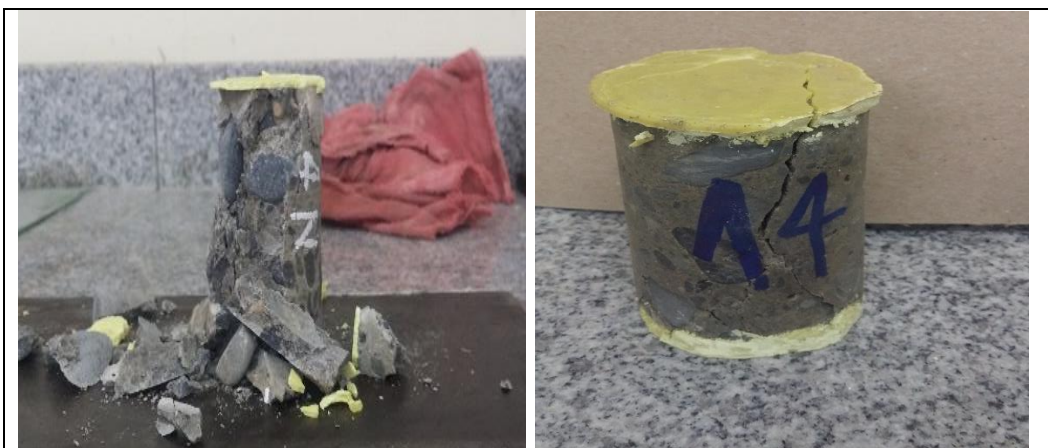


Figura Anexo 9. Tipo de falla de núcleos de concreto sometidos a ensayo de compresión.



Figura Anexo 10. Núcleos de hormigón saturados en agua a ebullición.



Figura Anexo 11. Masa de hormigón saturada de superficie seca después de inmersión y ebullición.



Figura Anexo 12. Masa de concreto seca al horno.

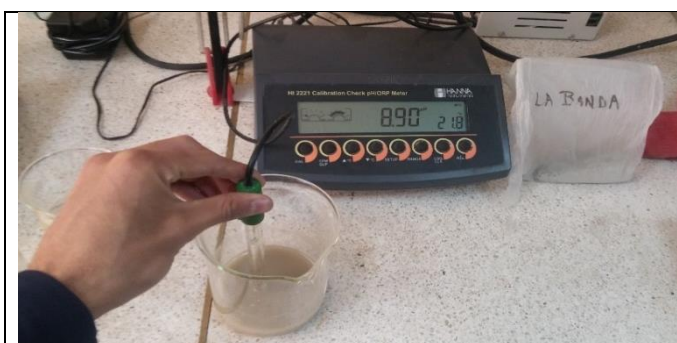


Figura Anexo 13. Medición de pH de muestra de hormigón contaminada por microorganismos en "CB"

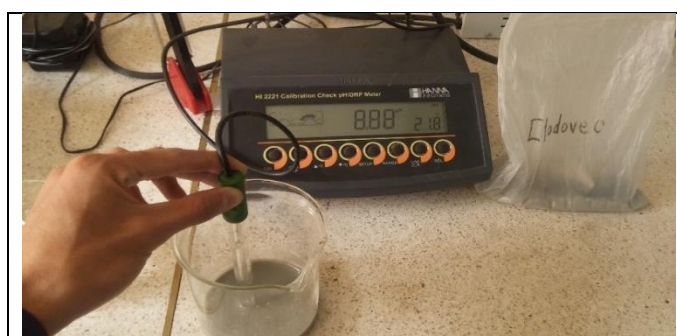


Figura Anexo 14. Medición de pH de muestra de hormigón contaminada por microorganismos en "VC".

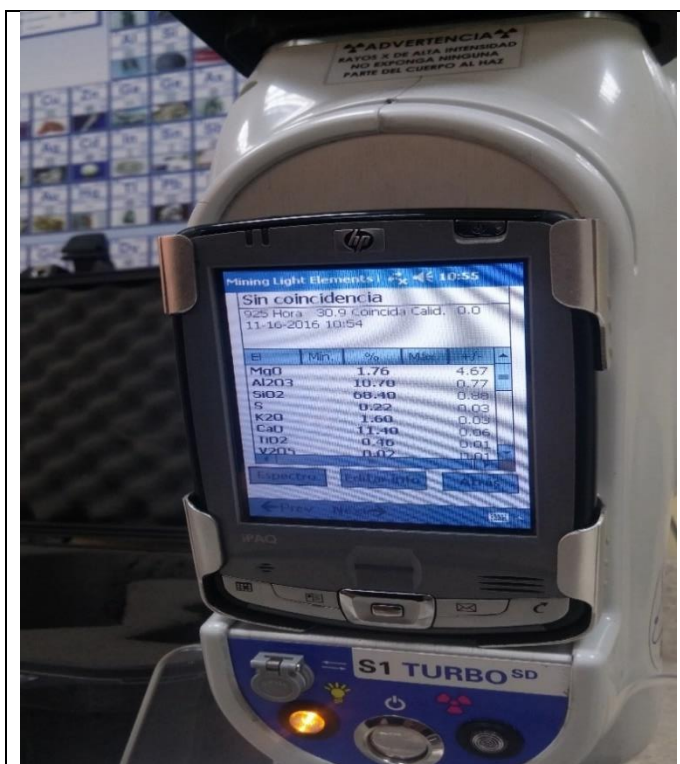


Figura Anexo 15. Análisis químico de muestra contaminada de hormigón en “CB”.



Figura Anexo 16. Extracción del acero de refuerzo del elemento estructural “VC”.

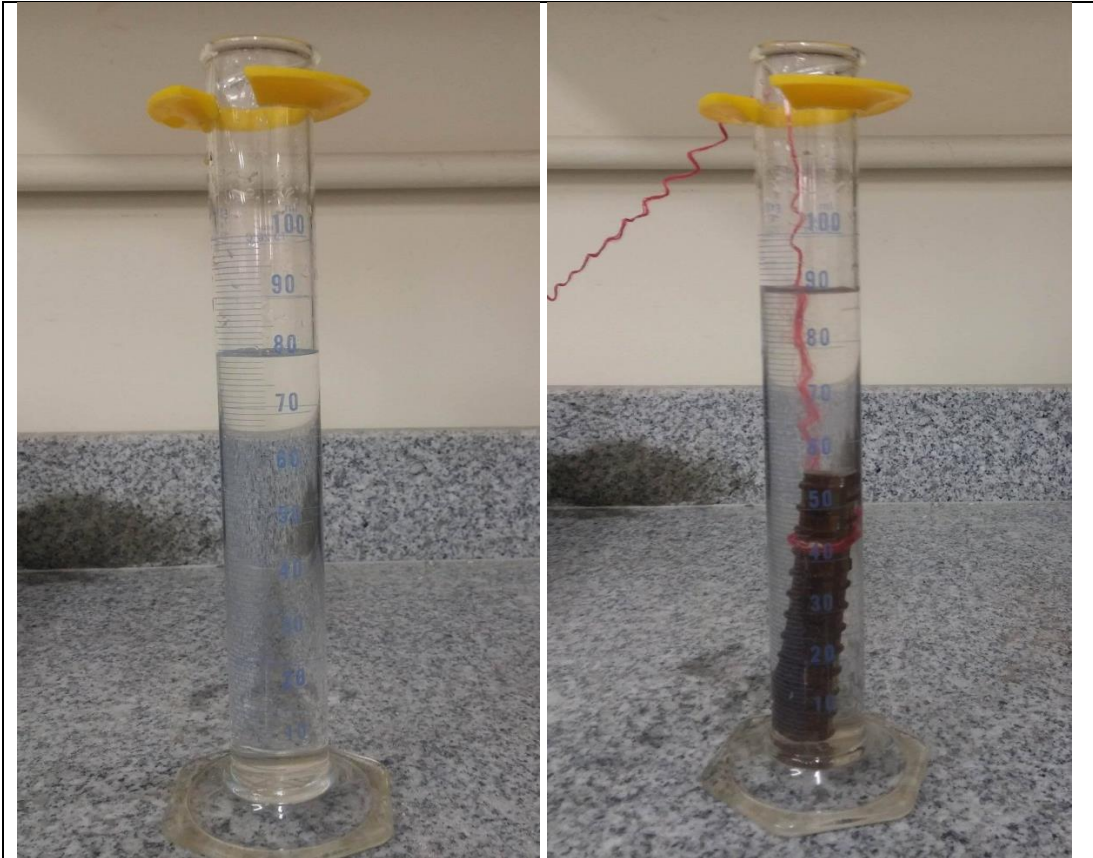


Figura Anexo 17. Aumento del nivel del agua al ingresar la varilla de acero.