

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS SOSTENIBLES DE REPARACIÓN DE LA
FISURACIÓN DEL CONCRETO ARMADO EN EDIFICACIONES**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Katherine Gabriela Quispe Napanga

ASESOR: Dr. Xavier Brioso Lescano

Lima, Enero de 2018



RESUMEN DE TESIS

El crecimiento acelerado en el sector construcción trajo consigo el incremento de patologías en edificaciones de concreto armado, entre ellas la fisuración, que es la rotura producida al exceder la resistencia a tracción del material y que puede ocasionar desde pequeños daños y molestias para sus ocupantes hasta grandes fallas que conlleven al colapso parcial o total.

En la presente investigación se analiza como los agentes de deterioro afectan al concreto generando fisuración, se determinan las causas de las mismas y las limitaciones de abertura. Asimismo, se explica cómo reparar de manera sostenible las fisuración en base a epoxis, poliuretanos, acrílicos, siliconas, entre otros componentes, prolongando la vida útil y optimizando el adecuado funcionamiento de las construcciones. Se propone un procedimiento de reparación que usa como herramienta una matriz de fácil lectura.

Adicionalmente se desarrolla el estudio de caso en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), capital de Argentina y se compara con Lima, capital de Perú; para tal fin, se realizó una recolección de la información de las construcciones existentes, denuncias interpuestas ante las autoridades competentes, y consultas de diversos usuarios hacia una empresa proveedora que brinda soluciones constructivas de sellado de las fisuras.

Finalmente se concluye que es factible adaptar y aplicar estas técnicas a la realidad peruana para reparar elementos de concreto armado y estos mantengan su forma original, calidad y características de servicio frente a las solicitudes inherentes a las que se ven sometidas.

Palabras claves: fisuración, concreto armado, reparación, grietas, sostenibilidad, LEED.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, protegerme y darme bendiciones.

A mi familia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos. A mis amados padres Justo Quispe Ayme y Lylia Nora Napanga Pérez que siempre me apoyaron incondicionalmente, apoyaron y aconsejaron siempre en todo lo necesario para cumplir mis objetivos.

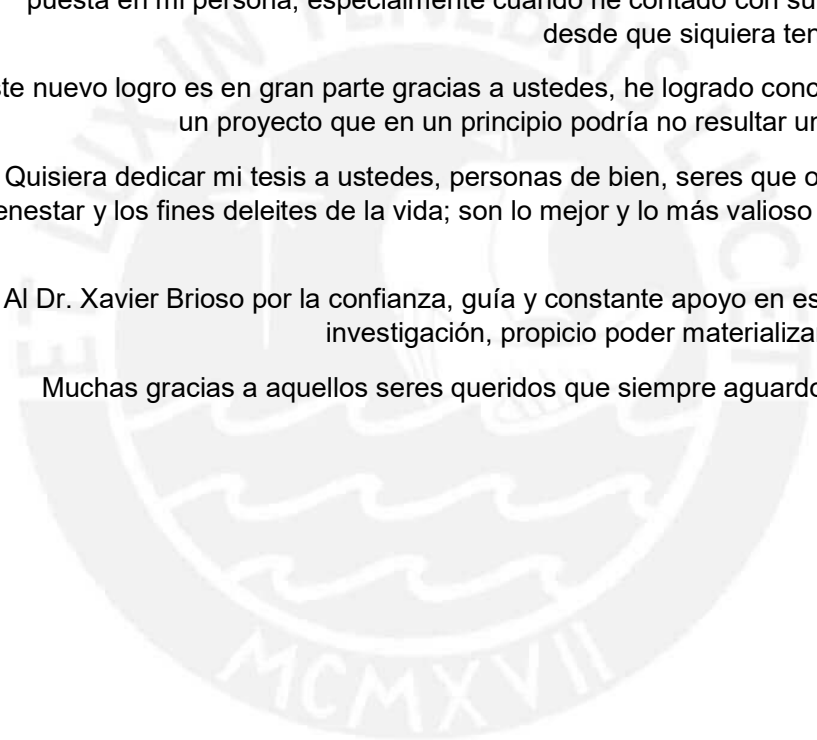
A mis hermanos David, Kattia y Carlos por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera. No podría sentirme más amena con la confianza puesta en mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que siquiera tengo memoria.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes, he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría no resultar una tarea fácil.

Quisiera dedicar mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar y los fines deleites de la vida; son lo mejor y lo más valioso que Dios me ha dado.

Al Dr. Xavier Brioso por la confianza, guía y constante apoyo en este trabajo de investigación, propicio poder materializar este sueño.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Aplicación de técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado en edificaciones
Área : Construcción y Gestión - Investigación
Asesor : Dr. Xavier Brioso Lescano
Alumno : KATHERINE GABRIELA QUISPE NAPANGA
Código : 2007.2146.412
Tema N° : # 289
Fecha : Lima, 8 de mayo de 2017



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Perú es uno de los países con mayor crecimiento y desarrollo en América Latina, lo cual ha sido impulsado principalmente por el sector construcción, que en los últimos años ha sido el de mayor expansión. Esto ha generado nuevos puestos de trabajo en dicho sector y por ende, mayor número de personas involucradas en esta área.

Por otro lado, el nivel de industrialización del sector prácticamente se ha mantenido constante, predominando el uso masivo de concreto armado en las estructuras de las edificaciones.

Por diversos motivos, este acelerado crecimiento propició el incremento de las patologías en las edificaciones, entre ellas la aparición de fisuras, las cuales se han venido solucionando con simples reparaciones superficiales en unos casos, y, en otros, con demoliciones y refuerzos de alto costo, dejando de lado el uso de la gran variedad de sistemas y técnicas desarrolladas para reparar el concreto.

En la presente investigación se plantean técnicas de reparación sostenibles según la fisuración acontecida en la edificación, en función de las condiciones de exposición. Éstas deben ser integradas a la posición geográfica por motivos de durabilidad, para evitar el deterioro del concreto y reducir la velocidad con la cual se produce. Se pretende que los elementos mantengan su forma original, calidad y características de servicio frente a las sollicitaciones inherentes a las que se ven sometidas.

OBJETIVO GENERAL

- Proponer técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado aplicadas en edificaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los principales factores que provocan las fisuraciones en el concreto.
- Difundir las técnicas de reparación sostenibles para fisuras en edificaciones de concreto armado.
- Incrementar la vida útil y obtener un óptimo funcionamiento de la estructura.



- Presentar un estudio de caso y una propuesta de adaptación para que pueda ser aplicado a la realidad peruana.

PLAN DE TRABAJO

La primera parte de este proyecto de investigación desarrollará la introducción, el planteamiento del problema y la situación actual de las técnicas de reparación de fisuración del concreto armado aplicadas en edificaciones.


La segunda parte consistirá en procesar los sistemas y técnicas aplicados a edificaciones para el sellado de fisuras, tanto estructurales como no estructurales, analizar los sistemas de certificación internacionales adoptados para edificaciones y verificar el cumplimiento de los materiales empleados en las fisuraciones con las exigencias sustentables LEED.

La tercera parte desarrollará la recopilación de información de edificaciones construidas durante el boom de la construcción y de las denuncias realizadas por los usuarios en la Defensoría del Pueblo en C.A.B.A. (Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y de Indecopi en Lima. Se analizará y procesará las consultas sobre estructuras fisuradas y se presentará una guía de los sistemas sustentables, técnicas y procedimientos constructivos que deben seguir los usuarios según los problemas encontrados.

La cuarta y última parte permitirá presentar las conclusiones y recomendaciones más importantes sobre los temas desarrollados.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.

VB° 
Dr. Rafael Aguilar
Director de Investigación



ÍNDICE

Índice de Figuras.....	v
Índice de tablas.....	vi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Introducción General	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Alcance	2
Capítulo 2: Marco Teórico.....	3
2.1. Antecedentes históricos del concreto	3
2.2. Concreto Armado	4
2.2.1. Concreto como material de uso difundido.....	4
2.2.2. Durabilidad	6
2.2.3. Mecanismos de degradación	10
Capítulo 3: Fisuración.....	15
3.1. Fisuración en elementos de concreto	15
3.2. Causas de la fisuración	15
3.3. Limitaciones de abertura	19
3.4. Control de la fisuración.....	20
Capítulo 4: Técnicas de reparación.....	21
4.1. Patrones típicos de fisuras en edificaciones	21
4.2. Análisis previo a la reparación	29
4.3. Técnicas de reparación	29
4.3.1. Inyección en fisuras	29
4.3.2. Aplicación de grout.....	31
4.3.3. Aplicación de capas o sobrecapa.....	31
4.3.4. Selladores.....	31
4.3.5. Seguridad y salud del proyecto de reparación	34
Capítulo 5: Edificación Sostenible	35
5.1. Sostenibilidad en el Sector Construcción	35
5.1.1. Edificación Sostenible	36
5.1.2. Sistemas de certificación de edificaciones sustentables	37

5.2. Sistema de Certificación LEED	37
5.2.1. Sistemas de clasificación	38
5.2.2. Categorías de los créditos	40
5.2.3. Niveles de certificación	43
5.2.4. Categoría: Materiales y recursos	44
5.2.5. Categoría: Calidad ambiental interior	44
5.3. Mercado de materiales sostenibles	45
Capítulo 6: Ciclo de vida de un proyecto	47
6.1. Enfoque Lean en proyectos de edificación	47
6.2. Vida útil de edificaciones	50
6.3. Características generales del clima	51
6.4. Incidencias de fisuración	51
Capítulo 7: Estudio de Caso	54
7.1. Boom Inmobiliario	54
7.2. Características generales del clima	60
7.3. Incidencias de fisuración	61
7.4. Verificación de factibilidad de la experiencia argentina aplicada a la realidad peruana	69
7.5. Cálculo del Indicador Número de reclamos (denuncias) por unidades de vivienda (NRUV)	73
Capítulo 8: Conclusiones	76
Capítulo 9: Recomendaciones	78
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	87

Índice de Figuras

Figura 1. Razones de uso del concreto armado (Adaptado desde Harmsen 2005) ..	5
Figura 2. Durabilidad durante los distintos grupos de procesos de todo proyecto (Adaptado desde Lledó 2013).....	6
Figura 3. Origen de problemas patológicos en los proyectos de construcción (Adaptado desde Helene y Pereira 2007).....	9
Figura 4. Agentes que afectan la durabilidad del concreto armado (Adaptado desde Garcés et al. 2008).	10
Figura 5. Principios físicos de transporte de fluidos y gases en el concreto armado.	12
Figura 6. Causas de la Fisuración (Adaptado de Sika Argentina 2015).	18
Figura 7. Tamaño de abertura (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)	19
Figura 8. Procedimiento para controlar la fisura (Fuente: Elguero, 2004).	21
Figura 9. Pistola para la inyección en fisuras (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.).....	30
Figura 10. Factor de forma en un sellador (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.).....	32
Figura 11. Pasos para sellar una fisura (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.).....	33
Figura 12. Seguridad y salud del proyecto de reparación (Adaptado desde Sika Argentina S.A.I.C.)	35
Figura 13. Sistemas de clasificación LEED (Fuente: USGBC (U.S. Green Building Council) (USGBC 2011)).....	40
Figura 14. Categorías de crédito del sistema de clasificación LEED (Fuente: USGBC (U.S. Green Building Council) (USGBC 2011)).....	42
Figura 15. Estructura de la categoría del crédito LEED (Fuente: USGBC 2011).	43
Figura 16. Niveles de certificación LEED (Fuente: USGBC 2011).	43
Figura 17. Comparativo de precio y durabilidad de materiales que cumplen con LEED para sellado de fisuras pasivas o activas (Adaptado de Sika Argentina S.A.I.C.)	47
Figura 18. Lean Project Delivery System (Ballard 2008).	49
Figura 19. Vida útil de las estructuras (Fuente: Tuutti 1982)	50
Figura 20. Proceso a seguir ante una fisuración en edificaciones (Fuente: Propia). ..	53
Figura 21. Tasas del crecimiento del PBI del sector construcción (Fuente: CEPAL)	55
Figura 22. Tipología residencial dominante en Argentina (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)	58
Figura 23. Venta de viviendas en Lima Metropolitana (Fuente: CAPECO).....	59
Figura 24. Tipología residencial dominante en Perú (Fuente: Propia)	59
Figura 25. Edificio de Cable Visión en C.A.B.A. (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.) .	63
Figura 26. Pileta del sindicato del seguro argentino en C.A.B.A. (Fuente Sika Argentina S.A.I.C.)	64
Figura 27. Casos de fisuración en consultas al año (Basado en Sika Argentina S.A.I.C.)	66
Figura 28. Clasificación de Lima y Callao (Fuente: CAPECO).....	70
Figura 29. Resoluciones por fisuración (Fuente: INDECOPI).....	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación por tamaño de abertura	20
Tabla 2. Técnicas de Reparación de fisuras en edificaciones.....	23
Tabla 3. Tiempo de vida útil según el tipo de obra	51
Tabla 4. Proyección de construcción de viviendas en América Latina.....	54
Tabla 5. Superficie (m2) en la Ciudad de Buenos Aires	57
Tabla 6. Comparación entre climas Buenos Aires y Lima por estación	61
Tabla 7. Consultas registradas en empresa proveedora	65
Tabla 8. Promotores de adherencia recomendados que cumplen con los créditos LEED	67
Tabla 9. Selladores recomendados que cumplen con los créditos LEED	68
Tabla 10. Morteros cementicios que cumplen con los créditos LEED.....	68
Tabla 11. Denuncias por fisuración en Lima Top.....	74



Capítulo 1: Introducción

1.1. Introducción General

Las estructuras de concreto armado poseen un papel dominante en el desarrollo de la construcción y supera con gran ventaja otras alternativas tales como la madera, el acero o la albañilería. Sin embargo, el concreto armado es susceptible a sufrir fisuración durante su vida de servicio, frente a este hecho nace la necesidad de encontrar soluciones para mantener la edificación durable, segura y cuidar la estética del mismo. (Calderón 2008). Las fisuras causan inquietud en los usuarios quienes, al no tener conocimiento técnico al respecto, optan por acudir a una empresa de soluciones constructivas o interponen una demanda a la constructora o inmobiliaria: algunos procesos culminan en conciliación, pago de reparación civil y otros tienen que ser solucionados por cuenta del usuario.

A lo largo de los siguientes capítulos se detalla información relevante del concreto armado, como material de construcción; tipos de fisuras y formas de identificarlas; causas que se detallan a lo largo de los cinco procesos de un proyecto bajo el enfoque Project Management Institute (PMI); limitaciones de abertura, ligado a las condiciones de servicio; técnicas de reparación sustentables con certificación LEED, compilada en una matriz y el estudio de caso donde se muestra la incidencia de fisuras en la población Argentina reflejada en denuncias, pedido de información y/o asesoramiento, ejemplos y evaluación de la factibilidad en Perú.

Para verificar la factibilidad de la adaptación del estudio realizado en la capital Argentina a la capital peruana, se comparó tipologías de residencias, climas y se acudió a la entidad competente: Indecopi, para recolectar las resoluciones de las demandas tomando como muestra a Lima top: San Isidro, Miraflores, San Borja, Santiago de Surco y La Molina; comprendidas en el periodo temporal de agosto del 2013 a julio del 2014, bajo el supuesto que las edificaciones fueron construidas a más tardar entre agosto del 2011 y julio 2012.

Finalmente se verificó la factibilidad de la aplicación de técnicas de reparación sustentable en edificaciones de concreto armado a la capital peruana. Esta investigación es de vital importancia, para saber cómo proceder frente a una

fisuración y evitar el deterioro del concreto o reducir la velocidad con la cual se produce.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado aplicadas en edificaciones.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los principales factores que provocan las fisuraciones en el concreto.
- Difundir las técnicas de reparación sostenibles para fisuras en edificaciones de concreto armado.
- Incrementar la vida útil y obtener un óptimo funcionamiento de la estructura.
- Presentar un estudio de caso y una propuesta de adaptación para que pueda ser aplicado a la realidad peruana.

1.3. Justificación

El material más empleado en edificaciones es el concreto armado, pero este material tiende a fisurarse de manera inevitable al estar expuesto a cargas de servicio tales como tracción, flexión, torsión y/o efectos de temperatura.

Por ello, en la investigación se presentan técnicas sostenibles de reparación avaladas por entidades internacionales, lo cual permitirá prolongar la vida útil de la estructura y su correcta funcionalidad.

1.4. Alcance

El presente estudio busca brindar opciones sobre la conservación y protección de las estructuras ante la fisuración, mediante técnicas sostenibles de reparación

empleados en edificaciones de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, capital de Argentina que puede ser aplicado a la realidad peruana.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Antecedentes históricos del concreto

Las civilizaciones buscaban construir con materiales duraderos y ello les permitió descubrir distintos materiales; sin embargo, durante el Imperio Romano el uso de concreto, como material de construcción, alcanzó un grado de satisfacción inigualable. Este material fue utilizado tanto en grandes como en pequeñas estructuras que han probado ser muy duraderos con el pasar de los años (Simonnet 2009).

El concreto de cemento Portland ha probado ser un material de construcción superior. Desde inicios del empleo del concreto, a mediados del siglo XIX, los edificios, las obras de arte, las carreteras, los canales, las presas entre otras construcciones civiles en concreto simple, armado o pretensado han resistido las más variadas sobrecargas y acciones del medio ambiente en el que se encuentran en servicio (Medina 2009; Sánchez 2001).

El concreto contemporáneo, el del siglo XXI, se divide entre dos usos que le proporcionan un carácter de modernidad en el empleo en obras de ingeniería civil: el primero es química y mecánica; el segundo esencialmente de textura. Por ello, cada día tiene más futuro, en la actualidad sabemos producirlo tan fino como placas de metal, translucido e incluso ciertos diseñadores se aventuran a realizar mobiliario (Simonnet 2009).

No obstante, hay construcciones que presentan manifestaciones patológicas de diversa intensidad e incidencia, las cuales pueden comprometer el aspecto estético y en la mayoría de casos, reducir la capacidad resistente. Ante estas manifestaciones patológicas se observa en general una actitud inconsciente, que conduce en unos casos a simples reparaciones superficiales y en otros a demoliciones y refuerzos injustificados; ninguno de estos extremos es recomendable, principalmente hoy en día con tanto conocimiento tecnológico, gran variedad de sistemas y técnicas desarrolladas. En términos generales el concreto puede ser considerado un material

prácticamente eterno siempre y cuando reciba un mantenimiento sistemático y programado.

En Latinoamérica existe infraestructura que se está degradando a pasos gigantescos por efecto del medio ambiente, por diseño equivocado y detalles insuficientes, por problemas congénitos de supervisión ineficaz durante su construcción, por ausencia de mantenimiento y principalmente por la edad de las obras construidas hace muchos años y que vienen sirviendo a nuestra sociedad a lo largo del tiempo (Trub 1977).

2.2. Concreto Armado

2.2.1. Concreto como material de uso difundido

El concreto está formado esencialmente mezclando cemento portland (indicador del color y de las características estructurales de la superficie), con arena, piedra triturada, agua y eventuales aditivos (fluidificantes y superfluidificantes), acorde a la Norma del American Society for Testing and Materials, ASTM C125, y en el comité 116R del American Concrete Institute (ACI), que modifican una o más propiedades.

En comparación con otros materiales de ingeniería como acero, plástico y cerámica, la microestructura del hormigón no es una propiedad estática del material. La razón está en que dos de los tres componentes de la microestructura: pasta de cemento y la zona de transición interfacial entre agregado y la pasta de cemento cambian con el tiempo. De hecho, la palabra concreto proviene del término latín concretus, que significa crecer (Metha y Monteiro 2013).

Las acciones ambientales sobre las estructuras de concreto están relacionadas con el entorno donde se encuentra ubicada la construcción y la interacción con el medio circundante. Al manifestarse patologías, es aconsejable poner las estructuras bajo vigilancia con el fin de actuar antes de que la enfermedad continúe con su proceso evolutivo, que puedan llevar a la estructura a un estado límite.

Dependiendo de la exposición al medio ambiente, algunas soluciones penetran desde la superficie hacia el interior del concreto y a veces disuelven los productos de hidratación de cemento, causan un aumento en la porosidad lo que reduce la resistencia y durabilidad del concreto; a la inversa, cuando los productos de interacción se recrystalizan en los vacíos y microfisuras, puede mejorar la resistencia y durabilidad del material (Trub 1977).

El concreto armado se ha convertido en el material más utilizado en el sector construcción, la resistencia a la compresión que ofrece, depende del volumen de los productos de hidratación del cemento que continúan formando durante varios años, lo que resulta en una mejora gradual de la resistencia combinado con las excelentes propiedades mecánicas del acero lo hacen el material compuesto ideal para aplicaciones estructurales.

Las razones para su uso difundido en estructuras son muchas como vemos en la Figura 1: posee una larga vida de servicio; la resistencia del concreto aumenta con el tiempo; resistente al efecto del agua y fuego; se puede usar en una amplia variedad de formas con el uso del encofrado adecuado; le brinda monolitismo a las estructuras lo que permite resistir de manera eficiente la cargas laterales de viento o sismo; su gran rigidez y masa evitan problemas por vibración en estructuras y por su gran peso propio, la influencia de las variaciones de la carga viva no es perceptible (Harmsen 2005).

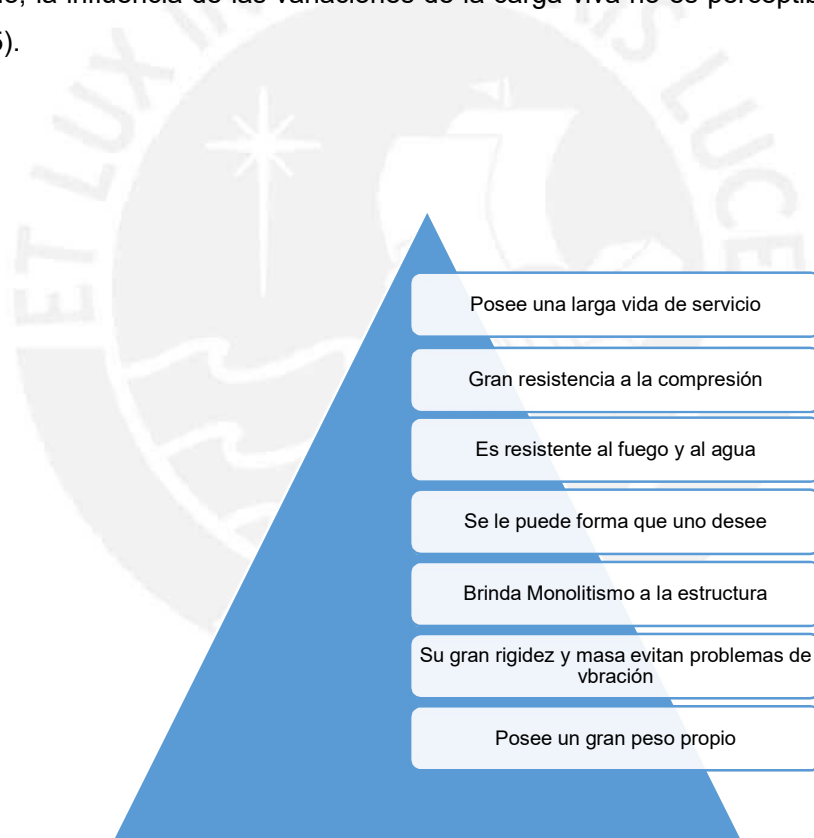


Figura 1. Razones de uso del concreto armado (Adaptado desde Harmsen 2005)

2.2.2. Durabilidad

Según la ACI 201, la durabilidad del concreto de cemento portland hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción del clima (meteorización, la desintegración), a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro durante su ciclo de vida. En otras palabras, un concreto durable debe mantener su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su entorno previsto.

Es evidente que una estructura deba mantener adecuadas condiciones de servicio, por ello desde el periodo de diseño debe estar adecuadamente proyectada y construida, utilizando los materiales adecuados. Es fundamental un detallado estudio durante la etapa de proyecto de las cargas actuantes sobre la estructura y de las condiciones a la que estará expuesta, incluyendo dentro de ellas la erosión, la acción del ambiente, el ataque químico y todos aquellos procesos que conlleven al deterioro que puedan afectar el concreto y/o la armadura (Metha y Monteiro 2013).

Para obtener estructuras durables se debe tomar acción durante los distintos grupos de procesos que comprende todo proyecto (Lledó 2013), como se muestra en la Figura 2:

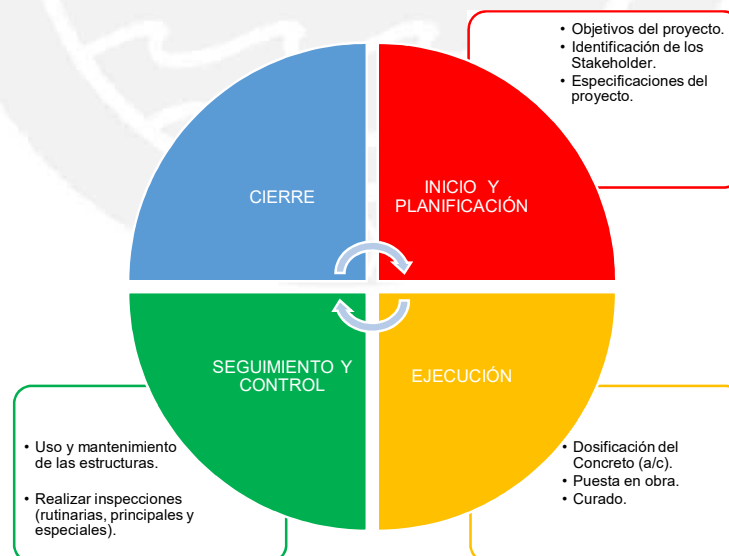


Figura 2. Durabilidad durante los distintos grupos de procesos de todo proyecto (Adaptado desde Lledó 2013)

A continuación, describimos brevemente cada fase:

Inicio y planificación: se definen los objetivos del proyecto, los principales interesados y se autoriza el inicio formal del proyecto; en la etapa de planificación se brindan las especificaciones del proyecto este debe incluir las medidas necesarias para que la estructura alcance el tiempo de vida útil a la cual fue diseñada, según el tipo estructural y la clase de exposición ambiental a la que este expuesta.

Incluirá un plan de inspección y mantenimiento que contenga la descripción de la estructura y la exposición en la que este en servicio, la vida útil, la descripción detallada de la técnica de mantenimiento recomendada, los puntos críticos de la estructura que precisan especial atención al efecto de inspección y mantenimiento. (Medina 2009).

Ejecución: la calidad en la ejecución tiene una influencia decisiva para conseguir una estructura durable y esta depende de factores como materias primas, dosificación del concreto, puesta en obra y curado.

- ❖ Dosificación de concreto tal y como figura en las especificaciones técnicas ya definidas en la etapa de planificación, para cumplir con la resistencia definida en el proyecto, se debe prestar especial atención a la relación agua/cemento y el contenido de cemento de acuerdo a la exposición ambiental de la edificación.

Una relación a/c de 0,25 es suficiente para hidratar todo el cemento portland, pero necesitamos de una relación de 0,4 a 0,5 para amasar y la puesta en obra del concreto. Una relación de a/c grande cambia drásticamente la resistencia del concreto, los poros son más grandes y numerosos, por ende, será más susceptible a ataques. (Atic studios 2012). El contenido de cemento es importante, ya que su alcalinidad (pH de concreto es 13) protege a las armaduras de la corrosión, cabe mencionar que una cantidad de cemento en exceso, provocaría fuertes retracciones.

- ❖ La puesta en obra, se debe tener cuidado en el vaciado, colocación y compactación, no se colocará concreto que este fraguando, para ello se debe tener cuidado en el límite de tiempo del que cuenta desde su fabricación hasta su colocación. Es importante también no dejar caer el concreto desde alturas

superiores a los 2 metros, para evitar segregación por diferencia en pesos específicos de los componentes.

El vaciado se realizará por capas y estará acompañado de vibrado para mejorar la compactación del material (reduce los vacíos por aire ocluido en la masa), siempre ingresando en la capa anterior para lograr monolitismo y evitar las juntas frías. Como resultado de un buen proceso constructivo obtendremos un concreto más denso y, por tanto, más impermeable. Al ser más resistente al agua, será menos vulnerable a la intemperie. Las armaduras deben permanecer exentas de corrosión durante la vida útil de la estructura, porque el óxido aumenta el volumen, que producirá agrietamiento en el concreto; por ello es fundamental respetar los recubrimientos dados en planos que protegerán a las barras de acero y en ocasiones colocar protecciones adicionales cuando el grado de agresividad resulta importante. (Medina 2009). Los recubrimientos mínimos de las estructuras son (Losa= 2cm, viga peraltadas y columnas= 4cm) (Ottazzi 2004).

- ❖ Curado, el fin es mantener al concreto húmedo y a temperatura adecuada, para lograr que desarrolle la resistencia final esperada. Durante el fraguado y el primer periodo de endurecimiento (cuarenta y ocho horas), el concreto alcanza temperaturas apreciables, produciéndose pérdida de agua por evaporación (diferencia de humedad en el interior y exterior).

Por ello un correcto curado contribuye a disminuir la permeabilidad del concreto, que va de la mano con una mayor resistencia y mejor durabilidad. También mejora la apariencia externa, porque se reduce la retracción por secado (cuarteo o descascaramiento) (Medina 2009).

Seguimiento y control: implica el uso y mantenimiento de la estructura, se entiende por mantenimiento a las actividades necesarias para que la resistencia, durabilidad, funcionalidad no disminuyan durante la vida útil del proyecto, con el objetivo de evitar o retrasar la aparición de patologías cuya solución sería compleja y no viable en términos económicos.

Las actividades de mantenimiento se pueden desglosar en:

- ❖ Conservar el proyecto de ejecución completo, con los anexos y lo que se vaya generando durante la vida del edificio (Reparaciones, ampliaciones, etc.).

- ❖ Realizar inspecciones rutinarias, que aseguren correcto funcionamiento y durabilidad de la estructura como reparación de impermeabilizaciones, limpieza de sumideros, entre otros.
- ❖ Realizar inspecciones principales, para detectar posibles daños; será realizado por técnicos calificados.
- ❖ Realizar inspecciones especiales, como producto de los resultados que se obtengan de la inspección principal previa.

Cierre: término de ciclo de vida del proyecto de edificación, llega al final de la vida de servicio cuando sus propiedades se han deteriorado hasta el punto de que su uso continuado se descarta, ya sea por inseguro o poco rentable.

El resultado de las interacciones medioambientales, la microestructura ocasiona cambio en las propiedades a lo largo del tiempo, y existen problemas patológicos que tienen origen en las diferentes fases del proyecto: Inicio, proyecto (40%) cuando el proyectista falló; planificación (4%); ejecución, falla del ingeniero de campo y/o mano de obra (28%) y calidad de materiales (18%), falla por parte del fabricante; seguimiento y control, el uso (10%), falla de operación y mantenimiento (Helene y Pereira 2007). Tal como se muestra en la Figura 3:

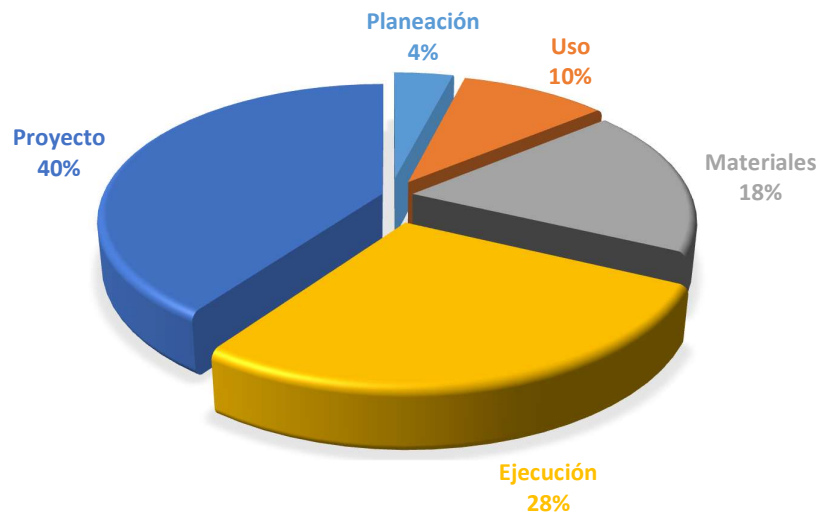


Figura 3. Origen de problemas patológicos en los proyectos de construcción (Adaptado desde Helene y Pereira 2007)

Las patologías llegan a manifestarse durante la construcción o puesta en obra, pero con mayor incidencia en la etapa de uso, cuando la estructura ya recibe cargas de servicio. Por ejemplo, una reacción álcali-agregado solo aparece con intensidad aproximadamente después de 6 años de uso; por ello al realizar un diagnóstico adecuado de la patología, se debe indicar en qué etapa del proceso constructivo tuvo origen. También ello nos facilitaría determinar responsabilidades ante un proceso judicial (Bernal 2009).

2.2.3. Mecanismos de degradación

Los mecanismos de degradación que disminuyen la durabilidad del concreto y está estrechamente relacionado con las condiciones de exposición al medio ambiente, se pueden clasificar como en la Figura 4: agentes mecánicos, como sobrecargas, los impactos, las vibraciones; físicos, como heladas, abrasión y el fuego; biológicos, como microorganismos y químicos, como aguas subterráneas agresivas, los sulfatos.

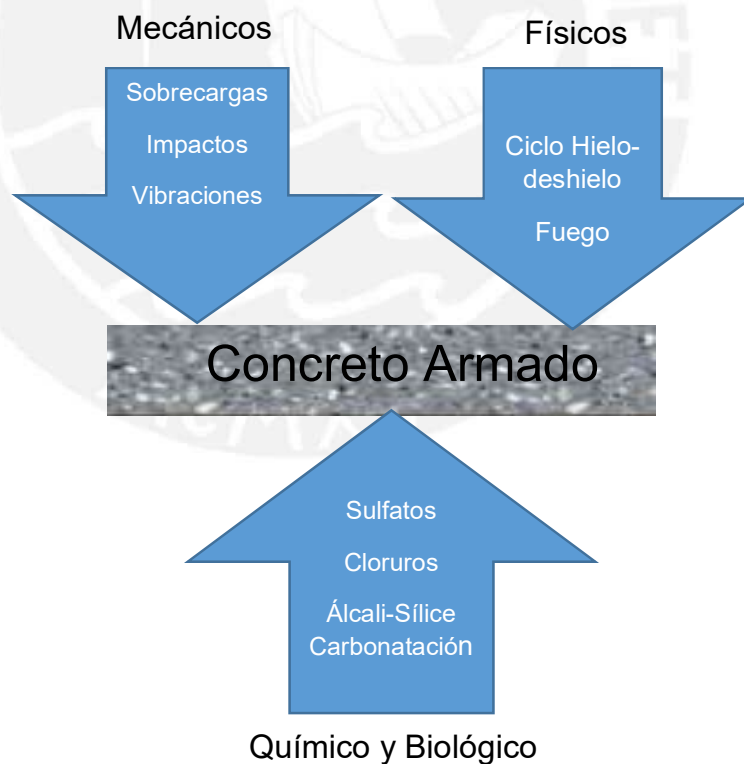


Figura 4. Agentes que afectan la durabilidad del concreto armado (Adaptado desde Garcés et al. 2008).

Salvo los primeros agentes mencionados que se tendrán en cuenta en el planeamiento de los proyectos de edificaciones, la degradación del concreto depende de la posibilidad de transporte a través de sus poros de gases o agua con sustancias agresivas; lo que conllevará a la degradación y corrosión de armadura (Garcés et al. 2008).

La penetración de fluidos como de gases dentro del concreto determina en buena parte la durabilidad del material. En el caso particular de los líquidos estos pueden penetrar la red porosa del concreto usando principios físicos muy distintos, tal como se presentan en la Figura 5; la permeabilidad, la difusión, la absorción capilar, la convección o la electromigración.

La permeabilidad se refiere al movimiento de un líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua. En el caso del concreto este debe estar saturado para poder medir la permeabilidad que se expresa en términos en m/s.

La difusión corresponde al desplazamiento de un compuesto, ion, líquido etc. A través de un medio, debido a una agitación aleatoria a nivel molecular, relacionada con la existencia de un gradiente de concentración. La difusión se determina en general sobre concretos saturados. A través de este medio continuo, tiene entonces lugar la difusión de una sustancia (Jennings et al. 2008).

La absorción capilar corresponde al desplazamiento de un frente líquido a través de un capilar, como consecuencia de la interacción de las fuerzas de contacto líquido-sólido. Este fenómeno de movimiento de agua tiene lugar en concretos secos o parcialmente saturados.

La permeabilidad como la absorción capilar depende sobre todo del tamaño de los poros mientras que la difusión depende principalmente de la interconexión en la red porosa.

La convección o flujo por convección de una sustancia se debe a que una sustancia es arrastrada por el movimiento de otra que la contiene. La electromigración al igual que la permeabilidad y la difusión se refiere al movimiento de un compuesto o una sustancia (líquida en este caso) debido a la presencia de un gradiente. La diferencia o gradiente en este caso, corresponde a una diferencia de voltaje.

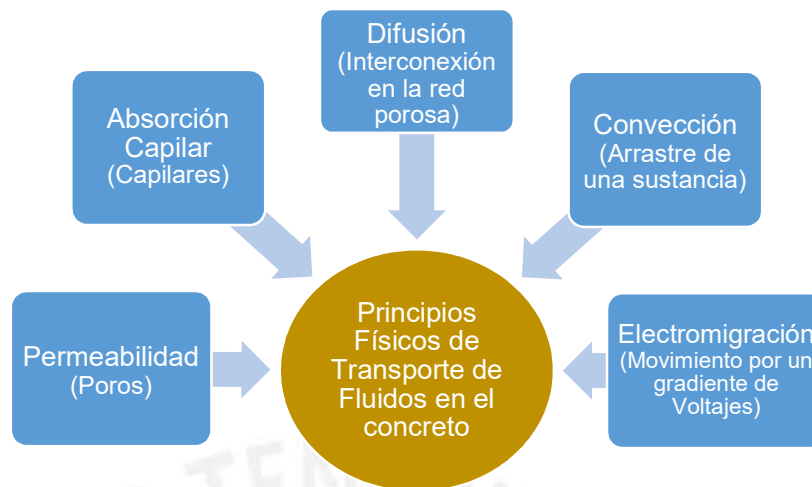


Figura 5. Principios físicos de transporte de fluidos y gases en el concreto armado.

El concreto no es atacado por sustancias químicas secas y sólidas; para deteriorarlo, estas se deben encontrar en solución y sobrepasar un porcentaje mínimo de concentración, ya que la presión tiende a forzar la solución agresiva dentro del concreto. Una vez ya presentados los principios de transporte de los fluidos en el concreto se comprenderá de manera más clara los mecanismos de deterioro que se presentan a continuación:

Ciclos de hielo-deshielo, esto es una función de las temperaturas medias de los diferentes países, el agua luego de penetrar y saturar la red capilar del concreto comienza a congelarse en una cavidad capilar; el aumento de volumen que acompaña la congelación requiere una dilatación de la cavidad igual a 9% del volumen de agua congelada generando presiones sobre la fase sólida microfisurándola ciclo a ciclo. Para mejorar la resistencia del concreto ante estos ciclos, se debe usar una baja relación de agua/cemento (a/c) en la dosificación, aire incorporado y curado prolongado (Aguirre y Mejía de Gutiérrez 2013).

Ataque por sulfatos, los sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio que están naturalmente en el suelo o disueltos en el agua freática o subterránea; los efluentes de los hornos (que utilizan combustibles con alto contenido de azufre); el decaimiento de la materia orgánica en los pantanos, pozos mineros, tuberías de alcantarilla conducen a la formación de H_2S (ácido sulfhídrico) que se transforma en ácido sulfúrico por acción bacteriana, las cuales pueden llegar a encontrarse alrededor de estructuras de concreto, especialmente cimentaciones, susceptibles a su efecto perjudicial (Aguirre y Mejía de Gutiérrez 2013).

La combinación externa de los sulfatos con el hidróxido de calcio (cal hidratada), liberada durante el proceso de hidratación forman: sulfato de calcio (yeso), que conducen a la reducción del pH del sistema, pérdida de rigidez y resistencia seguida por la expansión y el agrietamiento Para prevenir el ataque por sulfatos debemos reducir la relación a/c para reducir la permeabilidad y usar adiciones como cenizas volantes, escoria de alto horno, entre otras para incrementar la resistencia a sulfatos (Sánchez 2001).

Reacción álcali-árido, la reacción de los álcalis (Na_2O y K_2O) procedentes del cemento o de otras fuentes con el hidróxido y diversos constituyentes silíceos que puedan estar en el agregado, llegando a formar: gel. La difusión de los álcalis depende en buena parte de la continuidad del agua al interior del concreto (Metha y Monteiro 2013).

El gel al formarse de hidróxidos de potasio, sodio y calcio derivados del cemento, reacciona y puede formar ya sea un complejo sólido y sin capacidad de expansión formado con calcio, álcalis y sílice o un complejo que puede expandirse al absorber agua. La formación de uno o de otro depende de la concentración relativa de álcalis y de hidróxido de calcio, así como de la superficie disponible del material reactivo. (Metha y Monteiro 2013; Sánchez 2001).

La ASTM C 150, designa los cementos con menos del 0,6 % equivalente de Na_2O como cementos poco alcalinos y con más de 0.6 %, como cementos altamente alcalinos. En la práctica el concreto ordinario posee contenido alcalino de 0,6 % o menos generalmente insuficiente para causar daños debido a la reacción álcali-agregado. Las investigaciones en Alemania e Inglaterra han demostrado que si el contenido de álcali total del concreto es inferior a $3 \text{ Kg}/\text{m}^3$, no se produce la expansión perjudicial; que ocasiona agrietamiento severo de las estructuras y pavimentos de concreto. Las adiciones tipo puzolanas, como el humo de sílice ayuda a reducir las expansiones para este tipo de reacciones.

Ingreso de cloruros, diluidos en agua de mar o provenientes de otras fuentes son transportados en agua al interior del hormigón hasta alcanzar el acero de refuerzo e inician o aceleran la corrosión del mismo. El concreto se deteriora por las tensiones causadas por la cristalización de sales en los poros y se da cuando la tasa de migración de la solución de sal a través de los poros interconectados es más lenta que la tasa de reposición, la cristalización de la sal bajo estas condiciones puede dar lugar a la expansión suficiente para causar descamación (Metha y Monteiro 2013).

Carbonatación, se produce por la acción del dióxido de Carbono (CO_2) puede ser la atmósfera o bien agua que transporta CO_2 en disolución. Existen opiniones diferentes sobre la acción “selectiva” de la carbonatación sobre los componentes de la pasta de cemento en función del grado de hidratación inicial y de los compuestos formados en el proceso de carbonatación.

Esta reacción produce carbonatos, hay que señalar que en la pasta de cemento, el compuesto más sensible a la carbonatación es la portlandita $Ca(OH)_2$, sin embargo los otros compuestos hidratados, aluminatos y silicatos de calcio, son también sensibles al ataque de CO_2 y dan como resultado carbonato de calcio ($CaCO_3$), esta reacción es acompañada por contracción (Jennings et al. 2008).

La carbonatación provoca el deterioro de pH de la pasta cementicia de un valor normal de 13 a valores que se aproximan a la neutralidad provocando la corrosión de armaduras próximas a la superficie (Metha y Monteiro 2013).

Las mayores tasas de carbonatación se producen cuando la humedad relativa se mantiene entre 50 a 75%, para una humedad relativa menor a 25% el grado de carbonatación es insignificante. Si la humedad relativa es mayor que 75%, la humedad presente en los poros restringe la penetración del CO_2 (Jennings et al. 2008).

De diversos estudios se concluye que el agua que contiene más de 20 partes por millón (ppm) de CO_2 agresivo provoca una rápida carbonatación de la pasta cementicia hidratada. Por otra parte el agua que contiene 10 ppm o menos de CO_2 agresivo pero que se mueven libremente también pueden provocar una carbonatación significativa (Garcés et al. 2008).

En definitiva, el papel del agua tiene que ser visto en una perspectiva adecuada porque es un ingrediente necesario para las reacciones de hidratación del cemento y como un agente que facilita la mezcla de los componentes de concreto; sin embargo, la mayoría del agua en el concreto (todo el agua capilar y una parte del agua adsorbida) se pierde, dejando los poros vacíos o insaturados Por ello la dosificación de la mezcla, las materias primas a usar y los procesos constructivos que se sigan harán que el agua sea nuestro aliado o un peligro para nuestra edificación (Metha y Monteiro 2013).

Capítulo 3: Fisuración

3.1. Fisuración en elementos de concreto

Las fisuras en concreto armado son inevitables pues aparecen cuando se excede su capacidad de resistencia a tracción, que asciende a un 10% de la resistencia a compresión ($f'_t = 0,1 f'_c$), esto debido a las cargas de servicio que provocan flexión o torsión de la sección transversal y a efectos de temperatura, la retracción del concreto u otras deformaciones impuestas sobre elementos con restricciones a los desplazamientos.

Como parte del cálculo estructural, las grietas y fisuras se encuentran en los estados límites de servicio, son aquellos estados que no conllevan al colapso, pero si afectan al funcionamiento bajo la acción de cargas de servicio. Pueden afectar la estética de la estructura, pero a su vez también pueden indicar fallas estructurales significativas (Ottazzi 2004).

3.2. Causas de la fisuración

Las microfisuras y macrofisuras se suelen relacionar con problemas de durabilidad, ya que facilitan el ingreso de sustancias perjudiciales que contribuiría a un proceso de corrosión en el refuerzo de acero y daño general en el concreto que pueden reducir enormemente la vida útil de la estructura.

Su importancia depende del tipo de estructura donde se registre la aparición y de la naturaleza de la misma; la reparación de las fisuras será correcta si se conocen sus causas y si el procedimiento de reparación seleccionado es adecuado acorde a sus causas, en caso contrario la reparación sería ineficiente.

En estructuras nuevas, entre las causas generales de fisuración están el exceso de agua en el concreto, curado inadecuado, acero insuficiente y mala ubicación de los mismos. Consideraremos la fisuración no estructural como la que se da por retracción plástica y por asentamiento plástico; la primera se da durante las primeras horas de fraguado y la segunda desde la colocación hasta el endurecimiento, respectivamente.

A continuación, recopilamos algunas causas de fisuración más comunes (Rodríguez 2008; Sánchez 2001; Trub 1977; Joisel et al. 1981; Elguero 2004):

Fisuración por retracción plástica, ocurre durante el fraguado, cuando el concreto está sujeto a tensiones producidas a una rápida pérdida de agua superficial por evaporación (la evaporación es mayor que la velocidad del agua de exudación),

relacionada a la humedad relativa, velocidad del viento, medio que lo rodea; es frecuente en concretos vaciados en climas calurosos, secos y con viento. Esta evaporación provoca contracciones en la superficie generando grandes esfuerzos internos, en una etapa en la que aún no alcanza la suficiente resistencia a tensiones para soportarlos, por ello se fisura.

Estas fisuras se caracterizan por aparecer en grupo y tener un aspecto similar al de piel de cocodrilo y que no llegan a alcanzar grandes profundidades (Rodríguez 2008); sin embargo, pueden ser el ingreso de sustancias perjudiciales que terminaran afectando el desempeño y durabilidad de la edificación. Se da en elementos superficiales y de poco espesor, ante una dosificación elevada en cemento, mayor será la retracción plástica. A manera de prevención se recomienda un buen curado y sellarlas en caso de aparición.

Fisuración por asentamiento plástico, se da cuando el concreto ha sido colocado y compactado, los sólidos de la mezcla tienden a asentarse por la diferencia de pesos específicos, este proceso es continuo hasta que el concreto se endurece (Sánchez 2001). Si la mezcla está restringida para asentarse uniformemente, por la armadura o algún elemento embebido, se forman fisuras. Para prevenir asentamientos diferenciales se debe dar intervalos de tiempo entre cada capa de vaciado de elementos según el ACI 309.2R y darle un vibrado adecuado.

En estructuras existentes, las causas más comunes de fisuras son el aumento de cargas de servicio, tanto carga viva como carga muerta y/o cargas de sismo; causas químicas como reacción álcali-agregado, corrosión en la armadura; causas térmicas, variaciones térmicas según la estación en el año, restricciones externas, incendios entre otras.

Fisuración por retracción en el secado, el concreto armado se contrae por la pérdida gradual de agua en la pasta cementicia cuando el concreto endureció. Las fisuras por contracción en el secado se originan si el encogimiento se encuentra restringido externamente, por un elemento colindante o por el suelo.

Estas fisuras se caracterizan por presentarse de manera individual y en direcciones definidas, no se ramifican ni se entrecruzan, son grietas profundas de aberturas finas y se pueden prevenir este tipo de fisuras reduciendo el contenido de agua de la mezcla y aumentando la cantidad de agregado y utilizando juntas de contracción (Trub 1977).

Fisuración por retracción térmica, se da por diferencia de temperaturas dentro del elemento estructural, provocados por la disipación del calor de hidratación del cemento (mayor en la superficie que en el interior), esto provoca esfuerzos de tensión que si exceden la baja resistencia del concreto en proceso de endurecerse se fisurara. Estas fisuras son superficiales y se presentan en grupos similares a mapas. La manera de prevenirlas es realizar juntas de dilatación en elementos masivos (Joisel et al. 1981).

Fisuración por reacciones químicas, en general los distintos agentes agresivos tienen una velocidad baja de transporte dentro del concreto, por ello estas reacciones pueden tomar varios años en manifestarse. Entre estas reacciones tenemos las que se explicaron a detalle en el capítulo de mecanismos de degradación, a excepción de una carbonatación superficial, ante las otras reacciones descritas proteger o reparar resultaría inviable (Sánchez 2001).

Fisuras producidas por cargas externas, también conocidas como fisuración estructural, para cada elemento de la edificación se calcula los esfuerzos (tracción, compresión, flexión, cortante y torsión, entre otras) y tomando en cuenta los factores de seguridad se realizan el diseño (dimensionamiento, cuantía de acero, resistencia del concreto, etc). Con este diseño, el uso de materiales adecuados y una adecuada ejecución de obra para obtener una edificación segura y funcional durante su vida útil.

Al existir deficiencias en algún aspecto de las mencionadas líneas arriba los elementos estructurales podrían encontrarse ante cargas no previstas que aplicadas de manera repetitiva y en un prolongado periodo de tiempo, provocaran fisuras de profundidad considerable que irán incrementando el tamaño de sus aberturas iniciales.

En general las fisuras por esfuerzos de compresión, se caracterizan por ser paralelas al refuerzo; los de tracción, por ser perpendiculares (coinciden con la ubicación de los estribos); los de cortante, por ser inclinados (pueden llegar a dividir en dos el elemento a 45° , es muy peligroso); torsión, aparecen en el perímetro del elemento (más común en elementos aporticados); flexión, aparecerá en la parte inferior del centro de la viga y en la parte superior de los apoyos (Elguero 2004).

Corrosión del acero de refuerzo, la corrosión de un metal es un proceso electroquímico. El concreto protege al acero al rodearlo en un ambiente alcalino, que forma un recubrimiento de óxido protector (protección pasiva), sin embargo, este acero se puede corroer si la alcalinidad del concreto se reduce ($\text{pH} < 13$) o por el ingreso de iones agresivos (cloruros); la corrosión hará que el acero incremente su volumen y provoque la aparición de fisuras tanto radiales como longitudinales. La prevención a la corrosión es hacer concretos menos permeables y respetar los recubrimientos mínimos (Sánchez 2001).

Otro tipo de fisuras, fallas de adherencia- anclaje, presentan fisuras localizadas paralelas al refuerzo longitudinal, la falla por anclaje es muy peligrosa (puede significar una rotura súbita), porque es un indicio que varilla de acero tuvo deslizamiento, es decir, no está soportando las cargas que debería según el diseño original.

Los asentamientos diferenciales, se da en estructuras aporricadas, existen zonas en el que el suelo cede y en otras no; se refleja en fisuras que irán aumentando de tamaño y profundidad, previniendo de un posible colapso. Situaciones como esta se pueden contrarrestar realizando una cimentación corrida. En la Figura 6, se resume las causas de fisuración descritas a detalle líneas arriba:



Figura 6. Causas de la Fisuración (Adaptado de Sika Argentina 2015).

3.3. Limitaciones de abertura

Es necesario mantener acotada la abertura de las fisuras por tema estético, impermeabilidad del concreto y corrosión de armadura; las fisuras derivan de tracciones propias del concreto y se distinguen por la edad de aparición en un elemento estructural, en su forma, trayectoria, abertura, movimiento entre otros (Ottazzi 2004).

Antes de elegir la manera en como sellarlas se debe determinar la causa de origen y el elemento estructural en que han aparecido. En los procesos de fisuración se definen dos etapas: una microfisuración inicial, no se identifican a simple vista, su espesor es menor a 0.05mm y una macrofisuración posterior, las que aparecen en la superficie del elemento como se observa en la Figura 7.

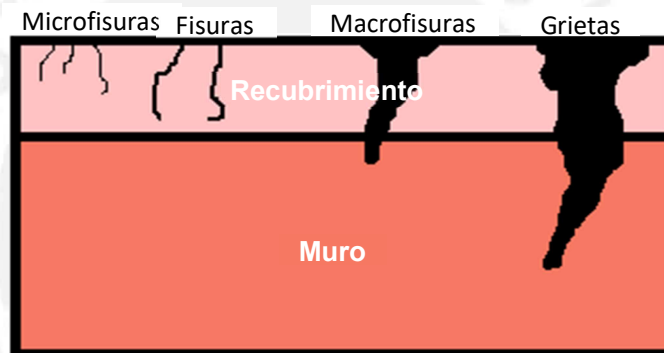


Figura 7. Tamaño de abertura (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

No existen normas o reglas relativas al ancho máximo de la abertura en elementos estructurales; sin embargo, aberturas de 0,4 mm son de menor importancia comparado con el espesor de recubrimiento y la colocación del acero de refuerzo. Según los requerimientos de comité ACI-318S,2005, una posible clasificación de las fisuras acorde a su abertura, se presenta en el Tabla 1: Clasificación por tamaño de abertura.

Tabla 1. Clasificación por tamaño de abertura (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

Clasificación	Abertura (mm)	Descripción
Microfisuras	<0.05	No son perceptibles al ojo humano y no tienen relevancia.
Fisuras	$0,1 < e < 0,2$	No representan un peligro, dependiendo de las condiciones ambientales a las que se encuentre. Puede favorecer la corrosión.
Macrofisuras	$0,2 < e < 0,5$	Pueden tener repercusiones estructurales de importancia.
Grietas	0.5	Indicio de daño estructural.

3.4. Control de la fisuración

Todas las edificaciones presentan fisuras que poseen diversas configuraciones: verticales, horizontales, inclinadas, entre otras y cada una de ellas tienen un origen y se producen por alguna fuerza en especial. Las fisuras o grietas nos brindan información valiosa de su origen y su evolución, por ello es vital observarlas y estudiarlas a detalle para poder definir la importancia real que tienen y optar por la solución más segura y eficaz. Ante esta observación y estudio a detalle, nos encontraremos con dos casos claramente definidos: fisuras muertas o estables y fisuras vivas o inestables (Bernal 2005).

Las fisuras muertas son aquellas cuyo ancho, longitud y profundidad no se modifican con el tiempo, debido al cese de la causa que la origina y/o al equilibrio de resistencias (cada elemento resiste lo que puede), es decir, ha sido necesaria esa deformación en el material para adaptarse a la actual situación.

Las fisuras vivas se caracterizan por tener ancho, longitud y profundidad cambiante, son producidas por causas mecánicas (muchas veces aplicadas no en el mismo elemento que rompe), que provocan deformaciones en el concreto y deterioro proporcional al aumento de abertura de la grieta.

Para determinar si una fisura está viva o muerta, se suelen recurrir a testigos como se observa en la Figura 8: testigos de yeso, que consiste en colocar tiras de yeso transversalmente a la fisura, y testigos de vidrio, que siguen un procedimiento similar al anterior. Los testigos tendrán un seguimiento en un lapso de entre 7 a 90 días (el yeso y vidrio ante movimientos muy pequeños se romperán, debido a su rigidez, para poder definir la reparación, en caso sea de una fisura muerta o la manera de como estabilizar una fisura viva (Elguero 2004).

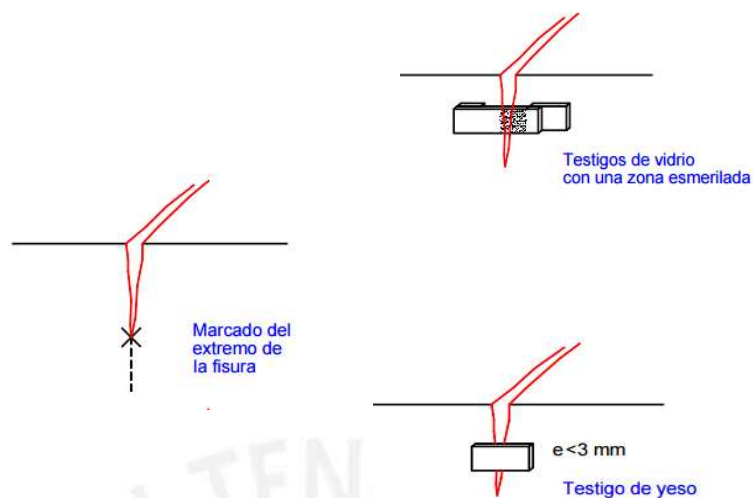


Figura 8. Procedimiento para controlar la fisura (Fuente: Elguero, 2004).

Capítulo 4: Técnicas de reparación

El tema de fisuración es complejo, ya que existen gran variedad de situaciones de diversa índole que se encuentran en las edificaciones en la práctica diaria. Sin embargo, en este capítulo se va presentar la sintomatología o patrones de fisuración más comunes en edificaciones, en base a esto se relacionarán con las causas principales y más frecuentes.

Es necesario mencionar que en el mercado existe una diversidad de materiales y sistemas que se pueden emplear para reparar las estructuras de concreto armado y cada vez se desarrollan nuevos productos, pero en la presente investigación se describirán materiales sostenibles que contribuyan a minimizar el impacto ambiental que crea el sector constructivo.

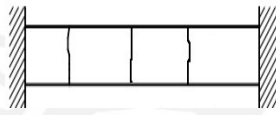

4.1. Patrones típicos de fisuras en edificaciones

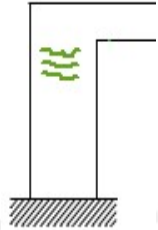

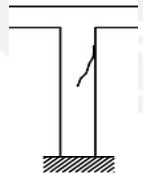
En edificaciones es usual encontrar fisuras por el propio material o por agentes externos, a continuación, se muestra en una matriz los patrones típicos de fisuras en edificaciones, causas frecuentes y técnicas de reparación expresados de manera genérica.

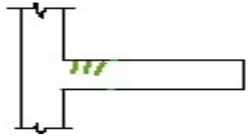
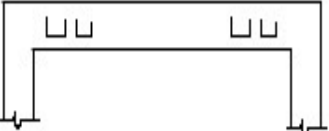
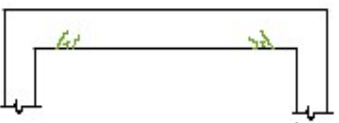
Sin embargo, es necesario hacer énfasis que al elegir entre las distintas técnicas de reparación es necesario analizar si son fisuras vivas o muertas, espesor de la misma y verificar el ambiente en el que se encuentra, ya que ello permitirá elegir la técnica más adecuada que incremente la vida útil de la edificación de concreto armado (Sika Argentina 2015).

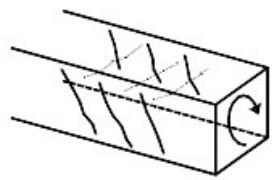
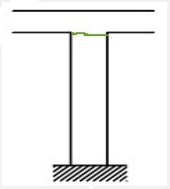
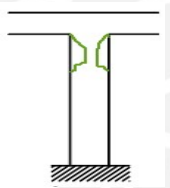


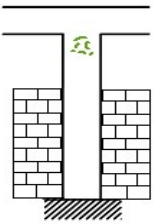
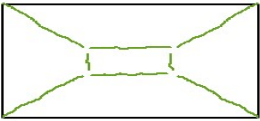

Tabla 2. Técnicas de Reparación de fisuras en edificaciones. (Adaptado desde Sika Argentina S.A.I.C.)

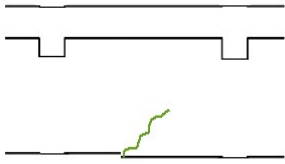
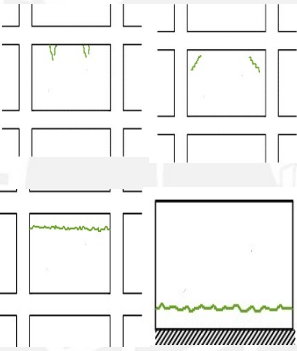
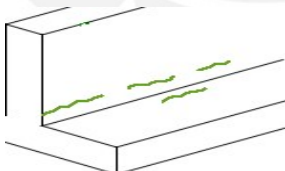
Patrones Típicos de fisuras en edificaciones	Características	Causas	Técnicas de Reparación
<p>Fisuras por retracción térmica</p>	 <p>Suelen aparecer en losas y vigas y se caracterizan por ser paralelas y geoméricamente distanciadas</p>	<p>Curado inadecuado</p> <p>Contracción térmica (diarios o por estación)</p> <p>Falta de cuantía de acero</p>	<p>Analizar el medio ambiente donde se encuentre la estructura, eliminar el material suelto, limpiar la superficie y dependiendo de las dimensiones de la fisura, podría quedar sin tratamiento o inyectar resina epoxi. En caso sea una fisura viva se empleara un sellador elástico.</p>
<p>Fisuras por retracción plástica</p>	 <p>Fisuras tipo mapeo en la superficie de losas y columnas</p>	<p>Temperaturas altas</p> <p>Tiempos prolongados de espera en el vaciado del concreto</p> <p>Velocidad alta de viento</p>	<p>Analizar el medio ambiente donde se encuentre la estructura, se debe eliminar el material suelto, limpiar la superficie y dependiendo de las dimensiones de la fisura, podría quedar sin tratamiento o inyectar resina epoxi.</p> <p>Si las fisuras están en columnas se colocaría un grout aumentando la sección</p>

<p>Fisuras por asentamiento plástico</p>	 <p>Fisuras horizontales en columnas cerca al apoyo de vigas y en losas puede aparecer sobre el acero muy cerca de la superficie</p>	<p>Vaciado simultaneo de concreto en vigas, losas y columnas.</p> <p>Exceso de agua en el concreto.</p> <p>Mala compactación del concreto.</p>	<p>Depende de las dimensiones de la fisura no necesitara tratamiento y si se da el caso de sellarlas se hará con inyección de resinas epoxi o microcemento.</p> <p>Demoler y reconstruir la zona afectada: Limpiar, reponer la sección de acero original o incrementarla, previo cálculo y colocar grout, previa la colocación de encofrado.</p>
<p>Fisuras de flexión</p>	 <p>Fisuras en las superficies traccionadas, en especial en estructuras aporricadas</p>	<p>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural, el diseño y las cargas.</p>	<p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas, previo cálculo.</p>
<p>Fisuras de corte</p>	 <p>Fisuras inclinadas y próximas a los apoyos o bordes del elemento</p>	<p>Inadecuado análisis en el elemento estructural, el diseño y las cargas.</p>	<p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas, previo cálculo.</p>

<p>Fisuras de flexión en la parte superior (típico de balcones)</p>	 <p>Fisuras en la superficie superior de las vigas y losas</p>	<p>Insuficiente acero de refuerzo en el anclaje.</p> <p>Inadecuada posición de la armadura.</p> <p>Sobrecargas no previstas.</p>	<p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p>
<p>Fisuras de flexión y corrimiento de las armaduras</p>	 <p>Fisuras alineadas con la armadura principal y estribos</p>	<p>Sobrecargas no contempladas en el diseño.</p> <p>Mala adherencia entre concreto y el acero.</p> <p>Concreto de resistencia deficiente.</p> <p>Insuficiente acero de anclaje.</p>	<p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p>
<p>Fisuras por compresión</p>	 <p>Se forman por el aplastamiento del concreto en la superficie comprimida</p>	<p>Exceso de acero a tracción.</p> <p>Sobrecargas no previstas.</p> <p>Concreto de resistencia deficiente.</p>	<p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p>

<p>Fisuras debido a torsión</p>	 <p>Fisuras que suelen aparecer alrededor del perímetro del elemento</p>	<p>Sobrecargas no prevista.</p> <p>Cuantía de acero insuficiente.</p> <p>Armadura mal posicionada.</p> <p>En el diseño no se tuvo en cuenta los esfuerzos de torsión</p>	<p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p> <p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reforzar con mantos compuestos de fibra de vidrio.</p>
<p>Fisura de junta de vaciado</p>	 <p>Fisuras causadas por la colocación del concreto fresco en elementos vaciados en diferente tiempo</p>	<p>En la superficie de la columna existe capa de lechada por la exudación propia del material o la superficie está sucia.</p>	<p>Limpiar la superficie de la fisura, si la fisura es del tipo muerta y $< 0,3$ mm se inyectara resina epoxi o micro cemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p>
<p>Fisuras por pérdida de estabilidad de las armaduras</p>	 <p>Fisuras localizadas en columnas, al desplazarse los estribos por la colocación del concreto</p>	<p>Inadecuada colocación de estribos.</p> <p>Sobrecarga no prevista.</p> <p>Inadecuada resistencia del concreto.</p> <p>Inadecuada compactación del concreto.</p>	<p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Reforzar con láminas de carbono o metálicas.</p> <p>Reforzar con mantos compuestos de fibra de vidrio.</p>

<p>Fisuras en columnas cortas</p>	 <p>Fisuras en la parte superior de las columnas cortas o cautivas por movimientos térmicos, casos usuales en instituciones educativas</p>	<p>Las paredes mantienen a la columna cautiva, las cuales no soportan los movimientos térmicos e hidráulicos de la estructura.</p> <p>Sobrecarga no prevista.</p> <p>Inadecuada resistencia del concreto.</p> <p>Inadecuada compactación del concreto.</p> <p>Reforzar la parte superior de las columnas e impermeabilizarla (para que tenga protección térmica) y realizar juntas entre tabiquería, columna.</p>
<p>Flexión en losas</p>	 <p>Las fisuras se forman a 45°</p>	<p>Armadura mal colocada e insuficiente.</p> <p>Sobrecargas no prevista.</p> <p>Acero insuficiente en el anclaje.</p> <p>Sellar la fisura con inyección epoxi o microcemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Aplicar capas de mortero de base cementicia, epóxi o poliéster.</p>
<p>Fisuras por torsión en losas</p>	 <p>Las fisuras se forman a 45° en los cantos de la losa</p>	<p>Armadura los bordes es insuficiente.</p> <p>Sellar la fisura con inyección epoxi o micro cemento.</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p> <p>Aplicar capas de mortero de base cementicia, epóxi o poliéster.</p>

<p>Fisuras por asentamiento en muros</p>	 <p>Fisuras por el asentamiento diferencial de los apoyos</p>	<p>Asentamiento en la cimentación.</p> <p>Armadura mal distribuida e ineficiente.</p>	<p>Puede ser necesario reforzar la cimentación con grout y cemento.</p> <p>Sellar la fisura con inyección epoxi o micro cemento.</p> <p>En algunos casos se debe demoler y volver a reconstruir usando pilotes o plateas de cimentación</p> <p>Reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados).</p>
<p>Fisuras por retracción secado, plástica o térmica</p>	 <p>Fisuras ocasionadas por la restricción de elementos colindantes</p>	<p>Concreto de resistencia inadecuada.</p> <p>Retracción hidráulica y desplazamiento térmico.</p>	<p>Analizar el elemento, puede ser necesario tratar la fisura como junta de dilatación y proceder a sellarlo.</p> <p>Impermeabilizar las cimentaciones para evitar problemas de humedad ascendente por los capilares.</p>
<p>Fisuras de flexión en paredes</p>	 <p>Fisuras alrededor del encuentro losa /pared</p>	<p>Juntas de construcción mal ejecutadas.</p> <p>La cuantía de acero es ineficiente.</p>	<p>Analizar el elemento, puede ser necesario limitar la sobrecarga o en su defecto reforzar la pared.</p>

4.2. Análisis previo a la reparación

Lo primordial al realizar una reparación es identificar los requisitos del propietario, las condiciones de servicio, condiciones de aplicación y finalmente las propiedades del material (Sika Argentina 2015). Cada una de ellas se explica con mayor detalle a continuación:

Requisitos del propietario; el tiempo de vida útil del producto que a la larga se traduce en ahorro de dinero, la apariencia, textura, color, el uso de la estructura durante la reparación.

Condiciones de Servicio; se debe tener en cuenta las condiciones ambientales a la que está expuesta la edificación, contaminantes químicos que puedan deteriorarlo y las cargas a las cuales está sometida (carga muerta, carga viva, sismo, viento, entre otros). Todo ello para poder identificar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material a utilizar.

Condiciones de aplicación; condiciones ambientales, temperatura, humedad relativa del ambiente y sustrato, velocidad del viento, acceso, tiempo de ejecución de la reparación y condiciones de operación. Son de vital importancia para brindarle al producto las condiciones para que pueda desempeñarse de manera adecuada.

Propiedades del material; se debe evaluar de forma holística el material, ya que muchas veces se sobrevalora una propiedad sobre otra que en periodos cortos puede brindarnos soluciones rápidas, pero en periodos largos provocan gastos innecesarios.

4.3. Técnicas de reparación

En las manifestaciones típicas de fisuras en edificaciones se identificó las alternativas de reparación y en esta sección del presente capítulo, se tratará con mayor detalle estos procedimientos para obtener una exitosa reparación.

4.3.1. Inyección en fisuras

La inyección en fisuras muertas o pasivas es para recobrar el monolitismo del elemento y se pueden emplear resinas epoxi o micro cementos, para el caso de

fisuras vivas o activas la inyección será para obtener estanqueidad en el elemento y se emplean productos flexibles de base acrílica, poliuretano, silicona o gomas de PVC (Policloruro de vinilo).

Se usan en elementos verticales u horizontales, para fisuras superficiales o profundas tanto en zonas localizadas del elemento o cuando llega a atravesar todo el elemento, se aplica de manera generosa en la abertura de la fisura para ser absorbido por absorción capilar en el material. De preferencia la inyección debe poseer viscosidad baja (ser congelada), para facilitar la trabajabilidad del material (Sika Argentina 2015).

El producto se aplica en la fisura limpia (se usa agua con detergente a presión) y seca (se emplea aire caliente soplado), si se va a aplicar por presión se debe colocar puertos de inyección a lo largo de la grieta y si esta traspasa el elemento, los puertos se colocarán a ambos lados; por los cuales se inyectará aire caliente comprimido previo a la inyección. También será necesario sellar superficialmente la grieta para evitar pérdida de material (Sika Argentina 2015).

Es recomendable inyectar el material a presión constante desde el punto más bajo de la fisura y se continúa de manera secuencial al siguiente punto al ver aflorar el material por dicho punto; la terminación superficial es a preferencia del usuario y se realiza una vez curado el material. Entre los equipos que se emplean están: sistema de aire comprimido y pistola para la inyección (Ver Figura 9).



Figura 9. Pistola para la inyección en fisuras (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.).

4.3.2. Aplicación de grout

Este método de reparación para fisuras muertas, posee elevada resistencia, fluidez y elevada cohesión; se debe usar un encofrado hermético en su aplicación que a su vez en la parte superior debe poseer una ventana para el ingreso del material. Es muy empleado en ambientes agresivos (penetración de sulfatos, cloruros, carbonatos, entre otros) y abrasión.

El producto se aplica en la fisura limpia y con los poros abiertos (se logra lijando, esmerilando o granallando), se vierte de arriba hacia abajo (para que el producto se acomode por gravedad) lento y de manera constante para evitar inclusión de aire. Se procederá a desencofrar en un periodo no menor a 48 horas (Sika Argentina 2015).

4.3.3. Aplicación de capas o sobrecapa

Este método de reparación para fisuras muertas consiste en superponer sobre la superficie (resina o cemento modificado con polímeros), es muy utilizado para aumentar la capacidad de carga y protección frente a agentes agresivos. Su uso es en losas, pavimentos, entre otros.

Permite usar distintos materiales (micro-cemento con acrílicos, morteros de cemento portland con relaciones bajas de a/c o humo de sílice) y distintos espesores (los más usados son de 0,3 cm a 8 cm). Se usan espesores menores a 0.5 cm en el caso de morteros poliméricos (epóxi combinado con arena).

El producto se aplica similar al vaciado del concreto, en la fisura limpia y con los poros abiertos (se logra lijando, esmerilando o granallando) para promover la adhesión entre concreto endurecido y material fresco. Entre los equipos que se emplean están: Esmeriladora o Granalladora (Sika Argentina 2015).

4.3.4. Selladores

Las fisuras por cargas externas, muchas veces son de tipo activas o vivas, en este caso lo que se hace es asegurar la estanqueidad de la misma para evitar que el concreto armado sea atacado por agentes externos.

Al colocar un sellador, la fisura se tratará similar a una junta: un sellador funciona en dos direcciones y la tercera dirección se debe aislar con un fondo de junta (es usual que se use espuma de poliuretano).

Para que trabaje de manera adecuada se debe respetar el factor de forma del sellador, es una relación entre el ancho (A) y la profundidad (P) (se muestran en la Figura 10) que varía de 1 a 1 o de 2 a 1 en esa proporción. Se debe cumplir con el factor de forma del sellador indicado en la hoja técnica del fabricante, ya que acorde al factor de forma va la capacidad de movimiento del sellador en elongación o compresión (Sika Argentina 2015).

$$FF = A / P \text{ (1/1 o 2/1)}$$

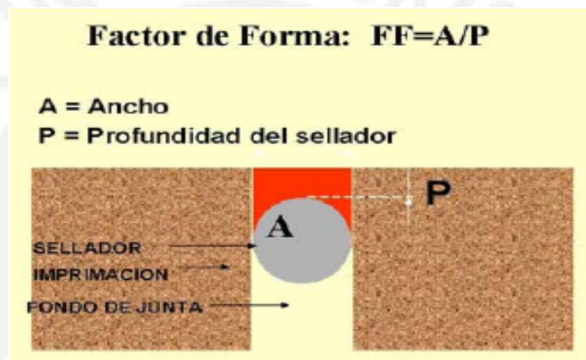


Figura 10. Factor de forma en un sellador (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.).

El producto se aplica en la fisura limpia y seca; luego se coloca espuma de poliestireno como fondo de junta; se procede a colocar imprimación sobre los labios de la junta que facilita la adherencia concreto/sellador; se coloca el sellador en toda la superficie de manera uniforme, si se desea se coloca cinta de enmascarar para evitar ensuciar la superficie (Ver la Figura 11) y finalmente se le da el acabado final de un arenado leve en la superficie para mayor durabilidad, aunque también hay en el mercado diversidad de selladores de colores. Entre los equipos que se emplean están: Esmeriladora o Granalladora.

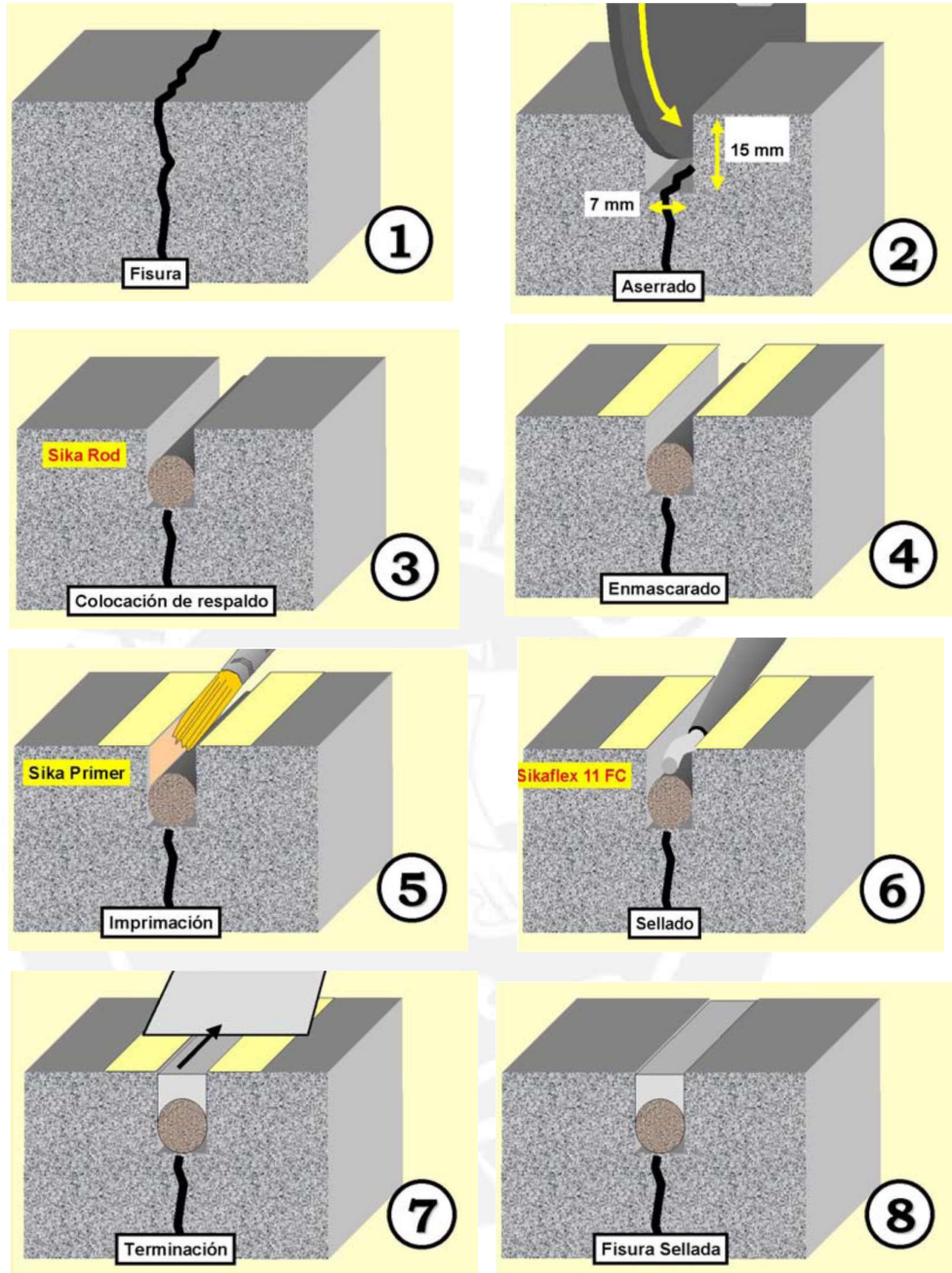


Figura 11. Pasos para sellar una fisura (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

4.3.5. Seguridad y salud del proyecto de reparación

La mala calidad de una edificación tiende a estar unida a un sistema de contratos y subcontratos a destajo, los que a su vez podrían generar un aparente incremento de productividad y altos índices de fallos y desperdicios, enfermedades, accidentes leves y graves (incapacidad temporal o permanente de los trabajadores) y accidentes mortales, entre otros (Brioso 2005a). Esto también aplica a los proyectos de reparación, por lo que deben estar debidamente desarrollados los planes de calidad, seguridad y salud, y, de preferencia, deben estar integrados.

Las últimas tendencias y regulaciones apuntan a los principios generales de prevención de riesgos laborales que deben ser tomados en cuenta por el proyectista desde la concepción del proyecto. Esto supone un gran cambio, ya que son aspectos que tradicionalmente han sido pospuestos a la fase de ejecución de obra.

La aplicación y adaptación del método a cada país, entre ellos el Perú, dependerá de la legislación vigente, usos y costumbres en el sector construcción. La planificación de la seguridad se debe iniciar desde la concepción del proyecto (Brioso 2005b; Brioso 2011), se debe elaborar un plan de seguridad y salud del proyecto de reparación, y debe existir un responsable de seguridad y salud calificado que apruebe el mencionado plan. Existe sinergia entre una buena planificación de la gestión de producción, la gestión de la calidad y la gestión de la seguridad y salud, lo cual conlleva a tener indicadores optimizados simultáneamente (Brioso 2013; Brioso 2017a).

Por otro lado, es recomendable relacionar estadísticamente los accidentes, los actos estándar y sub estándar, las condiciones estándar y sub estándar y el trabajo productivo, contributivo y no contributivo. Con el avance de la tecnología ahora es más viable la automatización en la captura de esta información de los sistemas de gestión de productividad, calidad, seguridad y salud (Brioso 2015a), por lo que se debe recoger sistematizadamente esta información.

Acorde a la Norma G.050 Seguridad durante la Construcción del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, las medidas preventivas estipuladas para los trabajos de reparación del concreto se muestran en la Figura 12.



Figura 12. Seguridad y salud del proyecto de reparación (Adaptado desde Sika Argentina S.A.I.C.)

Capítulo 5: Edificación Sostenible

5.1. Sostenibilidad en el Sector Construcción

En los últimos años el sector construcción se ha incrementado a un ritmo superior a la capacidad regenerativa de los recursos que demanda, por ello la construcción produce gran impacto medioambiental tanto en su aspecto local como global.

En relación a su aspecto local, el construir debe buscar preservar los ecosistemas, biodiversidad, el patrimonio cultural e histórico; y globalmente debe tener en cuenta el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, la degradación y el agotamiento de los recursos naturales.

Es necesario cambios en el modelo y diseño en este sector que requiere de la participación de todos sus agentes involucrados (ingenieros, arquitectos, administradores, paisajistas, proveedores de materiales, etc.); el objetivo que se

pretende es el de sostenibilidad, concepto que hoy deja de ser una apuesta ética para convertirse en lo que en el fondo siempre ha sido: una necesidad (Elías y Bordas 2011).

5.1.1. Edificación Sostenible

El objetivo de una edificación es el resguardo, lo que conlleva que nuestro antepasado Homo sapiens manipulara materiales para elaborar su primer lugar de resguardo y conforme transcurrían los años a diferencia de otros seres vivos; el hombre no se adaptó a las condiciones del entorno, sino que adaptó el entorno a sus necesidades.

La edificación sostenible es definida como la edificación que tiene como objetivo estratégico minimizar o reducir al máximo su consumo de agua, energía, mínimo impacto ambiental e integración con el paisaje, cuyo fin es proporcionar un ambiente saludable a sus ocupantes tanto en el interior como en su entorno (Crespo 2010).

En la actualidad una edificación tradicional sigue un proceso lineal, donde un cliente contrata un estudio de arquitectura y se realiza el diseño arquitectónico; luego se acude a ingenieros estructurales que diseñan las cimentaciones y estructuras del diseño arquitectónico recibido. Una vez ya teniendo los planos detallados se contrata a una constructora, la cual planifica el proceso constructivo, realiza análisis de precios unitarios y construye el edificio. Por último, el cliente recibe la edificación y se hace cargo de operaciones y mantenimiento durante la vida útil del edificio.

Sin embargo, este proceso lineal es poco eficiente, ya que cada parte asume riesgos y responsabilidades en lo que le corresponde sin ver más allá de ello; lo que se traduce en fallas durante el proceso y mayores costos para el cliente.

La edificación sustentable considera un enfoque integrador que consiste en un trabajo multidisciplinario, que trate al edificio como lo que es, un sistema interconectado. Este enfoque permite al equipo de proyecto realizar una retroalimentación para lograr una mejora continua, que más tarde se verá reflejado en el éxito del proyecto y comprende al proyecto desde la selección del lugar hasta el posterior mantenimiento.

En una edificación sostenible se puede llegar a reducir el uso de energía hasta en un 50%, el uso de agua en 40%, minimizar la cantidad de desechos sólidos en un 70%

y las emisiones de CO₂ en un 40%, gracias al enfoque integrador, lo que representa importante ahorro para los ocupantes del edificio (U.S.Green Building Council 2011).

5.1.2. Sistemas de certificación de edificaciones sustentables

En las últimas décadas, alrededor del mundo se han desarrollado sistemas de certificación medioambiental para edificios sostenibles, mencionaremos los más empleados:

BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) es un programa de certificación de edificios presente en el Reino Unido, creado en 1990 por el centro de investigación británico BRE (Building Research Establishment) (BREEAM 2016).

HQE (Haute Qualite Environnementale) es una certificación francesa creada en 1994 por ASSOHQE (Asociación Francesa para la Alta Calidad del Medio Ambiente) (HQE 2016).

DGNB, consejo alemán de construcción sostenible fundado en el 2007 por el Ministerio Federal de Transportes, Obras Públicas y Asuntos Urbanos (BMVBS) (DGNB 2016).

Green Globe, certificación canadiense creado en 1996 por BOMA (Asociación de Propietarios y administradores de edificios de Canadá) (GREEN GLOBE 2016).

Green Star, es un sistema de certificación australiana creado por el Consejo de Construcción Verde de Australia en el 2003 (GREEN STAR 2016)

LEED (Leadership in Energy and Enviromental Design), es el programa de certificación más difundido a nivel mundial, creado en el año 2000 por la USGBC (U.S. Green Building Council).

Cada sistema de certificación tiene puntos de referencia equivalentes, presentan categorías que permiten acumular puntos en función de los atributos que posea la edificación sustentable y obtener un nivel de certificación. Son programas voluntarios y se espera que su difusión sea mayor en los próximos años en América Latina.

5.2. Sistema de Certificación LEED

Es un sistema de certificación internacional utilizado para el etiquetado de construcciones eco-sostenibles. LEED es acrónimo de Leadership in Energy and Environmental Design, traducido al español es Liderazgo en diseño energético y

medioambiental que brinda sistemas de clasificación para una amplia variedad de edificios, tales como oficinas, escuelas, viviendas y vecindarios.

Este sistema busca fomentar prácticas útiles para el desarrollo de una construcción eco-sostenible, mediante estándares. Creado en 1999 y desarrollado por la USGBC (US Green Building Council), organización sin fines de lucro, cuya misión es transformar la manera en que los edificios y las comunidades se diseñan, construyen y operan, lo que permite un entorno ambiental y socialmente responsable que mejore la calidad de vida.

Los sistemas de clasificación proporcionan a los propietarios y operadores las herramientas para lograr un efecto medible e inmediato en el desempeño de los edificios. Leed reconoce el desempeño respecto a ubicación y planificación, desarrollo de sitios sustentables, ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales, calidad ambiental interior, estrategias innovadoras y a cuestiones regionales; adicionalmente Leed aborda diversos tipos de edificios (USGBC 2009).

5.2.1. Sistemas de clasificación

Los sistemas de clasificación LEED consideran la construcción nueva, las operaciones y el mantenimiento. Cada sistema de clasificación está estructurado y organizado; contiene pre-requisitos que son obligatorios y créditos, son estrategias opcionales que los equipos de proyectos eligen para sumar puntos en una determinada certificación (USGBC 2011).

- ❖ LEED para nuevas construcciones y renovaciones importantes

Se usa esta clasificación para edificios comerciales, incluidas oficinas, hoteles, edificios institucionales (bibliotecas, museos, iglesias, entre otros) y edificios residenciales de cuatro o más pisos habitables. Y el propietario debe ocupar más de 50% del área del edificio.

- ❖ LEED para escuelas

Aborda el diseño y construcción tanto para nuevos edificios como para renovaciones importantes en la escuela existente; proporciona herramientas para cuestiones como la acústica del aula, luz natural y las vistas. Las oficinas administrativas también podrían entrar en la clasificación de nuevas construcciones y renovación importantes, pero esta decisión dependerá del equipo del proyecto.

- ❖ LEED para atención médica

Comprende las instalaciones que satisfagan las necesidades del mercado de atención médica, ya que se deben considerar los productos químicos y las sustancias contaminantes que se emplean.

- ❖ LEED para fachadas y estructuras

Este sistema de clasificación es usado para proyectos en los cuales se tiene control sobre el diseño y construcción de toda la fachada y estructura del edificio, pero no el diseño ni la construcción de los locales arrendados. Y el propietario debe ocupar menos del 50% del área arrendable del edificio.

- ❖ LEED para interiores comerciales

Este sistema acompaña a la certificación LEED para fachadas y estructuras, aunque no es excluyente. Es elegible a cualquier arrendatario que no ocupe el edificio completo.

- ❖ LEED para retails

Abarca los distintos tipos de espacios que los mercados minoristas necesitan y pueden aplicar tanto para LEED para retails: Nuevas construcciones como LEED o para retails: interiores comerciales.

- ❖ LEED para edificios existentes: Operaciones y Mantenimiento.

Este sistema de clasificación anima a los propietarios a implementar prácticas sustentables y reducir los impactos ambientales de sus edificios durante su ciclo de vida; por ello aborda el uso de agua, energía, prácticas de limpieza, gestión de desechos y calidad interior del aire. Incluyen edificios comerciales, bibliotecas, escuelas, museos, iglesias, hoteles y edificios residenciales de cuatro o más pisos.

- ❖ LEED para hogares

Este sistema de clasificación se centra en hogares de familias únicas o familias múltiples en un edificio de hasta tres pisos. Y deben contar con un área de cocina y baño. Si el edificio de familias múltiples tiene más de tres pisos se puede usar el sistema de clasificación LEED para nuevas construcciones o el programa piloto de LEED para hogares de altura media.

❖ LEED para desarrollo de vecindario

Abarca la planificación de vecindarios completos que comprende edificios, infraestructura, el diseño de calles y el espacio abierto. Con el propósito de mejorar el entorno natural y la calidad de vida de las comunidades.

LEED aborda los diferentes tipos de edificios en el mercado del diseño y construcción de edificios, como se aprecia en la Figura 13.



Figura 13. Sistemas de clasificación LEED (Fuente: USGBC (U.S. Green Building Council) (USGBC 2011))

5.2.2. Categorías de los créditos

Los pre-requisitos y los créditos de cada sistema de clasificación, contiene las categorías de los créditos de clasificación LEED (USGBC 2011), que se muestran a continuación:

Sitios Sustentables: Los créditos LEED recompensan el desarrollo que preserva los lugares respetuosos del medio ambiente y aprovecha la infraestructura, los recursos comunitarios y el transporte público existente.

Agua: Estos créditos abordan la eficiencia del agua, el uso inteligente dentro y fuera del edificio. Se realiza por medio de dispositivos, accesorios que demanden un caudal menor en comparación a los que se usan en una edificación tradicional.

Energía: LEED fomenta el diseño y construcción eficiente para disminuir el consumo de energía y también impulsa el que una edificación pueda generar su propia energía de fuentes renovables.

Materiales y recursos: Estos créditos promueven el uso de productos y materiales producidos y transportados de manera sustentable. Se desarrolla en la tesis, ya que la investigación presenta materiales sostenibles a emplear en una fisura.

Calidad ambiental interior: Los créditos de esta categoría fomentan estrategias para ofrecer acceso a la iluminación natural, las vistas y mejoran la acústica; ya que el usuario pasa alrededor del 90% de su día en interiores. Se desarrolla con detalle más adelante por estar ligados con los materiales y recursos a emplear.

Innovación: LEED ofrece puntos extra por incorporar ideas que mejoren el desempeño del edificio y que no se encuentra en este sistema de clasificación.

Ubicación y conexión: Estos créditos ofrecen orientación sobre el lugar donde se construye el proyecto, la selección del lugar y el transporte existente.

Concientización y educación: Los usuarios del edificio debe conocer y comprender las cosas que hacen que el edificio sea ecológico, para poder aprovechar sus características.

Prioridad regional: Se han identificado inquietudes ambientales de relevancia en cada región, esto se realizó por los consejos regionales afiliados al USGBC. Un equipo de proyecto podría obtener cuatro puntos adicionales al tratar estas prioridades regionales.

En la Figura 14 contiene las distintas categorías de los créditos de clasificación LEED (USGBC 2011).



Figura 14. Categorías de crédito del sistema de clasificación LEED (Fuente: USGBC (U.S. Green Building Council) (USGBC 2011))

Sin embargo, es de vital importancia que se comprenda como los sistemas de clasificación están estructurados y organizados. Cabe mencionar que cada categoría está estructurada en base a pre-requisitos y créditos, los primeros son de carácter obligatorio y no brindan puntos; y los segundos son opcionales y suman puntos. Cada

pre-requisito y crédito tiene una intención, la cual identifica al beneficio principal sustentable y contienen requisitos que esclarecen los criterios que se deben cumplir para obtener puntos. Esto se muestra en la Figura 15.

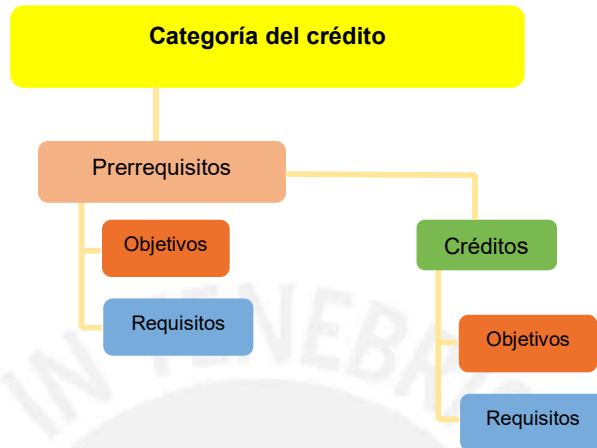


Figura 15. Estructura de la categoría del crédito LEED (Fuente: USGBC 2011).

5.2.3. Niveles de certificación

Cada sistema de clasificación LEED tiene 100 puntos, sin embargo, los créditos de innovación otorgan 6 puntos adicionales y prioridad regional 4 puntos adicionales.

Para hogares, el sistema de clasificación se basa en una escala de 125 puntos y 11 puntos adicionales por innovación. Cada uno de los niveles se observan en la Figura 16.



Figura 16. Niveles de certificación LEED (Fuente: USGBC 2011).

5.2.4. Categoría: Materiales y recursos

A lo largo del ciclo de vida de un edificio el enfoque de LEED busca reducir el impacto ambiental producido por los materiales empleados dentro del edificio y minimizar la cantidad de desechos; es decir; reducir, reutilizar y reciclar. Para lograr ello LEED se enfoca en:

Conservación de materiales, reutilizar materiales y edificios, aprovechar de manera eficiente el espacio en las edificaciones y designar áreas en las que los suministros reutilizables estén disponibles.

Uso de materiales sustentables, es prioritario elegir materiales con una política ambiental responsable o incentivar la selección de proveedores certificados como Green seal, madera FSC (Forest Stewardship Council), consejo de administración forestal y energy star; materiales reciclados; biodegradables; perdurables en el tiempo y que sean locales, para impulsar la economía local.

Gestión de desechos, la premisa es reducir los desechos que posteriormente van a vertederos que produce CH_4 (Metano, gas potente del efecto invernadero) o se incineran lo que produce CO_2 (dióxido de carbono) que contribuye al efecto invernadero.

Por ello se desarrolla una política de gestión de desechos sólidos que eduque a los ocupantes del edificio a lo importante que es reciclar y reducir la cantidad de desechos, poner en práctica convertir los desechos orgánicos en abono y el donar, reusar o reciclar muebles o aparatos electrónicos.

5.2.5. Categoría: Calidad ambiental interior

En la última década se ha identificado que las personas pasan la mayor parte de su tiempo en espacios interiores; por lo tanto, LEED en esta categoría busca brindar bienestar, confort que se ve reflejado en la productividad de los ocupantes en el edificio. Y presenta las consideraciones siguientes:

Calidad de aire interior, en una edificación el aire puede contaminarse por materiales que emitan compuestos orgánicos volátiles, VOC, como los revestimientos, pinturas, selladores, entre otros; personas que fuman tabaco;

materiales de limpieza; procesos de combustión de los equipos de enfriamiento y calefacción.

Para evitar contaminar el aire interior, se debe especificar materiales con bajo contenido de VOCs; desarrollar un plan de gestión de calidad de aire que contemple un adecuado mantenimiento en la edificación; colocar señalética que indica en qué lugares está permitido fumar; asegurar ventilación adecuada acorde a los ocupantes en una determinada área y la actividad que realizan y realizar un control de plagas.

Bienestar, confort y control de los ocupantes, considera el confort térmico que va ligado con la ubicación adecuada de ventanas operables; iluminación natural; proveer muebles ergonómicos, para evitar lesiones lumbares y propiciar una acústica adecuada en los ambientes.

5.3. Mercado de materiales sostenibles

Para fines de la presente investigación nos enfocaremos en materiales que se emplean ante fisuración en edificaciones de concreto armado. Se seleccionaron tres empresas de soluciones constructivas con presencia mundial entre ellas uno de origen suizo, alemán e italiano. Y para evitar hacer difusión de alguna marca no serán nombradas de manera explícita.

Las diferentes empresas seleccionadas que brindan soluciones constructivas han desarrollado una línea de productos y servicios innovadores que respetan los requisitos LEED para contribuir con la construcción sostenible (USGBC 2011), haciendo que los productos que ofrecen al sector sean sobresalientes en:

Revestimientos con baja emisión de VOC (Compuestos orgánicos volátiles), ya que estos compuestos químicos tienen un impacto a largo plazo en la salud y un efecto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, al lograr que un producto emita bajas emisiones, permite mejorar la calidad de aire interior.

Productos que contienen materias primas recicladas usadas en la composición del producto, y así evitar emplear materias primas vírgenes.

Reducir la emisión de CO_2 al usar materias primas próximas, en lugar de trasladarlas para producir el mínimo impacto posible.

Incrementar la vida útil de las construcciones, al ofrecer productos con un elevado rendimiento, que va acompañado de una reducción de todos los procesos que implica la producción, transporte y uso de los mismos.

Sistemas de aislamiento térmico que permite una reducción considerable en el uso de energía en las edificaciones, ya que brinda un valor agregado ante el calentamiento y enfriamiento de los edificios.

Al tener en cuenta las diferentes soluciones constructivas que ofrecen las empresas para edificaciones sostenibles, se muestra a continuación en la Figura 16 un estudio basado en la durabilidad y precio que poseen los diferentes materiales para poder sellar las fisuras vivas como muertas, tomando en cuenta las técnicas descritas en el capítulo anterior.

A continuación, se presenta un comparativo de precio y durabilidad de materiales sustentables que se encuentran a la venta en el sector construcción, en la parte más alta de la pirámide se encuentran los selladores flexibles, incluso vienen en colores y cumplen con categoría de calidad interior del aire de LEED al tener bajas emisiones de VOCs (Compuestos Orgánicos Volátiles) y con el crédito de materiales y recursos al emplearse materiales de la región.

En la parte media tenemos a los epoxis y grout, que incluyen en su composición puzolana y vienen en diversas presentaciones para colocar incluso en pisos, y finalmente en la parte baja encontramos morteros y micro-cemento de alta performance; los cuales cumplen con categoría calidad interior del aire, por sus bajas emisiones de VOC. Tal como se muestra en la Figura 17.

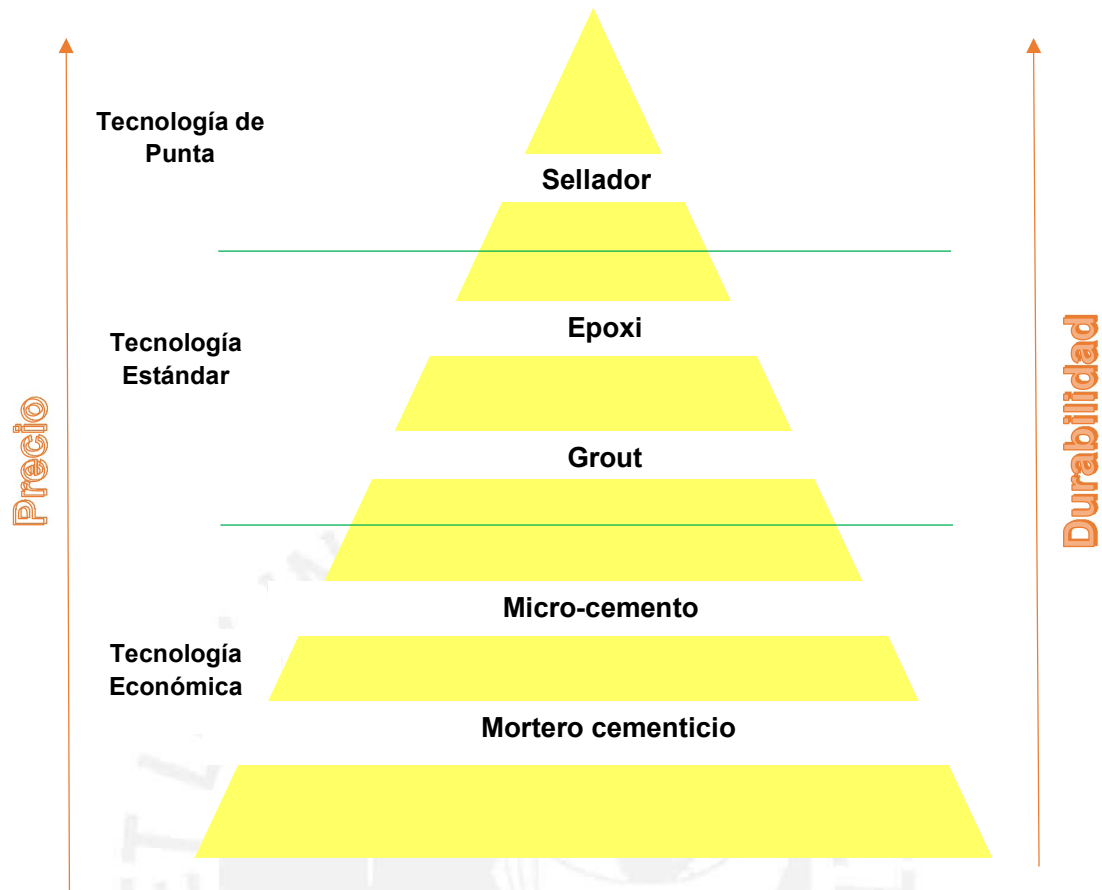


Figura 17. Comparativo de precio y durabilidad de materiales que cumplen con LEED para sellado de fisuras pasivas o activas (Adaptado de Sika Argentina S.A.I.C.).

A primera vista parece que optar por una edificación sostenible hace los precios mayores; sin embargo al ver una edificación en todo su ciclo de vida la ganancia obtenida es mayor, ya que la edificación brinda confort a sus ocupantes y al ser amigable con el medio ambiente se logran ahorros considerables en el uso de agua, energía, mínimas emisiones de CO_2 y desechos sólidos (USGBC 2011).

Capítulo 6: Ciclo de vida de un proyecto

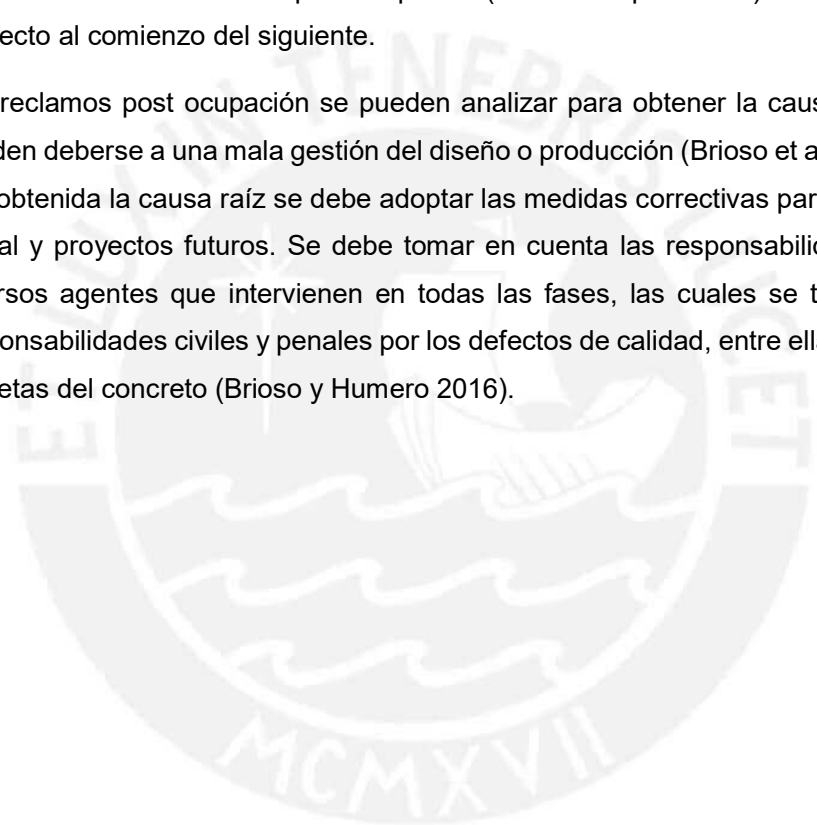
6.1. Enfoque Lean en proyectos de edificación

El Lean Project Delivery System (LPDS) o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, es un marco conceptual desarrollado por Glenn Ballard (Ballard 2008) que adapta los principios del sistema de producción de Toyota a todas las fases del proyecto de construcción.

Consiste en una serie de conceptos, métodos, herramientas, técnicas y procedimientos para la toma de decisiones. Se debe tomar en cuenta que se pueden combinar las herramientas, técnicas y prácticas de los diversos sistemas de gestión, los cuales son compatibles entre sí (Brioso 2015b; Brioso 2015c).

El LPDS tiene por objetivo orientar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas en las fases del ciclo de vida de una edificación y se representa mediante un modelo que contiene fases y módulos. Cinco fases que son interdependientes por lo que comparten un módulo: definición del proyecto, diseño lean, abastecimiento lean, ejecución lean y el uso (vida útil del proyecto), tal como se observa en la Figura 18. El módulo de evaluación post ocupación (lecciones aprendidas) une el final de un proyecto al comienzo del siguiente.

Los reclamos post ocupación se pueden analizar para obtener la causa raíz, pues pueden deberse a una mala gestión del diseño o producción (Brioso et al. 2017). Una vez obtenida la causa raíz se debe adoptar las medidas correctivas para el proyecto actual y proyectos futuros. Se debe tomar en cuenta las responsabilidades de los diversos agentes que intervienen en todas las fases, las cuales se traducirán en responsabilidades civiles y penales por los defectos de calidad, entre ellas las fisuras y grietas del concreto (Brioso y Humero 2016).



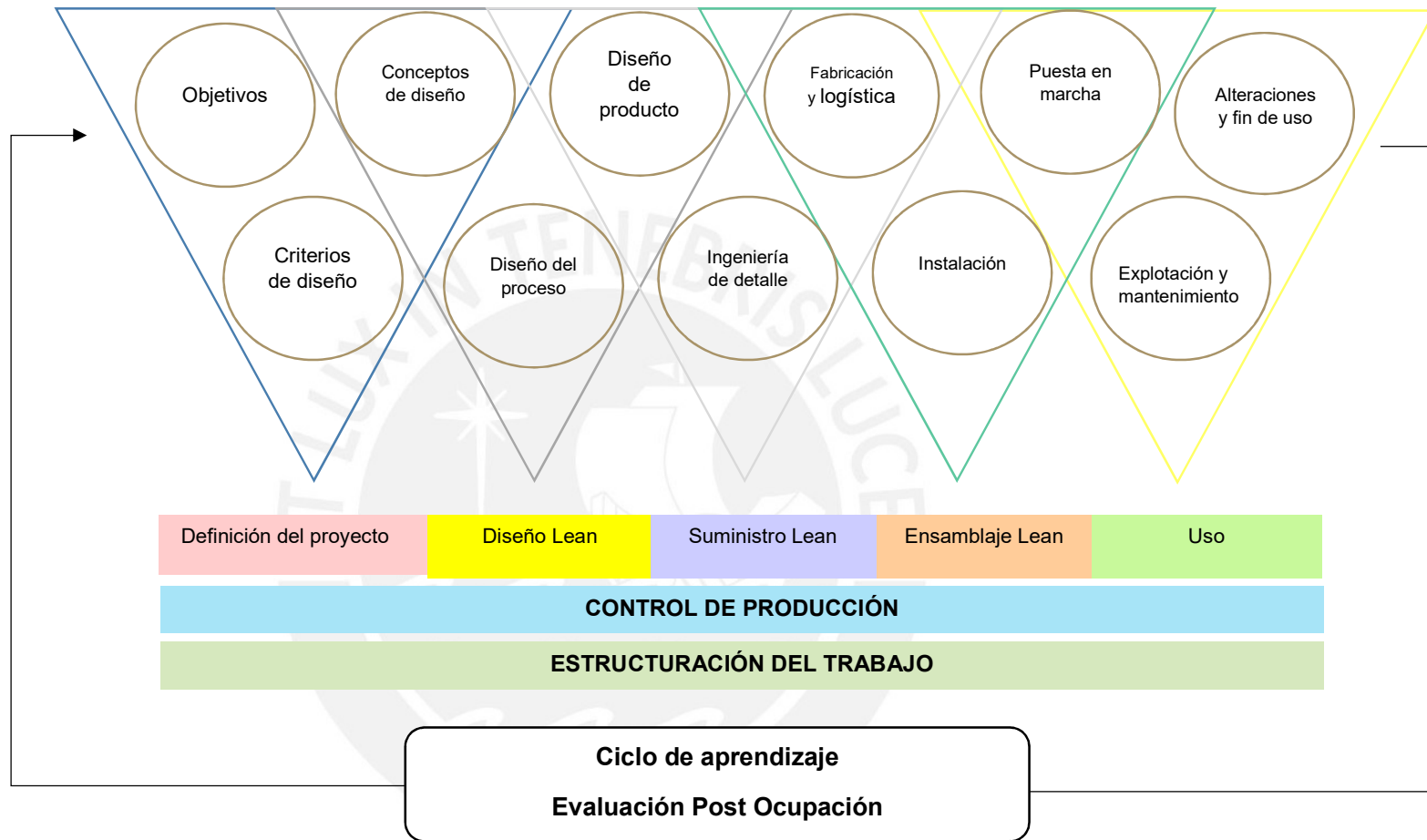


Figura 18. Lean Project Delivery System (Ballard 2008).

6.2. Vida útil de edificaciones

Vida útil: Las edificaciones de concreto armado deben ser proyectadas, construidas y utilizadas de tal manera que conserven su funcionalidad, seguridad y apariencia. Al tener en cuenta el modelo de vida útil modificado (Helene 1993), también se definirá la vida útil del proyecto, vida útil de servicio, vida útil total y finalmente la vida útil residual; que se ilustran en la Figura 19.

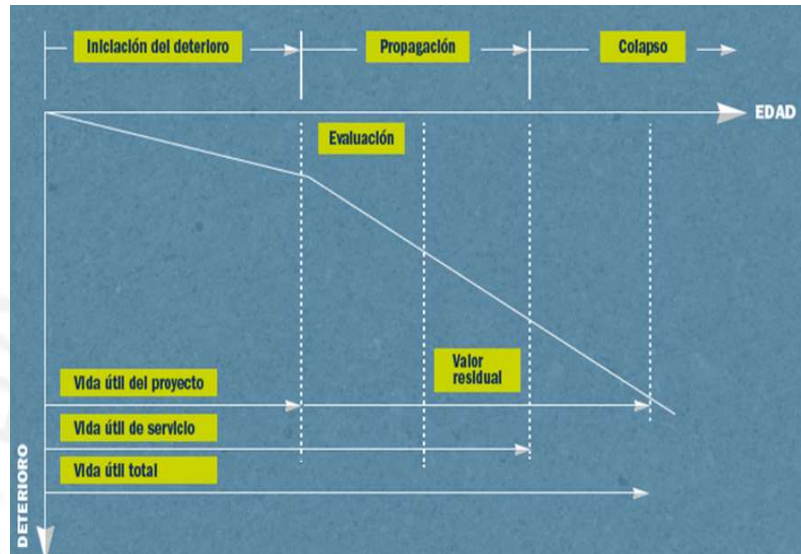


Figura 19. Vida útil de las estructuras (Fuente: Tuutti 1982)

- ✓ *Vida útil del proyecto*, es el periodo de tiempo previsto en el diseño que le tomo a los agentes agresivos (cloruros, sulfatos, carbonatos, entre otros) llegar a la armadura y provocar la despasivación en la misma.
- ✓ *Vida útil de servicio*, es el periodo de tiempo que va hasta que se detectan manchas, fisuras y desprendimientos en el concreto superficial. Suele variar acorde al tipo de estructura.
- ✓ *Vida útil última o total*, es el periodo de tiempo que va hasta la ruptura o colapso parcial o total de la estructura, debido a una reducción de área transversal en el acero y/o pérdida de adherencia entre acero y concreto.
- ✓ *Vida útil residual*, es el tiempo a partir del cual se vio la necesidad de realizar una inspección o evaluación, porque se alcanzó un estado límite de servicio

(por ejemplo: fisuras) y se procede con la reparación para evitar llegar a la pérdida de la capacidad resistente en la estructura (Tuutti, 1982).

Es importante definir la vida útil del proyecto teniendo en cuenta las condiciones de exposición, la importancia de la estructura (En la Tabla 3 se detalla una aproximación de la vida útil según el tipo de obra) y todo esto debe estar registrada en la documentación técnica del proyecto, así como las medidas de mantenimiento de la edificación, ya sea parcial o total.

Tabla 3. Tiempo de vida útil según el tipo de obra (Fuente: Muñoz 2015)

Tipo de Obra	Tiempo de vida útil (años)
Instalaciones esenciales que podrían constituir fuentes de contaminación luego de un sismo. Instalaciones nucleares	50 a 100
Equipos de estaciones eléctricas de alto voltaje	50
Puentes y viaductos de avenidas principales	100
Edificios para vivienda	50
Construcciones temporales que no amenacen obras de importancia mayor	15

6.3. Características generales del clima

Las condiciones del medio circundante juegan un papel importante en el deterioro de las estructuras de concreto armado, por ello se debe analizar los climas a lo largo de las cuatro estaciones del año en los estudios de caso. A lo largo de las distintas estaciones se pueden presentar climas húmedos con temperaturas variables y con lluvias de distinta intensidad, entre otros factores.

6.4. Incidencias de fisuración

Las fisuras causan alteración en el propietario y pueden causar depreciación en la inversión al no poder venderla, alquilarla o vivir dentro bajo condiciones óptimas; el usuario usualmente al observar fisuras en su inmueble procederá a informar al

proveedor de la edificación (Constructora o inmobiliaria), el cual tratará de tomar medidas de reparación acudiendo al inmueble y verificar el origen de la aparición de fisuras, ya que es el responsable del producto entregado. Existen casos en los que el consumidor no recibe ninguna solución de parte del proveedor, es ahí donde pueden ser requeridas las autoridades competentes para hacer valer los derechos del usuario, quien procede a plantear la demanda y acude a un perito edilicio para que revise las fisuras a detalle; una vez analizado el informe entregado por este perito se procede a dar un veredicto.

Cabe mencionar que muchas veces el proveedor termina reparando las fisuras y pagando la multa; hay ocasiones en los que ya prescribió el tiempo de interponer una denuncia desde la fecha que se tomó conocimiento de las fisuras en el inmueble; lo que no se informó al proveedor de manera oportuna y también se incrementó la cantidad de usuarios que termina acudiendo a una empresa proveedora de soluciones constructivas, para poder reparar las fisuras en su hogar, ya sea por falta de conocimiento o de información con respecto a qué medidas tomar frente a patologías en viviendas. En la Figura 20 se muestra el proceso que se debería seguir frente a la evidencia de una patología en una edificación.



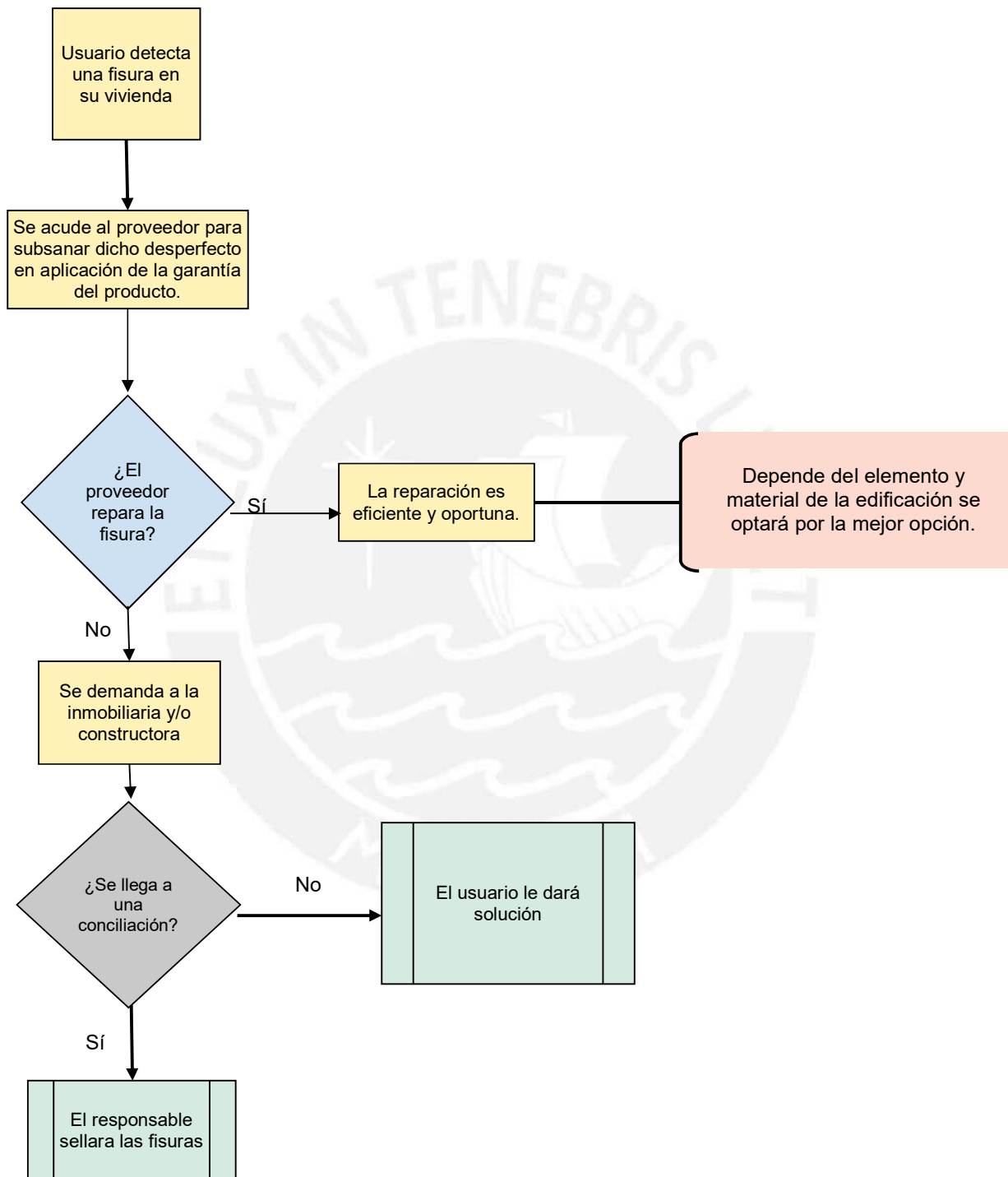


Figura 20. Proceso a seguir ante una fisuración en edificaciones (Fuente: Propia).

Capítulo 7: Estudio de Caso

En el presente capítulo se muestra el estudio de fisuración en Perú sobre la base de la experiencia en el país hermano Argentina (Capital Buenos Aires), ya que se cuenta con información vital obtenida bajo la condición de residente, participación activa en casos de fisuración en C.A.B.A (Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y su reparación.

7.1. Boom Inmobiliario

En América Latina existía un gran déficit habitacional en la década de 1990, por ello se necesitaba incrementar la construcción de nuevas viviendas de 1.034.000 en promedio por año, con una inversión de 2,9% del PBI (Producto Bruto Interno) como se observa en la Tabla 4: Proyección de construcción de viviendas en América Latina; por ello se hace necesario duplicar el número de viviendas por año, que corresponda al crecimiento de los hogares, producidos para que el déficit deje de incrementarse (CEPAL 1999).

Tabla 4. Proyección de construcción de viviendas en América Latina (Fuente: CEPAL 1999)

Construcción Anual en América Latina y el Caribe (en miles de unidades)			
Región	Crecimiento anual de hogares (1995-2020)	Viviendas construidas por año	Aumento requerido (%)
América del Sur	1223	743	65
América Central y México	518	234	120
El Caribe	117	57	105
Total	1858	1034	80

En nuestra realidad contextual que es América del Sur, se observa que existía una necesidad de incrementar la inversión requerida para aumentar la construcción de viviendas de 743.000 a 1.223.000 por año, lo que conlleva a un crecimiento acelerado en el sector de la construcción, para cubrir el déficit identificado en toda la región.

Al evaluar como aumento el dinamismo de la construcción reflejado en el crecimiento económico de cada país durante el periodo comprendido entre el 2005 y 2012 a partir

de datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y Caribe) mostrados en la Figura 21.

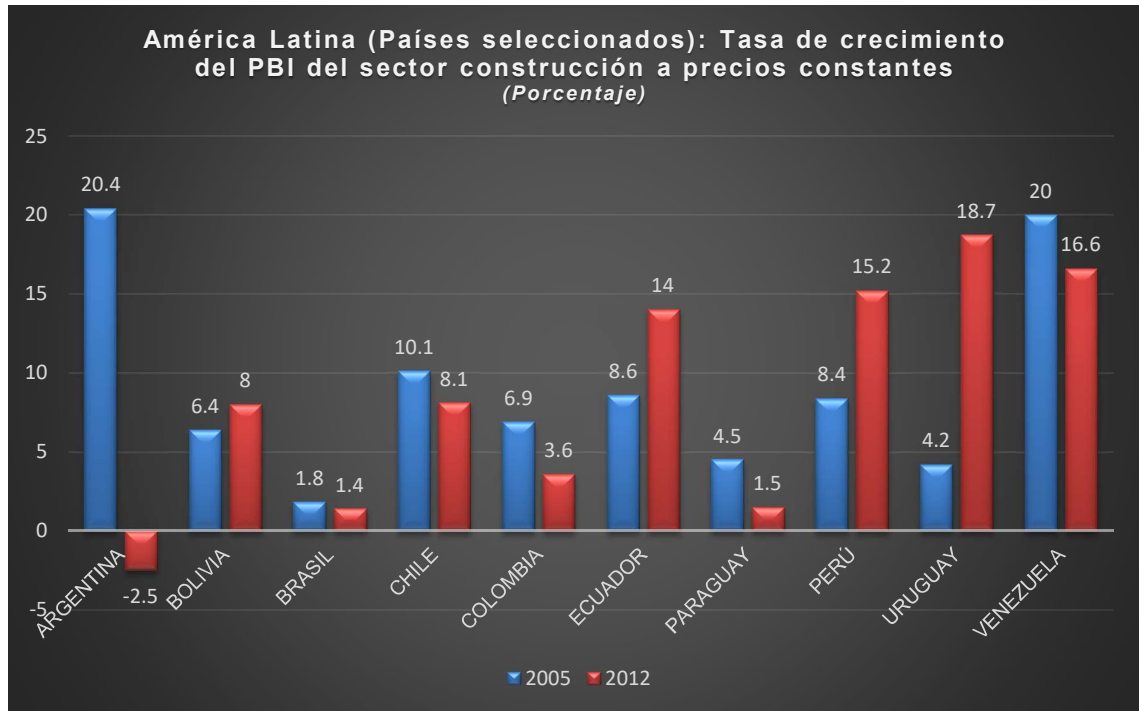


Figura 21. Tasas del crecimiento del PBI del sector construcción (Fuente: CEPAL)

En la Figura 21 se observa que en el 2005 Argentina lideraba el crecimiento del sector, a comparación de Perú que se situaba entre los países con tasas más bajas de crecimiento; sin embargo, para el 2012 el escenario es distinto: Perú se sitúa como uno de los países con crecimiento relevante en el PBI. El crecimiento de la población es un factor para mantener el dinamismo del sector inmobiliario, por ende, el sector constructivo.

El número de familias fue en ascenso, lo que condujo a la mayor demanda de viviendas que presentaron tipologías dominantes que se darán a conocer a lo largo del presente capítulo. En su mayoría se orientó a la construcción de departamentos en multifamiliares tanto en la capital y en menor medida en provincias, esto a nivel de la región de América del Sur.

El boom inmobiliario definido como el auge del sector inmobiliario, el cual representa un factor importante de la economía de un país, donde se proyecta, construye, alquila, compra y vende bienes raíces

Se debe tener en cuenta que la vivienda es un medio de ahorro, símil a un activo a largo plazo, cumple básicamente dos roles principales como bien de consumo o bien de inversión; para que exista un desarrollo factible en el mercado de viviendas se necesita de dos factores: familias que necesiten y pueden pagar una vivienda, es decir, oferta y demanda; y un financiamiento hipotecario.

Sin embargo, al hablar de boom inmobiliario es importante hablar de una de las causas principales: la burbuja inmobiliaria, se produce cuando se registra un alza de precios desproporcionada durante un periodo de tiempo hasta que llega el momento en que las ventas y precios caen como los casos que se vieron en el 2008 – 2009 en Estados Unidos y España.

Para la delimitación de nuestro estudio centrado en la región de América del Sur: países seleccionados Argentina y Perú, se dará un panorama de este boom constructivo mientras exista déficit de viviendas se encontrará lejos de llegar a formar la tan temida burbuja inmobiliaria.

Argentina

La construcción fue el motor de la economía tras una etapa de fuerte recesión: recuperación de espacios degradados como Puerto Madero, Retiro, San Telmo, La Boca, entre otros; lugares altamente valiosos por su valor histórico y atractivo turístico. El mercado inmobiliario experimento un aumento notable entre el 2001-2011, donde sobresale la construcción residencial en la principal región metropolitana del país, Buenos Aires, que alberga al 40% de la población argentina.

El Boom inmobiliario tuvo lugar desde el 2002, con picos más altos registrados en el 2006 y 2007 (como se observa en la Tabla 5), con una expansión residencial con tipología dominante de bloques de apartamentos en altura (Figura 22) y torres con formato country (García 2011).

Tabla 5. Superficie (m2) en la Ciudad de Buenos Aires (Fuente: Dirección Regional de Estadísticas y Censos).

Año 2012		
Superficie (m2)	Total	1,829,294
	Construcciones	1,705,137
	Ampliaciones	124,157
Año 2011		
Superficie (m2)	Total	2,562,811
	Construcciones	2,259,266
	Ampliaciones	303,545
Año 2010		
Superficie (m2)	Total	1,296,353
	Construcciones	1,147,699
	Ampliaciones	148,654
Año 2009		
Superficie (m2)	Total	1,771,652
	Construcciones	1,519,447
	Ampliaciones	252,205
Año 2008		
Superficie (m2)	Total	2,713,597
	Construcciones	2,319,549
	Ampliaciones	394,048
Año 2007		
Superficie (m2)	Total	3,088,901
	Construcciones	2,809,535
	Ampliaciones	279,366
Año 2006		
Superficie (m2)	Total	3,103,450
	Construcciones	2,782,329
	Ampliaciones	321,121
Año 2005		
Superficie (m2)	Total	2,160,872
	Construcciones	1,954,598
	Ampliaciones	206,274
Año 2004		
Superficie (m2)	Total	1,382,557
	Construcciones	1,185,240
	Ampliaciones	197,317
Año 2003		
Superficie (m2)	Total	1,284,977
	Construcciones	1,119,432
	Ampliaciones	165,545
Año 2002		
Superficie (m2)	Total	297,867
	Construcciones	237,365
	Ampliaciones	60,502



Figura 22. Tipología residencial dominante en Argentina (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

A partir del 2012, el sector de la construcción ha tenido una baja considerable, por mantener el dólar oficial y el dólar blue (dólar que se obtiene de manera ilegal en el mercado negro) en circulación, lo que conlleva a cambios en el precio de venta al adquirir un apartamento; por ello se frenó la actividad constructiva y se redujo su aporte al Producto Bruto Interno del país.

Perú

Al realizar una retrospectiva hacia el año 2000, la venta de viviendas en Lima y Callao era muy baja el sector de la construcción se desarrollaba de manera lenta, ya que existía demanda de vivienda propia, pero el crédito hipotecario no se brindaba de manera masiva.

El crecimiento económico del país fue sólido hacia el año 2004 y se empezó a prestar atención a la clase media, brindándoles créditos hipotecarios a largo plazo; se creó el Fondo Mivivienda, Techo Propio, entre otros que buscan promover la obtención de vivienda propia. Todo ello, condujo a los picos altos de este Boom en el año 2011-2012, como se muestra en la Figura 23, superando las 21.000 unidades vendidas en Lima Metropolitana según CAPECO (Guerrero y Juárez 2013).

La tipología dominante de las edificaciones residenciales, consiste en edificaciones de concreto armado con un nivel muy bajo de industrialización (Brioso et al. 2016; Murguía et al. 2016), con departamentos en residenciales multifamiliares de 1, 2 y 3 dormitorios que brindan adicionalmente piscinas, juegos para niños, gimnasios, cine, entre otros como se ve en la Figura 24.

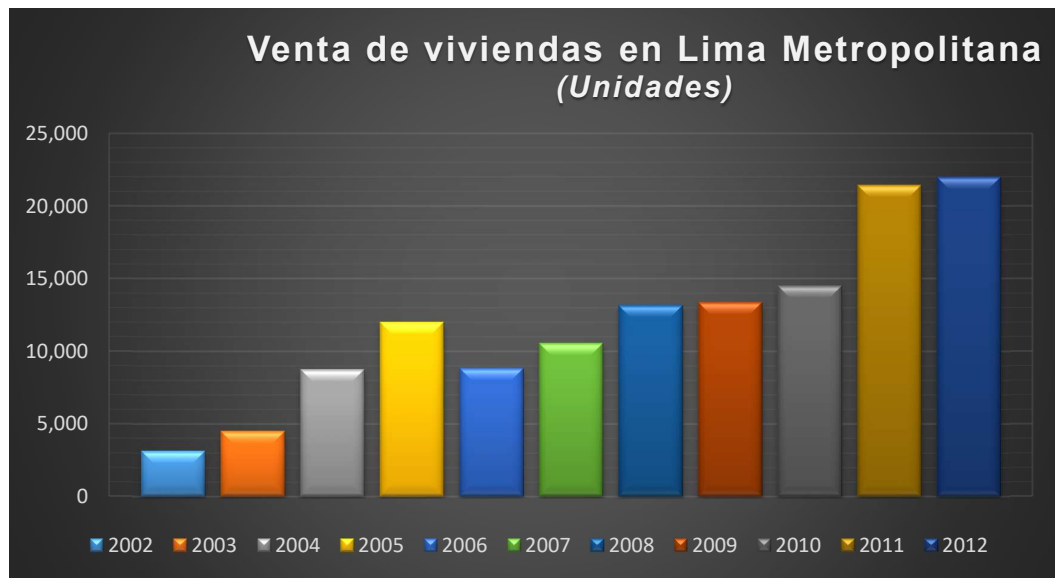


Figura 23. Venta de viviendas en Lima Metropolitana (Fuente: CAPECO)



Figura 24. Tipología residencial dominante en Perú (Fuente: Propia)

Las estructuras de concreto armado están expuestas a diversos agentes de deterioro, que se mencionaron en capítulos anteriores, propios del medio circundante donde la edificación este en servicio; pero también vimos que durante los distintos procesos del proyecto hay factores que logran incrementar las patologías en el concreto, y estas se encuentran con mayor incidencia en la etapa de ejecución.

7.2. Características generales del clima

Se analizará los climas a lo largo de las cuatro estaciones del año en ambas capitales de los países seleccionados (Buenos Aires y Lima).

Clima en Buenos Aires, capital de Argentina, es templado húmedo. Presenta temperaturas de 18°C y 35°C durante el verano y en invierno puede acercarse a 0°C; el río de la Plata influye mucho en la humedad relativa (alrededor de 71%) y en las lluvias (se concentran en primavera y otoño en promedio llueve 100 días al año), en la Tabla 6, vemos con más detalles el clima en las distintas estaciones del año (SMN 2016).

Clima en Lima, capital de Perú, es subtropical. Presenta temperaturas de 19°C y 30°C y en invierno pueden bajar a 12°C; la influencia de la corriente de Humboldt y la proximidad a la cordillera de los andes producen un clima muy húmedo (supera el 80%) y existe ausencia de lluvias (SENAMHI 2016). (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Comparación entre climas Buenos Aires y Lima por estación (Fuentes: SMN 2016; SENAMHI 2016).

Estación del año	Buenos Aires		Lima	
	Temperatura	Lluvia	Temperatura	Lluvia
Verano	19°C - 35°C	350 mm	21°C - 30°C	Sequía
Otoño	18°C	300 mm		
Invierno	18°C - 0°C	65 mm	13°C - 20°C	Minima
Primavera	18°C - 25°C	300 mm		

A lo largo de las distintas estaciones vemos que ambos presentan climas húmedos y las temperaturas en promedio coinciden, en contraste Buenos Aires presenta cada época estacional en contraste con Lima, en donde se perciben prácticamente dos estaciones (verano e invierno) y las lluvias son frecuentes en la capital argentina y casi nula en la capital peruana.

Al observar características similares entre ambas capitales de Argentina y Perú, respectivamente. Se pueden usar soluciones factibles en ambas áreas geográficas para el tema en estudio, partiendo de los patrones de fisuración que se trataron en capítulos anteriores.

7.3. Incidencias de fisuración

Para el presente proyecto se realizó la recolección de datos de la defensoría del pueblo en Buenos Aires, en particular en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C.A.B.A.), para poder captar el número de casos en las que un usuario presento reclamos ante la defensoría del pueblo por la aparición de fisuras en su edificación y obtuvo una solución o termino dándole solución el mismo.

Demandas hacia la inmobiliaria y/o constructora

La defensoría del pueblo atiende anualmente 80 320 consultas a toda necesidad, demanda, pedido o solicitud en la capital bonaerense. Puede tener forma de denuncia, reclamo, pedido de información y/o asesoramiento, etc.

Entre los trámites realizados ante la defensoría del pueblo, las de vivienda ascienden al 6.8%, es decir, 5 462; y a emergencia habitacional (por ejemplo, peligro de derrumbe), 13.3% ascienden a 10 683 casos (DEFENSORIA DEL PUEBLO DE CIUDAD AUTONOMA DE BUENOS AIRES 2016).

En términos generales se contabilizan alrededor de 16 200 consultas por tema de fisuración de toda índole desde fisuras pequeñas en los balcones, hasta grietas que produjeron el colapso en el inmueble. Lamentablemente no se tiene acceso a las resoluciones, ya que lo consideran un trámite personal.

Para ver con más detalle las incidencias de fisuración en Buenos Aires en la Figura 25 se presenta evidencia de fisuras en el Edificio de Cable Visión en C.A.B.A, fisuras verticales en diversos sectores en el concreto en tabiques laterales y fisuras coincidentes con el encuentro entre los dos materiales, pero en el que no dejaron la bruña respectiva.

Otro ejemplo de fisuras no estructurales se encontró en la pileta olímpica del sindicato del seguro argentino de concreto armado de medidas 25 m x 50m x 2 m (Ver Figura 26), presenta fisuras por falta de juntas (problemas por la inadecuada ejecución del proyecto), fisuras transversales y longitudinales las mismas llegan a continuar en los tabiques verticales (Sika Argentina S.A.I.C.).

Más adelante veremos las soluciones que se planteó para ambos casos, la empresa proveedora de soluciones constructivas, para el sellado adecuado de fisuras en el concreto armado.

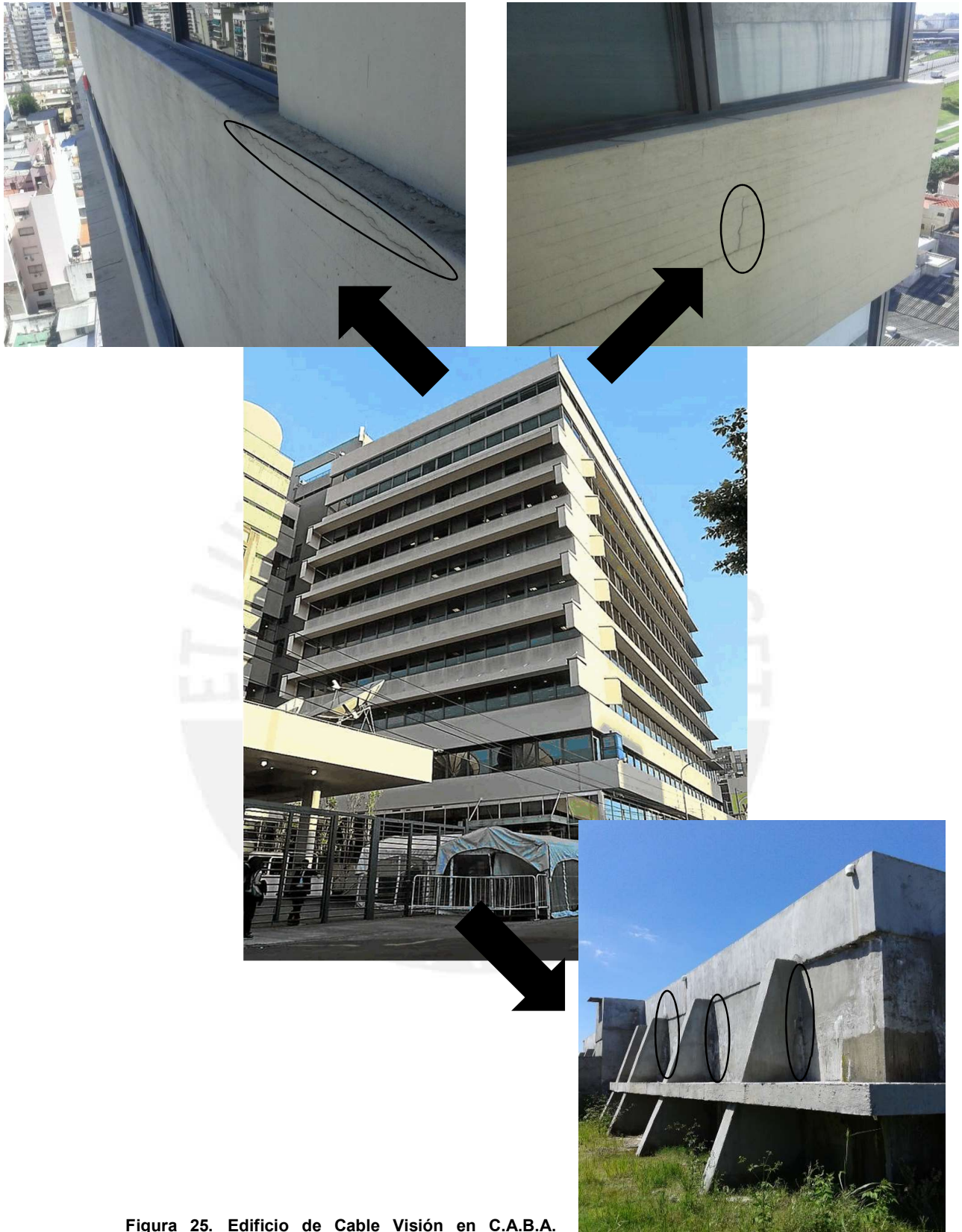


Figura 25. Edificio de Cable Visión en C.A.B.A.
(Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)



Figura 26. Pileta del sindicato del seguro argentino en C.A.B.A. (Fuente Sika Argentina S.A.I.C).

Empresa Proveedora

Para el presente proyecto se recaudó información valiosa de una empresa proveedora de soluciones constructivas, importante en Argentina, y de ella se obtuvieron las consultas que corresponden a problemas de fisuras y/o grietas realizadas por el usuario final.

A continuación, en el Tabla 7, podemos ver la recolección en periodos mensuales y en la Figura 27 se observa la cantidad de consultas hechas acerca de cómo proceder ante una fisura en edificaciones.

Tabla 7. Consultas registradas en empresa proveedora (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

Llamadas registradas en periodos mensuales						
Mes	Consumidor final	Puntos de Venta	Constructora/ Emp. Servicios	Empresa/ Industria	Estudio de Arquitectura/ Consultora	Profesional/ Oficio
Enero	31	4	8	11	0	9
Febrero	77	1	3	9	1	1
Marzo	91	6	4	20	14	9
Abril	76	3	10	12	8	9
Mayo	52	0	9	15	6	13
Junio	220	15	39	66	10	75
Julio	186	25	35	54	5	82
Agosto	331	19	27	64	15	62
Setiembre	309	16	23	80	21	60
Octubre	177	9	17	50	11	43
Noviembre	318	13	23	53	18	58
Diciembre	209	5	28	48	8	35

También en la Tabla 7, se observa del total de consultas, la mayor cantidad se concentra en las realizadas por el usuario final que asciende a 2 077 consultas al año, el 5% de estas son por problemas de fisuras y/o grietas estructurales, que en total ascienden a 104 llamadas en el año y un 20% a casos de fisuración no estructural (techos, paredes y piscinas), que representan 415 llamadas.

En total estamos tratando alrededor de 520 consultas de llamadas por cada empresa proveedora en el país argentino, es decir, una cantidad nada despreciable; ya que una fisura representa que algo no anda bien, analizar el origen de la misma será el siguiente paso para la diagnosis final (Sika Argentina S.A.I.C.).

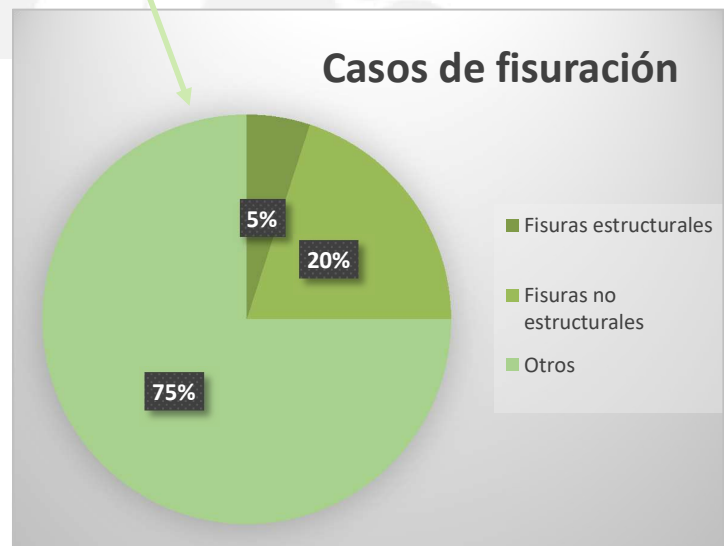
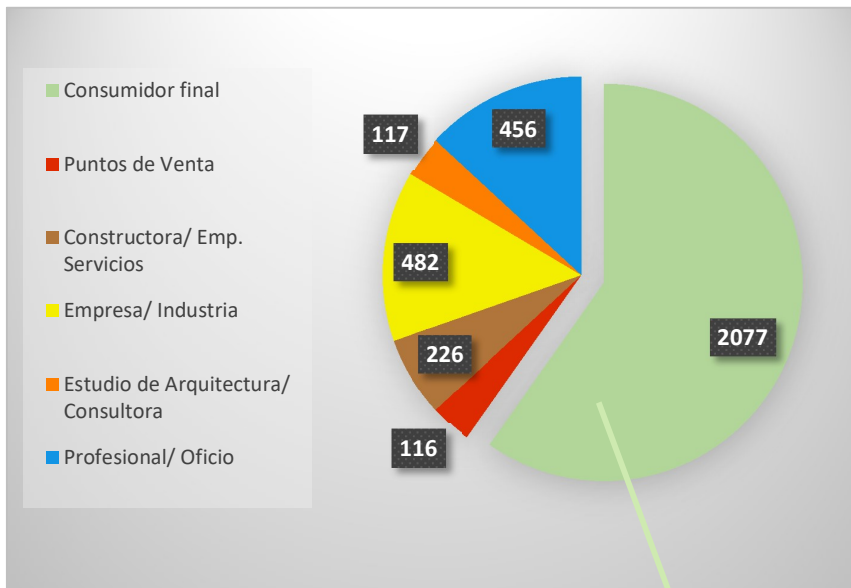


Figura 27. Casos de fisuración en consultas al año (Basado en Sika Argentina S.A.I.C.)

Análisis de Reparación de fisuras

El propietario del inmueble consulta a las empresas proveedoras de soluciones constructivas, detallándoles las características y haciendo una prueba para verificar si la fisura está viva o muerta, como se explicó en capítulos anteriores, en un lapso de dos meses aproximadamente.

Al verificar que la fisura es estructural (activa) o no estructural (pasiva), se identifica en que elemento apareció y se procede a repararla con el propósito de mantener la durabilidad del concreto armado, impermeabilidad y estética.

Las fisuras que aparecieron en el Edificio de Cable Visión en C.A.B.A de la Figura 25, el procedimiento planteado inicio al colocar un testigo de yeso para saber si se trataba de una fisura viva o muerta, siguiendo las consideraciones presentadas en el capítulo 3.

Al identificar que se trataba de fisuras muertas, se recomendó sellar el encuentro con un sellador poliuretano y un promotor de adherencia que facilite la unión superficie/ sellador sobre la superficie limpia y esmerilada, para mayor agarre.

Se brindaron algunas opciones de selladores al cliente, que cumplan con los créditos LEED. Como se observa en las figuras siguientes (Ver Tabla 8 y Tabla 9).

Tabla 8. Promotores de adherencia recomendados que cumplen con los créditos LEED (Fuente Sika Argentina S.A.I.C.)

Sika Primer 3N	Promotor de adherencia de base solvente para sustratos porosos y metálicos	Contenido VOC< 700g/L	IEQ. Crédito 4.1: Materiales de Bajas Emisiones: Adhesivos y Selladores
Sika Primer MB	Imprimación y regulador de humedad para pegado de pisos de madera con adhesivos elásticos SikaBond sobre sustratos difíciles	Contenido VOC< 200g/L	IEQ. Crédito 4.1: Materiales de Bajas Emisiones: Adhesivos y Selladores

Tabla 9. Selladores recomendados que cumplen con los créditos LEED (Fuente: Sika Argentina S.A.I.C.)

Sikaflex 11 FC Plus	Sellador elástico y adhesivo multipropósito poliuretánico, de un solo componente	Contenido VOC < 10g/L	IEQ. Crédito 4.1: Materiales de Bajas Emisiones: Adhesivos y Selladores
Sikaflex Pro-3	Sellador monocomponente de altas prestaciones para pisos	Cumple con el crédito	IEQ. Crédito 4.1: Materiales de Bajas Emisiones: Adhesivos y Selladores
Sikaflex 1A Plus	Sellador elástico a base de poliuretano, de un componente, para juntas y fisuras	Cumple con el crédito	IEQ. Crédito 4.1: Materiales de Bajas Emisiones: Adhesivos y Selladores

Y para la pileta olímpica del sindicato del seguro argentino de concreto armado de medidas 25 m x 50m x 2 m de la Figura 26. Las fisuras encontradas se identificaron como fisuras muertas, siguiendo el procedimiento del testigo de yeso.

La solución planteada para las fisuras fue usar un fondo de junta de polietileno, colocar un promotor de adherencia en los labios de la fisura, y aplicar un sellador cuando el sellador termine de curar, pintar con una pintura al agua.

Para las fisuras transversales y longitudinales en la unión piso/ pared, se corrigió con una malla como refuerzo y se cubrió con mortero cementicio cuidando que los materiales a emplear cumplan con las exigencias LEED; ya que al ser una pileta estará en contacto directo con el ser humano. En la Tabla 8 y 10 se muestra los materiales recomendados para las fisuras pasivas (Sika Argentina S.A.I.C.).

En el Anexo 1 se muestran los informes de soluciones constructivas ante la fisuración en el país argentino.

Tabla 10. Morteros cementicios que cumplen con los créditos LEED (Sika Argentina S.A.I.C.).

Sika MonoTop 107	Impermeabilizante cementicio de alta performance, listo para usar	Contenido VOC 0g/L	IEQ. Crédito 4.2: Materiales de Bajas Emisiones: Pinturas y Revestimientos
SikaTop Seal 107 FLEX	Revestimiento impermeable flexible, de dos componentes, no tóxico a base de cemento modificado con polímeros	Contenido VOC 0g/L	IEQ. Crédito 4.2: Materiales de Bajas Emisiones: Pinturas y Revestimientos

7.4. Verificación de factibilidad de la experiencia argentina aplicada a la realidad peruana

Por lo explicado líneas arriba vemos las obvias similitudes en clima entre Buenos Aires y Lima, será factible aplicar las técnicas obtenidas por el estudio de fisuración en la capital argentina para el sellado de fisuras tanto estructurales como no estructurales.

Para verificar la factibilidad de plantear el tema de la fisuración como tópico relevante se realizó una investigación en Perú en la entidad competente: INDECOPI, ya que esta nos podría dar una visión de las demandas que se presentan al encontrar fisuración en edificaciones de concreto armado. Sin embargo, debíamos delimitar una muestra que nos sirva de guía dentro de la capital Lima.

La muestra dentro de la capital peruana tuvo que ser delimitada en tiempo y espacio. El tiempo se delimito en el periodo comprendido desde agosto del 2013 a julio del 2014, bajo el supuesto que las edificaciones fueron construidas a más tardar entre agosto del 2011 y julio 2012, donde se registraron los picos más altos del auge en el sector construcción; la razón por la que se consideraron dichos periodos es por conocimiento técnico acerca del material, ya que es usual la aparición de casos de fisuras al año en las edificaciones de concreto armado.

El espacio se delimito a la zona comprendida por el grupo de distritos: San Isidro, Miraflores, San Borja, Santiago de Surco y La Molina que conforman Lima Top, según clasificación de CAPECO (Ver Figura 28); la elección de este espacio se fundamenta en que estos distritos registraron mayor número de adquisición de viviendas en el periodo contemplado, por ende, se obtendrá una muestra significativa de casos de fisuración en Perú.

El resultado de la amplia recolección en INDECOPI se vieron reflejadas en 54 demandas de fisuras en el año de estudio planteado, en el territorio peruano distribuidas en Lima (50 demandas) y Cusco (4 demandas). Al proceder con la depuración acorde al espacio representativo en Lima Top se obtuvieron 13 demandas en total equivalente al 24% de la recolección total. Las distribuciones de estas demandas se ven con mayor claridad en la Figura 29.



Figura 28. Clasificación de Lima y Callao (Fuente: CAPECO)

De la muestra obtenida en la capital peruana (13 resoluciones), se encontraron casos particulares que se detalla a continuación: en Santiago de Surco, dentro de un edificio residencial diversos usuarios encontraron problemas de fisuras en distintas áreas como la cocina, dormitorios, baños, salas, adicionalmente en elementos estructurales como vigas y columnas en las áreas comunes y fachada exterior.

Al plantearse como materia de denuncia frente a INDECOPI, se contrató a un consultor para constatar si eran fisuras estructurales o no estructurales y la conclusión a la que se llegó fue identificar fisuras en forma de mapeo por el tarrajeo y no representaban daño estructural, es así que se llegó a una conciliación entre ambas partes, en donde la empresa demandada se comprometía a reparar los daños observados.

La empresa demandada tuvo que realizar las reparaciones necesarias y pagar una sanción equivalente a 7 UIT (Unidad Impositiva Tributaria), ya que se trata de fisuras no estructurales y por acciones contrarias al ordenamiento de protección al consumidor.

Se vieron casos de fisuras estructurales en el mismo distrito de Santiago de Surco en una edificación residencial, y se evidenciaron fisuras que atraviesan todo el peralte de las vigas estructurales en los departamentos y las tuberías de instalaciones sanitarias y eléctricas que cruzan las vigas peraltadas en el sótano, fisuras que no coinciden con las juntas de expansión entre la tabiquería y elementos estructurales.

La sanción final equivalente a 57 UIT (Unidad Impositiva Tributaria) y a la entrega de un departamento nuevo que cumpla con el Reglamento Nacional de construcciones y con las condiciones de seguridad de Defensa Civil.

También hubo un caso singular en el que no procedió la demanda frente a evidencia de fisuras en el inmueble, por haber excedido los dos años desde que se toma conocimiento de las presuntas infracciones cometidas por el proveedor, según la Ley N°29571 del Código de protección y defensa del consumidor.

Ley N° 29571, Artículo 121°: Las infracciones al Código de protección y defensa del consumidor prescriben a los dos (2) años contados a partir del día en que la infracción se hubiera cometido o desde que cesó, si fuera una infracción continuada. Para el cómputo del plazo de prescripción o su suspensión se aplica lo dispuesto en el artículo 233 de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General: La facultad de la autoridad para determinar la existencia de infracciones administrativas, prescribe en el plazo que establezcan las leyes especiales. En caso ello no hubiera sido determinado, dicha facultad de la autoridad prescribirá a los cuatro (4) años (INDECOPI).

La extensa recolección de datos en INDECOPI, permite verificar las incidencias de fisuración en la capital peruana tomando como muestra Lima Top, ya que en estos distritos se focalizó el boom constructivo en el año 2011-2012, así que nos permitió obtener una muestra significativa de casos de fisuración en el sector construcción en Perú.

En el Anexo 2 se tiene las demandas seleccionadas correspondientes a Lima Top del total de archivos recolectados de INDECOPI, por tema de confidencialidad se optó por no mostrar el nombre de las empresas y personas naturales involucradas, ya que el objetivo de la recolección es identificar la patología de fisuración en edificaciones de concreto armado.

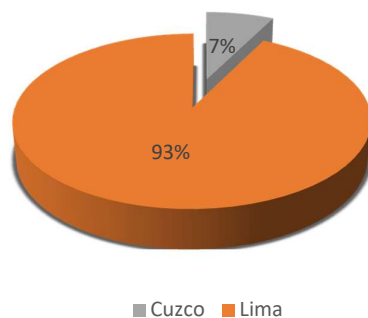
En la Tabla 11 se muestra los datos relevantes de cada resolución y en ella se identifican que el 85% aproximadamente de los casos corresponden a fisuras no estructurales y el 15% restante a fisuras estructurales, ello es debido a un mal diseño

del proyecto, incompatibilidad de planos aprobados versus lo real y empleo de inadecuados procesos constructivos durante la ejecución.

Y la población total que presenta demandas por evidenciar casos de fisuración es el usuario final que al carecer de conocimiento técnico del significado de las mismas en el inmueble opta por: presentar una denuncia; buscar solución por cuenta propia, lo cual al no conocer las causas de la patología podría incurrir en gastos innecesarios; acude a una empresa proveedora de soluciones constructivas, entre otras.

En el desarrollo integral de la presente investigación se observa de manera clara y precisa que el tema de fisuración es crucial en las edificaciones de concreto y conocer los procedimientos y técnicas sostenibles de como repararlas debe ser un tópico con mayor difusión.

Resoluciones por Fisuración Perú



LIMA (Lima Top)

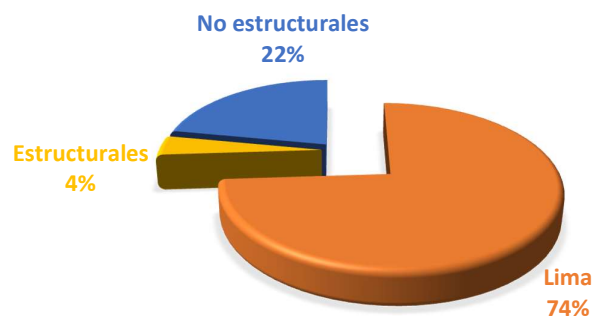


Figura 29. Resoluciones por fisuración (Fuente: INDECOPI)

7.5. Cálculo del Indicador Número de reclamos (denuncias) por unidades de vivienda (NRUV)

Para evaluar si la gestión de reclamos (denuncias) propuesta mejora la gestión de los contratistas, supervisores y municipios a lo largo del tiempo, se recomienda utilizar el indicador propuesto por Briosó et al. (2017) denominado Número de Reclamos por Unidades de Vivienda (NRUV):

$$NRUV = \frac{N^{\circ} \text{ Reclamos de año } (x - 1) - \text{año}(x)}{N^{\circ} \text{ de Viviendas aprobadas año}(x - 3) - \text{año}(x - 2)}$$

Donde

$x = 2014$.

Número de reclamos (denuncias) = 13

Número de viviendas aprobadas año (2011-2012) = 8992 (CAPECO, 2016)

Por lo tanto el indicador se calculará de la siguiente forma:

$$NRUV = \frac{13}{8992} = 0.1446\%$$

Para notar la mejora en la gestión a través del tiempo, se deben adoptar las medidas correctivas propuestas para el control de las fisuras, e identificar las causas raíz que las originaron. De esta manera se podrá prevenir su aparición en proyectos futuros mejorando los sistemas de diseño, construcción y supervisión. Previsiblemente, el indicador debe mejorar en las mediciones de los siguientes períodos de tiempo (Briosó et al., 2017).

Tabla 11. Denuncias por fisuración en Lima Top (Fuente: INDECOPI)

Resolución Fiscal	Fecha	Distrito	Denunciado	Tipo de Fisuras	Descripción	Se resuelve:
N° 1079-2013/CC2	06/09/2013	La Molina	Primer dueño del inmueble	No estructurales	En el departamento se hallaron fisuras en los pisos y en techos, la longitud de las fisuras supera los dos metros.	La denunciante desistió y así se puso fin al conflicto de intereses.
N° 1709-2013/CC2	26/09/2013	La Molina	Constructora e Inmobiliaria	Estructurales No estructurales	El inmueble adquirido presenta deficiencias de fisuras por poca rigidez en la estructura de los niveles superiores; discontinuidad de elementos en altura y por inadecuado aislamiento entre la tabiquería y pórticos estructurales y fisuras superficiales por retracción plástica en: dormitorio principal, ambos dormitorios secundarios, paredes del jardín, terraza, balcón y fachada del inmueble.	La constructora va a reparar las fisuras en la edificación y pagara a los dueños del inmueble lo relacionado a los días de reparación.
N° 1669-2014/CC2	07/03/2014	Miraflores	Constructora	No estructurales	En las paredes del departamento se formaron fisuras que con el tiempo se hicieron más notorias, ubicado en el edificio "Parque Tradiciones"	Acuerdo Conciliatorio.
N° 1897-2013/CC2	05/11/2013	San Borja	Constructora e Inmobiliaria	No estructurales	Se ubican fisuras en el hall de distribución y dormitorio principal en el departamento ubicado en Urbanización Las Magnolias.	Prescripción: LEY N° 29571, Artículo 121° del Código de protección y defensa del consumidor.
N° 2181-2013/CC2	23/05/2014	San Borja	Constructora	No estructurales	Gran cantidad de fisuras finas en las paredes y techos.	La constructora pago la multa y realizo la reparación de las fisuras.
N° 2198-2013/CC2	25/11/2013	San Isidro	Constructora e Inmobiliaria	No estructurales	La junta de propietarios presenta una demanda por encontrar fisuras en las losas que deja filtrar el agua.	La constructora debe reparar las grietas en la losa.
N° 1908-2013/CC2	05/11/2013	Santiago de Surco	Constructora	Estructurales No estructurales	Fisuras en los alféizar de las ventanas y en los techos, también fisuras verticales en las vigas, fisuras que no coinciden con las juntas de expansión entre la tabiquería y elementos estructurales, calificándose a la edificación como ALTO RIESGO.	La constructora debe entregar un departamento que cumpla con el Reglamento Nacional de Construcciones y seguridad de Defensa Civil, con características iguales o mejores a la adquirida.

N° 814-2013/CC2	07/09/2013	Santiago de Surco	Primer dueño del inmueble	No estructurales	Se realiza la denuncia por fisuras en las paredes y techos de los dormitorios, baños, sala, comedor , terraza y escalera interna del inmueble.	La primera dueña de la edificación procederá con la reparación.
N° 1557-2014/CC2	06/10/2014	Santiago de Surco	Primer dueño del inmueble	No estructurales	Por fisuras en el piso del departamentos entre otros temas en el inmueble en la urbanización Las Casuarinas de Monterrico.	El primer dueño de la edificación procederá con la reparación
N° 825-2013/CC2	17/07/2013	Santiago de Surco	Constructora e Inmobiliaria	No estructurales	Se denuncia a inmobiliaria y constructora por fisuras en el muro del patio, cuarto de estudio y terraza.	Acuerdo Conciliatorio.
N° 401-2014/CC2	18/02/2014	Santiago de Surco	Constructora	No se evaluaron	Se encontraron fisuras en varios de los ambientes del departamento, sin embargo, se consideró improcedente porque exceder los dos años a partir de la fecha en la que tiene conocimiento de las infracciones hacia el proveedor.	Prescripción: LEY N° 29571, Artículo 121° del Código de protección y defensa del consumidor.
N° 1354-2014/CC2	05/06/2014	Santiago de Surco	Constructora	No estructurales	Fisuras en la fachada del departamento de dos metros de largo, fisuras horizontales y verticales de tres metros de largo en la lavandería y cocina.	Infundado: Por no poner en conocimiento de la constructora como lo afirmo.
N° 2189-2013/CC2	22/11/2013	Santiago de Surco	Constructora	No estructurales	Se evidencia fisuras en el dúplex en los techos, dormitorios ubicada en la calle Los Laureles.	La constructora debe reparar las fisuras en el dúplex.

Capítulo 8: Conclusiones

- La presente investigación nos dio como resultado en la capital peruana 13 (21% del total) demandas por fisuración registradas en INDECOPI en la muestra tomada de Lima Top: San Isidro, Miraflores, San Borja, Santiago de Surco y La Molina, que engloba a distritos de clase media a alta. Cifra alarmante para el sector constructivo que avanza a grandes pasos, pero deja de lado las patologías de su material más empleado: el concreto armado.
- Las técnicas de reparación sostenibles presentadas en la tesis han sido aplicadas en la capital argentina y ya que están ligadas a las condiciones ambientales a las que está expuesta la edificación es factible para su aplicación en Lima. También podría aplicarse a regiones con similares condiciones ambientales, lo que podría dar paso a nuevos estudios en fisuras que son inherentes al concreto.
- Las fisuras son indicadores de que algo no anda bien, su importancia depende del tipo de estructura donde aparece y de su propia naturaleza. Por ello es vital conocer sus causas para seleccionar el mejor procedimiento de reparación.
- Al realizar una reparación en edificaciones, se debe tener en cuenta los requerimientos del propietario, condiciones de servicio, aplicación y propiedades del material; la evaluación de manera holística evitara gastos innecesarios.
- La vivienda en términos económicos es un activo a largo plazo, ya sea como bien de consumo o bien de inversión y ésta debe cumplir con el reglamento nacional de construcciones y con las condiciones de Defensa Civil.
- La fisuración es la manifestación de que en algún proceso del proyecto no se realizó una buena praxis, lo cual conlleva a obtener edificaciones más propensas a los agentes externos. Lo que se traduce en menor durabilidad, funcionalidad y superficies antiestéticas. Cabe mencionar que este es un problema global que representa una importante inversión en los países extranjeros.
- El usuario o consumidor final muchas veces desconoce el mantenimiento que debería brindar a su edificación y a veces opta por darle solución él mismo, pero al carecer de conocimiento en técnicas de reparación podría conllevar a interrupciones de servicio de una actividad productiva y/o problemas sociales.

- En la muestra significativa que se tomó de Lima, zona de Lima Top según la clasificación de CAPECO, se identifican fisuras no estructurales (propias del material) y también fisuras estructurales (usualmente por cargas externas). Esto nos da un panorama que desde el diseño de la estructura no se están tomando las cargas de manera adecuada; asimismo que en la etapa de ejecución no se aíslan los tabiques de los elementos estructurales, eventos que el profesional del rubro conoce o debería conocer. Son conocimientos básicos para poder brindar un óptimo producto.
- Al elegir un material sustentable para las edificaciones se debe tener en cuenta que los materiales sean de rápida renovación, presenten contenido reciclado, emita bajas emisiones y sean locales (propios de la región). En su defecto que vengan de proveedores certificados.
- El boom de la construcción trajo consigo diversos proyectos inmobiliarios para suplir la necesidad de vivienda en la población. Se espera que con este estudio se mejore los procesos de control de calidad y la reducción del impacto ambiental para dar una vivienda en óptimas condiciones al usuario final.
- En la tesis también se menciona el reforzamiento de estructuras con láminas metálicas, láminas de carbono (más livianas que las metálicas) o mantos de fibra de vidrio; previo cálculo de esfuerzos, dependiendo de las condiciones del elemento en donde reparar las fisuras; estos tópicos podrían formar parte de un nuevo estudio.
- El desarrollo sostenible está en ascenso y es aplicable a edificaciones nuevas como a las existentes; a la fecha el Perú tiene alrededor de 30 edificios con certificación LEED y 100 en evaluación, buen indicio que nos dirigimos hacia ciudades sustentables.
- En países hermanos como Argentina para prevenir las fisuras en edificaciones se está implementado el uso de selladores en juntas de expansión y gomas de PVC en juntas de construcción, que cumplen con lo planteado para edificaciones LEED. No es un tópico que está en el alcance del presente trabajo, pero da paso a un futuro tema de investigación para la prevención de fisuras.

Capítulo 9: Recomendaciones

- En estructuras de concreto armado se identifican fisuras muertas o vivas, el procedimiento adecuado ante estas es repararlas. Para el primer caso el fin de la reparación es recobrar el monolitismo del elemento y para el segundo caso mantener la estanqueidad del elemento, para evitar el ingreso de agentes perjudiciales.
- Al adquirir un inmueble; si el usuario observa fisuras, en primera instancia debe informar al proveedor, ya que es su responsabilidad repararlas. De no recibir solución oportuna y efectiva podrá acudir a la autoridad competente para hacer valer sus derechos.

Es importante resaltar que en Perú el periodo en el que se puede interponer una denuncia hacia el proveedor debe estar dentro los dos años, después que se tomó conocimiento de la patología, según la LEY N° 29571, Artículo 121° del Código de protección y Defensa al consumidor (INDECOPI).

- El sector inmobiliario es el sector más dinámico en la economía de un país, ya que involucra gran diversidad de procesos y materiales; pero todo ello no termina ahí, también es de vital importancia darle un mantenimiento óptimo a la estructura.
- Para diferenciar una fisura muerta o pasiva de una fisura viva o activa, se debe colocar un testigo de yeso o vidrio en un periodo de 7 días a dos meses para optar por la mejor técnica de reparación.
- Se recomienda usar de preferencia materiales certificados por LEED, ya que eso nos asegura desarrollo de sitios sustentables, ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales, calidad ambiental interior, estrategias innovadoras y cuestiones regionales.
- La vivienda para el usuario es un medio de ahorro, ya sea como bien de consumo o de inversión. Como profesionales en ingeniería civil, se debe tener en cuenta que un descuido o error en un proceso por pequeño que este se considere, podría producir consecuencias poco económicas en la edificación.
- Al reparar una fisura debe estar limpia y seca y el producto que se use debe ir acorde a las condiciones externas de servicio, para que tenga el desempeño deseado.
- Al adquirir una vivienda se debe verificar que se entreguen las especificaciones del proyecto, que debe incluir un plan de inspección y mantenimiento para que la estructura alcance la vida útil para la cual fue diseñada, símil a un manual de usuario cuando se adquiere un producto.

- En la actualidad hacer menos daño no es suficiente; se debe concebir otra manera de pensar, alejada de ver a las edificaciones como objetos individuales y estáticos y verlos como lo que son: sistemas vivos, que cambian con el paso de los años, que se relacionan con su entorno (Llera et al. 2010).



BIBLIOGRAFÍA

ACI COMMITTEE 116. Cement and Concrete Terminology. ACI 116R-00. 2000.

ACI COMMITTEE 318. Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318SR -05. 2005.

ACI COMMITTEE 201. Guide to Durable Concrete. ACI 201.2R-08. 2008.

ACI COMMITTEE 309. Guide to Identification and Control of Visible Surface Effects of Consolidation on Formed Concrete Surfaces. ACI 309 R-05. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 2009 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. ASTM C 125 – 15b. 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 2009 Standard Specification for Portland cement. ASTM C 150/C 150 M-16. 2016.

AGUIRRE, A y Rubí MEJÍA DE GUTIÉRREZ (2013) Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. Materiales de Construcción, vol. 63, número 309, pp. 07-38.

ATIC ESTUDIOS (2012). Durabilidad de las estructuras de hormigón armado. Adaptando la edificación a los nuevos tiempos. Consulta: 16 de abril de 2016. <http://todoedificacion.blogspot.pe/2012/01/durabilidad-en-las-estructuras-de.html?view=magazine>

BALLARD, G., (2008). The Lean Project Delivery System: An Update. Lean Construction Journal, 2008 Issue, PP. 1-19.

BERNAL, Jorge (2005) Hormigón armado: Zapatas: estudio de las bases de hormigón armado, diseño, cálculo y dimensionado. Buenos Aires: Nobuko. Consulta: 26 de abril de 2016.

<https://books.google.com.pe/books?id=ZMq8TiVrUyEC&pg=PA159&lpg=PA159&dq=fisura+vivas+concreto&source=bl&ots=7lqYkGHQll&sig=4ZqZ6dHJ6rJJ9szCB8SmOpMU64Y&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjch5TlazMAhUCXB4KHQTPDKo4ChDoAQgzMAQ#v=onepage&q=fisura%20vivas%20concreto&f=false>

BERNAL, Jesús (2009) Durabilidad en estructuras de concreto armado, localizadas frente a la costa. Tesis de maestría en Ingeniería. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Consulta: 15 de abril de 2016.

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2993/TESIS_COMPLETA.pdf?sequence=1

BREEAM. Consulta: 21 de enero de 2016.
<http://www.breeam.com/>

BRIOSO, X. (2017). Synergies between Last Planner System and OHSAS 18001 - A general overview. Building & Management, 1 (2), pp. 24-35.

BRIOSO, X. (2015 a), El Análisis de la Construcción sin Pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: Propuesta de Regulación en España y su Inclusión en la Ley de la Ordenación de la Edificación. PhD thesis. Technical University of Madrid, Spain, 2015.

BRIOSO, X. (2015 b). Integrating ISO 21500 Guidance on Project Management, Lean Construction, and PMBOK. Procedia Engineering, 123 (2015) 76 – 84.

BRIOSO, X. (2015 c). Teaching Lean Construction: Pontifical Catholic University of Peru Training Course in Lean Project & Construction Management. Procedia Engineering, 123 (2015) 85 – 93.

BRIOSO, X. (2013). Integrando la Gestión de Producción y Seguridad. XII Congreso Latinoamericano de Patología y XIV Congreso de Calidad de la Construcción - CONPAT 2013. Cartagena, Colombia, 30 Sep-4 Oct 2013. Cartagena, Colombia: ALCONPAT Internacional.

BRIOSO, X. (2011). Applying Lean Construction to Loss Control. In 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Lima, Perú, 13-15 Jul 2011.

BRIOSO, X. (2005 a). Gestión integrada de la calidad, seguridad y salud. VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción CONPAT y X Congreso de Calidad en la Construcción - CONPAT 2005. Asunción, Paraguay, 19 Sep-21 Sep 2005. Asunción, Paraguay: ALCONPAT Internacional.

BRIOSO, X. (2005 b). Gestión de Seguridad en Proyectos de Construcción según la Extensión del PMBOK Guide del PMI. Caso Español. Congreso: PMI Global Congress 2005 - Latín América, Panamá, Project Management Institute (PMI).

BRIOSO, X. et al. (2017). Using Post-Occupancy Evaluation of Housing Projects to Generate Value for Municipal Governments. Alexandria Engineering Journal, Article in Press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.015>.

BRIOSO, X. & HUMERO, A. (2016). Incorporating Lean Construction agent into the Building Standards Act: The Spanish case study. Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal, 8 (2016), Issue 1, pp. 1511-1517.

BRIOSO, X., HUMERO, A. & CALAMPA, S. (2016). Comparing Point-to-Point Precedence Relations and Location-Based Management System in Last Planner System: A Housing Project of Highly Repetitive Processes Case Study. Procedia Engineering, 164 (2016) 12–19.

CALDERÓN, Enrique (2008) Estudio experimental de la fisuración en piezas de hormigón armado sometidas a flexión pura. Tesis de doctorado en Ingeniería Civil. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. Consulta: 27 de marzo de 2016.
[http://oa.upm.es/1019/1/ENRIQUE CALDERON BELLO.pdf](http://oa.upm.es/1019/1/ENRIQUE_CALDERON_BELLO.pdf)

CAMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN: CAPECO. Consulta: 10 de mayo de 2016.
<http://www.capeco.org/>

CEPAL (1999). Metodología de evaluación de proyectos de viviendas sociales. Santiago de Chile: CEPAL. Consulta: 05 de mayo de 2016.
<http://www.cepal.org/es/publicaciones/5556-metodologia-de-evaluacion-de-proyectos-de-viviendas-sociales>

CRESPO, Santiago (2010). Materiales de construcción para edificación y obra civil. San Vicente [del Raspeig] ECU pp. 05-17.

DEFENSORÍA DEL PUEBLO CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES. Consulta: 16 de abril de 2016.
<http://www.defensoria.org.ar/>

DIRECCIÓN REGIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. Consulta: 16 de abril de 2016.
estadistica.cba.gov.ar/

DGNB Consulta: 21 de enero de 2016.
<http://www.dgnb.de/en/>

EL COMERCIO (2005). Así evolucionó el sector construcción desde 2004. El Comercio. Lima, 16 de abril, s/p. Consulta: 24 de marzo de 2016.

http://elcomercio.pe/economia/peru/asi-evoluciono-sector-construccion-desde-2004-interactivo-noticia-1804495?ref=flujo_tags_514878&ft=nota_2&e=imagen

ELGUERO, Ana (2004). Patologías elementales. Argentina: Nobuko.

ÉLIAS, Xavier y Santiago BORDAS (2011). Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad. Madrid: Editorial Díaz de Santos, pp. 422-552.

GARCÉS, Pedro, Miguel Ángel CLIMENT y Emilio ZORNOZA (2008). Corrosión de armaduras de hormigón armado. España: Editorial Club Universitario. Consulta: 19 de abril de 2016.

https://books.google.com.pe/books?id=alw-aWL2zKEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=corrosion&f=false

GARCÍA, Eva (2011). Urbanismo inmobiliario – una década de carencia habitacional en Buenos Aires (2001-2011). Madrid. Consulta: 18 de mayo de 2016.

http://contested-cities.net/wp-content/uploads/2014/07/2014CC_Garc%C3%ADa_Urbanismo-inmobiliario_BSAS.pdf

GUERRERO, Y y Danalis JUÁREZ (2013). Burbuja Inmobiliaria en el Perú. Tesis de Licenciatura en Finanzas. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela Profesional de Economía y Finanzas.

GREEN GLOBE. Consulta: 21 de enero de 2016.
<http://greenglobe.com/>

GREEN STAR. Consulta: 21 de enero de 2016.
<https://www.greenstar.ie/>

HARMSSEN, Teodoro (2005). Diseño de estructuras de concreto armado. Lima: PUCP, Fondo Editorial.

HELENE, Paulo (1993). Contribución en el estudio de la corrosión en armaduras de concreto armado. Tesis de licenciatura con mención en Ingeniería Civil. Sao Paulo: Universidad de Sao Paulo, Departamento de Ingeniería de Construcción Civil de la Escuela Politécnica.

HELENE, P y Fernanda PEREIRA (2007). Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto. Sao Paulo: Universidad de Sao Paulo.

HQE Consulta: 21 de enero de 2016.
<http://www.behqe.com/>

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL: INDECOPI. Consulta: 10 de mayo de 2016.

<https://www.indecopi.gob.pe>

JENNINGS, Herbert y otros (2008). Characterization and modeling of pores and surfaces in cement paste: correlations to processing and properties. Journal of Advanced Concrete Technology. Japón, vol. 6, número 1, pp. 05-29. Consulta: 10 de abril de 2016.

http://geomechanics.caltech.edu/publications/pdf/ACT_pdf.pdf

JOISEL, Albert, Henri LAFUMA y Santiago HOSPITAL (1981). Fisuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. Consulta: 23 de abril de 2016.

<https://books.google.com.pe/books?id=TVMaL1dKCo8C&pg=PA115&dq=fisuras+por+retraccion+termica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjsmeenxajMAhWdJB4KHTdcB28Q6AEIGzAA#v=onepage&q=fisuras%20por%20retraccion%20termica&f=false>

LLEDÓ, Pablo (2013). Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP sin morir en el intento. Canadá: El autor.

LLERA, Eva y otros (2010). Eficiencia energética en instalaciones y equipamientos de edificios: eficiencia energética. Zaragoza: Prensas Universitarias

MEDINA, Eduardo (2007). Construcción de estructuras de hormigón armado: edificación. Segunda edición. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Consulta: 14 de marzo de 2016.

[https://books.google.com.pe/books?id=YOcposlSVBoC&pg=PA71&dq=Medina,+S.+E.+\(2007\).+%E2%80%9CConstrucci%C3%B3n+de+estructuras+de+hormig%C3%B3n+armado&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwig9vH4kfTLAhVH0h4KHTQNBCUQ6AEIlzAA#v=onepage&q=Medina%2C%20S.%20E.%20\(2007\).%20%E2%80%9CConstrucci%C3%B3n%20de%20estructuras%20de%20hormig%C3%B3n%20armado&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=YOcposlSVBoC&pg=PA71&dq=Medina,+S.+E.+(2007).+%E2%80%9CConstrucci%C3%B3n+de+estructuras+de+hormig%C3%B3n+armado&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwig9vH4kfTLAhVH0h4KHTQNBCUQ6AEIlzAA#v=onepage&q=Medina%2C%20S.%20E.%20(2007).%20%E2%80%9CConstrucci%C3%B3n%20de%20estructuras%20de%20hormig%C3%B3n%20armado&f=false)

METHA, P y Paulo MONTEIRO (2013). Concrete: Microstructure, Properties and Materials. Tercera edición. California: McGraw- Hill.

MUNIZAGA, Gloria (2009). Fisuración por retracción en hormigones: Influencia del tipo de cemento. Tesis de licenciatura con mención en Ingeniería Civil. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Consulta: 26 de marzo de 2016.

http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/munizaga_g/sources/munizaga_g.pdf

MUÑOZ, Alejandro (2015). Ingeniería sismorresistente. Lima: PUCP, Fondo Editorial, pp. 52-54.

MURGUÍA, D., BRIOSO, X. & PIMENTEL, A. (2016). Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building. In 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, Jul 2016.

NORMA G.050 SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN (2009), Reglamento Nacional de Edificaciones - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.

OTTAZZI, Gianfranco (2004). Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado. Tesis de maestría en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados.

SÁNCHEZ, Diego (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Quinta edición. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Consulta: 14 de marzo de 2016.

https://books.google.com.pe/books?id=EWqQPJhsRAC&printsec=frontcover&dq=in+author:%22DIEGO+AUTOR+SANCHEZ+DE+GUZMAN%22&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjLpvOTj_TLAhVlbB4KHTROByQQ6AEIGzAA#v=onepage&q&f=false

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL: SMN. Consulta: 20 de mayo de 2016.
<http://www.smn.gov.ar/>

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ:
SENAMHI. Consulta: 20 de mayo de 2016.
<http://www.senamhi.gob.pe/>

SIMONNET, Cyrille (2009). Hormigón: Historia de un material. Francia: Editorial Nerea. Consulta: 12 de marzo de 2016.

https://books.google.com.pe/books?id=EuKRnC6TwsC&printsec=frontcover&dq=Hormig%C3%B3n:+Historia+de+un+material&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiD2ISwL_TLAhWC2B4KHQ9PDyUQ6AEIGzAA#v=onepage&q&f=false

ROODMAN, David, Nicholas LENSSEN y Jane PETERSON (1995). "Building Revolution: How ecology and health concerns are transforming construction". Washington, DC: Worldwatch Institute.

RODRIGUEZ, Oscar (2008). Morteros; Guía general. Madrid: Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero. Consulta: 24 de abril de 2016.

<https://books.google.com.pe/books?id=DTcFThIqAHYC&pg=PA40&dq=fisuracion+por+retraccion+plastica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiiM2moajMAhVFmx4KHaphCtWQ6AEIGjAA#v=onepage&q=fisuracion%20por%20retraccion%20plastica&f=false>

TRUB, Ulrich (1977). Superficies de hormigón visto. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. Consulta: 14 de marzo de 2016.

<https://books.google.com.pe/books?id=1Tn7S0Z0NpUC&pg=PA21&dq=Superficies+de+hormigo%CC%81n+visto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi3i4ejIPTLAhWLR4KHRY-DyUQ6AEIGjAA#v=onepage&q&f=false>

TUUTTI, Kyosti (1982). Corrosion of Steel in Concrete. s/l: Stockholm, pp. 17-21.

U.S. Green Building Council (USGBC)

2011 Green building and LEED core concepts guide. Washington, DC.

U.S. Green Building Council (USGBC)

2009 USGBC LEED green associate study guide. Washington, DC.

ANEXOS

ANEXO N°1. Informes de soluciones constructivas ante la fisuración en el país argentino

ANEXO N°2. Demandas correspondientes a Lima Top del total de archivos recolectados de INDECOPI.

