

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

UN EJERCICIO DE IMPACTO
AL SERVICIO DE LA COMUNIDAD

María Claudia Vera Guarnizo

Daniel Andrey Miranda Gutiérrez

Jackson Erminzul Monroy Gutiérrez

Martha Liliana Díaz Ochoa

Julían Fernando Grimaldo Rodríguez



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de calidad al alcance de todos



Presidente del Consejo de Fundadores

P. Diego Jaramillo Cuartas, cjm

**Rector General Corporación Universitaria
Minuto de Dios – UNIMINUTO**

P. Harold Castilla Devoz, cjm

Vicerrectora General Académica

Stéphanie Lavaux

Rector Cundinamarca

Jairo Enrique Cortes Barrera

Vicerrectora Académica Cundinamarca

Luz Nelly Romero Agudelo

Director Centro Regional Girardot

Elvia Janeth Galarza Bogotá

Subdirectora Centro Editorial UNIMINUTO

Rocío del Pilar Montoya Chacón

Coordinadora de publicaciones Cundinamarca

Diana Carolina Díaz Barbosa

Patología de la construcción: un ejercicio de impacto al servicio de la comunidad / María Claudia Vera Guarnizo, Daniel Andrey Miranda Gutiérrez, Jackson Erminzul Monroy Gutiérrez... [y otros 2]. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, 2022.

ISBN: 978-958-763-510-2

111p.: il.

1. Fallas en construcciones -- Investigaciones 2. Fallas estructurales -- Estudio de casos 3. Construcciones de viviendas -- Estudios de casos 4. Viviendas -- Mantenimiento y reparación 5. Vivienda popular i. Miranda Gutiérrez, Daniel Andrey ii. Monroy Gutiérrez, Jackson Erminzul iii. Díaz Ochoa, Martha Liliana iv. Grimaldo Rodríguez, Julián Fernando

CDD: 690.837 P17p BRGH Registro Catálogo UNIMINUTO No. 102105

Archivo descargable en MARC a través del link: <https://tinyurl.com/bib102105>

Autores

María Claudia Vera Guarnizo
Daniel Andrey Miranda Gutiérrez
Jackson Erminzul Monroy Gutiérrez
Martha Liliana Díaz Ochoa
Julián Fernando Grimaldo Rodríguez

Coordinación Editorial

Diana Carolina Díaz Barbosa

Corrector de estilo

Karen Grisales Velosa

Diseño y diagramación

Sandra Milena Rodríguez Ríos

ISBN digital: 978-958-763-510-2

Primera edición digital 2022

©Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO

Calle 90 No. 87 - 69

Teléfono +57(1) 2916520 Ext. 6012

Esta publicación es el resultado del proyecto Social Ingeniero a Tu Barrio producto de la Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO, financiado por la Rectoría Cundinamarca.

© Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO. Todos los capítulos publicados en el libro “La patología de la construcción: un ejercicio de impacto al servicio de la comunidad” Fueron seleccionados de acuerdo con los criterios de calidad editorial establecidos en la Institución. El libro está protegido por el Registro de propiedad intelectual. Se autoriza su reproducción total o parcial en cualquier medio, incluido electrónico, con la condición de ser citada clara y completamente la fuente, siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, tal como se precisa en la Licencia Creative Commons Atribución – No comercial – Sin Derivar que acoge UNIMINUTO.

Dedicatoria

A todos y cada uno de los estudiantes y profesores que participaron en el desarrollo del proyecto “Ingeniero a tu barrio”, y en especial al líder comunitario de la Urbanización Valle del Sol, al señor Mauricio Polo Arciniegas (Q.E.P.D), quien siempre luchó en pro del desarrollo de su comunidad. Gracias, también, a las habitantes de las comunidades impactadas que permitieron la ejecución de los trabajos dados del ejercicio académico desde la práctica y labor profesional y finalmente a Dios, UNIMINUTO y a nuestras familias por guiarnos en el camino del amor y el servicio.

Agradecimientos

A los proyectos de aula y a la Alcaldía Municipal de Girardot, a la Secretaría de Vivienda y la Secretaria de Infraestructura, que apoyaron la aplicación del proyecto “Ingeniero a tu barrio”, para ayudar a enriquecer el ejercicio profesional del programa de Ingeniería Civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, sede Girardot.

Contenido

Presentación	13
Introducción	15
Capítulo 1. Contextualización	17
¿Qué es patología de la construcción?	18
Etapas de un estudio de patología	22
El caso Valle del Sol	24
Capítulo 2. Ingeniero a tu barrio y Valle del Sol	31
Consideraciones preliminares	33
Estudio de patología en Valle del Sol y Rosablanca	36
Capítulo 3. Metodología de intervención y hallazgos	51
Etapas de estudios de patología	52
Etapa 1. Reconocimiento	52
Etapa 2. Historia clínica	53
Etapa 3. Ensayos y diagnóstico	74
Capítulo 4: Propuesta de intervención	83
Propuesta de intervención para la Urbanización Valle del Sol	84
Propuesta de intervención vivienda unifamiliar	92
Conclusiones	95
Referencias	99
Anexo I	105

Lista de Figuras

Figura 1.	Fallas de diferente tipo en el barrio Rosablanca	26
Figura 2.	Fallas de diferente tipo en el barrio Rosablanca	26
Figura 3.	Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes en la Urbanización valle del Sol	27
Figura 4.	Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes en la Urbanización Valle del Sol	28
Figura 5.	Visita de Campo a la Urbanización Valle del Sol	32
Figura 6.	Reunión UNIMINUTO – Asojuntas	33
Figura 7.	Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes	34
Figura 8.	Vivienda unifamiliar. Fallas en la fachada	36
Figura 9.	Urbanización Valle del Sol. Fallas en la fachada de la torre 4	37
Figura 10.	Urbanización Valle del Sol, acompañamiento de estudiante y profesores	38
Figura 11.	Acompañamiento y socialización a la población del nivel de riesgo de las afectaciones en las viviendas, por parte de estudiante y profesores. Barrio Rosablanca	38
Figura 12.	Tipos de cimentaciones	46
Figura 13.	Construcción de columnas	48
Figura 14.	Sistemas constructivos	49
Figura 15.	Planos Urbanización Valle del Sol	53
Figura 16.	Evidencia de algunas fallas en la Urbanización Valle del Sol	56
Figura 17.	Evidencia de algunas fallas en la vivienda unifamiliar en Rosablanca	56
Figura 18.	Recorrido de las zonas afectadas	59
Figura 19.	Pozo a cielo abierto. Excavación de una calicata de dimensiones de 1,00 metros x 1,00 metros x 1,50 metros. Trabajo entre estudiantes y profesores	60

Figura 20.	Medidas de la veleta de campo	63
Figura 21.	Veleta de campo en el suelo cohesivo con un torquímetro, trabajo entre estudiantes y profesores en el terreno	64
Figura 22.	Toma de niveles para un control de asentamiento en la Urbanización Valle del Sol	65
Figura 23.	Control de asentamientos torre 4	66
Figura 24.	Control de asentamientos de las torres 1, 2 y 3	66
Figura 25.	Control de asentamientos de las torres 1, 2 y 3	67
Figura 26.	Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4	67
Figura 27.	Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4	68
Figura 28.	Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4	69
Figura 29.	Toma de muestras. Ensayo de caracterización del suelo por el método de exploración pozo a cielo abierto	71
Figura 30.	Granulometría de muestra No. 01 de la vivienda del barrio Rosablanca de Girardot	71
Figura 31.	Granulometría de muestra No. 02 de la vivienda del barrio Rosablanca de Girardot	72
Figura 32.	Gráfica limite líquido R.B #1	73
Figura 33.	Gráfica limite líquido R.B #2	73
Figura 34.	Instalación de testigos zona externa de la Urbanización Valle del Sol	74
Figura 35.	Instalación de testigos zona interna de la Urbanización Valle del Sol	75
Figura 36.	Instalación de testigos y toma con esclerómetro Rosablanca	75
Figura 37.	Humedades y filtración en los dos proyectos	76
Figura 38.	Múltiples fallas en los dos proyectos, desde aceros expuestos y eflorescencia	76
Figura 39.	Múltiples fallas como fisuras, grietas, desprendimientos y desplazamientos en las viviendas de Rosablanca y Urbanización Valle del Sol	77

Figura 40.	Resultado con esclerómetro de los ensayos no destructivos realizados en la Urbanización Valle del Sol	80
Figura 41.	Fachada Valle del Sol (izquierda) y vivienda unifamiliar del barrio Rosablanca en Girardot (derecha)	84
Figura 42.	Evidencias patológicas encontradas en las fachadas de las torres y en el interior de los apartamentos de la Urbanización Valle del Sol	85
Figura 43.	Muro de contención existente	86
Figura 44.	Sector en estado crítico. Zona afectada por el movimiento en masa (desplazamiento del suelo) en la Urbanización Valle del Sol	88
Figura 45.	Ubicación del muro de contención perimetral	89
Figura 46.	Neumáticos utilizados en la construcción del muro de contención	90
Figura 47.	Estado zonas comunes de la Urbanización Valle del Sol	90
Figura 48.	Diseño sistema de recolección de aguas lluvias (mediante una cuneta)	91
Figura 49.	Diseño sistema de recolección de aguas lluvias (mediante cunetas al lado de cada andén)	92
Figura 50.	Toma de muestras vivienda unifamiliar para la realización de los estudios geotécnicos	93
Figura 51.	Asentamientos diferenciales en la vivienda unifamiliar en el barrio Rosablanca	94

Lista de Tablas

Tabla 1.	Ficha de información previa de la Urbanización Vale del Sol	39
Tabla 2.	Ficha de información previa de la Urbanización Valle del Sol	41
Tabla 3.	Ficha de información previa vivienda en Rosablanca	42
Tabla 4.	Ficha de información previa vivienda Rosablanca	43

Tabla 5.	Ficha de información previa vivienda Rosablanca	44
Tabla 6.	Ficha de información previa vivienda en Rosablanca	44
Tabla 7.	Granulometría muestra número 1	61
Tabla 8.	Granulometría muestra número 2	61
Tabla 9.	Granulometría muestra número 3	62
Tabla 10.	Características de la veleta empleada	64

Presentación

El presente libro tiene como propósito brindar al sector educativo y al gremio de la construcción, las vivencias de un proyecto denominado “Ingeniero a tu barrio”, que originó una relación estrecha entre la proyección social y la investigación; desarrollado mediante el enfoque praxeológico, el cual permite al lector entender y comprender muchos más fácil las lesiones que se pueden presentar en las edificaciones y las intervenciones que puedan dar lugar de acuerdo al grado de la falla; es por esto que las fase del enfoque permite, desde la academia, llevar una revisión sistemática a la práctica de campo y generar resultados orientados al desarrollo social.

El lector puede tomar este libro como guía para realizar la inspección visual de lesiones que puedan llegar a afectar sus edificaciones, además lo ayudará en realizar un prediagnóstico de los daños visibles que encuentre en toda la integridad de su vivienda y así logrará establecer el grado de severidad al que pueda estar expuesto, y, a la vez, generar una alerta temprana que evitará que su patrimonio familiar se deteriore en el tiempo y que su vida se vea vulnerada. Así mismo, indica cómo y cuándo recurrir al profesional más idóneo para dar el diagnóstico adecuado y preciso para la eliminación de las causas.

De acuerdo con lo anterior, el lector puede, mediante cada uno de los capítulos de este texto, promover proyectos de desarrollo social enfocados en la innovación social en pro del beneficio de las comunidades, tomar como ejemplo las vivencias de la población en la cual se presentaron falencias que pudieron inducir a la pérdida de patrimonio y vidas humanas, gestionar oportunamente con la administración local las correcciones legales pertinentes y la solicitud de las acciones correctivas.

Introducción

Desde tiempos remotos, el ser humano se ha preocupado por tener un lugar que le dé refugio y que lo libre de animales depredadores, de las lluvias y del frío. Es por esto, que las primeras viviendas humanas tuvieron su origen en lugares de la naturaleza que fueron utilizados como refugios y que eran principalmente cavernas que el hombre acondicionaba para hacerlas espacios habitables. Sin embargo, con la transición del nomadismo al sedentarismo, la construcción de las viviendas se fue sofisticando en la medida en que la permanencia en un territorio iba dictando las necesidades de los grupos sociales.

Las primeras viviendas, entendidas como esas barreras protectoras entre el hombre y el peligro fueron construidas con materiales naturales como madera y hojas de los mismos árboles, lo que las hacía inseguras para enfrentar climas extremos, a la vez que vulnerables a los eventuales ataques de animales salvajes, pero gracias a su instinto de conservación y espíritu gregario, el hombre siempre ha tenido el propósito de mejorar las capacidades de resguardo de sus moradas, y es por esto que la búsqueda de unos materiales de construcción cada vez más resistentes y perdurables es algo inherente a ese instinto. Es así como se empezaron a emplear materiales manipulables como el barro, la paja, la piedra, las pieles de animales y las hojas de árboles para muchas estructuras destinadas a

lidiar con el paso de la lluvia, lo que derivó en la creación de técnicas que combinaban las características físicas y químicas de estos materiales, cosa que, a la postre, constituye un compendio en el que se registran las primeras evidencias de la producción de tecnologías orientadas a la función vital básica de la construcción de viviendas.

La mayoría de las legislaciones de los países (por no decir todas) contemplan el acceso a la vivienda como una de las condiciones de posibilidad para que los estados puedan garantizar a todos sus ciudadanos y ciudadanas el derecho fundamental a la vida digna. En efecto, ya en la Carta Magna del año de 1215, o “Carta de las libertades” en el antiguo imperio de Inglaterra, se encuentran los primeros vestigios de la importancia que reviste para los gobernantes (regentes en ese tiempo) el poder proveer a sus gobernados de la condiciones mínimas de resguardo y vivienda, cosa que siglos más tarde se materializaría en la declaración de los Derechos del Hombre y del Ciudadano de 1789, en la que consta el derecho a la propiedad como uno de los derechos naturales e imprescriptibles del hombre (Carbonell, 2009).

Finalmente, se tiene, de acuerdo a lo anterior, que la construcción de edificaciones se ha empleado a lo largo de la historia, y ha generado el desarrollo de ciudades, países y naciones, sin embargo, uno de los problemas más es la pérdida de vida útil de estas edificaciones debido a diversos factores, tales como la utilización de materiales inadecuados, malos diseños, mala ejecución y demás componentes ambientales, que con el paso del tiempo reflejan en las edificaciones lesiones que provocan enfermedades en sus elementos estructurales y no estructurales, lo cual ocasiona que su funcionalidad e integridad se vea afectada, por esta razón, los capítulos tratados en este libro se basan en una experiencia educativa dada desde la práctica, enfocada a la identificación de patologías.



Capítulo 1.

Contextualización

En Colombia, la vivienda es un derecho social, cuya finalidad es la de “lograr el cumplimiento del principio de igualdad, especialmente, de los miembros más vulnerables de la sociedad” (Pinilla y Rengifo, 2012) y que está consignado en artículo 51 de nuestra Constitución, en el que consta que:

Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda. (Constitución Política de Colombia [Const.], 1991, art. 51).

Sin embargo, el tema de las deficiencias en la construcción de viviendas se ha vuelto un problema a nivel mundial (Islam *et al.*, 2021). En Colombia, se ha acentuado en obras de ingeniería, en donde se evidencia la presencia de fallas producto de los procesos constructivos inadecuados, deficiente interventoría, malos materiales de construcción (Kanniyapan *et al.*, 2019) y falta de control, a pesar que las normativas que regulan la construcción son de obligatorio cumplimiento.

Antes de hacer el reconocimiento de algunos de los casos que se han presentado en el país, vale la pena enfatizar la importancia de la patología en la ingeniería y sus fines (Madureira *et al.*, 2017), para la comprensión del caso que se presenta en este libro.

¿Qué es patología de la construcción?

La patología de la construcción contempla todas las lesiones encontradas en una edificación a consecuencia de problemas constructivos, que en muchos casos son por descuido del diseñador o constructor, por ende, se debe tener en cuenta que un estudio de patología consiste en realizar una investigación detallada para encontrar el origen de las enfermedades y determinar la mejor solución posible sin que afecte la funcionalidad de todos los elementos que compone una edificación.

La funcionalidad de una edificación es fundamental para prolongar su vida útil total (Carretero *et al.*, 2021), es por esto que estas afectaciones deben ser eliminadas desde la raíz (De Brito y Gaspar, 2005), por lo cual, se debe determinar si la causa de la lesión es directa o indirecta, ya que esto influye en la rehabilitación; además, cuando aparece alguna anomalía en algún elemento que hace parte de una edificación, es necesario tratarlo de inmediato para evitar sobrecostos y que la vida útil de servicio de deteriore y llegue al colapso.

De acuerdo con lo anterior, se debe tener en cuenta que estas afectaciones se pueden presentar con el paso del tiempo y la exposición durante cierto periodo del acero que haya tenido poco recubrimiento dentro del concreto, pues al estar a la intemperie recibe daños severos, también se puede generar una aceleración en el deterioro, la incompatibilidad de los materiales utilizados para la construcción, la falta de mantenimiento, por mal comportamiento sísmico a consecuencia de diseños y construcción inadecuados (Carofilis *et al.*, 2020). En consecuencia, todas estas afectaciones pueden aumentar el grado de riesgos para las personas que hace uso de edificaciones con presencia de patologías.

Se recomienda que la detección y rehabilitación de todos estos síntomas o sean hechas por un especialista en patología y rehabilitaciones, quien será el encargado de realizar la sistematización de todos los ensayos y estudios realizados por los demás profesionales expertos en cada una de las áreas, la intervención de los demás especialistas depende en gran parte de la complejidad y tipo de edificación que se estudie.

Estos procesos patológicos se establecen en las lesiones físicas, mecánicas y químicas provenientes, ya sea por un agente directo o indirecto y, finalmente, con el hallazgo se determina la rehabilitación a la que dé lugar. A continuación, se expone los procesos patológicos agentes del deterioro:

- Lesiones físicas: son todas aquellas en que la problemática patológica se produce a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones y normalmente su evolución dependerá también de estos procesos físicos.
- Lesiones mecánicas: aunque las lesiones mecánicas se podrían englobar entre las lesiones físicas, puesto que son consecuencia de acciones físicas, la lesión mecánica se define como aquella en la que predomina un factor mecánico que provoca movimientos, desgaste, aberturas o separaciones de materiales o elementos constructivos.

- Lesiones químicas: son las lesiones que se producen a partir de un proceso patológico de carácter químico, y aunque este no tiene relación alguna con los restantes procesos patológicos y sus lesiones correspondientes, su sintomatología en muchas ocasiones se confunde. Los orígenes de estas lesiones pueden ser por la presencia de sales, ácidos o álcalis. (Broto, 2005).

Por lo tanto, es necesario evaluar las lesiones que se presentan en una edificación para dar un diagnóstico adecuado y acertado, donde las rehabilitaciones cumplan con el objetivo de devolver la vida útil a los elementos que componen los inmuebles; además, es transcendental entender y considerar la durabilidad que deben tener las edificaciones, con el fin de brindar seguridad en las estructuras y generar confianza en la construcción de obras sometidas a ambientes agresivos. Cabe resaltar que al realizar la revisión de la evolución de la normativa colombiana, en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente se tiene que en la versión de 1998 se contemplaba únicamente que los materiales deberían ser resistentes, para cuando se hizo la actualización de la norma a 2010, se incorporó que todos los materiales, además de ser resistentes, deberían ser durables (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación [ICONTEC], 2017).

Desde hace años se vienen presentando cierres y suspensiones de obras o desalijos de proyectos ya entregados al público, debido a la presencia de condiciones críticas como fallas estructurales y de diseño, no previsión de la presencia de problemas geológicos y geotécnicos, o la aparición de inconvenientes por errores en la supervisión técnica, bien sea por un inadecuado control de calidad de los materiales o a la calidad de la capacitación de la mano de obra.

Prueba de ello es la recopilación de los casos críticos presentados en Colombia, para dar cuenta la importancia de un adecuado manejo técnico, supervisión y control de calidad se presentan los casos ocurridos en nuestro país.

Entre ellos se encuentra, de manera icónica y emblemática de todo lo que no se debe permitir el proyecto “Space” (Flórez, 2014), ubicado en la ciudad de Medellín, cuya torre número 6 se desplomó el 12 de octubre del año 2013 dejando como resultado la muerte de 11 personas (“Se desploma el edificio Space en Medellín”, 2013), proyecto que finalmente fue demolido en su totalidad en 2014 a consecuencia del riesgo que presentaba para sus habitantes.

El edificio Blaz de Lezo II, ubicado en Cartagena, se desplomó el 28 de abril de 2017 y dejó 10 muertos, 23 heridos y 4 desaparecidos. En la investigación del colapso se encuentran una serie de irregularidades como la presencia de una licencia falsa, lo que evidenció que no podía haber ningún control por parte de las autoridades para verificar los diseños y planos del proyecto o realizar una supervisión técnica, que constatará, por ejemplo, que en el sector solo se podía construir un máximo de cuatro niveles, según el plan de ordenamiento territorial (Hernández, 2017).

En el estadio Guillermo Plazas Alcid de Neiva - Huila, Colombia, el 19 de agosto de 2016 se desplomó una placa de concreto con un espesor de 30 centímetros que estaba ubicada en la tribuna occidental y dejó como resultado dos personas muertas y nueve personas heridas. Al estadio se le realizaban remodelaciones en la tribuna occidental, graderías, baños, camerinos y una subestación eléctrica (“Las ‘perlas’ tras tragedia del estadio de Neiva”, 2016).

En la ciudad de Buenaventura, en el barrio Bellavista, el 9 de noviembre de 2017 colapsó la construcción de seis plantas, lo cual dejó como resultado a tres heridos y varias casas afectadas. Este colapso se originó por sobrecarga, ya que todo el material estaba almacenado en esta edificación; con este derrumbe se observa la importancia que debe tener el uso de la edificación y las cargas actuantes (gravitacionales y accidentales) que deben ser consideradas en el momento del diseño. (“El desplome de un edificio en Buenaventura”, 2017).

En el puente en construcción en la vía de Bogotá - Villavicencio, en el sector de Chirajara en jurisdicción del municipio de Guayabetal, Cundinamarca, el 15 de enero del 2018, se desplomó la pila B y dejó un resultado de nueve obreros muertos y ocho heridos, de acuerdo con investigaciones y con la revista *Semana*, este colapso inicialmente se dio por los diseños constructivos, además, dieron la autorización de la implosión del lado A del viaducto (“Fallas del diseño provocaron colapso”, 2018). Todo esto evidencia que el desplome de algunas edificaciones en Colombia ha derivado en la pérdida de vidas humanas, producto de un mal diseño y un proceso constructivo erróneo, al igual que deficiencias en los materiales y falta de conocimiento técnico en ingeniería, por lo que es de vital importancia realizar estudios de patología y de vulnerabilidad sísmica, para determinar el nivel de riesgos en que se pueden encontrar las construcciones. Se debe, entonces, establecer los mecanismos necesarios para mitigar estas problemáticas que se presentan de manera frecuente en el país. Es de resaltar que el profesional ideal para esta labor es el patólogo en estructuras, por su amplio conocimiento y experticia frente a la identificación y análisis de la posible falla estructural.

El rol del patólogo es muy importante en la determinación del grado de daño presente en las edificaciones, sin olvidar que a su vez este necesita del criterio de muchos profesionales de la ingeniería civil para establecer un concepto sólido y conciso, de acuerdo con las normas de control de calidad en la construcción. Según lo anterior, se tiene que de acuerdo con cada proyecto, la exigencia de la intervención de las profesiones está dada en función a las lesiones que puedan presentar los pacientes, y, así mismo, para la cura que requieran, dependiendo del origen de estas, por tal razón, en un estudio de patología es común ver que el patólogo siempre esté acompañado, lo cual conlleva un costo importante.

Etapas de un estudio de patología

Para dar inicio al estudio de las enfermedades en una edificación, se debe establecer las etapas que intervienen en el estudio de patología, con el fin de realizar las diferentes actividades de manera organizada

y coherente, donde la toma de datos que se debe realizar a todos los elementos que presentan lesiones sea elaborada de manera correcta y se ejecute en el menor tiempo posible, puesto que en ocasiones algunos pacientes deben ser intervenidos de inmediato.

Estas etapas se establecen de la siguiente manera para cualquier tipo de estudio de patología, sin importar la clase de edificación:

- **Etapa 1. Reconocimiento:** consiste en la identificación visual desde la vulnerabilidad observada de las fallas, donde se determina los ensayos necesarios que pueda requerir el paciente para determinar la causa de la lesión.
- **Etapa 2. Historia clínica:** consiste en la recopilación de información del paciente sin derecho a omitir alguna investigación, puesto que de esto dependerá en gran medida los procesos de diagnóstico y rehabilitación; esta búsqueda deberá incluir planos arquitectónicos, planos estructurales, planos topográficos, estudios geotécnicos, informes fotográficos, bitácoras de obras, planos récords, entrevistas que denoten información relevante, información de los parámetros de diseños de acuerdo a la zona sísmica, referencias climáticas de la ubicación y localización, etc. Si se presenta el caso de que algún paciente no cuente con dichos documentos, los estudios deben ser mucho más complejos para la reconstrucción de la historia, además el estudio será mucho más costo.
- **Etapa 3. Ensayos y diagnóstico:** esta etapa consiste en la toma de ensayos destructivos o no destructivos de acuerdo al requerimiento de los elementos y del estado de los mismos, se recomienda en lo posible no realizar ensayos destructivos, puesto que estos, en ocasiones, afectan la integridad del elemento y lo dejan aún más vulnerable; también en esta fase se evidencia el acompañamiento y la intervención de diferentes profesionales que estarán sujetos a la complejidad del paciente, entendiéndose como paciente la edificación afectada. Con los resultados de la etapa 1, 2 y 3 se realizarán el dictamen de las enfermedades encontradas.

- **Etapa 4. Propuesta de rehabilitación:** consiste en dar todas las recomendaciones e indicaciones para la rehabilitación del paciente, es decir, devolver las características funcionales de los elementos.

Se debe tener presente que la rehabilitación no se debe confundir con la restauración, puesto que son temas y acciones muy diferentes que están direccionados por profesionales diferentes. En Colombia muchas edificaciones han sido destruidas en el valor patrimonial cultural a consecuencia de la rehabilitación.

El caso Valle del Sol

El municipio de Girardot, Cundinamarca, no cuenta con un estudio de caracterización de las condiciones estructurales de las edificaciones residenciales, de acuerdo con las normas constructivas en Colombia.

Al igual que en Bogotá, la construcción de la vivienda informal se presenta constantemente, esto genera resultados negativos ante el comportamiento de las fuerzas internas o externas a las que puedan estar sometidas las edificaciones. Estas fuerzas vienen dadas por el peso propio de la vivienda, que es llamado, de acuerdo con la NRS-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [Asosísmica], 2010), la carga muerta, y el peso de las personas que hacen uso de ellas, denominado carga viva. Sin embargo, en el comportamiento de las viviendas no solo actúan estas dos cargas, sino que también se tienen los efectos de los vientos, las lluvias, de los sismos, así como de las demás condiciones climáticas y geológicas que se convierten en variables no controladas.

Es así como, por ejemplo, en 2013 en el municipio de Girardot y los alrededores tuvieron lugar las inundaciones de los barrios que se encontraban dentro de la zona de ronda de los ríos Magdalena y Bogotá, como consecuencia de prolongadas lluvias torrenciales, lo cual provocó la pérdida total de bienes materiales y dejó sin hogar a los habitantes de estos barrios.

La Alcaldía Municipal y el Ministerio de Vivienda, con el programa “Vivienda gratis”, Decreto 1921 de 2012, realizaron la reubicación de las personas que lo perdieron todo en esas inundaciones, asignándoles predios en la urbanización Valle del Sol, que se encuentra en la comuna 4 del municipio, con lo que se dio solución de vivienda a 608 familias.

Es de conocer que en el municipio de Girardot se han construido tres proyectos de vivienda de interés prioritario (VIP) desde 2007 hasta 2015, dentro de los cuales se tienen las urbanizaciones Villa Carolina, Corazón de Cundinamarca y la mencionada urbanización Valle del Sol. Estas viviendas se entregaron bajo la denominación de vivienda de interés prioritario gratis, es decir que los nuevos propietarios no tuvieron que invertir ningún dinero para obtenerlas, como lo menciona el citado artículo 51 de la Constitución Política de Colombia (Const., 1991).

La asignación de los predios se llevó a cabo por medio de la modalidad de sorteo y de acuerdo con la evaluación de los damnificados elaborada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, bajo el mando del ministro Luis Felipe Henao, en las instalaciones del coliseo de ferias del municipio de Girardot, donde participaron más de 1.054 hogares que se encontraban en extrema pobreza. Los beneficiados de este proceso son ahora quienes conforman, en su mayoría, la comunidad de la Urbanización Valle del Sol (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia [MinVivienda], 2013), una de las comunidades objeto de las iniciativas de intervención de las que este libro da cuenta.

Por otra parte, en el barrio Rosablanca, perteneciente a la comuna 4, misma de la Urbanización de Valle del Sol, se impactó una vivienda unifamiliar a solicitud del propietario, quien manifestó interés en la realización de los estudios pertinentes para establecer el estado de su vivienda, ya que por antigüedad del barrio —60 años aproximadamente de haber sido fundado—, las casas, en su mayoría de uno y dos pisos, no cuentan con diseños sismo resistentes, además, muchas de ellas presentan patologías, por lo que se ha ido afectando la integridad y funcionalidad de los elementos estructurales y no estructurales de las viviendas.

Figura 1. Fallas de diferente tipo en el barrio Rosablanca



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 2. Fallas de diferente tipo en el barrio Rosablanca



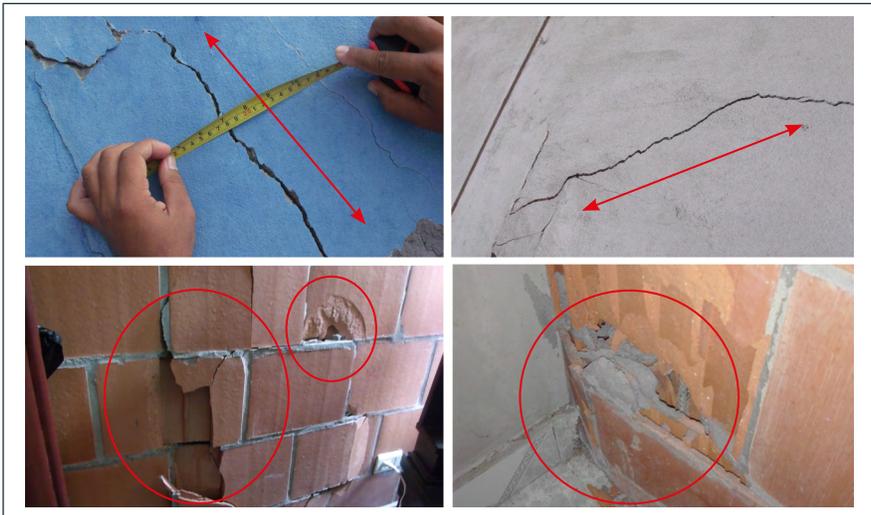
Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

De acuerdo con la necesidad anteriormente mencionada por parte del propietario de la vivienda, se recopiló información donde se determinó que el sector era muy húmedo y que el barrio tenía lagunas en algunos sectores y para lograr la viabilidad técnica de la construcción de las viviendas, fue necesario que se realizasen obras de relleno para dar soporte y estabilidad a las edificaciones.

Conforme a todos estos aspectos mencionados anteriormente, se logró evidenciar algunos antecedentes que daban, en principio, la explicación del porqué muchas edificaciones tienden a presentar fallas a una corta edad, por esta razón la reconstrucción de una historia es vital para el diagnóstico de las patologías que se encontraron.

Los apartamentos de la Urbanización Valle del Sol fueron entregados sin ningún problema aparente, sin embargo, con el paso de los años, por fenómenos internos y externos a la construcción, se fueron presentando diversos problemas patológicos que fueron deteriorando al proyecto, hasta tal punto que provocara zozobra entre sus habitantes; a continuación, se muestran las afectaciones que se presentaron.

Figura 3. Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes en la Urbanización valle del Sol





Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 4. Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes en la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

De acuerdo con las figuras 3 y 4, se puede apreciar que las fallas detectadas en las viviendas analizadas en la comuna 4 son de tipo físico, ya que, las condiciones atmosféricas impactaron negativamente la calidad en los acabados; de tipo químico, porque las reacciones producidas

en la interacción ente los materiales y la calidad ambiental aceleraron el deterioro de estos; y de tipo mecánico, debido a que la relación entre los materiales utilizados, la mano de obra no calificada y el diseño aplicado no cumplen con los requisitos exigidos en la normatividad constructiva aplicada en Colombia, con lo cual se comprometió la integridad estructural de las viviendas.

Adicionalmente, se generaron asentamientos diferenciales debido a suelos mal tratados, erosiones físicas por efecto de las aguas lluvias y de escorrentías, socavación del talud por presencia de cárcavas ocasionadas por los efectos eólicos e hídricos de la zona y fallas de compresibilidad por el cambio del volumen del suelo, debido a los diseños inadecuados y la ausencia de estudios geotécnicos que dieran paso a acciones para el mejoramiento del terreno.



Capítulo 2.

Ingeniero a tu barrio y Valle del Sol

En 2017 el programa de Ingeniería Civil del Centro Regional Girardot de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO inició el establecimiento de estrategias de proyección social con profesores y estudiantes con pertinencia social, para integrar a la comunidad con la institución. Dichas estrategias están encaminadas a promover el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables del municipio de Girardot.

La línea de acción de este proyecto está orientada a la contribución en el mejoramiento social en términos de intervenciones e innovaciones, y cuyo establecimiento bien puede venir por iniciativa misma de UNIMINUTO o por la de un ente externo, dado ante una necesidad, una problemática o una oportunidad que se presenta en un contexto, comunidad, organización o institución.

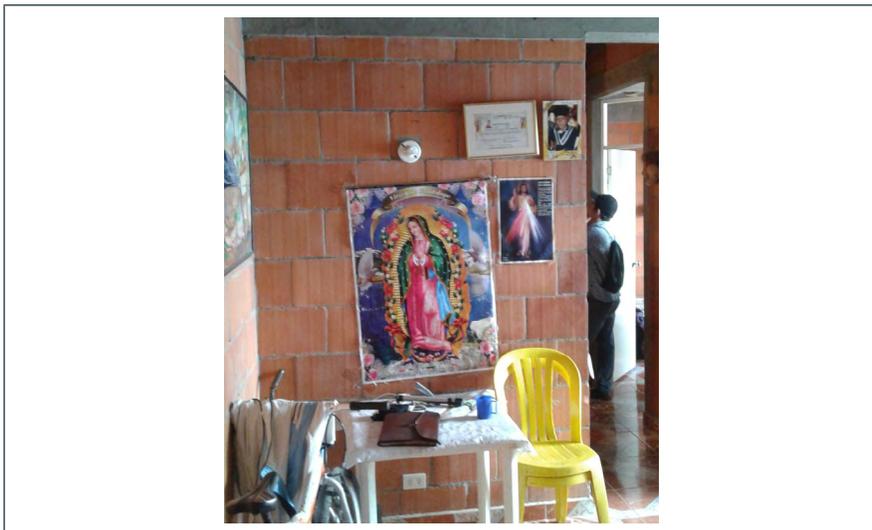
Finalmente, el proyecto ingeniero a tu barrio es un proyecto enmarcado por profesores y estudiantes con sentido social, humanizado desde el modelo educativo de la formación integral mediante procesos

de carácter investigativo, procesos cognitivos y procesos de realización personal basados en la responsabilidad social, el desarrollo humano y las competencias profesionales.

Para el desarrollo de acciones en el municipio de Girardot, el programa “Ingeniero a tu barrio” se estableció como programa pionero para los barrios de los estratos 1 y 2 del municipio de Girardot, dando así respuesta ante las necesidades de estas comunidades e iniciando con esto el proceso que daría lugar al primer estudio de patología en Girardot, hecho por el programa de Ingeniería Civil de UNIMINUTO Centro Regional Girardot.

Se establecieron reuniones con el presidente de Asociación de Juntas de Acción Comunal – Asojuntas, de Girardot para escoger la comuna más vulnerable ante problemas de fallas en sus unidades residenciales. En los encuentros se presentaron los presidentes de las juntas de los barrios Esmeralda III, Valle del Sol y Diamante Centro, y se determinó por medio de las visitas realizadas a los barrios que la Urbanización Valle del Sol era más afectada que debía tener una intervención inmediata (figuras 5 y 6).

Figura 5. Visita de Campo a la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2017.

Figura 6. Reunión UNIMINUTO – Asojuntas



Fuente: fotografía del proyecto, 2017.

Consideraciones preliminares

Desde el punto de vista técnico y disciplinar, la presencia de anomalías en la funcionalidad de los elementos que hacen parte de una vivienda se ha vuelto algo cotidiano. Sin embargo, la mayoría de las afectaciones que aparecen a una corta edad son consecuencia de la falta (o la ausencia) de un mantenimiento preventivo adecuado. Muchas de estas fallas son consideradas como normales, ya que, se presentan en todo tipo de vivienda y suelen aparecer cuando no se siguen los procedimientos reglamentarios establecidos por las normas constructivas.

Así, por ejemplo, cuando algunos habitantes de la Urbanización Valle del Sol o propietarios de alguna vivienda unifamiliar en el barrio Rosablanca observaron fisuras y grietas en sus propiedades, como se muestra en la figura 7, era muy probable que estas se debieran a alguna de estas causas.

Figura 7. Fallas de diferente tipo a consecuencia de diversos agentes



Fuente: fotografía del proyecto, 2017.

De este modo, para iniciar los estudios correspondientes, y con ello poder llegar a comprender las afectaciones de estas estructuras, es necesario establecer el origen de las lesiones, puesto que el establecimiento de sus causas es fundamental para poder eliminar el problema efectivamente mediante la orientación de las intervenciones correspondientes por parte de los especialistas. En este tipo de evaluaciones se debe

tener presente que las enfermedades en las edificaciones pueden ser ocasionadas por agentes directos o externos, cosa de la que dependerán las acciones correctivas a tomar.

Además, es elemental el hecho de que cuando se presenta una anomalía en alguno de los componentes estructurales de una edificación, esta se debe tratar de inmediato para evitar, entre otras cosas, sobre costos en las rehabilitaciones, de modo que el mejoramiento de las casas puede estar sujeto al tiempo en el que aquellas se presentan y, en vista de que las lesiones y demás problemas que se van presentando son afectaciones que en ocasiones pueden comprometer la habitabilidad de las unidades residenciales. Es necesario, por tanto, conocer y aprender a detectar la gravedad de las lesiones con el fin de evitar consecuencias graves como el deterioro del patrimonio familiar e incluso la pérdida de vidas humanas.

En el campo de la ingeniería civil, el estudio de los múltiples defectos que pueden presentar las diferentes clases de edificaciones está incluido dentro de la jurisdicción de la patología, término que etimológicamente significa “estudio de las enfermedades” (Díaz, 2014), y que se ha tomado prestado de la medicina para referirse al estudio de los “síntomas, mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos en las edificaciones con el propósito de establecer un diagnóstico” (Díaz, 2014, p. 21). En vista de que los materiales de construcción, con el paso del tiempo, pierden sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, la vigencia de la patología estructural como especialidad de la ingeniería civil está prácticamente garantizada, pues los estudios de investigación y análisis del comportamiento de estos materiales contribuyen al mejoramiento continuo de las diferentes calidades y características de los materiales de construcción.

Es justamente el campo de la patología el que aporta las principales herramientas de análisis estructurales y mecánicos de las construcciones mediante el siguiente marco de conceptos: i) cuando las patologías ocurren a una edad temprana, estas se denominarán patologías

pediátricas; ii) cuando las patologías se presentan después de una edad madura, caen bajo la denominación de patologías adultas; iii) cuando se hace referencia a una construcción con muchos años de edad (más de 60), las patologías se denominan geriátricas (Rojas, 2014); y, finalmente, iv) cuando las afectaciones son funcionales, es decir, mecánicas, estas se encuentran dentro de lo que se conoce como patologías forenses.

Estudio de patología en Valle del Sol y Rosablanca

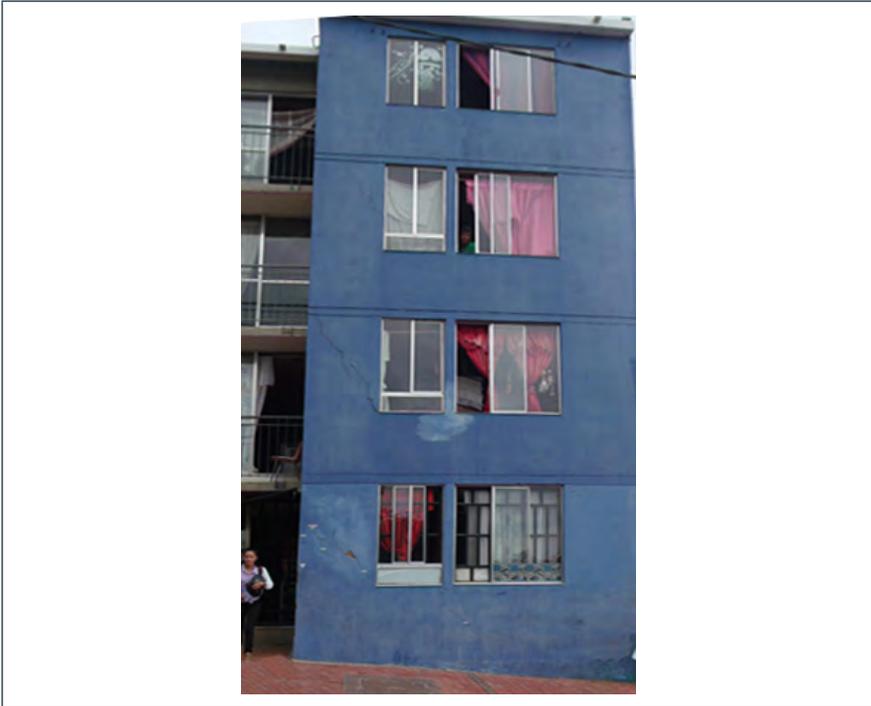
En consecuencia a diferentes procesos constructivos y por el paso del tiempo, las edificaciones de los casos de la comuna 4 del municipio de Girardot, la Urbanización Valle del Sol y la vivienda unifamiliar del barrio Rosablanca, comenzaron a presentar diferentes afectaciones que generaron pánico entre sus habitantes; alguna de estas lesiones se pueden evidenciar en las figuras 8 y 9.

Figura 8. Vivienda unifamiliar. Fallas en la fachada



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 9. Urbanización Valle del Sol. Fallas en la fachada de la torre 4



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

De lo anterior se puede establecer que cada uno de estos proyectos derivaban afectaciones independientes, pero por la connotación, estas lesiones se acrecentaban cada día más en la comunidad, al no tener los recursos necesarios para contratar un estudio de patología y así realizar su respectiva rehabilitación.

Por lo tanto, desde el programa se estableció la necesidad de realizar las etapas contempladas para el estudio de patología con el objeto de que sus habitantes pudieran conocer el nivel de riesgo de las afectaciones presentes en sus viviendas, con lo que se logró determinar la integridad de todos los elementos, por medio de ensayos no destructivos y estudios geotécnicos, y contando con el acompañamiento de estudiantes y profesores idóneos en las actividades.

Figura 10. Urbanización Valle del Sol, acompañamiento de estudiante y profesores



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 11. Acompañamiento y socialización a la población del nivel de riesgo de las afectaciones en las viviendas, por parte de estudiante y profesores. Barrio Rosablanca



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

En cualquiera de los dos casos, se estableció el mismo grupo de trabajo para la realización de actividades conjuntas con la comunidad; para las actuaciones de reparación resulta imprescindible proceder previamente a un correcto diagnóstico de los procesos patológicos que afectan al edificio o a los elementos constructivos a reparar.

Para dar cumplimiento con los dos sectores, se establecieron dos grupos de trabajo en donde cada uno presentaría un informe del diagnóstico, estos grupos se acompañaron por los mismos profesores, con el ánimo de no tener alteraciones en la investigación. Los trabajos realizados se concentraron en los estudios de suelos, topográficos y de patología, desde el ejercicio académico, para evidenciar las afectaciones presentes y la necesidad del estudio; en la tabla 1, se expone la ficha de información previa entregada por los practicantes de ingeniería civil.

Tabla 1. Ficha de información previa de la Urbanización Vale del Sol

Ficha de información previa I		
Realiza el estudio	Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO	n.º de ficha
Fecha	5 de abril de 2018	
Quién realiza el estudio	Estudiantes de Ing. Civil	
Datos generales del paciente		
Nombre de la obra	Urbanización Valle del Sol	
Localización (país, ciudad, etc.)	Girardot, Cundinamarca - Colombia	
Microlocalización	Urbanización valle del sol Mz 2a torre 4	
Uso actual	Residencial	
Uso previsto	Residencial	
Obras de arte	Andenes peatonales que colindan con la vía principal, sardineles, cañuelas.	

Ficha de información previa I	
Fecha de construcción	11 de junio del 2014
Importancia	La construcción de estas viviendas se dio para hacer la reubicación a familias afectadas por el fenómeno de la niña en 2010.
Normativa	
Material constructivo predominante (visible o supuesto) - (concreto, madera, acero, arcilla)	
Cubierta	Placa de concreto
Vigas - columnas y losas	Concreto
Tuberías sanitarias subterráneas	PVC
Fachada	Mortero – arcilla (ladrillo a la vista)
Muros internos	Muro pantalla y arcilla (ladrillo a la vista)
Cimientos	Concreto
Transformaciones anteriores (visibles o supuestos)	
Tipo de transformación	Ninguna
Fecha de realización	Ninguna
Localización de transf.	Ninguna
Normativa (técnica o urbana de la modificación) si aplica	Ninguna
Datos complementarios al estudio patológico	
Alcances del estudio (con o sin ensayos destructivos, qué tipo de análisis de vulnerabilidad aplica)	Realizar un análisis de todas las fallas, fisuras y grietas que se presenta la edificación y determinar las causas; con ensayos realizados como: veleta de campo, penetrometro, calicatas y testigos de vidrio. El cual se entregará un informe con lo anteriormente mencionado.
Información a recopilar	Dimensiones de grietas y fisuras
Permisos necesarios	N/A

Fuente: practicantes del proyecto, 2018.

Tabla 2. Ficha de información previa de la Urbanización Valle del Sol

Ficha de información previa II	
Realiza el estudio:	Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO
Fecha	5 de abril de 2018
Quien autoriza el estudio	Estudiantes de Ing. Civil
Datos generales del entorno del paciente	
Temperatura (promedio, tomado de la ciudad por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam)	38 °C
Humedad relativa (promedio, tomado de la ciudad) (Ideam):	79 %
Pluviosidad (alta, media, baja) según Ideam:	Baja
Tipo de ambiente (agresivo por ser industrial, o leve por ser residencial)	Leve - residencial
Contaminantes químicos cercanos (Fopae: Fondo de previsión y Atención de Emergencias)	Ninguno
Sismicidad (según microzonificación de Bogotá actualizada - alta, media, baja)	Media
Otros factores de riesgo (Fopae: Fondo de previsión y Atención de Emergencias)	Sísmico e inundaciones
Topografía del terreno (plano, ladera, humedales, etc.)	La ubicación de la edificación esta desplantada en la zona del pie del talud.
La construcción está en proximidad de	
Montañas	Sistema montañoso

Nota. Registro de información Urbanización Valle del Sol.

Fuente: practicantes del proyecto, 2018.

Por otro lado, también se evidencia en las tablas 3, 4, 5 y 6 las fichas realizadas por el grupo de estudiantes de la vivienda unifamiliar del barrio Rosablanca, donde se aportan parte de las fallas presentadas.

Tabla 3. Ficha de información previa vivienda en Rosablanca

Fachada de la vivienda	
	
	
<p>Fallas expuestas en fachadas, donde se evidencian aberturas longitudinales que afectan la superficie o el acabado de los bloques de mampostería. Parte de estas fallas son ocasionadas por posibles asentamientos que ha sufrido el terreno, ya que, según información recolectada, la cimentación es superficial y sobre un terreno de relleno, también se atribuyen a la mala ejecución de las prácticas constructivas en cuanto adherencia del material, las cuales ocasionan fallos en el mampuesto.</p> <p>Si la orientación de la fachada favorece el impacto de la lluvia, será mucho más fácil que se produzcan humedades y pequeñas acumulaciones de agua, lo cual debilita la adherencia de los materiales y, por lo tanto, favorece el desprendimiento.</p>	

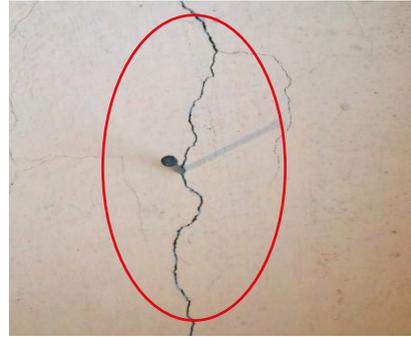
Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Tabla 4. Ficha de información previa vivienda Rosablanca

Fachada de la vivienda	
	
	
<p>De acuerdo con las declaraciones del propietario de la vivienda, desde hace ya bastante tiempo se vienen presentando unos desprendimientos en la fachada, lo cual se puede definir como una separación incontrolada de los materiales de acabados, que se producen como consecuencia de la mala ejecución de la obra y la baja compatibilidad entre los materiales empleados. En esta lesión también incide el efecto de los cambios atmosféricos (acaecimiento del agua lluvia, cambios bruscos de temperatura, etc.) sobre la fachada.</p>	

Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Tabla 5. Ficha de información previa vivienda Rosablanca



En esta pared se presentan fisuras activas, las cuales pueden aumentar o disminuir con el paso del tiempo o debido al asentamiento de la edificación.

Se pueden observar desprendimientos, lo se define como una separación incontrolada de los materiales de acabado, que se produce como consecuencia de la mala ejecución de la obra y la baja compatibilidad de los materiales empleados, en esta lesión también incide el efecto de los cambios atmosféricos como presencia de humedad, dado que al lado se encuentra un baño, el cual puede estar presentando algún tipo de fuga que estaría provocando la lesión descrita.

Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Tabla 6. Ficha de información previa vivienda en Rosablanca





Se observa la presencia de aceros expuestos a la atmosfera, lo cual es un problema muy serio, debido a que se oxidan o corroen e incorporan átomos del medio ambiente, hasta el punto de aumentar su volumen y generar una gran fuerza expansiva, capaz de fracturar el elemento estructural como se puede evidenciar en la imagen.

La presencia de aceros expuestos a la atmosfera se puede presentar también como un acto de construcción para posteriormente poder unir otro elemento estructural y poder seguir con la distribución de las cargas, pero en este caso, según lo que se evidencia, esto sucede por temas de mala ejecución y adecuación del proceso constructivo que maneja este material.

Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Con esto se tiene que los procesos establecidos evitan errores en el dictamen; es fundamental realizar las tomas de los datos en todos los materiales que hace parte de los elementos afectados e incluso los que no lo están, para así tener un diagnóstico completo y detallado; para algunos pacientes se requiere hacer modelaciones, es decir, utilizar un *software* para determinar y verificar aún más la funcionalidad e integridad estructural.

Al no tener el cuidado de estos procedimientos, los resultados pueden ser negativos y contraproducentes para la rehabilitación, que con el tiempo se puede ver con mayor precisión y afectación. Lo ideal, en cualquier caso, es realizar los mantenimientos preventivos y registrar

todos los hallazgos desde la etapa de diseño, por esta razón, a continuación se exponen los elementos que hacen parte de la funcionalidad estructural que integran las construcciones.

La cimentación se refiere a los elementos que están diseñados para ayudar a la estructura en la distribución de las cargas al suelo, para lo cual se tienen los diseños y la construcción de diferentes tipos de cimentaciones tales como:

- Cimentaciones superficiales: están dadas en la construcción próxima a una profundidad máxima de 4,00 metros, entre estas se tiene la cimentación ciclópea, la cimentación flotante, la cimentación en zapatas (aislada, combinada, corrida).
- Cimentaciones profundas: son aquellas que se desplantan en profundidades de más de 4,00 metros, entre las que se tiene las cimentaciones por pilotes, por muros pantalla, por *caissons* (cajones) y por las pilas. En este tipo de cimentaciones es difícil ver las patologías que se generan, puesto que se encuentran enterradas a profundidades mayores, y la inspección visual es el primer recurso para identificarlas y realizar las prevenciones y correcciones a tiempo, por lo tanto, los efectos de dichas patologías se evidencian en los daños en los muros, por lo que nunca están a la vista.

Figura 12. Tipos de cimentaciones





Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Las columnas son elementos diseñados para transmitir las cargas a la cimentación, estas pueden ser diseñadas y construidas en acero, concreto y madera. Los daños que estas pueden presentar están asociados a un mal diseño, a una mala construcción o a la ausencia de calidad en los materiales; algunas lesiones están dada por la pérdida de la sección transversal, reducción del diámetro de los aceros de refuerzo, para las columnas hechas en madera se presenta la degradación del material a consecuencia de la humedad, la lluvia, el fuego y los animales. Ver figura 13.

Las vigas: son elementos estructurales horizontales diseñados para sostener carga entre los apoyos sin crear un empuje lateral, también diseñados para distribuir adecuadamente las cargas que interactúan en el elemento; están diseñados con materiales como el concreto reforzado, acero y madera. Estas piezas trabajan una parte en tensión (momentos negativos) y a compresión (elementos positivos).

Figura 13. Construcción de columnas



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Por lo tanto, en toda construcción es necesario regirnos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010 (NRS-10) (Asosísmica, 2010), en donde encontramos disponible cuatro sistemas estructurales que están dados de acuerdo a las cargas del proyecto, a la funcionalidad, al nivel de importancia y al tipo de suelo en donde se desplante el proyecto. Los sistemas constructivos estos dados por:

- Muros de cargas: este sistema trabaja con cargas verticales en la cual son resistidas por los muros de carga.
- Sistema combinado: este sistema tiene dos consideraciones, por un lado las cargas verticales son soportadas por un pórtico no resistente a momentos, y las horizontales por muros de carga; y por otro lado, las cargas verticales y horizontales son soportadas por un pórtico resistente a momentos.
- Sistema pórtico: este sistema es compuesto por un pórtico espacial resistente a momentos, el cual no requiere diagonales.
- Sistema dual: debe cumplir varios requisitos, entre los cuales están pórticos resistentes a momentos, las fuerzas horizontales son resistidas por pórticos espaciales, diagonales con capacidad de disipación de energía (DES, DMO, DMI) entre otros.

Figura 14. Sistemas constructivos



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Finalmente, en cada uno de los proyectos de índole residencial o comercial en todo el territorio colombiano, los diseños estructurales están reglamentados por medio de la Ley 400 de 1997, el decreto 945 de junio de 2017 y la última actualización al Decreto 2113 del 25 de noviembre de 2019; de la misma manera, tenemos como guía principal el Código ACI 318s-08 y su actualización que es el 318-19, estandarizados para el diseño de elementos estructurales en concreto reforzado; por otro lado, existe la reglamentación de estructuras metálicas como está estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, título F (Asosísmica, 2010), el Código ASTM A615M-96aG60, dentro de las reglamentaciones también tenemos normatividad americana, española y europea y como soporte técnico se tiene las Normas Técnica Colombianas – NTC, que orienta **intervención y hallazgos** a la utilización, colocación y buen uso de los materiales.



Capítulo 3.

Metodología de intervención y hallazgos

Los estudios de patología y geotécnicos en las dos comunidades se desarrollaron por medio del trabajo de la investigación-acción, en donde profesores y estudiantes realizaron un trabajo de campo y laboratorio, basándose en teorías y normas y garantizando la transparencia de los diferentes métodos utilizados; además, las vivencias de estos procesos fueron compartidas con las comunidades vulnerables desde acción participativa, es decir, la comunidad se interesó por su propio bienestar y colaboró en la búsqueda del origen de todas las causas que ocasionaron las lesiones en las edificaciones.

Con lo anterior, fue posible realizar una investigación bien argumentada por medio de la recopilación de documentación (historia), la realización de ensayos de campo y laboratorio, entrevistas a diferentes personas que estuvieron durante todo el proceso de la construcción y del deterioro, esto permitió generar soluciones definitivas ante estos fenómenos de manera colaborativa.

De acuerdo con Creswell (citado por Hernández *et al.*, 2014), el método que se trabajó es de tipo mixto, con el cual se obtuvieron datos cuantitativos y cualitativos, desde una problemática específica hasta llegar a la solución práctica. Los autores citados indican que la investigación-acción se fundamenta en dos bases, la práctica y la participativa; y a su vez, estas enlistan los siguientes ciclos en el proceso.

1. Detección y diagnóstico del problema de investigación.
2. Elaboración del plan para solucionar el problema o introducir el cambio.
3. Implementación del plan y evaluación de resultados.
4. Realimentación, la cual conduce a un nuevo diagnóstico y a una nueva espiral de reflexión y acción (Hernández *et al.*, 2014).

Por consiguiente, para el curso de la investigación se establecieron etapas para organizar las actividades y así mismo facilitar los procesos:

Etapas de estudios de patología

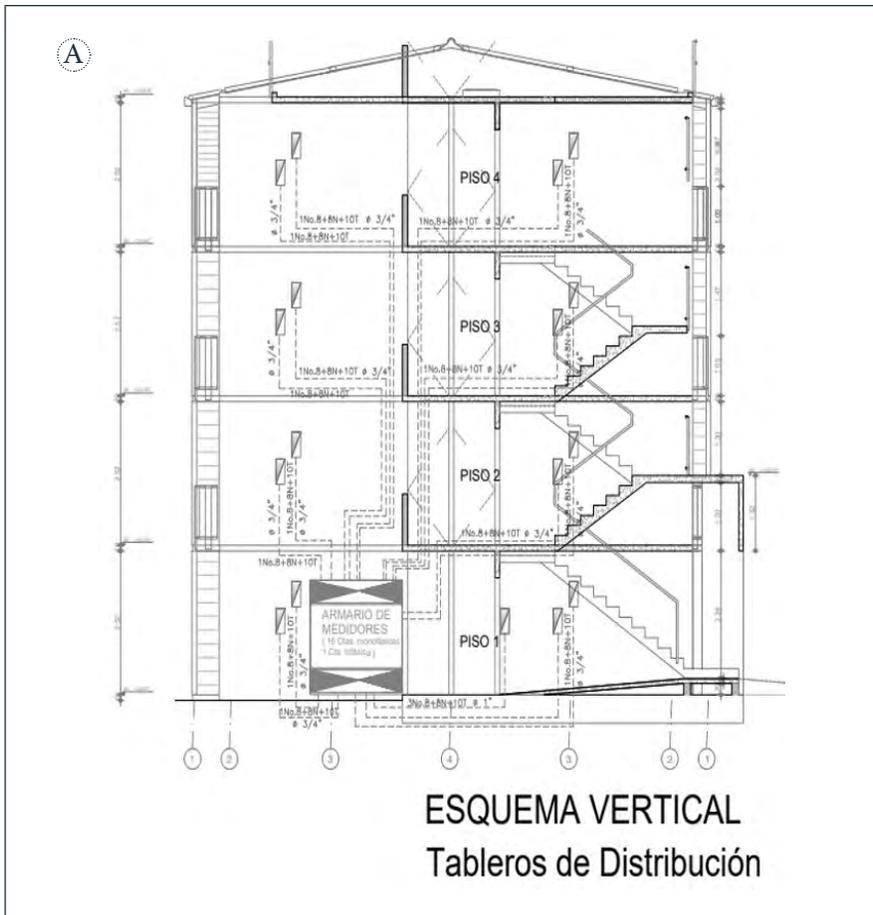
Etapas I. Reconocimiento

Consistió en la identificación visual de las fallas que presentaban las torres y la vivienda unifamiliar, en donde se realizaron varias visitas de campo para la caracterización de las patologías. Desde la observación se localizaron los elementos estructurales y no estructurales que integran las unidades residenciales; las fallas más comunes encontradas fueron grietas, fisuras, humedades, erosiones, desprendimientos y pandeo de muros, adicional a esto, se encontró que la urbanización Valle del Sol carecía de un sistema de aguas lluvias, y en la casa de Rosablanca la vegetación interna estaba provocando una afección en la cimentación por el crecimiento reticular.

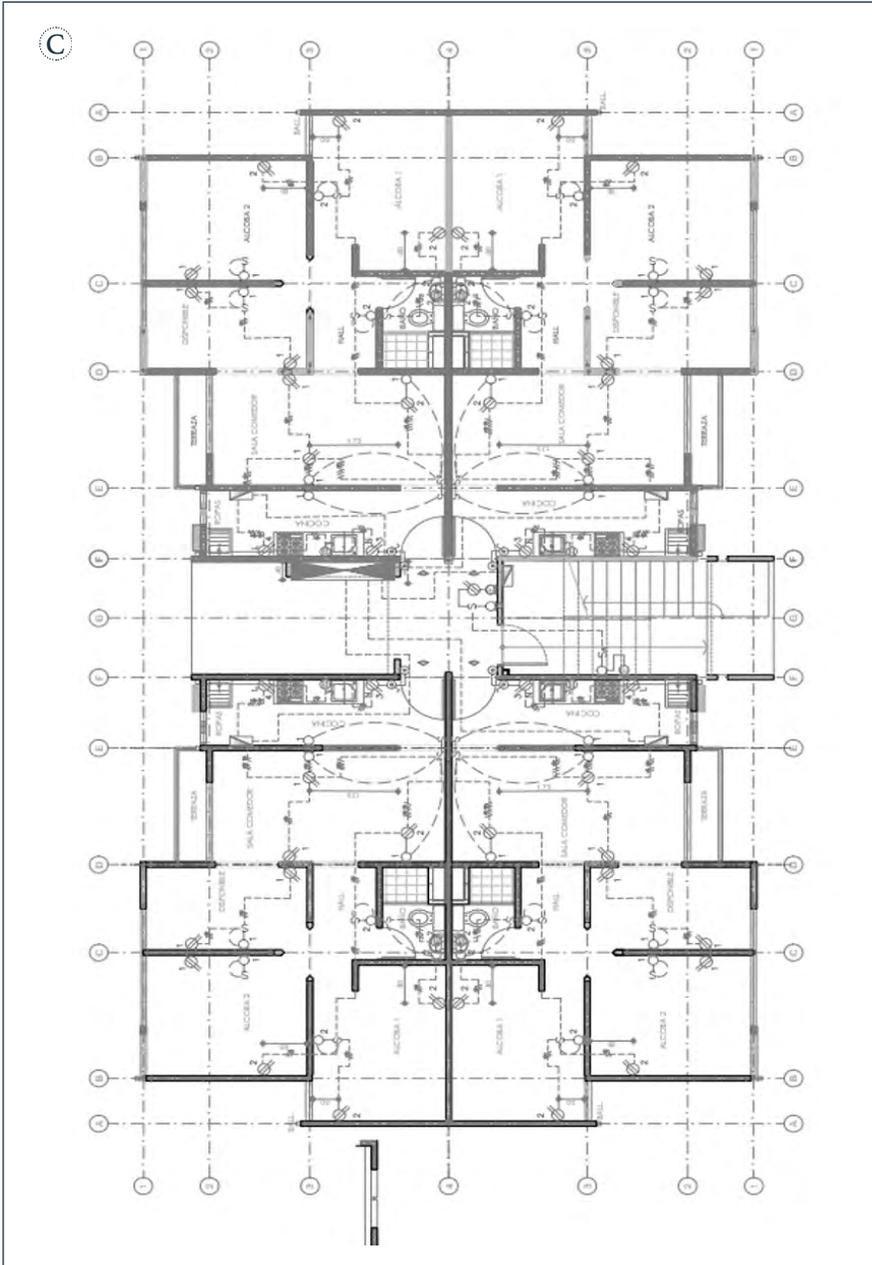
Etapa 2. Historia clínica

Consistió en la recopilación de toda la información de los pacientes, para el caso de Valle del Sol, se habló con la Secretaría de Vivienda, donde entregaron información solo de los planos de urbanismo y eléctricos, los cuales quedaron plasmados en los trabajos de proyección social de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2018 (figura 15).

Figura 15. Planos Urbanización Valle del Sol







Fuente: elaboración propia.

Por esta razón se tomó la decisión de realizar un estudio geotécnico y una evaluación de vulnerabilidad desde la observación. La vivienda localizada en Rosablanca no contaba con planos, ni estudios, solo con el testimonio del propietario, quien informó que esta zona hace muchos años era un lago; en las figuras 16 y 17 se evidencian algunas lesiones anteriormente mencionadas.

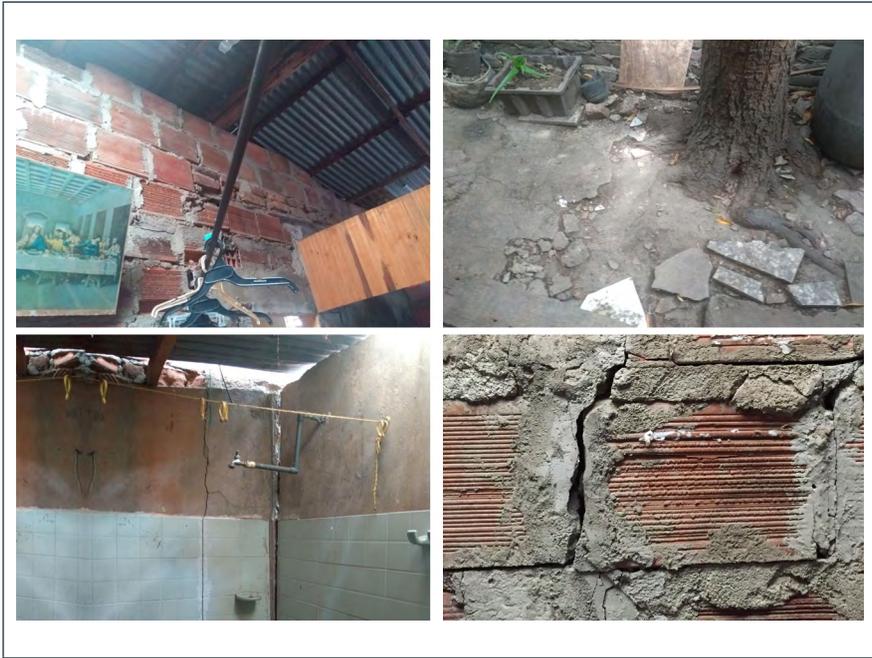
Figura 16. Evidencia de algunas fallas en la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 17. Evidencia de algunas fallas en la vivienda unifamiliar en Rosablanca





Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Partiendo de lo anterior, se determinaron los requerimientos para realizar el estudio de patología e identificar la vulnerabilidad a la que estaban expuestas las diferentes edificaciones y el riesgo que representaba para las personas. En esta etapa, la evaluación de la zona es fundamental para determinar también todos los ensayos que se requieren en la investigación.

En el recorrido de las dos zonas se observó la topografía del lugar con el objeto de determinar factores externos que podían poner en riesgo la estabilidad de las viviendas; estas causas son las siguientes:

- **Hundimientos:** son provocados por suelos inestables con presencia de agua, muestran un movimiento en sentido vertical descendiente, esto se puede evidenciar en una depresión y daños

en la edificación, que incluyen afectaciones en la cimentación. La subsidencia de suelo ha provocado que muchos sectores colapsen, por lo tanto, esta problemática genera que la vivienda sea desalojada para evitar pérdidas humanas.

- **Grietas:** esta afectación en los suelos no se puede predecir con certeza en cuanto inicio, profundidad y dirección de las grietas, sin embargo, estas condiciones pueden estar relacionadas con los hundimientos, por los sismos, por la vegetación, por los efectos volcánicos y por los suelos totalmente secos.
- **Asentamientos:** esta afectación se evidencia en los elementos estructurales y no estructurales que integran la edificación; esto se da a consecuencia de las raíces de los árboles, de tuberías averiadas, por trabajos en movimientos de tierras adyacentes, los suelos constituidos por partículas frágiles de rocas y por las vibraciones. Estas afectaciones en ocasiones no son fáciles de determinar, sin embargo, existen principios que pueden advertir estas consecuencias.
- **Inclinaciones:** son formaciones naturales de los terrenos que sin un manejo de las aguas escorrentías pueden ocasionar que el suelo se vuelva inestable.
- **Discontinuidades:** esta afectación se genera por hundimientos, por fallas geológicas o contacto con formaciones rocosas, es decir, cuando se tiene un cambio de composición mineralógica de los suelos que ocasiona debilidades en la resistencia mecánica (Tomas *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza el recorrido de la zona del lugar para determinar las posibles fallas (figura 18).

Figura 18. Recorrido de las zonas afectadas



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Se puede considerar, de acuerdo con las fotografías de la zona donde se hizo la investigación, que el terreno presentaba ciertas características que podían representar que las edificaciones fueran inestables, por esta razón, se tomó la decisión de realizar los estudios geotécnicos para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, para esto se contempló la toma de los siguientes controles:

Proyecto Urbanización Valle del Sol

1. Granulometría por tamizado: este procedimiento se realiza en dos tiempos; el primero consiste en extracción de las muestras *in situ*, los estudiantes realizaron la excavación de una calicata de dimensiones de 1,00 metros x 1,00 metros x 1,50 metros, para observar el perfil estratigráfico del terreno y tomar las respectivas muestras del suelo.

Figura 19. Pozo a cielo abierto. Excavación de una calicata de dimensiones de 1,00 metros x 1,00 metros x 1,50 metros. Trabajo entre estudiantes y profesores



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

La otra parte del estudio se realizó en el laboratorio de suelos de la institución, en donde se hizo el lavado de las tres muestras, tomándose como peso inicial 3.000 kilogramos, después de lavar la muestra en el tamiz número 200, se llevó al horno a una temperatura aproximada $+110^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, posterior al secado, en la tabla 7 se muestran los pesos y granulometría que se obtuvieron como resultado.

Tabla 7. Granulometría muestra número 1

Granulometría muestra n.º 1 Urbanización Valle del Sol					
Tamices		Peso	%	%	%
Ø	(mm)	Retenido	Retenido	Acumulado	Que pasa
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,800	0,0	0,00	0,00	100,00
1 ½"	38,100	88,0	0,03	0,03	96,61
1"	25,400	74,0	0,03	0,06	93,75
¾"	19,050	76,0	0,03	0,09	90,82
3/8"	9,525	468,0	0,18	0,27	72,77
n.º 4	4,750	424,0	0,16	0,44	56,41
n.º 10	2,000	458,0	0,18	0,61	38,74
n.º 20	0,850	332,0	0,13	0,74	25,94
n.º 40	0,426	256,0	0,10	0,84	16,06
n.º 60	0,250	274,0	0,11	0,95	5,49
n.º 200	0,074	142,0	0,05	1,00	0,02
FONDO		0,4	0,00	1,00	

Nota: Datos de la granulometría muestra 1: 2.592,4 kilogramos de la Urbanización Valle del Sol Girardot, Colombia.

Tabla 8. Granulometría muestra número 2

Granulometría muestra n.º 2 Urbanización Valle del Sol					
Tamices		Peso	%	%	%
Ø	(mm)	Retenido	Retenido	Acumulado	Que pasa
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100
2"	50,800	0,0	0,00	0,00	100
1 ½"	38,100	0,0	0,00	0,00	100
1"	25,400	6,5	0,00	0,00	100
¾"	19,050	0,00	0,00	0,00	100
3/8"	9,525	44,1	0,03	0,05	95

Granulometría muestra n.º 2 Urbanización Valle del Sol					
Tamices		Peso	%	%	%
n.º 4	4,750	304,5	0,23	0,46	54
n.º 10	2,000	74,8	0,06	0,52	48
n.º 20	0,850	76,0	0,06	0,72	28
n.º 40	0,426	66,3	0,05	0,82	18
n.º 60	0,250	28,9	0,02	0,89	11
n.º 200	0,074	59,0	0,05	0,99	1
FONDO		15,8	0,01	1,00	

Nota: Datos de la granulometría muestra 2: 675.1 kilogramos, urbanización valle del sol Girardot, Colombia.

Tabla 9. Granulometría muestra número 3

Granulometría muestra n.º 3 Urbanización Valle del Sol					
Tamices		Peso	%	%	%
Ø	(mm)	Retenido	Retenido	Acumulado	Que pasa
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100
2"	50,800	0,0	0,00	0,00	100
1 ½"	38,100	0,0	0,00	0,00	100%
1"	25,400	0,0	0,00	0,00	100
¾"	19,050	0,0	0,00	0,00	100
3/8"	9,525	4,0	0,00	0,00	100
n.º 4	4,750	244,0	0,20	0,21	79
n.º 10	2,000	406,0	0,34	0,55	45
n.º 20	0,850	150,0	0,13	0,67	33
n.º 40	0,426	102,0	0,09	0,76	24
n.º 60	0,250	86,0	0,07	0,83	17
n.º 200	0,074	186,0	0,16	0,98	2
FONDO		18,6	0,02	1,00	

Nota: Datos de la granulometría muestra 3: 1.196,6 kilogramos, urbanización valle del sol Girardot, Colombia.

Con estos resultados se pudo evidenciar que el suelo de la Urbanización Valle del Sol presentan variabilidad en la estructura de los granos, es decir, que hay presencia de material fino comprendido entre las arcillas y los limos, además los elementos que se retuvieron después de lavado mostraron que también se encuentran componentes granulares de composición de arenas finas, la combinación de estos materiales puede generar deformabilidad y, en consecuencia, producir en la edificación afectaciones.

2. Veleta de campo: en la figura 20, se evidencia la toma de este ensayo de campo.

Figura 20. Medidas de la veleta de campo



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 21. Veleta de campo en el suelo cohesivo con un torquímetro, trabajo entre estudiantes y profesores en el terreno



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Este ensayo se realizó hincando la veleta de campo en el suelo cohesivo con un torquímetro para girarla, y así determinar la fuerza de torsión al corte. Esta debe estar a una profundidad no menor de cinco veces el diámetro del revestimiento y se debe efectuar únicamente en suelos cohesivos, inalterados o remodelados. Ensayo de corte sobre suelos cohesivos en el terreno I.N.V. E – 170 – 13 (Instituto Nacional de Vías [Invías], 2013).

Tabla 10. Características de la veleta empleada

Características de la veleta empleada				
Tamaño del Revestimiento	Diámetro (D) mm (pulgadas)	Altura (H) mm (pulgadas)	Espesor de la lámina mm (pulgadas)	Diámetro de la varilla de la Veleta mm (pulgadas)
NX	63,5 (2 ½)	127 (5)	3,18 (0,125)	12,7 (0,5)

De acuerdo con los datos tomados en campo y con las especificaciones de la norma Inviás 170-2013 se realizaron los cálculos para determinar la resistencia la corte y se tuvo como resultado de 11 ton/m².

3. Control de asentamiento: este ensayo se tomó para verificar y determinar el comportamiento del suelo, es decir, si se estaban presentado movimientos verticales después de 5 años de su construcción:

Figura 22. Toma de niveles para un control de asentamiento en la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Este control de asentamientos inició con el proceso de tomas en las diferentes torres en los meses de septiembre y octubre, mediante la nivelación geométrica con puntos fijos; este proceso debe realizarse desde el momento en que se construye, es decir, cuando el suelo recibe las cargas provenientes de la edificación, ya que puede presentar algunos cambios negativos que se verán reflejados, por lo tanto, el control de asentamiento sirve “como referencia para establecer la efectividad de los cálculos estructurales y en caso de existir algún tipo de asentamientos o rebote, se procederá a detectar en que zona se produce con mayor intensidad” (Ruiz, citado por Pérez, 2017, p. 12).

Figura 23. Control de asentamientos torre 4

Manzana 2a				
TORRE 4				
NIVELETA	29-SEP-19	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,498	314,497	314,497	0,001
2	314,097	314,097	314,097	0
3	314,202	314,202	314,202	0
4	314,665	314,664	314,663	0,002

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Control de asentamientos de las torres 1, 2 y 3

MANZANA 3A				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,253	314,253	314,252	0,001
2	313,683	313,683	313,683	0
3	314,256	314,256	314,256	0
4	313,769	313,769	313,768	0,001

MANZANA 1A				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,349	312,349	312,349	0
2	312,312	312,312	312,312	0
3	312,245	312,245	312,245	0
4	312,901	312,901	312,901	0

MANZANA 3A				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	313,701	313,701	313,701	0
2	312,750	312,750	312,750	0
3	312,950	312,950	312,950	0
4	313,790	313,790	313,790	0

MANZANA 1A				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,381	312,381	312,381	0
2	312,316	312,316	312,316	0
3	312,447	312,446	312,446	0,001
4	312,263	312,263	312,263	0

MANZANA 3A				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,852	312,852	312,852	0
2	312,362	312,362	312,362	0
3	312,452	312,452	312,452	0
4	312,957	312,957	312,957	0

MANZANA 1A				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,472	312,472	312,472	0
2	312,261	312,261	312,261	0
3	312,553	312,553	312,553	0
4	312,468	312,468	312,468	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Control de asentamientos de las torres 1, 2 y 3

MANZANA 3B				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,574	314,574	314,573	0,001
2	314,329	314,329	314,329	0
3	314,363	314,363	314,362	0,001
4	314,548	314,548	314,547	0,001

MANZANA 1B				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	313,468	313,468	313,468	0
2	312,876	312,876	312,876	0
3	313,710	313,710	313,710	0
4	313,945	313,945	313,945	0

MANZANA 3B				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,242	314,242	314,242	0
2	313,823	313,823	313,822	0,001
3	313,795	313,795	313,795	0
4	314,315	314,315	314,315	0

MANZANA 1B				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,904	312,904	312,904	0
2	312,911	312,911	312,911	0
3	313,163	313,163	313,161	0,002
4	313,698	313,698	313,698	0

MANZANA 3B				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	313,715	313,715	313,715	0
2	313,510	313,510	313,509	0,001
3	313,555	313,555	313,554	0,001
4	313,768	313,768	313,768	0

MANZANA 1B				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	312,875	312,875	312,875	0
2	312,403	312,403	312,403	0
3	312,958	312,958	312,958	0
4	313,152	313,152	313,152	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4

MANZANA 2A				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	316,139	316,139	316,139	0
2	316,152	316,152	316,151	0,001
3	316,586	316,586	316,586	0
4	316,419	316,419	316,419	0

MANZANA 2C				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	317,914	317,914	317,914	0
2	318,280	318,280	318,280	0
3	317,753	317,753	317,753	0
4	318,011	318,011	318,011	0

MANZANA 2A				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	315,561	315,561	315,560	0,001
2	315,268	315,268	315,266	0,002
3	315,713	315,713	315,713	0
4	316,282	316,282	316,282	0

MANZANA 2C				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	318,24	318,24	318,24	0
2	317,596	317,596	317,595	0,001
3	317,414	317,414	317,413	0,001
4	317,601	317,601	317,601	0

MANZANA 2A				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	315,305	315,305	315,305	0
2	314,732	314,731	314,731	0,001
3	314,834	314,834	314,834	0
4	315,269	315,269	315,269	0

MANZANA 2C				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	317,503	317,503	317,503	0
2	316,963	316,961	316,961	0,002
3	316,923	316,921	316,921	0,002
4	317,283	317,283	317,283	0

MANZANA 2A				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,498	314,497	314,497	0,001
2	314,097	314,097	314,097	0
3	314,202	314,202	314,202	0
4	314,665	314,664	314,663	0,002

MANZANA 2C				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	317,128	317,128	317,128	0
2	316,756	316,754	316,753	0,003
3	316,669	316,668	316,668	0,001
4	316,839	316,839	316,839	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4

MANZANA 2B				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	317,048	317,047	317,047	0,001
2	316,769	316,768	316,768	0,001
3	317,644	317,643	317,643	0,001
4	317,647	317,646	317,646	0,001

MANZANA 2D				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	318,453	318,452	318,452	0,001
2	318,366	318,365	318,365	0,001
3	319,875	319,875	319,873	0,002
4	318,559	318,559	318,559	0

MANZANA 2B				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	316,7	316,7	316,7	0
2	316,341	316,341	316,341	0
3	317,037	317,037	317,037	0
4	317,676	317,676	317,676	0

MANZANA 2D				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	318,404	318,404	318,404	0
2	317,890	317,890	317,890	0
3	319,524	319,524	319,524	0
4	320,023	320,023	320,023	0

MANZANA 2B				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	316,241	316,241	316,241	0
2	315,233	315,232	315,232	0,001
3	316,304	316,304	316,304	0
4	317,138	317,138	317,138	0

MANZANA 2D				
TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	317,758	317,757	317,757	0,001
2	317,376	317,375	317,375	0,001
3	319,037	319,036	319,036	0,001
4	319,425	319,425	319,425	0

MANZANA 2B					MANZANA 2D				
TORRE 3					TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA	NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	315,166	315,164	315,164	0,002	1	317,346	317,346	317,346	0
2	314,305	314,305	314,305	0	2	316,999	316,998	316,998	0,001
3	315,565	315,563	315,563	0,002	3	318,742	318,742	318,742	0
4	316,185	316,185	316,185	0	4	317,578	317,576	317,576	0,002

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Control de asentamientos de las torres 1, 2, 3 y 4

MANZANA 1C					MANZANA 2D				
TORRE 1					TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA	NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	315,074	315,074	315,074	0	1	315,636	315,636	315,636	0
2	314,934	314,933	314,933	0,001	2	315,471	315,471	315,471	0
3	314,789	314,789	314,787	0,002	3	315,334	315,334	315,334	0
4	315,449	315,449	315,448	0,001	4	316,008	316,008	316,008	0

MANZANA 1C					MANZANA 2D				
TORRE 2					TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA	NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,965	314,965	314,965	0	1	315,250	315,250	315,250	0
2	314,475	314,475	314,475	0	2	314,620	314,620	314,619	0,001
3	314,404	314,404	314,404	0	3	314,974	314,974	314,973	0,001
4	314,571	314,571	314,571	0	4	315,271	315,271	315,271	0

MANZANA 1C					MANZANA 2D				
TORRE 3					TORRE 3				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA	NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	314,464	314,464	314,464	0	1	314,506	314,506	314,505	0,001
2	313,834	313,834	313,833	0,001	2	313,554	313,554	313,554	0
3	313,960	313,960	313,959	0,001	3	314,278	314,278	314,278	0
4	314,590	314,590	314,590	0	4	314,907	314,907	314,907	0

MANZANA 2E				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	319,666	319,666	319,666	0
2	320,129	320,128	320,128	0,001
3	314,740	314,740	314,740	0
4	319,638	319,637	319,637	0,001

MANZANA 2E				
TORRE 1				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	319,164	319,164	319,164	0
2	318,805	318,805	318,805	0
3	318,870	318,868	318,867	0,003
4	319,013	319,012	319,012	0,001

MANZANA 2E				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	319,994	319,994	319,994	0
2	319,377	319,377	319,377	0
3	319,449	319,448	319,447	0,002
4	314,543	314,543	314,543	0

MANZANA 2E				
TORRE 2				
NIVELETA	29-sep-18	6-oct-18	19-oct-18	DIFERENCIA
1	318,859	318,858	318,858	0,001
2	318,444	318,443	318,442	0,002
3	318,324	318,324	318,324	0
4	318,789	318,789	318,788	0,001

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las tablas anteriores, se evidencia que transcurridos 5 años de haber sido construido el proyecto, aún se presentan asentamientos mínimos pero que están activos. Por lo tanto, parte de las fallas encontradas en los apartamentos se pueden atribuir a la composición de suelo y la carencia de obras complementarias para el manejo de las aguas lluvias de acuerdo a la topografía del terreno donde se desplanto.

Proyecto vivienda unifamiliar Rosablanca

Estudio de caracterización del suelo: este ensayo tiene por objeto conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo del lugar de la zona; se realizó por medio del método de exploración pozo a cielo abierto. Ver figura 29.

De acuerdo con los resultados obtenidos en cada una de las muestras extraídas por medio de los ensayos de granulometría, humedad, límites y corte, se obtuvo que el suelo de la casa del barrio Rosablanca está compuesto por material fino con contenidos orgánicos, además se evidenció una capa de 50 centímetros de material de relleno procedente de residuos de construcción y demolición (RC).

Figura 29. Toma de muestras. Ensayo de caracterización del suelo por el método de exploración pozo a cielo abierto



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 30. Granulometría de muestra No. 01 de la vivienda del barrio Rosablanca de Girardot

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA #1
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,0	LIMITE DE CONSISTENCIA
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,0	
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,0	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,0	
3/4	19,050	24,5	6,13%	6,13	93,87	
1/2	12,700	19,8	4,95%	11,08	88,92	
3/8	9,525	11,2	2,80%	13,88	86,12	
1/4	6,350	13,7	3,43%	17,31	82,69	
4	4,750	12,3	3,08%	20,39	79,61	
8	2,380	56,6	14,15%	34,54	65,46	
10	2,000	14,3	3,58%	38,12	61,88	D60 2,78 CU 13,59
16	1,190	34,8	8,70%	46,82	53,18	D30 0,34 CC 0,2
20	0,850	18,9	4,73%	51,55	48,45	D10 0,2
30	0,590	20,6	5,15%	56,7	43,3	% QUE PASA MALLA #4 79,6
40	0,426	27,3	6,83%	63,53	36,47	% QUE PASA MALLA #200 1,13
50	0,297	28,5	7,13%	70,66	29,34	CLASIFICACIÓN S.U.C.S. SP
60	0,250	16,8	4,20%	74,86	25,14	CLASIFICACIÓN AASHTO A-1-a
80	0,180	30,4	7,60%	82,46	17,54	PESO DE LA MUESTRA 1337,20
100	0,149	15,9	3,98%	86,44	13,56	OBSERVACIONES
200	0,074	49,7	12,43%	98,87	1,13	La muestra consiste de arenas mal gradadas
FONDO		4,7	1,18%	100	0	
TOTAL RETENIDO		1337,20				

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Granulometría de muestra No. 02 de la vivienda del barrio Rosablanca de Girardot

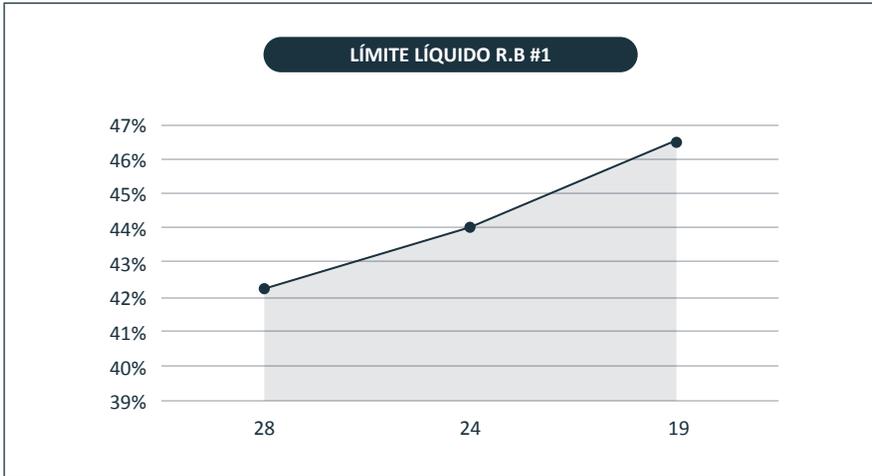
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA #1
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,0	<p style="text-align: center;">LIMITE DE CONSISTENCIA</p> <p>LL</p> <p>LP</p> <p>D60 0,25 CU 1,45</p> <p>D30 0,25 CC 1,46</p> <p>D10 0,17</p> <p>% QUE PASA MALLA #4 88,79</p> <p>% QUE PASA MALLA #200 2,31</p> <p>CLASIFICACIÓN S.U.C.S. SP</p> <p>CLASIFICACIÓN AASHTO A-1-a</p> <p>PESO DE LA MUESTRA 358,70</p> <p>OBSERVACIONES</p> <p>La muestra consiste de arenas mal gradadas</p>
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,0	
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,0	
1"	25,400	26,2	7,3%	7,3	92,7	
3/4	19,050	0	0,00%	7,3	92,7	
1/2	12,700	0	0,00%	7,3	92,7	
3/8	9,525	3,5	0,98%	8,28	91,72	
1/4	6,350	4,4	1,23%	9,51	90,49	
4	4,750	6,1	1,70%	11,21	88,79	
8	2,380	15,5	4,32%	15,53	84,47	
10	2,000	3,8	1,06%	19,59	83,41	
16	1,190	10,3	2,87%	19,46	80,54	
20	0,850	7,6	2,12%	21,58	78,42	
30	0,590	15,6	4,35%	25,93	74,07	
40	0,426	39,9	11,12%	37,05	62,95	
50	0,297	51,3	14,30%	51,35	48,65	
60	0,250	28,8	8,03%	59,38	40,62	
80	0,180	50,8	14,16%	73,54	26,46	
100	0,149	21,4	5,97%	79,51	20,49	
200	0,074	65,2	18,18%	97,69	2,31	
FONDO		8,3	2,31%	100	0	
TOTAL RETENIDO	358,7	100,00%				

Fuente: elaboración propia.

Se nota que el material fino representa más del 50 % en el promedio de las dos muestras, tomándose como peso total 6.000 kilogramos, lo cual indica que el componente granular es muy poco, además, se encuentra en la mayoría en las arenas finas. Por otro lado, los ensayos de plasticidad mostraron las siguientes características:

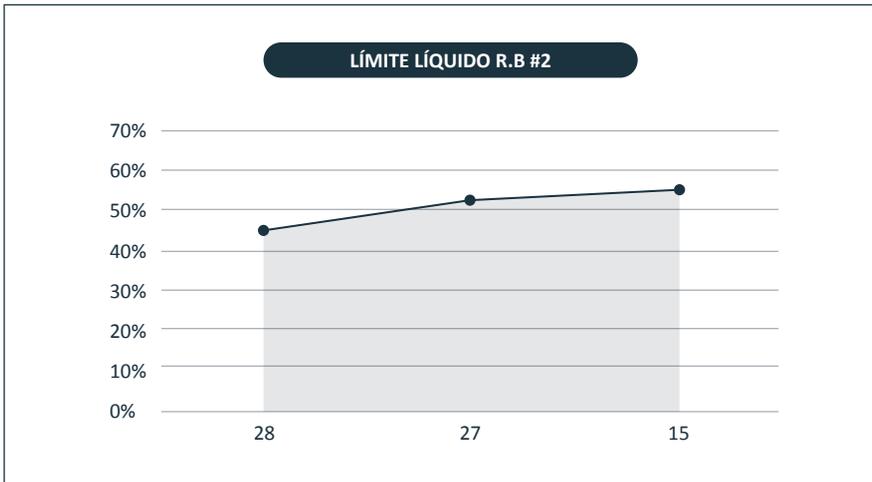
- Permeabilidad: baja.
- Elasticidad: moderado.
- Cambio de volumen: muy algo.
- Capilaridad: alta.

Figura 32. Gráfica límite líquido R.B #1



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Gráfica límite líquido R.B #2



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los hallazgos en el estudio geotécnico demostraron que el suelo contiene material arcilloso y limoso de alta plasticidad, con una capacidad portante de 5,9 ton/m², lo que también estaría provocando la presencia de patologías en la vivienda. Sin embargo, para corroborar los resultados obtenidos, se recomendó a la urbanización que era pertinente realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica por medio de un *software* asistido con el fin de corroborar que las fallas presentes estaban relacionadas con las características del suelo, también se hizo un seguimiento en la etapa 3.

Etapa 3. Ensayos y diagnóstico

Para dar el diagnóstico, se tomó la decisión de realizar ensayos no destructivos, con esto se lograría entender un poco más las lesiones sin afectar la funcionalidad de las edificaciones. Los ensayos que se realizaron en las comunidades fueron seguimiento de fisura y resistencia inicial del concreto con el esclerómetro.

Figura 34. Instalación de testigos zona externa de la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 35. Instalación de testigos zona interna de la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 36. Instalación de testigos y toma con esclerómetro Rosablanca



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Al mismo tiempo, cuando se tomaron los dos ensayos, se hizo el recorrido por los apartamentos y en el interior de la vivienda para anotar las fallas más representativas, en este se encontraron fisuras, grietas, humedades, eflorescencias, erosiones, desplazamientos, oxidación, corrosión y filtración.

Figura 37. Humedades y filtración en los dos proyectos



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 38. Múltiples fallas en los dos proyectos, desde aceros expuestos y eflorescencia



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 39. Múltiples fallas como fisuras, grietas, desprendimientos y desplazamientos en las viviendas de Rosablanca y Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

En relación a la problemática expuesta, se estableció el grado de afectación de cada una de las fallas encontradas para una mejor comprensión del nivel de riesgo y para evitar que las lesiones llegasen hasta a etapa en que los costos sean más elevados para la rehabilitación o que estas se vuelvan una patología forense, por esto, estos pacientes estaban generando alertas entre sus habitantes y la incertidumbre de saber si sus inmuebles estaban en riesgo de colapso. Dichas fallas se describen a continuación:

- **Fisuras:** las causas son de tipo mecánico asociado a la funcionalidad del comportamiento de los materiales y los elementos estructurales y no estructurales. Se reconoce por ser una abertura

o ruptura longitudinal, entendiéndose con su aparición un mal comportamiento que puede estar asociado desde el diseño, hasta la utilización inadecuada de los materiales o que estos no cumplan con los estándares de calidad exigidos por las normas constructivas, su comportamiento está sujeto al agente que lo cause, mostrándose dos tipos de actividad; la pasiva y la activa, esta última, al no ser reparada a tiempo, puede convertirse en una grieta por el aumento de la afectación (Broto, 2005).

- La aparición de una fisura no ocasiona que la vivienda sea desalojada, pero se recomienda realizar el seguimiento del comportamiento en un periodo corto para determinar su actividad y así dar la mejor rehabilitación, muchas rehabilitaciones consisten en realizar un corte de la fisura aumentando un poco su ancho; posterior a esto, se debe realizar la correcta limpieza con chorro de agua o aire, procurando, que la superficie quede libre de residuos sueltos y, finalmente, se instala el material más adecuado con su respectivo acabado. Algunas afectaciones son por temperatura, empujes normal, por fatiga, por pandeo, etc.
- **Grieta:** al igual que la fisura, esta es una abertura longitudinal, pero con una mayor afectación en los elementos, las grietas para nuestro caso estaban enmarcadas en las que fracturan o traspasan al elemento, por esta condición, el grado de riesgo estuvo sujeto a la ubicación y orientación; cuando la grieta se localiza en elementos estructurales o en muros de forma escalonada cortando los mampuestos, debe ser reparada de inmediato, porque su crecimiento puede llevar al colapso parcial o total. Algunas de estas afectaciones se dan por asentamientos, empujes, fatiga, por temperatura, por excesos de carga, etc.
- **Desprendimiento:** esta falla se evidencia en la separación de los materiales por falta de adherencia, este tipo de lesión no representa un peligro en cuanto a la estabilidad de la vivienda, pero sí para la persona que la habita, ya que le puede ocasionar lesiones físicas, es por esto que esta falla debe ser reparada de inmediato dando una mejor adherencia al nuevo material.

- **Humedad:** se puede presentar al tener nivel freático, por tener filtraciones en zonas expuestas a la intemperie sin el respectivo recubrimiento o protección, también por tratarse de un lugar totalmente cerrado sin ventilación. Esta clase de patología en principio no representa una mayor afectación, sin embargo, si la presencia de esta se ocasiona en un elemento estructural puede llevar a la aparición de múltiples fallas que pueden terminar en el colapso del elemento o de la edificación.
- **Erosión:** esta lesión se presenta generalmente en los elementos expuestos a la intemperie, y ocasionan la pérdida del material ya sea parcial o total. Esta falla, por lo general, no ocasiona que la vivienda sea desalojada, pero se debe reparar en un periodo temprano para evitar el aumento.
- **Suciedad:** esta patología no representa peligro alguno para la edificación ni para las personas que la usan, sin embargo, se recomienda realizar los mantenimientos previos para evitar que partículas extrañas a los elementos se adhieran.
- **Organismos:** estos son la presencia de animales o vegetales en la edificación que con el tiempo generan lesiones secundarias como fisuras y pérdida de resistencia en los materiales por los excrementos de los animales, ya que estos contienen químicos agresivos. Estas lesiones se deben tratar desde el momento en que se presenten porque pueden llegar a afectar la integridad de los elementos, aunque al comienzo no presenten afectación alguna para las que personas que la habitan.
- **Eflorescencia:** esta lesión se puede presentar por presencia de agua y por procesos químicos del material con el medio ambiente. No representa afectaciones para la edificación y para los habitantes, pero se recomienda realizar la limpieza.
- **Oxidación:** lesión presente por exposición de los aceros y sin tener algún recubrimiento que lo proteja del medio ambiente. Esta lesión no presenta riesgo alguno para los elementos estructurales ni para las personas que lo utilizan, la reparación es muy sencilla.

- Corrosión:** esta lesión se deriva de la oxidación, cuando el elemento no fue protegido a tiempo y le ha ocasionado pérdida de sección. Esta condición representa una afectación en la funcionalidad de la estructura y se recomienda realizar la reparación a tiempo para que no se convierta en un riesgo.

Los resultados de los ensayos no destructivos se muestran en la figura 40, allí se evidencia que la resistencia inicial del concreto en la Urbanización Valle del Sol están enmarcadas dentro de las especificaciones de concretos superiores a 21 Mpa (mega pascales).

Figura 40. Resultado con esclerómetro de los ensayos no destructivos realizados en la Urbanización Valle del Sol

TOMA DE MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
UBICACIÓN TOMA	pañete muro fachada Posterior	1° piso pared escalera	2° piso entrada de escalera a los apt	viga 2° piso	viga 2° piso	muro escalera 3° piso	descanso escalera entre 3° y 4° piso	escalera entre 3° y 4° piso	placa 1º piso	escalera 1° piso
1	20	28	44	36	43	40	40	45	50	38
2	18	31	40	31	44	40	42	46	54	38
3	19	29	41	31	46	42	40	44	54	37
4	20	28	43	36	46	43	35	47	49	42
5	20	36	42	40	50	42	36	43	48	36
6	21	28	45	36	46	42	38	49	48	42
7	20	30	42	40	44	41	42	44	48	43
8	18	28	45	38	44	43	40	43	55	44
9	20	29	43	35	44	40	38	49	54	43
10	20	29	42	42	45	40	39	52	51	42
PROMEDIO	20	30	43	37	45	41	39	46	51	41
ANGULO IMPACTO	0°	-90°	-90°	0°	0°	0°	-90°	90°	90°	90°
Kgf/cm2	0	250	440	310	430	370	380	390	480	310
LB/PUL2	0	3555	6257	4408	6115	5261	5404	5546	6826	4408

Fuente: elaboración propia.

Mientras que en barrio Rosablanca, los resultados no cumplieron con lo estipulado en la NTC 3692, ya que se presentó una desviación, por lo que fue necesario descartarlo; cabe resaltar que estas condiciones pueden dar un indicio de que los concretos no cumplen con la resistencia mínima exigida por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

En este sentido, se tiene que las fallas presentes en la Urbanización Valle del Sol y la vivienda de Rosablanca tenían diferentes connotaciones; algunas eran leves y otras graves, por lo que UNIMINUTO generó el diagnóstico, anotando la importancia de realizar la rehabilitación de todas las fallas. Adicionalmente, se tiene que muchos materiales fueron instalados de una manera incorrecta, lo cual denota que la mano de obra utilizada no era calificada para las actividades; cabe considerar, por otra parte, que la carencia de obras complementarias generó el acelerado deterioro de los materiales, puesto que los asentamientos llevaron a la presencia de las fallas.



Capítulo 4.

Propuesta de intervención

Posterior a los estudios de patología, estudios geotécnicos y la inspección visual de la vulnerabilidad sísmica realizados en la Urbanización de Valle del Sol y la vivienda unifamiliar ubicada en el barrio Rosablanca, los profesores y estudiantes del área de Proyección Social de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO del programa de Ingeniería Civil, Centro Regional Girardot, realizaron el análisis correspondiente a partir de los resultados obtenidos, lo cual permitió la formulación de las propuestas de intervención relacionadas a continuación, que posteriormente fueron presentadas a la Alcaldía Municipal y Gobernación de Cundinamarca; adicionalmente, surgieron nuevas propuestas de intervención que la misma comunidad en asocio con UNIMINUTO – Girardot, lograron realizar en su localidad.

Figura 41. Fachada Valle del Sol (izquierda) y vivienda unifamiliar del barrio Rosablanca en Girardot (derecha)



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

A partir de los hallazgos encontrados durante la realización del estudio de patología e inspección de vulnerabilidad sísmica y del análisis de las condiciones del terreno, en el cual fueron construidas la edificaciones Urbanización Valle del Sol y la vivienda unifamiliar del barrio Rosablanca para su destino habitacional y ocupacional, recordando que se encuentran ubicadas en el municipio de Girardot, departamento de Cundinamarca, se determinó la propuesta de intervención para cada una de las unidades residenciales, con el objeto de preservar, conservar y potenciar el valor de las edificaciones existentes; teniendo en cuenta que es imprescindible mantener la correcta funcionalidad de estas para la reducción del riesgo sísmico, incluso en regiones de clasificación de baja sismicidad (Rey *et al.*, 2018).

Propuesta de intervención para la Urbanización Valle del Sol

La intervención para este proyecto se plantea a partir de las múltiples irregularidades encontradas en cada uno de los hallazgos y testimonios de la misma comunidad, además cabe resaltar que este es un proyecto

relativamente nuevo, y que presenta anomalías constructivas significativas, es por esto que se realizó una serie de procedimientos mencionada en capítulos anteriores para determinar el origen y la causa de cada una de las fallas en los inmuebles de la urbanización.

Figura 42. Evidencias patológicas encontradas en las fachadas de las torres y en el interior de los apartamentos de la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

En consecuencia, se establecen las posibles causas de las patologías presentes, y con ello se determina el origen de cada una de ellas:

- Inadecuado manejo de las aguas lluvias y de la conducción de aguas escorrentías: para la construcción de la Urbanización de Valle del Sol, en los diseños iniciales se contempló el manejo de las aguas

Lluvias, no obstante, durante el desarrollo de la construcción, el presupuesto solo alcanzó para la edificación de las torres y algunos aspectos complementarios de contención, por lo tanto, no es de desconocimiento de nadie que algunas lesiones encontradas son de origen atmosférico, especialmente a causa de la pluviosidad de la zona y de la topografía del entorno, por lo tanto, al no realizarse estas obras de conducción de las aguas lluvias y aguas de escorrentías se generó la infiltración al suelo de fundación. Debido a lo anterior, el muro de contención se vio afectado, producto a la erosión interna y externa, y se originó un movimiento en masa que comprometió la estabilidad de las torres que se encontraban próximas a la corona del talud.

- Estos malos manejos provocaron en la urbanización la pérdida de estabilidad en la capacidad portante del suelo, presencia de humedades ascendentes, eflorescencias y demás afectaciones nombradas en el capítulo 3; además, las aguas escorrentías provocaron la saturación del suelo, lo que causó erosiones internas y externas que dieron origen a la inestabilidad de algunos inmuebles en la zona norte, donde se ubica el muro de contención, como se evidencia en la figura 43, las fotografías a, b y c muestran cómo la erosión ocasionada por las aguas lluvias y las aguas de escorrentías general generaron la pérdida de estabilidad del talud.

Figura 43. Muro de contención existente





Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

De acuerdo con lo anterior, se establecen dos propuestas de intervención de acuerdo al grado de afectación, en donde se genera un documento entregado como proyecto de monografía en el diplomado denominado “Diseños y rehabilitación de estructuras en concreto” a la urbanización y a la Alcaldía Municipal. En este se propone la demolición y reconstrucción del muro, para que sea adecuado para el empuje, para esto se propone la realización de elementos estructurales principales como muros de contención de hormigón reforzado que soportan los volúmenes cúbicos de tierra, en su proceso de edificación se deberá realizar la instalación de los desagües (lloraderos) para prevenir el volcamiento por la presión hidrostática que se genera en el elemento

estructural; para mantener la vida útil del muro de contención se realizará un filtro francés y una canaleta para la conducción de las aguas lluvias y de las que proviene de la escorrentía (Brufau *et al.*, 2015).

Figura 44. Sector en estado crítico. Zona afectada por el movimiento en masa (desplazamiento del suelo) en la Urbanización Valle del Sol



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Por otro lado, la zona continua del muro se encontraba en un estado crítico debido a los movimientos en masa que se estaban presentando en este sector, en consecuencia de las altas precipitaciones que provocaron que el talud se encontrara a punto de colapsar. Por lo tanto, los profesores y estudiantes, junto con la comunidad, construyeron un muro de contención con la reutilización de llantas, teniendo en cuenta que, según la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), el 79 % del residuo de las llantas se destina para el sector energético, lo cual contribuye con el medio ambiente (Vega, 2020). Se organizaron, entonces, las estrategias para la obtención de las llantas que son la materia prima para darle de nuevo la estabilidad a esa masa de suelo que se estaba activando; con esta estructura de materiales reciclados generamos confianza a la

comunidad mostrando el manejo de diversos materiales para resolver los problemas *in situ* (sitio), esto demuestra el compromiso que tenemos hacia el medio ambiente. En la figura 45, se muestra la construcción del muro de contención perimetral con la reutilización de llantas para darle estabilidad a esa masa de suelo en la Urbanización Valle del Sol.

Figura 45. Ubicación del muro de contención perimetral



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Esta solución es una alternativa ecológica, la cual cumple la función de responder a las demandas sobre la inestabilidad de taludes, movimientos en masa, desplazamientos por injerencia de las aguas de escorrentía y de la erosión (Mamani, 2020). Este tipo de obra se caracteriza por ser un sello icónico frente a la problemática de los desechos, a la vez que previene la proliferación de roedores e insectos que impactan negativamente a la comunidad (Sánchez, 2018).

Figura 46. Neumáticos utilizados en la construcción del muro de contención



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Figura 47. Estado zonas comunes de la Urbanización Valle del Sol

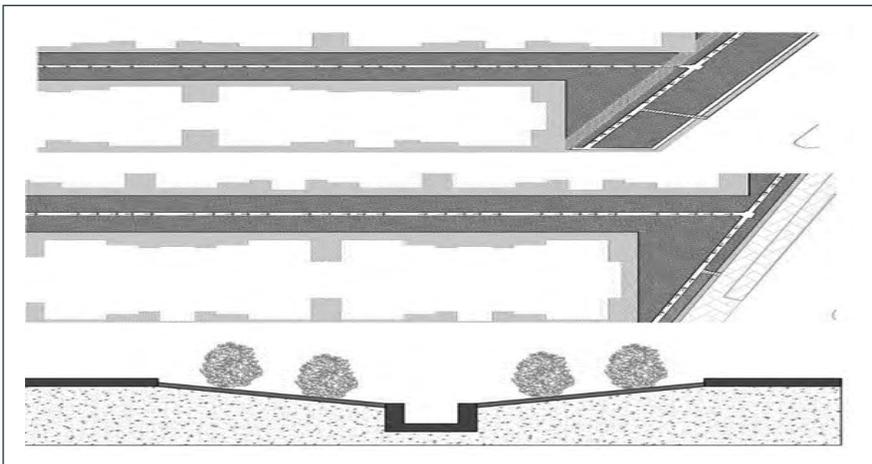


Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Adicional a la construcción de los muros, en las zonas comunes se recomendó la elaboración de canaletas de conducción de las aguas lluvias a los sumideros, sifones o pozos, además, se deberá contemplar la adecuación de andenes perimetrales para que las aguas escorrentías no sigan afectando la estabilidad de las torres y así evitar el progresivo asentamiento que aún se presenta y que se pueden observar en la figura 47. Para lo anterior, se proponen varios diseños y alternativas de rehabilitación:

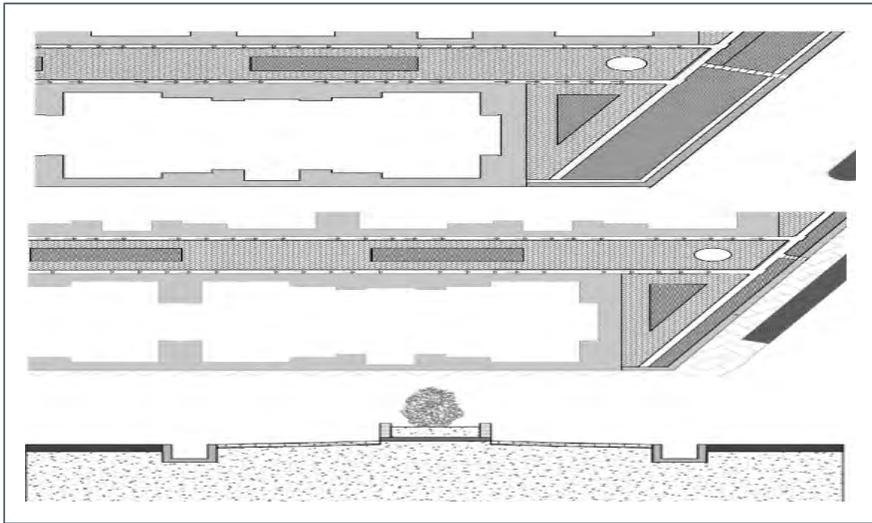
1. La elaboración del sistema de recolección de aguas lluvias, en el cual el direccionamiento del agua de escorrentía se realizará mediante una cuneta en el centro entre los bloques y la parte del suelo no intervenida se recubrirá con material vegetal vivo para parar el movimiento de material fino.
2. Elaboración del sistema de recolección de aguas lluvias, donde el direccionamiento del agua de escorrentía se realizará mediante cunetas al lado de cada andén, se fabrican jardineras y la parte del suelo no intervenida se adoquina para parar el movimiento de material fino y disminuir la filtración de agua al suelo.

Figura 48. Diseño sistema de recolección de aguas lluvias (mediante una cuneta)



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Diseño sistema de recolección de aguas lluvias (mediante cunetas al lado de cada andén)



Fuente: elaboración propia.

Propuesta de intervención vivienda unifamiliar

La casa de Rosablanca ubicada en la comuna 4 del municipio de Girardot, se construyó alrededor del año 1977, y según el artículo “Desarrollo de la normativa sísmo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición” (García, 2015), el primer código se generó el 1984, por tal razón, este inmueble no tuvo una construcción bajo una normatividad legal, es decir, que es usual que no contemple elementos estructurales.

Dado a lo anterior, y con la información del estudio de patología y el estudio geotécnico, se determina la propuesta más adecuada para el bienestar de las personas que hacen uso de esta unidad residencial, la cual consiste en realizar un nuevo diseño, partiendo de que los daños encontrados se presentaban en más de un 80 %, sin embargo, cabe resaltar que esta opción es de decisión final por parte del propietario de la vivienda. Por lo tanto, para realizar el nuevo diseño se contempla:

1. Retirar completamente el material vegetal o relleno y realizar la pertinente cimentación a una profundidad mínima de -1,60 metros.
2. Diseñar la cimentación de tal manera que la presión máxima de contacto no exceda a 6,0 ton/m² tanto para zapatas cuadradas o rectangulares como para cimientos corridos, usando las cargas de servicio.
3. Inmediatamente terminadas las excavaciones para la construcción de las zapatas de fundación y obras de contención, se debe proteger el fondo con un solado de concreto pobre, según la norma NSR-10 (Asosísmica, 2010), para evitar el remoldeo y la alteración de las propiedades físico-mecánicas del suelo de fundación por acción de las lluvias y la intemperie.
4. Para realizar el diseño de elementos estructurales y no estructurales conforme con la normatividad vigente, NSR-10, y determinar el sistema estructural utilizando el título E o en su defecto el título A para la intervención y su posible rehabilitación del inmueble.

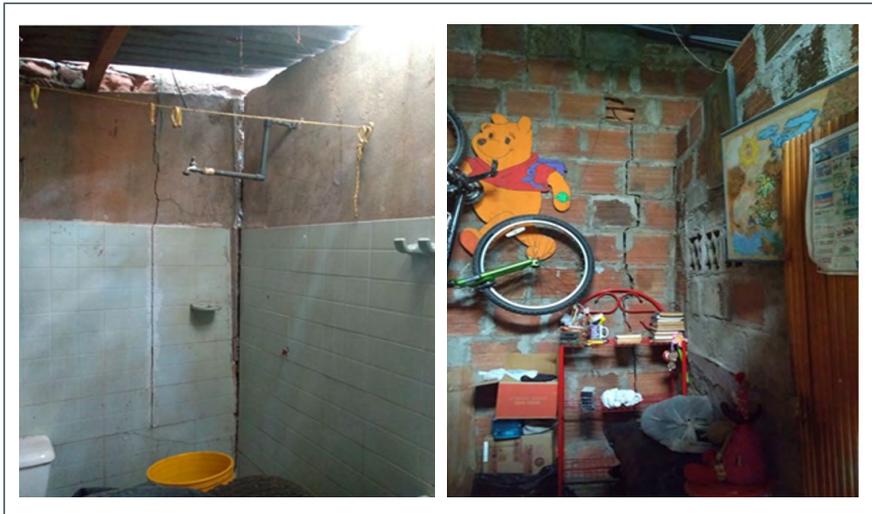
Figura 50. Toma de muestras vivienda unifamiliar para la realización de los estudios geotécnicos



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Dicho lo anterior, es importante mencionar que el propietario expresa que el inmueble está ubicado en una zona que antiguamente era una laguna, en la figura 51, se evidencia que la vivienda presenta asentamientos diferenciales.

Figura 51. Asentamientos diferenciales en la vivienda unifamiliar en el barrio Rosablanca



Fuente: fotografía del proyecto, 2018.

Por último, de acuerdo con el ingeniero Luis Enrique García (2015), el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 ha venido evolucionado cada 14 años, aproximadamente, con lo que mejoran los parámetros de diseño, construcción y supervisión técnica, sin embargo, la mano de obra ha sido un problema eminente en muchas edificaciones por la falta de capacitación de los trabajadores. Puesto que cada proyecto es único, para beneficio de este, se recomienda generar una contextualización del mismo.

Conclusiones

Desde el cambio hacia la transformación de vidas de personas en estado de vulnerabilidad, el programa de Ingeniería Civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios –UNIMINUTO Centro Regional Girardot establece mecanismos de interacción con los habitantes de la comunidad de la Urbanización del Valle del Sol y el barrio Rosablanca, con el ánimo de diagnosticar el estado de las viviendas y así seguir fortaleciendo el vínculo entre la universidad y las comunidades vulnerables, teniendo en cuenta que la universidad siempre está al servicio de la región.

Por ello, la proyección social que la Corporación Universitaria Minuto de Dios ofrece es fundamental y cumple una función sustantiva muy importante, y es apoyar y establecer procesos permanentes de integración e interacción con agentes y sectores sociales e institucionales, con lo cual se promueve la articulación entre los saberes y conocimientos propios de cada una de las disciplinas y las necesidades y cualidades identificadas en contextos sociales, a través de acciones académicas e investigativas que permitan fortalecer el tejido social y cultural del país (UNIMINUTO, 2017).

Por consiguiente, se establecen seis estrategias de desarrollo para la actuación:

1. Práctica en responsabilidad social - CED
2. Articulación
3. Proyectos de desarrollo económico y social
4. Emprendimiento y empleabilidad - EPE
5. Educación continúa
6. Graduados

El trabajo ejecutado en las dos comunidades se enmarca en los proyectos de desarrollo económico y social, mediante la aplicación del conocimiento de estudiantes y profesores a través de investigaciones que generaron respuestas a la incertidumbre de los habitantes.

Por esta razón, todas las actividades que se desarrollaron en la Urbanización Valle del Sol y en la casa unifamiliar de Rosablanca permitieron el trabajo con comunidades de características complejas, como personas desplazadas por la violencia, desmovilizados y reubicados por zona de desastre en la rivera de los ríos Magdalena y Bogotá, lo cual implicó realizar actividades de sensibilización, motivación y capacitación durante un periodo de un año con trabajos conjuntos con estas comunidades para la socialización y ejecución del proyecto.

Las etapas para la realización del proyecto consistieron en lo siguiente:

- Sensibilizar: lograr que la comunidad aceptara el ingreso de la institución, mediante el proyecto denominado “Ingeniero a tu barrio”, y que este a su vez fuese aceptado por ellos.
- Motivar: el proyecto estableció para la comunidad los ítems de valor económico, salvaguardar la integridad física y de vidas humanas y el patrimonio familiar.
- Capacitar: mediante el proyecto se establecieron jornadas de capacitación a toda la comunidad.

- Trabajar en conjunto: los trabajos de campo realizados por los profesores y estudiantes lograron incentivar a la comunidad para realizar trabajos armónicos y eficientes.

La acción social ejecutada por los estudiantes y los profesores llevó a realizar trabajos de campo y laboratorio donde se establecieron las acciones de mejora de cada afectación o problemática encontrada, por esto, algunas obras complementarias que se realizaron ayudaron a dar estabilidad a zonas que se diagnosticaron como inestables; esto evidenció la labor social del don del servicio, dado desde la formación integral de UNIMINUTO, mediante el compromiso de formar profesionales altamente capacitados, que ejerzan una ética inculcada por valores desde la moral, entregando una práctica transparente orientada a favorecer el desarrollo de la sociedad.

Producto del trabajo de patología y los informes, se establecieron varias reuniones con las partes que intervenían en el proyecto de la Urbanización de Valle del Sol, con la Secretaría de Vivienda, la constructora, la interventoría y el presidente de la comunidad, en estas se generó un ambiente de trabajo colaborativo, enfocado en brindar la mejor solución a las problemáticas existentes en el momento; es por esto que el proyecto fue el soporte fundamental para la toma de decisiones y acciones técnicas a realizar, con lo que se tuvo como resultado el cumplimiento de las garantías a las acciones correctivas para las torres afectadas, dentro del marco legal y constructivo.

Por otro lado, las actividades llevadas a cabo en la urbanización dieron como resultado que el proyecto lograra materializar todo el trabajo mediante la aceptación de noticiero Caracol en el espacio denominado “Es el momento de todos”, emitido por Canal Caracol, que es uno de los medios más importantes del país. La nota periodística mostró todo el trabajo que el programa de Ingeniería Civil de la Corporación Universitaria Minuto de Dios Centro Regional Girardot realizó desde la proyección social como proyecto de desarrollo en comunidades vulnerables, esto generó una mayor aceptación entre las comunidades y el interés en tener un “Ingeniero a tu barrio”.

Finalmente, el proyecto denominado “Ingeniero a tu barrio” rompe los esquemas en cuanto a la solidaridad de las universidades para con las comunidades, siendo esta una labor que se desarrolló en conjunto con los habitantes, con el ánimo de mejorar las condiciones de habitabilidad que se estaban presentando en toda la infraestructura. Prueba de ello es que gracias al seguimiento y al duro trabajo realizado, la Alcaldía Municipal de Girardot apoyó el informe técnico e hizo que la constructora realizara las respectivas rehabilitaciones locativas de las torres, sin embargo, aún está pendiente la adecuación de las zonas comunes para la conducción de las aguas lluvias y la construcción del muro de contención para garantizar la estabilidad del talud que se encuentra próximo a las torres.

Referencias

- Alerta por inundaciones y accidentes en varios municipios. [Fotografía]. (3 de mayo de 2013). *El Extra*. <https://girardot.extra.com.co/alerta-por-inundaciones-y-accidentes-en-varios-municipios-39757>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.
- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Links International. https://higieneysseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf
- Brufau, R., Bretón, C., Pierantoni, F. y Guillén, D. (2015). Edificio Caixa Forum en Zaragoza. *Sciencedirect*, 66(277), 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2015.11.003>
- Carbonell, M. (2009). El momento fundacional de los derechos. Notas sobre la declaración de los Derechos del Hombre y del Ciudadano de 1789. *Estudios De Derecho*, 66(148), 59-79. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/red/article/view/5206>

- Carofilis, W., Perrone, D., O'Reilly, G. J., Monteiro, R. y Filiatrault, A. (2020). Modernización sísmica de edificios escolares existentes en Italia: evaluación del rendimiento y estimación de pérdidas. *Engineering Structures*, 225, 111243. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111243>
- Carretero, M. J., Rodríguez, C. E., Bienvenido, D. y Moyano, J. J. (2021). Interrelaciones entre los tipos de daños y sus causas originales en la envolvente de los edificios. *Journal of Building Engineering*, 39, 102235. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102235>.
- Constitución Política de Colombia [Const.]. Art. 51. 7 de julio de 1991 (Colombia).
- Corporación Universitaria Minuto de Dios. (2017). Sistema Educativo UNIMINUTO. Proyección Social. <http://sisteduniminuto.blogspot.com/2017/04/proyeccion-social.html#more>
- De Brito, J. y Gaspar, P. (2005). Mapeo de la sensibilidad a los defectos en revoques de mortero externo. *Construction and Building Materials*, 19(8), 571-578. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014>
- Decreto 1921 de 2012. Por el cual se reglamentan los artículos 12 y 23 de la Ley 1537 de 2012. 17 de septiembre de 2012. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49407>
- Decreto 945 de 2017. Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR -I O. D.O. n.º 50255. 5 de junio de 2017. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30031744>
- Decreto 2113 de 2019. Por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 - Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras Disposiciones. D.O. n.º 51148. 25 noviembre de 2019. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30038562>

- Díaz, P. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/12694>
- El desplome de un edificio en Buenaventura deja tres heridos y varias casas afectadas. (09 de noviembre de 2017). *El País*. <https://www.elpais.com.co/valle/el-desplome-de-un-edificio-en-buenaventura-deja-tres-heridos-y-varias-casas-afectadas.html>
- “Fallas del diseño provocaron colapso del Chirajara”: Coviandes. (26 de abril de 2018). *Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/por-que-colapso-y-se-cayo-el-puente-de-chirajara/564972/>
- Flórez, L. C. (2014). Responsabilidad del municipio de Medellín en el caso del edificio Space. *Derecho Público*, 33. <http://dx.doi.org/10.15425/redepub.33.2014.03>
- García, L. E. (2015). Desarrollo de la Normativa Sismo Resistente Colombiana en los 30 años desde su primera expedición. *Revista de Ingeniería*, (41), 71-77. <http://dx.doi.org/10.16924/riua.voi41.785>
- Hernández, C. (28 de abril de 2017). Buscan a los hermanos Quiroz, constructores piratas en Cartagena. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/caida-de-edificio-en-cartagena-82478>
- Hernández, S. R, Fernández, C. C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a ed.). McGraw-Hill Education.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). *NTC 5551 Concretos, Durabilidad de Estructuras de Concreto*. Icontec.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Ensayo de corte sobre suelos cohesivos en el terreno I.N.V. E – 170 – 13*. Invías.

- Islam, R., Nazifa, T. H., Mohammed, S. F., Zishan, M. A., Yusof, Z. M. y Mong, S. G. (2021). Impactos de las deficiencias de diseño en el costo de mantenimiento de edificios residenciales de gran altura y medidas de mitigación. *Journal of Building Engineering*, 39, 102215. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102215>
- Kanniyapan, G., Nesan, L. J., Mohammad, I. S., Tan, S. K. y Ponniah, V. (2019). Criterios de selección de material de construcción para optimizar la mantenibilidad. *Construction and Building Materials*, 221, 651-660. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.108>
- Las 'perlas' tras tragedia del estadio de Neiva. (23 de agosto de 2016). *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/tragedia-en-estadio-plazas-alcid-de-neiva-48615>
- Ley 400 de 1997. Por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes. 9 de agosto de 1997. D.O. n.º 43113. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=336>
- Madureira, S., Flores-Colen, I., de Brito, J., y Pereira, C. (2017). Planificación de mantenimiento de fachadas en edificios actuales. *Construction and Building Materials*, 147, 790-802. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.195>
- Mamani, F. W. (2020). *Estabilización de taludes con muros de llantas recicladas* [Trabajo fin de grado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4079>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (4 de julio de 2013). *467 familias de Girardot ganan en sorteo público su casa gratis*. [Fotografía]. <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/467-familias-de-girardot-ganan-en-sorteo-publico-su-casa-gratis>
- Pavco (s.f). Manuales técnicos. <https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

- Pérez, O. D. (2017). *Apoyo en las labores topográficas aplicadas al control de movimientos de edificaciones en la empresa Ruiz Bernal Topografía S.A.S* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7542>
- Pinilla, J. F. y Rengifo, M. (2012). *La ciudad y el derecho*. Editorial Temis.
- Rey, J., Vegas, P. y Ruiz, J. (2018). Estrategias de intervención estructural sobre edificios del patrimonio histórico industrial de Madrid: realizaciones recientes. *Hormigón y Acero*, 69(285), e27-e35. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2018.05.001>
- Rojas, A. A. (31 de julio de 2014). Ingeniería y patología. *Construcción y Tecnología en Concreto*. <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2014/ingenieria.pdf>
- Sánchez, E. J. (2018). *Muros en tierra reforzada con entramado de llantas de desecho* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69326>
- Se desploma el edificio Space en Medellín. (02 de octubre de 2013). *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/se-desploma-el-edificio-space-en-medellin/>
- Sika Colombia (s.f.) Manual de productos. <https://col.sika.com/es/manual-de-productos.html>
- Tomas, R., Herrera, G., Delgado, J. y Peña, F. (2009). Subsistencia del Terreno. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (17.3), 295-302. <https://core.ac.uk/download/pdf/39078091.pdf>
- Vega, M. V. (2020). *Iniciativas nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia* [Trabajo fin de grado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7844/1/233203-2020-I-GA.pdf>
- 467 familias de Girardot ganan en sorteo público su casa gratis. <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/467-familias-de-girardot-ganan-en-sorteo-publico-su-casa-gratis>

Anexo 1

Conceptos y definiciones

Para acercarnos un poco más al análisis de las diferentes enfermedades presentes en una edificación, es necesario aclarar algunos conceptos que se tratarán en este tomo, esto con el fin de facilitar la lectura de este libro.

Los conceptos que se describen a continuación son tomados de la Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción, la Norma Técnica Colombiana NTC 5551 y de los manuales técnicos de Pavco Colombia S.A.S y Sika Colombia S.A.S.

- **Agua de desagüe:** la baja velocidad de flujo y la alta temperatura de las tuberías de desagüe puede generar hidrógeno sulfurado, que en presencia de la humedad forma al ácido sulfúrico, que es altamente corrosivo con ataque y destrucción del concreto, y produce descascamiento intermitente que puede producir ablandamiento y desprendimiento del agregado.
- **Anomalía:** es una indicación de un posible fallo.
- **Asiento plástico:** se produce como respuesta a la exudación durante las tres primeras horas de colocado, dependiendo de la temperatura. En general, se trata de fisuras amplias y poco profundas de escasa trascendencia estructural.
- **Asientos del terreno:** si una columna se asienta, debido al descenso de la cimentación, se disminuye su carga, por lo tanto, lleva esa disminución a las columnas próximas.

- **Ataques por bases:** si las bases como el hidróxido de sodio o soda cáustica y el hidróxido de amonio o amoniaco penetran en el concreto y se concentran en una zona determinada, producen daño físico por cristalización y expansión a partir de la reacción entre el hidróxido y el bióxido de carbono proveniente del aire.
- **Ataques por sales:** las sales son compuestos químicos derivados de ácidos o bases formadas de la reacción entre ellos, usualmente, solubles en agua. Los cloruros y nitratos de amonio, magnesio, hierro y aluminio atacan al concreto, siendo el más peligroso el de amonio. Por su importancia, la acción de los sulfatos de calcio, sodio o magnesio deben ser tratados independientemente.
- **Burbuja:** pequeña cavidad o poro creado a partir de la acumulación de burbujas de aire y de agua atrapadas entre la cara de la formaleta y el concreto.
- **Congelación:** con temperaturas menores de 0 °C los esfuerzos producidos por el cambio de estado líquido a sólido dan lugar a agrietamientos y deterioro de la pasta, si no se toman las medidas adecuadas. El aumento de volumen puede ser de un 9 %.
- **Contracción térmica inicial:** producida por el calor de hidratación derivado de la reacción de hidratación del cemento. De acuerdo a la calidad del concreto, la temperatura del núcleo del elemento estructural a las 24 horas será de 4 a 6 veces mayor que la temperatura ambiental, recién se igualarán a los 5 o 6 días.
- **Defecto de modulación:** el defecto se presenta cuando la distribución de las formaletas no sigue un patrón estándar o uniforme. Pueden presentarse en el concreto otros defectos no contemplados en el alcance de este estudio. Si se desea profundizar más en otros defectos, se recomienda la lectura del reporte 24 de 1971 del Concrete Industry Board (CIB) titulado “Tolerances on blemishes of concrete”.

- **Deformaciones:** manifestación de cualquier variación en la forma del material.
- **Desalineamiento:** cambio abrupto en la alineación o las dimensiones de los elementos de concreto a causa del desplazamiento de una formaleta con respecto a la adyacente.
- **Descascaramiento:** eliminación accidental de la superficie provocada por la adherencia del concreto a la formaleta.
- **Desgaste por abrasión:** se define por el desgaste de la superficie por procesos de fricción o rozamiento. La causa más importante de abrasión de pisos y pavimentos es producida por el paso de personas, circulación de vehículos o rodadura de objetos o máquinas, más que las partículas arrastradas por el viento.
- **Desgaste por cavitación:** es la erosión progresiva del concreto originada por el flujo no lineal de aguas limpias a velocidades sobre los 12 m/seg, donde se forman burbujas de vapor, que cuando ingresan a una región de alta presión colapsan con un gran impacto, pueden desgastar grandes áreas de la superficie de concreto en tiempos comparativamente pequeños.
- **Desgaste por erosión:** se define por el deterioro causado por la acción abrasiva de fluidos o sólidos en movimiento. La magnitud de la erosión depende del número, velocidad, tamaño, perfil, densidad y dureza de las partículas en movimiento por unidad de tiempo. Siendo producido por acciones mecánicas debido al oleaje. La resistencia la da el árido grueso.
- **Desprendimiento:** separación de un material de acabado y el soporte al que se ha adherido.

- **Erosión:** existen procesos muy variados de erosión del concreto, parte de ellos ligados a usos industriales específicos; otros son de tipo más general.
- **Fallo:** es la finalización de la capacidad de un elemento para desempeñar la función requerida.
- **Fisuras:** aberturas longitudinales incontroladas que solo afectan a la superficie o al acabado del elemento constructivo.
- **Figuración en mapa:** es una figuración que afecta superficialmente al elemento de concreto y que suele aparecer entre 1 y 15 días a partir del vaciado. La profundidad rara vez llega al centímetro y, por tanto, tiene poca trascendencia estructural. Su origen está en las tensiones superficiales motivadas por un alto contenido de humedad.
- **Fluencia:** básicamente consiste en la deformación del concreto a tensión constante que se desarrolla a lo largo del tiempo y es adicional a la que produce instantáneamente, o en pocos minutos, cuando se aplican tensiones al concreto.
- **Fuga de lechada:** mancha blancuzca en forma de reguero de agua que se presenta en el concreto por el exceso de agua en la lechada.
- **Grieta:** aberturas longitudinales incontroladas que afectan todo el espesor de un elemento constructivo.
- **Grieta por asentamiento:** grieta superficial que ocurre por el desarrollo de esfuerzos en el concreto. la aparición de fisuras en la superficie puede ser un hecho normal debido al comportamiento del concreto como material estructural, por lo tanto, solo se consideran como defectos aquellas que, por su tamaño, afecten la apariencia del concreto y brinden un aspecto inseguro a la estructura.

- **Hormiguero:** exposición del agregado grueso y vacíos irregulares en la superficie de concreto cuando el mortero presente en la mezcla no logra cubrir todo el espacio alrededor de los agregados.
- **Humedad:** presencia de agua en un mayor en un material o elementos constructivos.
- **Irregularidad dejada por los tensores:** irregularidad en la zona alrededor de los tensores usados para unir los distintos módulos de las formaletas. Los defectos sobre estas áreas son los mismos ya definidos como burbujas y hormigueros; sin embargo, ya que se presentan en un lugar tan específico, se consideran un defecto independiente.
- **Lesión:** manifestación visible de un proceso patológico.
- **Lesión física:** manifestación visible por fenómenos físicos.
- **Lesiones mecánicas:** manifestación física a consecuencia de movimientos.
- **Líneas de acumulación de finos:** vetado de la superficie del concreto donde el agregado fino queda expuesto debido a la exudación extrema a través de la formaleta.
- **Líneas entre capas:** líneas horizontales presentes en la superficie del concreto, que indican la frontera entre distintos tiempos de colocación, aun en un mismo vaciado.
- **Obras en contacto con abonos naturales:** como el estiércol, que no es un agente agresivo, pero que sufre reacciones químicas similares a las de las aguas residuales y entraña los mismos riesgos.
- **Patología:** estudio de las enfermedades.
- **Patología de la construcción:** estudios de las enfermedades que presenta una edificación.

- **Rebaba:** proyección delgada y lineal de concreto que se presenta entre los espacios y uniones de formaletas cuando parte del mortero presente en la mezcla logra pasar a través de éstas.
- **Refuerzo o reforzamiento:** es el incremento de la capacidad que un elemento no dañado tiene para cumplir su función.
- **Rehabilitación o reparación:** es la recuperación de la capacidad de los elementos estructurales que tenían antes de producidos los daños.
- **Retracción plástica:** se produce entre la primera y sexta hora a partir de la colocación y sus daños son frecuentes en elementos superficiales como losas, muros, etc., especialmente cuando la evaporación del agua exudada es más rápida que la velocidad de acudida del agua de la masa interna a la superficie, frenada por la acción capilar en los poros del concreto. Generalmente son fisuras amplias y poco profundas de escasa trascendencia estructural.
- **Restauración:** es conseguir que la construcción sea utilizable.
- **Retracción hidráulica:** consiste en la disminución del volumen que experimenta el concreto endurecido, cuando está expuesto al aire con humedad no saturada. Se debe simultáneamente a reacciones químicas y a la reducción de humedad. Las fisuras suelen ser finas, pero que afectan en profundidad al elemento estructural y, por tanto, su trascendencia debe ser estudiada en cada caso.
- **Suciedad:** depósito de partículas en suspensión sobre la superficie de fachadas.
- **Transparencia del agregado:** apariencia moteada en la superficie, originada por deficiencias en el mortero, donde el agregado se encuentra cubierto por una delgada película de lechada que permite verlo a través de ella.

-
- **Variación del color:** vetas de color presentes en la superficie del concreto. Pueden presentarse debido a deficiencias en la mezcla y se manifiestan en forma de manchas, humedad, ensuciamiento, oxidación, eflorescencias o contaminación.
 - **Variaciones higrométricas:** los cambios de humedad también afectan las dimensiones, si estas están coartadas se producen estados tensionales en la estructura.
 - **Variaciones térmicas:** influidas por la humedad y si el árido es calizo o silíceo, las tensiones generadas pueden llegar a la figuración de los elementos. Las tensiones se pueden controlar mediante la disposición de juntas de dilatación, apoyos móviles, etc.

Este libro tiene como propósito generar a estudiantes de pregrado y posgrado del área de ingeniería civil y afines, y a todo el gremio de la construcción; aportes significativos en la inspección e identificación de lesiones que pueden llegar a presentar las edificaciones. Este libro es producto de labor social que realiza el programa de ingeniería civil con el proyecto "Ingeniero a Tu Barrio"; en colaboración con la comunidad, estudiantes y profesores. Además, generar apropiación social del conocimiento mediante la innovación, el desarrollo y la articulación de la proyección social con la investigación.

El libro permite que el lector pueda apoyarse en él, como una guía que le servirá de estudio reflexivo ante el cuidado de las obras y ser garante de salvaguardar vidas frente a problemáticas semejantes como las experiencias contenidas en el libro.



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de calidad al alcance de todos

Sede Cundinamarca