

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): EMERSON ANDRÉS APELLIDOS: PÉREZ MONTEJO

NOMBRE(S): KEVIN ANDRÉS APELLIDOS: QUINTERO GARCÍA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JOSE RICARDO APELLIDOS: PINEDA RODRÍGUEZ

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): JOSÉ DANIEL APELLIDOS: PALACIOS PABÓN.

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): "**PATOLOGÍAS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES**"

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo identificar y proponer medidas para mitigar factores asociados al desarrollo de patologías en estas estructuras. Se clasificaron las patologías, se analizó su impacto estructural, se identificaron factores de influencia y se creó una guía práctica. La metodología fue aplicada y exploratoria, principalmente documental con visitas y consultas. La población incluyó todas las obras civiles en Colombia con cimentaciones superficiales, y la muestra se enfocó en casos de patologías. Los resultados abordaron la identificación de factores asociados y la elaboración de una guía práctica. En resumen, el trabajo ofreció un enfoque integral y práctico para entender y solucionar patologías en cimentaciones superficiales, respaldado por investigación documental y análisis exploratorio.

PALABRAS CLAVE: cimentaciones, estructuras superficiales, patología estructural.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 167 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM: 1

Copia No Controlada

PATOLOGÍAS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES

EMERSON ANDRÉS PÉREZ MONTEJO

KEVIN ANDRÉS QUINTERO GARCÍA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023

PATOLOGÍAS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES

EMERSON ANDRÉS PÉREZ MONTEJO

KEVIN ANDRÉS QUINTERO GARCÍA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Especialista en estructuras

Director:

I.C. Sp. MSc. JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ.

Codirector:

I.C. Sp. JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 19 DE DICIEMBRE DE 2023 **HORA:** 04:00 p.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: "PATOLOGÍAS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES".

MODALIDAD: MONOGRAFÍA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA
ING. JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ

DIRECTOR: INGENIERO JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ
CODIRECTOR: INGENIERO JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO:	CALIFICACIÓN:	
		NÚMERO:	LETRA:
EMERSON ANDRÉS PÉREZ MONTEJO	1010138	4.2	CUATRO, DOS

APROBADA

ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ
PEÑARANDA

ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA

ING. JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ

Vo. Bb. ADRIANA RODRÍGUEZ LIZCANO
Directora Plan de Estudio Especialización en Estructuras



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 19 DE DICIEMBRE DE 2023 **HORA:** 04:00 p.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: "PATOLOGÍAS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES".

MODALIDAD: MONOGRAFÍA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA
ING. JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ

DIRECTOR: INGENIERO JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ
CODIRECTOR: INGENIERO JOSÉ DANIEL PALACIOS PABÓN.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO:	CALIFICACIÓN:	
		NÚMERO:	LETRA:
KEVIN ANDRÉS QUINTERO GARCÍA	1010139	4.2	CUATRO, DOS

APROBADA

ING. JORGE FERNANDO MARQUEZ
PEÑARANDA

ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA

ING. JOSE RICARDO PINEDA RODRÍGUEZ

Vc. **Dr. ADRIANA RODRÍGUEZ LIZCANO**
Directora Plan de Estudio Especialización en Estructuras

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. El Problema	15
1.1 Título	15
1.2 Planteamiento del Problema	15
1.3 Formulación del Problema	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 Justificación	17
1.6 Alcance y Limitaciones	18
1.6.1 Alcance	18
1.6.1 Limitaciones	19
1.7 Delimitaciones	20
1.7.1 Delimitación espacial	20
1.7.2 Delimitación temporal	20
1.7.3 Delimitación conceptual	20
2. Marco Referencial	21
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	21
2.1.1 Estado del arte	21
2.2 Marco Teórico	43
2.2.1 Corrosión y fisuración	43

2.2.2 Asentamientos diferenciales	45
2.2.3 Excavación	46
2.3 Marco Conceptual	48
2.3.1 Agrietamiento	48
2.3.2 Cimentación superficial	48
2.3.3 Corrosión	49
2.3.4 Humedad del terreno por capilaridad	53
2.3.5 Diseño estructural	53
2.3.6 Fisuración	58
2.3.7 Hundimiento diferencial	59
2.3.8 Materiales de construcción	60
2.3.9 Patologías estructurales	64
2.3.10 Procedimientos constructivos	65
2.4 Marco Contextual	68
2.4.1 Ubicación espacial	68
2.5 Marco Legal	69
3. Diseño Metodológico	71
3.1 Tipo de Investigación	71
3.1.1 Investigación según el propósito	71
3.1.2 Investigación según el nivel	71
3.1.3 Investigación según la estrategia	71
3.2 Población y Muestra	72
3.2.1 Población	72

3.2.2 Muestra	73
3.3 Instrumentos para la Recolección de Información	74
3.3.1 Fuentes primarias	74
3.3.2 Fuentes secundarias	74
3.4 Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos	75
3.5 Fases y Actividades Específicas del Proyecto	76
3.5.1 Fase 1. Revisión de literatura y marco teórico	76
3.5.2 Fase 2. Análisis de casos reales	76
3.5.3 Fase 3. Consulta a profesionales	76
3.5.4 Fase 4. Propuesta de alternativas	77
3.5.5 Fase 5. Conclusiones y difusión	77
4. Resultados	78
4.1 Clasificación de las Patologías en Cimentaciones Superficiales más Recurrentes y sus Factores Causales	78
4.1.1 Factores que inciden en la presencia de patologías en las edificaciones	79
4.2 Analizar el Impacto Estructural Generado Por las Patologías en Cimentaciones Superficiales	90
4.2.1 Estudio de casos reales	93
4.2.2 Encuesta	135
4.3 Guía Práctica	155
4.3.1 Objetivos y alcance ampliados	155
4.3.2 Tipos de patologías detallados	156
4.3.3 Diagnóstico y corrección detallados	157

4.3.4 Normativas y marco legal ampliados	157
4.3.5 Estrategias de mejora del terreno detalladas	157
4.3.6 Conclusión de la guía práctica	157
5. Conclusiones	77
6. Recomendaciones	160
Referencias Bibliográficas	161
Anexos	

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagramas típicos de agrietamiento para concreto normal	48
Figura 2. Tipos de cimentaciones superficiales	49
Figura 3. Representación electroquímica del concreto y el acero	50
Figura 4. Tipos de corrosión de armaduras en el hormigón	52
Figura 5. Humedad por capilaridad.	53
Figura 6. Cargas sobre una cimentación superficial	54
Figura 7. Distribución de la tensión transmitida al terreno	54
Figura 8. Distribución de tensiones en función de la naturaleza del suelo	55
Figura 9. Zapata medianera	55
Figura 10. Zapata concéntrica	56
Figura 11. Zapata esquinera	56
Figura 12. Zapata continua con su sección crítica	57
Figura 13. Losas de cimentación	57
Figura 14. Fisura por asentamiento plástico	58
Figura 15. Fisuras por asentamiento plástico ante grupo de barras en un mismo plano	59
Figura 16. Asentamiento diferencial	59
Figura 17. Medición de ángulo de las corrugaciones	61
Figura 18. Sección transversal de barra corrugada	61
Figura 19. Identificación de una barra corrugada	62
Figura 20. Geomalla	62
Figura 21. Geomembranas	63

Figura 22. Georedes	63
Figura 23. Geocompuestos	63
Figura 24. Agrietamiento presentando debido a fallas geológicas, con presencia de moho	82
Figura 25. Grietas y fisuras en el piso	96
Figura 26. Grieta existente en los muros	97
Figura 27. Escaleras de acceso a los baños en la institución Antonia Santos	97
Figura 28. Crecimiento de material biológico en la estructura	98
Figura 29. Fisuras en enchape y muro	103
Figura 30. Análisis de cimentación existente 1	108
Figura 31. Análisis de cimentación existente 2	108
Figura 32. Ficha de apique inmueble Mi Vieja Barranquilla	110
Figura 33. Grietas en muros de baño y cocina, grietas pasantes en vanos de puertas	111
Figura 34. Grieta sobre vano de puerta deposito	111
Figura 35. Afectaciones al patio 1	112
Figura 36. Espesor de fisuras y grietas del piso del patio 1	112
Figura 37. Exploración suelo de cimentación – interfaz suelo-estructura	117
Figura 38. Apique de cimentación esquinera	119
Figura 39. Ausencia de zapata bajo columna	119
Figura 40. Fisuras y grietas en muros	120
Figura 41. Anden y calles con presencia de hundimientos	121
Figura 42. Muros de sobre cimiento en ladrillo doble-contención material	122
Figura 43. Daños en el acceso al edificio abril del 2019	125
Figura 44. Daños en el acceso al edificio junio del 2019	125

Figura 45. Vista frontal puerta de acceso a parqueadero	126
Figura 46. Vista frontal daños en la portería	127
Figura 47. Vista generales daños en costado norte de edificio Manglar	127
Figura 48. Vista frontal daños en muros y placa de terraza	128
Figura 49. Estado del edificio Manglar agosto de 2019, durante construcción del edificio	131
Figura 50. Profesionales que cuentan con estudios relacionados a patologías	136
Figura 51. Rango de experiencia en campo de los profesionales	137
Figura 52. Patologías más comunes que afectan a las cimentaciones superficiales	138
Figura 53. Factores que contribuyen a la formación de patologías	138
Figura 54. Principales factores geotécnicos que causan patologías en cimentaciones superficiales	139
Figura 55. Agentes externos que contribuyen a la corrosión del armado de las cimentaciones	140
Figura 56. Principales patologías que han identificado los profesionales según su experiencia	141
Figura 57. Técnicas de prevención de patologías en cimentaciones superficiales	142
Figura 58. Medidas correctivas efectuadas por los profesionales	143
Figura 59. Materiales y técnicas para la prevención de asentamientos diferenciales	144
Figura 60. Importancia del diseño estructural para la prevención y mitigación de patologías	145
Figura 61. Medida para la prevención de la corrosión en la armadura.	147
Figura 62. Incidencia de los procesos constructivos en la formación de patologías	148
Figura 63. Factor más relevante para la prevención de patologías	150

Resumen

Este trabajo titulado “Patologías en Cimentaciones Superficiales” tuvo como objetivo principal identificar los factores asociados al desarrollo de patologías en estas estructuras, proponiendo medidas para mitigarlos y garantizar un desempeño estructural a largo plazo. Para lograrlo, se plantearon objetivos específicos que incluyeron la clasificación de patologías según mecanismos de deterioro, el análisis del impacto estructural de las más comunes, la identificación de factores de influencia, y la elaboración de una guía práctica que aborde causas, consecuencias y medidas de mitigación. La metodología adoptó un enfoque aplicado y exploratorio, siendo predominantemente documental, con visitas a casos y consultas a expertos como complemento. La población abarcó todas las obras civiles en Colombia con cimentaciones superficiales, incluyendo profesionales del diseño, construcción y supervisión, mientras que la muestra se centra en casos individuales de patologías. Los resultados incluyeron la identificación de factores asociados, la clasificación y análisis de patologías comunes, y la creación de una guía práctica. En conclusión, el trabajo abordó de manera integral el estudio y propuestas de soluciones para las patologías en cimentaciones superficiales, ofreciendo un enfoque práctico respaldado por investigación documental y análisis exploratorio.

Introducción

Las cimentaciones cumplen un rol fundamental al soportar y transmitir las cargas al suelo, pero con frecuencia presentan defectos que reducen su vida útil y generan impactos estructurales adversos. Patologías comunes como hundimientos diferenciales, corrosión y problemas durante la excavación afectan negativamente el desempeño de zapatas superficiales, cimientos corridos y losas de cimentación. El objetivo del proyecto es realizar una guía práctica con el fin de brindar recomendaciones útiles para prevenir y minimizar las principales patologías identificadas en cimentaciones superficiales en Colombia, abarcando las causas, consecuencias y opciones de mitigación. Ello permitirá proporcionar herramientas valiosas para profesionales, constructores y propietarios con el fin de mejorar la durabilidad, confiabilidad y seguridad de estas fundaciones

Los resultados esperados son una guía práctica que aborde las principales causas y consecuencias de las patologías más comunes en cimentaciones superficiales en Colombia. El enfoque será compilar y sistematizar información relevante sobre los casos reportados de patologías en cimentaciones en el contexto local, analizando las causas y efectos de cada problema. A partir de este análisis, la guía proveerá orientación clara y útil para identificar riesgos, prevenir problemas futuros y actuar a tiempo ante signos iniciales de deterioro.

El alcance incluirá sólo las fundaciones más habituales en el país, este trabajo tiene proyectado realizarse en un semestre, revisando casos colombianos y enfocándose en proporcionar una perspectiva práctica de las medidas constructivas y de seguimiento que los diferentes actores involucrados pueden implementar para mitigar las principales patologías identificadas.

1. El Problema

1.1 Título

Patologías en cimentaciones superficiales.

1.2 Planteamiento del Problema

Las cimentaciones superficiales como zapatas, cimientos continuos y losas son estructuras fundamentales para garantizar la estabilidad y función adecuada de las edificaciones. Sin embargo, con frecuencia aparecen diferentes patologías en estas cimentaciones que afectan negativamente su desempeño y generan problemas estructurales.

Uno de los problemas más comunes detectados es el hundimiento diferencial y excesivo de cimentaciones, el cual se debe principalmente a suelos blandos, inestables, excavaciones inadecuadas y fallas en el diseño y materiales. Esto causa agrietamiento del concreto y separación de muros que amenazan la integridad estructural de los edificios.

Otras patologías son la corrosión de armados en las losas y zapatas producto de agua y sales en el suelo. Todas estas anomalías reducen significativamente la capacidad portante y vida útil de las cimentaciones, generando importantes afectaciones en la infraestructura.

De no implementarse medidas correctivas para prevenir o minimizar estas patologías, se prevén consecuencias graves como el colapso parcial o total de las estructuras, poniendo en riesgo la seguridad y la función de las edificaciones.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuáles son los factores asociados que contribuyen al desarrollo de las principales patologías identificadas en cimentaciones superficiales, y cómo pueden minimizarse para garantizar su adecuado desempeño estructural a largo plazo?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar los factores asociados al desarrollo de las principales patologías en cimentaciones superficiales y así proponer medidas que permitan mitigarlos y poder así garantizar un adecuado desempeño estructural a largo plazo.

1.4.2 Objetivos específicos

Clasificar las patologías más recurrentes en cimentaciones según mecanismos de deterioro (fisuración, hundimiento, desplazamiento, etc.) y factores causales (constructivos, geotécnicos, ambientales, químicos, etc.).

Analizar el impacto estructural generado por las patologías más comunes en cimentaciones superficiales.

Identificar factores de influencia en cada patología (suelos, materiales, diseño, construcción, exposición ambiental, etc.) y posibles interacciones e interdependencias entre patologías.

Realizar una guía práctica que aborde las principales causas y consecuencias de las patologías más comunes en cimentaciones superficiales en Colombia, como también unas posibles medidas de mitigación de estas patologías.

1.5 Justificación

Las cimentaciones superficiales son estructuras fundamentales para la estabilidad y funcionamiento adecuado de las edificaciones. Sin embargo, diversas patologías tienden a desarrollarse durante su construcción y servicio, reduciendo su vida útil y generando impactos estructurales adversos.

Este proyecto busca generar una guía donde se indiquen las principales patologías abordando las causas y consecuencias, para así poder proponer posibles medidas de mitigación de las patologías más frecuentes. Si se logran implementar soluciones efectivas, se podrán prevenir daños estructurales en edificios, así como pérdidas humanas, económicas y limitaciones en su servicio y operación.

La investigación propuesta aportará recomendaciones específicas y adaptadas al contexto colombiano, basadas tanto en una rigurosa revisión de la literatura como en el análisis de caso de diferentes cimentaciones afectadas. Esto permitirá complementar y fortalecer los estándares y normativa actuales, orientando su adecuación y mejora continua.

Los beneficios serán diversos:

Garantizar la vida útil y seguridad estructural planeada para obras civiles como hogares, escuelas y hospitales.

Evitar costos elevados de reparación o reforzamiento de cimentaciones dañadas.

Reducir probabilidades de colapsos parciales o totales que ponen en riesgo vidas humanas.

Contribuir al desarrollo sostenible mediante la optimización de recursos en la construcción y mantenimiento de infraestructura.

Por lo anterior, este proyecto se considera prioritario por su impacto positivo sobre la ingeniería civil en Colombia, tanto a nivel técnico como económico y social.

1.6 Alcance y Limitaciones

1.6.1 Alcance

Este proyecto se enfocará en identificar las principales patologías en cimentaciones superficiales, detallando sus causas y consecuencias, para así poder proponer posibles medidas de mitigación. Se abordarán particularmente aquellas patologías asociadas a:

Hundimientos diferenciales y excesivos.

Corrosión y agrietamiento del concreto.

No se incluirán en el alcance otras patologías como hongos, termitas u otros organismos destructivos como tampoco se analizarán cimentaciones profundas como pilotes.

Los resultados esperados son:

Una guía práctica que sea de ayuda para identificar las patologías que se producen en las cimentaciones superficiales como también algunas medidas de mitigación de las mismas.

No se busca desarrollar nuevos modelos teóricos o métodos avanzados, sino proponer soluciones prácticas y de factibilidad técnica validada con expertos, que se puedan implementar directamente en proyectos de cimentaciones superficiales.

1.6.1 Limitaciones

Acceso limitado a casos reales de cimentaciones afectadas: Se dependerá principalmente de casos reportados en la literatura para el análisis de patologías y propuesta de soluciones.

Información incompleta sobre algunas patologías: Por la amplitud del tema, es posible que no se disponga de toda la data requerida sobre ciertas anomalías específicas.

Validez de expertos limitada a opinión: No será posible validar con pruebas directas en el campo las soluciones propuestas, dependiendo de la opinión experta sobre su factibilidad técnica y alcance potencial.

Análisis cualitativo más que cuantitativo: Se realizará un estudio más conceptual que numérico, dadas las limitaciones de tiempo y recursos para abordajes matemáticos o de simulación avanzada.

Resultados de alcance general: Las recomendaciones y guías estarán orientadas a la mayoría de casos, sin entrar en detalles específicos de diseño para cada tipología estructural.

Ámbito nacional: Se abordará principalmente desde el contexto colombiano, por lo que la aplicabilidad a otros países puede variar.

Aspectos no considerados: No se incluirán en el alcance patologías como hongos, termitas u otros organismos que afectan cimentaciones. Tampoco se tratarán cimentaciones profundas.

1.7 Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial

El estudio se enfocará en el contexto colombiano, analizando casos reportados en el país. Las recomendaciones propuestas estarán orientadas a cimentaciones superficiales comúnmente utilizadas en la construcción en Colombia.

1.7.2 Delimitación temporal

El proyecto se desarrollará en un período estimado de un semestre académico.

Se revisará literatura publicada en las décadas más recientes para contextualizar el estado actual del conocimiento.

1.7.3 Delimitación conceptual

- Se abordarán patologías asociadas principalmente a:
- Hundimientos diferenciales
- Corrosión y agrietamiento del concreto
- Se restringirá el análisis a cimentaciones superficiales como:
- Zapatas aisladas
- Zapatas corridas
- Losas de cimentación
- No se incluirán temas como:
- Patologías generadas por ataques de hongos u otros organismos
- Cimentaciones profundas como pilotes

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes y Estado del Arte

En el presente apartado se mencionan los referentes que han sido consultados para el desarrollo de la presente investigación.

2.1.1 Estado del arte

Logeais (1984) Patología de las cimentaciones. El libro Patología de las Cimentaciones escrito por el Ingeniero Louis Logeais se centra en la importancia de comprender y abordar los problemas relacionados con las cimentaciones en la ingeniería civil. El autor utiliza una analogía entre las estructuras y el cuerpo humano, donde las enfermedades se comparan con los problemas de las cimentaciones. Destaca que la arquitectura desempeña un papel crucial en la estética y funcionalidad de las estructuras. Se resalta la importancia de comprender el comportamiento del suelo, particularmente su mecánica, para seleccionar una cimentación adecuada y evitar problemas como asentamientos diferenciales.

El artículo identifica varios factores que pueden causar daños en las cimentaciones, como el desconocimiento del comportamiento del suelo, la presencia de rellenos, la utilización de suelos especiales como arcillas expansivas y suelos licuables, la corrosión debida al contacto con el medio circundante, errores de ejecución en la obra y la necesidad de criterios de revisión de cimentaciones. Se enfatiza que la geotecnia, que estudia el suelo, es fundamental para la planificación y resolución de problemas en proyectos de ingeniería civil, y se destaca la importancia de combinar el conocimiento teórico y práctico para abordar eficazmente los problemas de las cimentaciones en la construcción.

Saldaña y Rojas (2009). Este libro aborda la importancia de la prevención y solución de patologías constructivas en edificaciones, destacando la relación entre la arquitectura y el entorno en el que se ubican. La calidad de diseño, procesos constructivos adecuados, materiales de alta calidad, mano de obra capacitada y un control exhaustivo son elementos esenciales para mejorar la durabilidad y calidad de vida de los usuarios, así como contribuir al patrimonio arquitectónico. Se enfatiza que las patologías constructivas se originan por diversas causas, incluyendo factores climáticos, diseño deficiente, fallas estructurales, falta de organización de obra, y mala calidad de la mano de obra. Además, se subraya la importancia de considerar la prevención de patologías desde el inicio del proyecto y la necesidad de comprender que un edificio requiere mantenimiento periódico para conservarse en buen estado.

El artículo también resalta la relevancia del sistema constructivo, que incluye aditivos y aislaciones como elementos de protección y durabilidad. Se mencionan ejemplos comunes de patologías, como descascaramiento de pinturas, revoques deteriorados, mamposterías húmedas, filtraciones en techos y estructuras fisuradas. Se subraya que la prevención de patologías no solo depende de la calidad de los materiales, sino también de la calidad de la mano de obra y su familiarización con las especificaciones técnicas. Finalmente, se hace hincapié en la responsabilidad de diseñadores y constructores en preservar el patrimonio arquitectónico y mejorar la calidad de vida de los habitantes a través de la prevención y solución oportuna de las patologías constructivas.

Carrió y Ramos (2001). En el libro *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas* de Monjo Carrió y Maldonado Ramos (2001), se aborda el concepto de patología constructiva en el contexto de las estructuras arquitectónicas. La patología constructiva se define como la ciencia que estudia los problemas constructivos que surgen en un edificio después de su

ejecución. En este contexto, se examinan tanto los elementos que componen los sistemas estructurales de los edificios como los procesos patológicos que pueden afectarlos.

El artículo destaca que la función principal de los elementos estructurales es proporcionar soporte al edificio frente a las cargas externas, como el viento, la nieve, los terremotos, y las cargas internas, como el peso propio de la construcción y las sobrecargas generadas por su uso. Estas acciones mecánicas pueden desencadenar procesos patológicos, principalmente de naturaleza mecánica, que afectan a los elementos estructurales. Además, se mencionan procesos patológicos de naturaleza física o química que afectan a los elementos estructurales expuestos a agentes atmosféricos y contaminantes ambientales. El artículo subraya la importancia de llevar a cabo un diagnóstico completo de los procesos patológicos antes de emprender cualquier intervención y de identificar las causas subyacentes, tanto directas como indirectas, que han contribuido a la aparición de estos procesos. Además, se enfatiza la necesidad de recopilar datos completos de materiales y elementos lesionados, realizar análisis minuciosos y llevar a cabo ensayos mecánicos, físicos y químicos para abordar adecuadamente las intervenciones de reparación y prevenir posibles errores.

Ortiz (1983). Patología de las cimentaciones. Informes de la Construcción. Csic. El libro se centra en los fallos de cimentaciones intrínsecos, que se originan debido a un diseño incorrecto de la cimentación o a problemas en su construcción. Se excluyen de la discusión los fallos inducidos por operaciones constructivas cercanas o por la influencia de nuevas estructuras, que serán abordados en otro artículo. Estos fallos son comunes y rara vez pueden considerarse inevitables. Tienen un impacto significativo, causando daños estructurales, e incluso el colapso total de edificaciones, lo que conlleva costosas reparaciones y, en ocasiones, la evacuación y demolición de inmuebles. El artículo subraya la importancia de aprender de estos fallos para

mejorar la práctica en el diseño y construcción de cimentaciones, enfatizando que culpar al terreno por estos problemas es injusto, ya que en su mayoría son errores humanos.

El autor también destaca la necesidad de compartir experiencias profesionales sobre fallos de cimentaciones, para evitar repetir errores. La comprensión de los mecanismos y las causas comunes de estos fallos es crucial y puede lograrse a través del conocimiento de los fracasos de otros. El artículo se propone ilustrar estos conceptos con ejemplos concretos, con la esperanza de contribuir a una reducción de la lista de fallos en cimentaciones en el futuro.

Farbiarz et al. (2011). El libro titulado Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales - guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo tiene como objetivo principal complementar la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo publicada por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. Esta nueva guía se enfoca en proporcionar una explicación detallada de las patologías más comunes que pueden afectar las estructuras y sistemas de cimentación después de un sismo, destacando las causas subyacentes de estas patologías y permitiendo diferenciarlas de las patologías asociadas a cargas estáticas y exposición ambiental. Los objetivos específicos incluyen la presentación de un procedimiento detallado para la inspección de edificaciones post-sismo, la descripción de los sistemas constructivos y estructurales comunes en el país, la identificación de falencias en la configuración estructural y el cumplimiento de requisitos sísmicos, y la elaboración de un compendio de manifestaciones patológicas ilustradas con un atlas práctico.

La guía tiene un alcance limitado y no se debe utilizar como un manual completo para estudios de vulnerabilidad sísmica ni para la rehabilitación de estructuras. En cambio, se presenta

como una herramienta para la evaluación preliminar de estructuras y sistemas de cimentación después de un sismo, con el propósito de ayudar a propietarios, usuarios y autoridades competentes a tomar las medidas adecuadas en función de los daños identificados.

En resumen, esta guía técnica tiene como propósito principal proporcionar una metodología y recursos para la inspección de edificaciones después de un sismo, enfocándose en la identificación de patologías específicas y los pasos a seguir para tomar medidas apropiadas en respuesta a los daños identificados.

Vega y Moncada (2016). El proyecto de grado se centra en la validación de patologías en cimentaciones superficiales en el contexto de obras civiles en Colombia. Las patologías en las cimentaciones pueden causar daños significativos e incluso colapsos en las estructuras, lo que subraya la importancia de un análisis adecuado del proyecto y un control constante durante la ejecución de las obras. Se destaca que la falta de comprensión entre ingenieros estructurales, ingenieros de suelos y constructores ha sido una causa común de patologías en cimentaciones. El artículo plantea la pregunta de cuál es la mejor alternativa para la rehabilitación de cimentaciones superficiales en obras civiles en Colombia, y señala la importancia de identificar las técnicas adecuadas para abordar las patologías de manera efectiva.

El estudio propone objetivos específicos que incluyen la caracterización de los tipos de patologías, la identificación de las causas subyacentes y el análisis de las posibles alternativas para la rehabilitación de cimentaciones superficiales. La investigación tiene como objetivo promover la capacidad de análisis y las habilidades en la toma de decisiones relacionadas con la elección y el uso de técnicas para abordar estas patologías, lo que a su vez contribuirá a mejorar la calidad de las obras civiles en Colombia.

Alvarado y Mendoza (2018). En este artículo se aborda el tema de la patología en las cimentaciones de edificios, destacando su importancia como base de sustentación. Se menciona que las patologías relacionadas con las cimentaciones son costosas y tienen un gran impacto social debido a la complejidad de su reparación, la interrupción del uso de los inmuebles y las implicaciones con colindantes y poderes públicos. La inadecuación de la cimentación al terreno, deficiencias en el elemento estructural, insuficiencia de la capacidad de carga del terreno y causas externas son algunas de las razones detrás de estas patologías. Además, se destaca la importancia de un análisis adecuado del proyecto y el control constante durante la ejecución de las obras para prevenir estas patologías.

En cuanto a los objetivos del estudio realizado en Cajamarca, se busca identificar las patologías en las cimentaciones, conocer sus consecuencias, documentarlas mediante fotografías y determinar las causas subyacentes. Las conclusiones destacan que las patologías en las cimentaciones suelen deberse a inadecuaciones en la cimentación, deficiencias estructurales o insuficiencia de capacidad de carga del terreno. Además, se enfatiza que estas patologías pueden provocar daños estructurales graves, con reparaciones complejas y costosas, incluyendo la posibilidad de interrupción del uso de edificios y desalojos.

Charo y Atalaya (2015). El artículo aborda el tema de la patología en las cimentaciones de edificios, destacando su importancia en la industria de la construcción. La patología constructiva se define como el estudio de los problemas constructivos que surgen en un edificio o alguna de sus unidades después de su ejecución. Se señala que las patologías relacionadas con las cimentaciones son particularmente costosas y socialmente significativas debido a la complejidad de su reparación, la interrupción del uso de la propiedad y la implicación de colindantes y autoridades públicas. Se enfatiza la importancia de diagnosticar correctamente estas patologías,

ya que un diagnóstico inadecuado podría llevar a daños superficiales que, en última instancia, podrían resultar en el colapso del edificio. El artículo también sugiere que un análisis adecuado del proyecto y un control constante durante la ejecución de las obras son fundamentales para prevenir este tipo de patologías constructivas.

En resumen, el artículo destaca la relevancia de las patologías en las cimentaciones de edificios, subrayando sus efectos costosos y sociales, y enfatiza la importancia de una adecuada diagnosis y prevención a través de un análisis cuidadoso del proyecto y un control constante en la ejecución de obras.

Yarlaque (2015). El artículo en cuestión aborda la necesidad de desarrollar la infraestructura vial en el Distrito de Querocoto, Provincia de Chota, en el norte del Perú, mediante la construcción de un puente carrozable sobre el Río Checos en el Centro Poblado La Granja. La región, primordialmente agrícola, sufre pérdidas económicas y problemas de acceso a servicios básicos durante las temporadas de lluvia, ya que el único puente peatonal existente no soporta el tránsito vehicular. Esto no solo afecta el comercio sino también servicios esenciales como la educación y la salud.

La construcción del puente es crítica para conectar a las comunidades con la capital distrital y otras ciudades, potenciando la economía local y mejorando el bienestar social. El proyecto no solo se justifica por sus beneficios sociales, tales como la mejora en la comunicación y el acceso a servicios, sino también por consideraciones técnicas, ya que se carece de un puente que permita el tránsito seguro y eficiente durante todo el año.

El objetivo es elaborar el expediente técnico para este puente, permitiendo así un intercambio comercial más efectivo y proporcionando a los residentes una mejor calidad de vida a través de

un acceso más sencillo a educación superior, servicios médicos de emergencia y transporte de productos agrícolas y ganado. Con esto en mente, se busca dinamizar la economía local y disminuir la pobreza en la región, mientras se asegura la interconexión entre las comunidades incluso en tiempos de crecidas del río.

Vera et al. (2022). *Patología de la Construcción: Un Ejercicio de Impacto al Servicio de la Comunidad*. es una obra colaborativa que destaca la sinergia entre la educación universitaria y la proyección social a través del programa Ingeniero a tu barrio de UNIMINUTO. El libro sirve como guía práctica para identificar y gestionar problemas estructurales en edificaciones, promoviendo la intervención temprana y la prevención del deterioro de la propiedad y riesgos para la vida. Subraya la transformación de comunidades vulnerables mediante la aplicación de conocimientos técnicos y desarrollo de estrategias sociales multidimensionales. Los casos de éxito en comunidades específicas demuestran la efectividad de un enfoque colaborativo entre universidades, gobiernos locales y constructoras, enfatizando la responsabilidad social y la importancia de la educación superior como un motor de cambio social significativo

Ricardo (2008). El artículo aborda las patologías frecuentes del concreto arquitectónico en Medellín, Colombia, destacando la necesidad de mejorar su calidad. La investigación identificó y analizó estadísticamente los defectos comunes en construcciones existentes, proponiendo soluciones centradas en la optimización de materiales, equipos y procesos constructivos. El resultado fue un manual práctico destinado a estandarizar y elevar los estándares de construcción del concreto arquitectónico en la región.

Para asegurar la relevancia y la aplicabilidad de las recomendaciones, se tomaron amplias muestras de diversas construcciones y se validaron las soluciones propuestas tanto teóricamente

como a través de implementaciones en proyectos reales. Este enfoque práctico y basado en evidencia aspira a contribuir al desarrollo de una normativa regional, marcando un progreso significativo hacia la estandarización de la calidad en el concreto arquitectónico.

Castelblanco (2020). El estudio de caso en el Edificio Manglar de Bogotá reveló que la construcción simultánea de dos edificaciones vecinas indujo una patología estructural significativa, evidenciando vulnerabilidad ante los procesos de construcción adyacentes. Las investigaciones detalladas mostraron que los daños estructurales y funcionales fueron consecuencia del impacto combinado de las construcciones colindantes, las cuales, a través de sus excavaciones y alteraciones en el nivel freático, generaron asentamientos diferenciales y variaciones en las condiciones de soporte del suelo lacustre subyacente.

El análisis técnico demostró que, mientras los daños iniciales en la plataforma norte del edificio Manglar fueron primordialmente causados por el primer edificio vecino, los daños más graves se presentaron durante y después de la construcción del segundo edificio, debido a un descenso abrupto en el nivel freático que ocasionó compresiones significativas del suelo portante. Se concluye que es crucial implementar medidas de mitigación, incluyendo la posible instalación de pilotes, y se enfatiza la importancia de un monitoreo continuo para prevenir daños futuros y planificar las reparaciones necesarias.

Ferrer y Payares (2021). El artículo identificación, estudio e intervención de patologías en el edificio Smart Clarisas, de Robert Walter Ferrer Serrano y Francisco Miguel Payares Molina, aborda la crucial tarea de identificar y clasificar patologías estructurales en construcciones civiles. Enfocado en el edificio SMART CLARISAS, el estudio resalta la falta de un protocolo estandarizado en Colombia para estas actividades, poniendo en perspectiva la necesidad de

métodos sistemáticos para la inspección y el correcto tratamiento de las patologías. Mediante inspecciones visuales y el uso de fichas técnicas, se realizaron diagnósticos que revelaron fisuras en los sótanos de parqueaderos, apuntando a la importancia de la detección temprana y la intervención adecuada.

Las conclusiones del estudio subrayan la importancia de un mantenimiento preventivo y la implementación de un protocolo uniforme para la evaluación de la integridad estructural de los edificios. Al identificar y tratar las patologías más recurrentes en el edificio SMART CLARISAS, los investigadores recomiendan prácticas de seguimiento continuo que aseguren la seguridad y durabilidad de las obras civiles, destacando la contribución del estudio para la creación de lineamientos claros en el campo de la ingeniería civil y la gestión de infraestructuras.

Muñoz y Cardona (2012). La guía metodológica desarrollada por Julio Cesar Muñoz Agudelo y Conrad Mauricio Cardona García de la Universidad Libre de Pereira proporciona un marco detallado para el diagnóstico y manejo de patologías en estructuras de concreto reforzado. Se enfoca en técnicas para la identificación de problemas como fisuras y corrosión, y analiza sus causas potenciales, desde el diseño hasta factores ambientales. Para la evaluación se recomienda desde inspecciones visuales hasta pruebas de laboratorio y modelados estructurales.

En el tratamiento de las patologías detectadas, la guía expone estrategias de reparación, refuerzo y protección, incluyendo métodos como el parcheo y la inyección de resinas. Se destaca la importancia del mantenimiento preventivo y la vigilancia continua para extender la vida útil de las estructuras y garantizar la seguridad, con un énfasis en la sostenibilidad y el impacto ambiental de las intervenciones.

Basset (2015). El artículo de Luisa Basset Salom aborda las distintas causas de patología en cimentaciones, elementos estructurales esenciales para la integridad de cualquier edificación. Estas cimentaciones deben ser diseñadas y construidas para distribuir adecuadamente las cargas al terreno, y cualquier fallo en este sistema puede provocar desde daños estructurales menores hasta el colapso total de un edificio. El diagnóstico de estas patologías requiere una inspección detallada de los daños visibles y un profundo conocimiento geotécnico para una correcta identificación de la causa y el posterior tratamiento efectivo.

El documento subraya la importancia de considerar aspectos como errores de diseño, defectos de ejecución, calidad de materiales, y cambios inesperados en las condiciones del entorno o en el terreno subyacente, entre otros. Reconocer estas causas es crítico para la intervención y reparación de las cimentaciones afectadas, y es fundamental para la prevención de futuros daños, enfatizando la necesidad de un diseño cuidadoso y una construcción conforme a las especificaciones técnicas y ambientales.

Gil y Lasheras (2021). El artículo se centra en la evaluación de cavidades de aire utilizadas para reducir la humedad capilar en edificios de valor patrimonial en la Península Ibérica. Se destaca la falta de criterios objetivos para el diseño de estas cavidades y se propone un método cualitativo y semicuantitativo para evaluar su funcionamiento en el sitio. Este método se basa en aspectos formales, constructivos y de rendimiento de dichos sistemas, y se apoya en una instrumentación básica y herramientas de cálculo accesibles. El proceso se ha aplicado en más de ocho cavidades con resultados satisfactorios, lo que ha permitido analizar la dinámica del aire en las cavidades y su capacidad de evaporación. Además, se ha propuesto una clasificación de tipos de cavidades, lo que antes no existía, lo que facilita la evaluación in situ de su funcionamiento.

En resumen, el estudio describe un método de evaluación in situ para diferentes tipos de cavidades de aire o ventilación utilizadas en edificios patrimoniales en la Península Ibérica con problemas de humedad capilar. Este enfoque es cualitativo y semicuantitativo y se basa en aspectos formales, constructivos y de rendimiento, lo que lo convierte en una herramienta útil para evaluar el funcionamiento de estas cavidades y desarrollar criterios de diseño para proyectos de construcción en edificios históricos.

Carretero y Carretero (2021). Este artículo se enfoca en el estudio de losas de cimentación, un sistema de construcción común en muchos países, que ha recibido una atención limitada en la literatura científica hasta la fecha. Para abordar esta falta de investigación, se utilizó una fuente de datos inusual: quejas presentadas por propietarios cuyos edificios sufrieron defectos significativos y que se vieron obligados a recurrir a los tribunales. A través del análisis de los registros judiciales, se identificaron daños recurrentes y se clasificaron según su naturaleza y relación entre sí, resaltando las fisuras de origen estructural debido al asentamiento diferencial del terreno como uno de los problemas más destacados. Además, se investigó en qué tipos de edificios se produjeron estos casos y se evaluó su peso relativo en función de los descriptores analizados. Estos resultados son de gran interés para ingenieros forenses y contribuyen a una comprensión más profunda de las anomalías comunes en las losas de cimentación en la fase de servicio de los edificios.

Carla (2021). En este artículo, se aborda la importancia de la durabilidad de los materiales de construcción utilizados en arquitectura y patrimonio cultural en diferentes entornos. Se destaca que la degradación de estos materiales está relacionada con factores como la precipitación anual promedio, la temperatura, la concentración de sales en el aire/suelo y agentes biológicos, pero el impacto más perjudicial proviene de los gases de efecto invernadero, como el CO₂, SO_x, NO_x

y O₃, que inducen la acidificación de las aguas de lluvia y escorrentía. La investigación se centra en la simulación acelerada del envejecimiento de estos materiales en una cámara climática para evaluar sus cambios físico-mecánicos y químicos durante la exposición a condiciones climáticas simuladas.

En la segunda parte del estudio, se realizaron pruebas no destructivas, como la medición de la dureza Leeb D, la permeabilidad impulsada por gas, la velocidad del pulso ultrasónico y el análisis de eflorescencias, con el fin de obtener una imagen completa del comportamiento de las piedras sometidas a un envejecimiento acelerado. Los resultados muestran que la simulación de envejecimiento proporciona información valiosa sobre la degradación de los materiales geológicos, los cambios en su durabilidad y sus características estéticas, lo que puede ser fundamental para prever implicaciones estratégicas en la conservación de materiales de construcción en contextos climáticos específicos.

En resumen, el artículo destaca la importancia de comprender y predecir la degradación de los materiales de construcción en función de las condiciones ambientales y climáticas, y cómo las simulaciones de envejecimiento acelerado en laboratorio pueden proporcionar información valiosa para la conservación del patrimonio arquitectónico y cultural.

Prendes et al. (2013). Este artículo presenta los resultados de un análisis forense de un túnel sobre el cual se construyó un terraplén que sirvió como plataforma de carretera. La estructura conjunta túnel-terraplén se encuentra en las afueras de la localidad de Piedrafita en el noroeste de España. El túnel canaliza el curso del río Vilela en su cruce de la mencionada carretera.

El artículo proporciona un informe detallado del problema, incluyendo los daños causados a la estructura del túnel y el terraplén, y presenta las mediciones tomadas y la determinación del

origen del problema. Para esta determinación, se realizó una simulación numérica de la estructura conjunta túnel-terraplén-suelo en base a los datos obtenidos de pruebas realizadas tanto in situ como en laboratorio. El estudio se complementó con un análisis realizado mediante métodos clásicos que confirmaron que los movimientos detectados en la estructura global fueron causados por el colapso de los cimientos.

La singularidad de este estudio radica en la combinación de cálculos analíticos muy simples para evaluar las tensiones transmitidas por los cimientos al suelo con un modelo numérico que nos permite evaluar el estado de tensión y deformación de la zona de estudio de manera altamente detallada.

Riyad (2020). El artículo aborda el problema de la falla progresiva en geomecánica, un tema clásico poco comprendido que ha ganado atención en problemas relacionados con cimentaciones. Se destaca la complejidad de transformar los resultados de pruebas en modelos a escala a prototipos reales (efecto de escala). El enfoque principal del artículo es una metodología de elementos finitos (FE) para evaluar la respuesta de cimientos circulares poco profundos en arena con un comportamiento sofisticado de endurecimiento-aflojamiento. En estas condiciones, la falla progresiva puede ocurrir debido a la falta de movilización de la resistencia máxima del suelo en la superficie de falla potencial y al comportamiento de aflojamiento del suelo.

El paradigma presentado permite evaluar adecuadamente este fenómeno de falla mediante un modelo constitutivo elastoplástico no asociado acoplado con un método de relajación dinámica explícita, considerando una superficie de rendimiento como el modelo de material MC y una superficie potencial como el modelo DP suave con efecto de banda de corte. Los resultados de FE se comparan con resultados experimentales para evaluar la confiabilidad y muestran una

buena concordancia con los datos de esfuerzo-deformación experimental. Además, se discute el efecto de escala debido a la falla progresiva con fenómenos de banda de corte, que es más pronunciada con el aumento de la profundidad de anclaje y predominante en arenas de mayor densidad. Se observa una tendencia a la disminución del factor de resistencia máxima y del asentamiento con el aumento del ancho de la cimentación.

Sánchez y Nolasco, (2019). El artículo se centra en caracterizar las patologías de construcción y las vulnerabilidades meteorológicas o sísmicas asociadas en viviendas autoconstruidas y viviendas formalmente construidas en Tuxtla Gutiérrez, la capital del estado de Chiapas, en el sureste de México. Se destacan las deficiencias generalizadas en ambas tipologías de viviendas, que reflejan la falta de planificación urbana en Tuxtla Gutiérrez y la irregular aplicación de los códigos de construcción existentes. Las familias de bajos ingresos a menudo aceptan el alto grado de vulnerabilidad resultante debido a la ignorancia o la falta de recursos. Además, se menciona que la ciudad se encuentra en una región de alta actividad sísmica, lo que aumenta la vulnerabilidad de las estructuras, especialmente las de albañilería, debido a la falta de especificaciones adecuadas en las normativas de construcción locales.

Además, se resalta la falta de regulación en los sectores urbanos y de construcción, lo que ha dado lugar a una amplia variedad de sistemas de construcción en la ciudad, lo que demuestra una diversificación en los materiales y las características de las viviendas. En general, se concluye que las viviendas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez sufren de deficiencias en el proceso constructivo y en la calidad de los materiales utilizados, lo que las hace altamente vulnerables, especialmente ante eventos sísmicos y condiciones climáticas adversas.

Este artículo resalta la importancia de abordar las deficiencias en la construcción de viviendas en ciudades en desarrollo, donde las prácticas de construcción precarias y la falta de regulación pueden poner en riesgo a las poblaciones más vulnerables, en particular a las familias de bajos ingresos que a menudo viven en viviendas autoconstruidas de baja calidad. También destaca la necesidad de mejorar la regulación y las prácticas de construcción para garantizar viviendas más seguras y resistentes en áreas sísmicas y climáticamente vulnerables.

Waskar (2018). La presente tesis tiene como objetivo abordar la patología y el recalce de cimentaciones, centrándose en la identificación de las causas de las fallas en las cimentaciones superficiales, así como en la presentación de soluciones efectivas para el recalce de las mismas. Por otra parte se menciona que la importancia de identificar las causas de fallas en la cimentación radica en la necesidad de comprender los factores que han contribuido a la patología. Al conocer las causas subyacentes, los ingenieros pueden desarrollar estrategias de reparación efectivas y tomar medidas para prevenir futuros problemas.

Además, comprender las causas de las fallas en la cimentación permite abordar los problemas desde su origen, lo que es fundamental para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras. Este enfoque ayuda a evitar soluciones superficiales que no aborden la causa raíz del problema, lo que podría resultar en la persistencia de la patología.

En la tesis se proporcionan varias soluciones para el recalce de cimentaciones, incluyendo:

- Recalce mediante pilotes y micropilotes.
- Inyecciones y jet-grouting para mejorar las propiedades del suelo.
- Refuerzos estructurales, como zunchados y resinas epoxi.
- Tratamientos superficiales de fisuras y grietas, como el uso de mallas y rellenos.

Estas soluciones se presentan como métodos para transferir cargas a elementos de cimentación de mayor superficie que los cimientos originales o para intervenir en el suelo, dándole las propiedades necesarias para su funcionamiento frente a las cargas que se le imponen. Cada solución se adapta a diferentes situaciones y condiciones específicas, y su elección depende de la experiencia de los profesionales encargados del diseño, la calidad de las investigaciones geológicas realizadas y el equipamiento disponible para llevar a cabo el recalce.

Reyes (2013). La tesis en mención tiene como objetivo analizar las fallas que pueden presentarse en las cimentaciones de silos, identificar las causas de estas fallas y proponer medidas preventivas para evitarlas. La tesis se enfoca en la importancia de las cimentaciones en la estabilidad y seguridad de las estructuras, y busca contribuir al conocimiento y la mejora de las prácticas de diseño y construcción de cimentaciones para silos.

A su vez, se mencionan algunas patologías que pueden presentarse en cimentaciones superficiales, como los asentamientos diferenciales, deslizamientos y erosión. Estas fallas pueden ser prevenidas mediante la realización de estudios geotécnicos previos para conocer las características del terreno y diseñar la cimentación adecuada. Además, es importante realizar un mantenimiento periódico de la estructura para detectar posibles problemas a tiempo y evitar que se conviertan en fallas mayores.

En la presente tesis se ofrecen varias recomendaciones para prevenir las fallas en cimentaciones para silos. Entre estas recomendaciones se incluye la realización de estudios geotécnicos exhaustivos para comprender las características del suelo y diseñar cimentaciones adecuadas que puedan soportar las cargas de la estructura. Además, se destaca la importancia de

considerar las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometida la estructura del silo durante su vida útil, para determinar las acciones de diseño necesarias.

Asimismo, se enfatiza la implementación de normas adecuadas para el diseño y construcción de cimentaciones de silos, tomando como referencia las normativas existentes en otros países que han ahondado en el tema y cuentan con un historial de casos de éxito y de falla. Estas recomendaciones resaltan la importancia de un enfoque integral que considere tanto las condiciones geotécnicas del suelo como las cargas dinámicas a las que estará expuesta la estructura, así como la necesidad de normativas específicas para garantizar la seguridad y estabilidad de las cimentaciones para silos.

Fernando et al. (2004). El manual en mención busca ser una herramienta útil para la formación y la prevención de patologías en la edificación, así como para la aplicación de soluciones en el desarrollo de los trabajos de construcción y rehabilitación.

El Manual de patología de la edificación de la Universidad Politécnica de Madrid es una fuente valiosa para la investigación sobre patologías en cimentaciones superficiales, ya que proporciona información detallada sobre los diferentes tipos de patologías que pueden afectar a la estructura, incluyendo deformaciones excesivas en elementos horizontales, fisuraciones o grietas en elementos estructurales y cambios de aspecto superficial del hormigón. Además, el manual proporciona pautas para la evaluación de fisuras en elementos estructurales, incluyendo la amplitud, dirección, espaciado, situación y evolución de las fisuras.

El manual también describe los medios necesarios para el prediagnóstico de patologías en cimentaciones superficiales, que van desde una cámara fotográfica con flash hasta una linterna, maceta y cincel. Además, se proporcionan pautas para la evaluación de la importancia de los

daños registrados, lo que puede ayudar a los investigadores a determinar si se requiere de urgencia, como las medidas de apuntalamiento inmediato o los refuerzos provisionales.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2012). El propósito del Manual corresponde a brindar las guías para el planeamiento y el diseño de las cimentaciones relacionadas con las obras de infraestructura de transporte carretero a cargo del Instituto Nacional de Vía. El Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras es un documento que aborda aspectos generales, criterios básicos y la investigación de campo y análisis de suelos para la selección de las mejores opciones de diseño.

Estas fases permiten a los diseñadores y constructores seguir un enfoque sistemático y coherente al diseñar y construir cimentaciones en carreteras. Asimismo, incluye temas relacionados con la metodología para la exploración, ensayos y caracterización de suelos y rocas, los criterios básicos de diseño, el diseño de cimentaciones superficiales y profundas, y aspectos vinculados a la dinámica de los terrenos de fundación y las técnicas para el mejoramiento de los suelos de cimentación.

En este contexto, el manual proporciona un enfoque sistemático y coherente para el diseño y la construcción de cimentaciones en carreteras, lo que contribuye a la prevención y manejo de patologías en cimentaciones superficiales al seguir criterios adecuados de diseño y selección de materiales.

Brian y Perilla (2017). El objetivo general de la tesis es realizar un diagnóstico patológico de cinco instituciones educativas del municipio de Santa Rosa de Cabal para determinar la necesidad de intervención debido a daños estructurales, con el fin de garantizar la seguridad y funcionalidad adecuada de las edificaciones y, por ende, de la comunidad educativa.

La tesis proporciona un diagnóstico patológico detallado de las estructuras de cinco instituciones educativas en el municipio de Santa Rosa de Cabal. Este diagnóstico incluye la identificación y clasificación de diversas patologías, como fisuras, humedades, manchas, pérdida de material, entre otras, y su relación con factores como geología, climatología, parámetros constructivos, antecedentes históricos, localización y normativa aplicable.

Además, la investigación presenta una ficha técnica que facilita la identificación de las patologías estructurales, lo que podría ser de utilidad para futuros estudios sobre patologías en cimentaciones superficiales. Asimismo, la tesis ofrece recomendaciones y posibles soluciones para mitigar el riesgo para la población estudiantil y el personal docente, lo que podría aportar ideas para investigaciones relacionadas con la mitigación de patologías en cimentaciones superficiales.

Moreno (2015). El presente artículo tiene como objetivo proporcionar información práctica y técnica sobre las cimentaciones superficiales, específicamente las zapatas, con el fin de contribuir a la mejora de la calidad de la edificación. Ofrece fichas prácticas que contienen descripciones detalladas de las cimentaciones superficiales, los daños asociados, las problemáticas habituales, y las recomendaciones técnico-constructivas para su ejecución.

En el contexto de la investigación sobre patologías en cimentaciones superficiales, este documento aporta información relevante en varios aspectos. Por un lado, proporciona una descripción clara de las zapatas como elementos de cimentación superficial encargados de transmitir las cargas de la estructura al terreno, lo cual es fundamental para comprender la función y el diseño de las cimentaciones superficiales. Además, detalla los síntomas más comunes de un fallo en la cimentación, como fisuras, agrietamientos, asientos diferenciales, giros

y desplomes, lo que resulta crucial para identificar posibles patologías en las cimentaciones superficiales.

Asimismo, ofrece recomendaciones específicas para la ejecución de cimentaciones superficiales, incluyendo aspectos como excavaciones en el terreno, vertido de hormigón, limpieza del fondo de la excavación, y compactación del suelo de relleno, lo cual es relevante para comprender las buenas prácticas en la construcción de cimentaciones superficiales y para identificar posibles causas de patologías. Por último, aborda las posibles causas de fallos en las cimentaciones superficiales, como asentamientos uniformes o diferenciales, deficiente compactación de rellenos estructurales, terreno distinto del previsto, materiales o soluciones constructivas inadecuadas, y causas extrínsecas, lo que es fundamental para comprender los factores que pueden contribuir a las patologías en las cimentaciones superficiales.

Basset (2020). El objetivo del documento Patología de las cimentaciones: Técnicas de intervención en el terreno es presentar técnicas de intervención en el terreno, como inyecciones o jet-grouting, para mejorar las condiciones del terreno o reforzar la cimentación cuando se detectan daños en un edificio debido a un fallo en la cimentación. El aporte relevante a la investigación sobre patologías en cimentaciones superficiales incluye la identificación de técnicas de intervención en el terreno, como inyecciones y jet-grouting, y la determinación de la técnica más adecuada en función de la naturaleza y volumen del terreno a tratar, así como el grado de mejora que se quiere lograr (resistencia y/o impermeabilidad)

El documento proporciona información detallada sobre técnicas de intervención en el terreno, que son relevantes para comprender cómo abordar los problemas de cimentaciones superficiales. Además, describe en detalle las inyecciones de consolidación, impregnación o

relleno, y compactación, así como el proceso de jet-grouting, lo que podría ser de gran utilidad para la presente monografía.

Afanador et al. (2012). El objetivo del documento Patología estructural y funcional del Edificio UFPSO sede La Primavera es analizar y evaluar la situación de un edificio en relación con su estructura y funcionalidad, con el fin de identificar posibles problemas y necesidades de rehabilitación o restauración.

Aunque el documento no se centra específicamente en las patologías en cimentaciones superficiales, proporciona información valiosa sobre la evaluación y análisis de estructuras y su interacción con el medio ambiente, lo que puede ser útil para abordar problemas relacionados con las patologías en cimentaciones superficiales en la investigación.

El documento menciona que la provincia de Ocaña ha experimentado sismos superficiales y profundos en los últimos años, aunque no se presenta acumulación de energía por deformación en la roca que permita prever sismos de mayor magnitud.

El análisis estructural y funcional del edificio se realiza mediante diversas actividades, como la recolección de información, levantamiento topográfico y arquitectónico, acciones físicas, mecánicas, químicas, biológicas y ambientales, ensayos de laboratorio, evaluación estructural y funcional no destructivos, evaluación de carga, análisis estático lineal, verificación de la cortante, verificación de deflexiones y derivas, y redacción del informe.

El documento muestra ejemplos de modelos estructurales utilizados en el análisis, como el modelo de un cilindro de concreto extraído de un edificio en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. En cuanto a las patologías en cimentaciones superficiales, el documento

menciona la ausencia de zapatas de cimentación en el eje C (5 columnas) y la oxidación en el refuerzo longitudinal y transversal con pérdidas de área del refuerzo hasta de 26.32 mm² (12.34 % del área de la barra) en 10 de las 21 columnas auscultadas

Además, se encontraron manifestaciones patológicas severas en la losa de cubierta, como eflorescencias y cultivos biológicos que causan el desprendimiento del pañete. Estos problemas pueden estar relacionados con las patologías en cimentaciones superficiales y son de interés para la investigación en este campo.

Aragón (2011). La presente tesis doctoral tiene como objetivo realizar un análisis estadístico de la patología estructural en la edificación gallega, centrándose principalmente en los forjados de hormigón armado. El aporte relevante de este documento a la investigación sobre patologías en cimentaciones superficiales radica en su enfoque estadístico y su vinculación con el proceso de Inspección Técnica de Edificios, lo que permite analizar y extraer conclusiones relevantes sobre la situación de las estructuras afectadas, ya que se abordan temas como la calidad de los áridos, limitaciones de sustancias perjudiciales, el exceso de finos arcillosos en los áridos, y la interacción de los áridos con otros componentes del hormigón. Estos aportes son útiles para comprender la composición y propiedades de los materiales de hormigón, así como para establecer limitaciones y requisitos que garanticen su calidad y resistencia.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Corrosión y fisuración

Teoría de la difusión de iones de Nernst. La teoría de la difusión de iones de Nernst explica cómo se produce la corrosión de los metales a nivel atómico, por lo que es fundamental para

comprender y resolver los fundamentos de la corrosión del acero de refuerzo. La corrosión se produce cuando los iones metálicos abandonan el metal y entran en el medio ambiente, normalmente oxidándose a cationes metálicos positivos. De acuerdo con la ley de difusión de Fick, estos cationes metálicos tienden a difundirse en el ambiente externo para equilibrar su concentración. La presencia de electrones es necesaria para que se produzca esta difusión de iones. Cuando un metal pierde electrones, se convierte en un catión metálico, mientras que en el centro se forma un anión para aceptar esos electrones. Según Nernst, la velocidad de corrosión depende directamente de la velocidad de difusión hacia el exterior de los iones metálicos y la concentración de iones en la interfase. Esto determina el gradiente de concentración que impulsa la difusión (Bartel y Huebener, 2007).

Teoría cinética de U.R. Evans. Proporciona un modelo para comprender las tasas de corrosión del acero en términos de reacciones químicas. Evans consideró que la corrosión es una reacción química heterogénea más que un proceso puramente electroquímico o iónico. Propuso que la corrosión ocurre en dos etapas: una reacción química rápida en la superficie del metal seguida de una difusión lenta de las especies en solución hacia o desde la superficie. El primer paso, la reacción química, es rápida y determina la corriente de corrosión. El segundo paso, la difusión de especies, es más lento y da como resultado la concentración de especies en la interfase metal-solución. La velocidad de difusión de la segunda etapa controla la tasa de corrosión general. Por lo tanto, cuanto más lenta sea la difusión, menor será la corrosión. (Evans, 2014).

Teoría de Griffith. Sobre la fractura por fatiga explica cómo pequeñas grietas existentes en un material se pueden propagar y causar su fractura. Griffith se dio cuenta que pequeñas grietas preexistentes liberan energía elástica almacenada cuando el material es cargado. Esta liberación

de energía causa que las grietas crezcan de forma inestable. A medida que crecen, se libera más energía que impulsa su propagación. La tasa de liberación de energía depende de parámetros como el tamaño y geométrica de la grieta, las propiedades del material y las tensiones aplicadas. Existe un tamaño crítico de grieta a partir del cual la liberación de energía es suficiente para causar su propagación incontrolada y la fractura del material (Griffith, 1921).

2.2.2 Asentamientos diferenciales

Modelo de consolidado diferencial de Terzaghi. El modelo de asentamientos diferenciales por consolidación de Terzaghi es fundamental para entender y prevenir hundimientos desiguales en cimentaciones. Terzaghi explicó que cuando se carga una cimentación, el suelo bajo ella se consolida de forma gradual, reduciendo su volumen. Pero esta consolidación no es uniforme: las capas de suelo se comprimen a tasas diferentes dependiendo de su propiedad. Esto causa que la cimentación se hunda de forma desigual, con algunas zonas hundiéndose más rápido que otras (Peck y Terzaghi, 1986). El modelo de Terzaghi permite calcular las deformaciones diferenciales debido a:

Diferencias en la compresibilidad del suelo (coeficiente de consolidación C_v).

Diferencias en la carga aplicada o en el espesor de la capa de suelo.

Variaciones en el tiempo de consolidación.

Modelo de resortes de Winkler. El modelo de resortes de Winkler para modelar la interacción suelo-cimentación considera que el suelo bajo la cimentación se puede modelar como una serie de resortes independientes, cada uno con una rigidez proporcional a las propiedades del suelo en esa zona. Al aplicar una carga sobre la cimentación, cada resorte se comprime

independientemente de los demás de acuerdo con su rigidez, originando deformaciones en la cimentación y asentamientos totales y diferenciales. Cuando las rigideces de los resortes varían espacialmente, los asentamientos también difieren, causando deformaciones diferenciales (Gerolymos y Gazetas, 2006). El modelo permite:

Calcular los asentamientos totales y diferenciales, pudiendo evaluar cómo cambios en las propiedades del suelo afectan la distribución de rigideces y consecuentemente los asentamientos.

Justificar el uso de determinadas técnicas constructivas que promueven una distribución más uniforme de rigideces, reduciendo los asentamientos diferenciales y el riesgo de patologías.

2.2.3 Excavación

Criterio de Mohr-Coulomb. El criterio de falla de Mohr-Coulomb establece que la ruptura de un material sometido a esfuerzos cortantes ocurre cuando se alcanza una combinación crítica de esfuerzos normal y tangencial que depende de los ángulos de fricción interna φ y cohesión c del material (Murthy, 2002):

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \varphi$$

Donde:

- τ_f es la tensión tangencial de falla
- σ_n es la tensión normal
- c es la cohesión del material
- φ es el ángulo de fricción interna

Este criterio permite:

Analizar la estabilidad de taludes y laderas sometidas a esfuerzos cortantes y normales, permitiendo calcular ángulos de talud estables y factores de seguridad.

Evaluar cómo las propiedades del suelo (c, ϕ) y las condiciones de esfuerzos afectan la resistencia al corte y la probabilidad de falla por deslizamiento.

Ley de Hooke. Establece que la deformación elástica de un material es directamente proporcional a la tensión aplicada ($\sigma = E\varepsilon$), donde E es el módulo de elasticidad. Esto se debe a que cualquier aumento en la tensión genera fuerzas adicionales que estiran las partículas del material, produciendo mayor deformación de forma lineal. Durante la excavación, el suelo experimenta deformaciones elásticas bajo el efecto de las fuerzas de corte y normales aplicadas por el talud. La ley de Hooke permite:

Calcular la deformación angular (hundimiento y basculamiento) de la zanja basado en las tensiones cortantes y normales.

Evaluar cómo cambios en las propiedades elásticas del suelo (E, ν) afectan las deformaciones, permitiendo identificar zonas críticas.

Justificar el uso de procedimientos constructivos que minimizan las tensiones y fuerzan al suelo dentro de su rango elástico.

La ley de Hooke suministra una base cuantitativa para analizar las deformaciones elásticas del suelo durante la excavación, lo que permite identificar las causas de problemas y proponer soluciones constructivas que las controlen, como taludes inclinados, recubrimientos y soportes temporales (Cuervo, 2019).

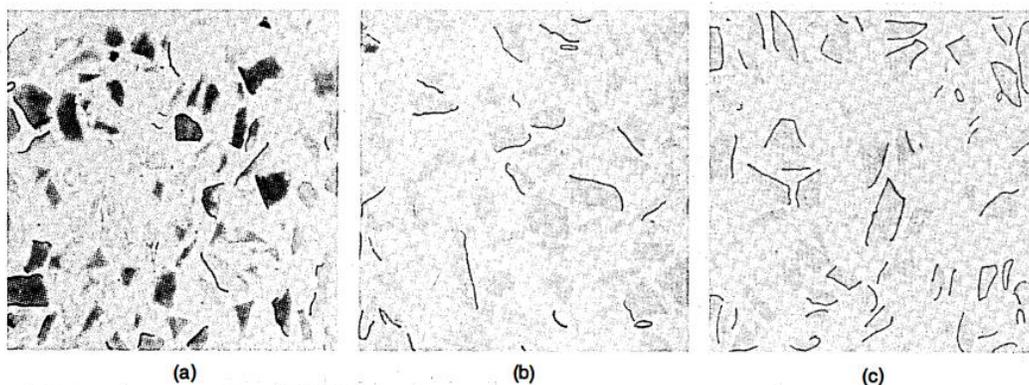
2.3 Marco Conceptual

En este marco, se abordarán los conceptos fundamentales relacionados con las patologías en cimentaciones superficiales. El objetivo de este marco conceptual es proporcionar a los lectores una comprensión clara y coherente de los conceptos clave que se utilizarán en la investigación y sus aplicaciones en el campo de la ingeniería civil y construcción

2.3.1 Agrietamiento

Es la formación de grietas o rajaduras visibles en la masa de concreto. Estas grietas pueden ser finas o amplias, parcial o completamente a través del espesor. El agrietamiento se produce por tensiones internas que exceden la resistencia a tracción del concreto (Mehta y Monteiro, 2014).

Figura 1. Diagramas típicos de agrietamiento para concreto normal



Fuente: De Aj et al., (1981).

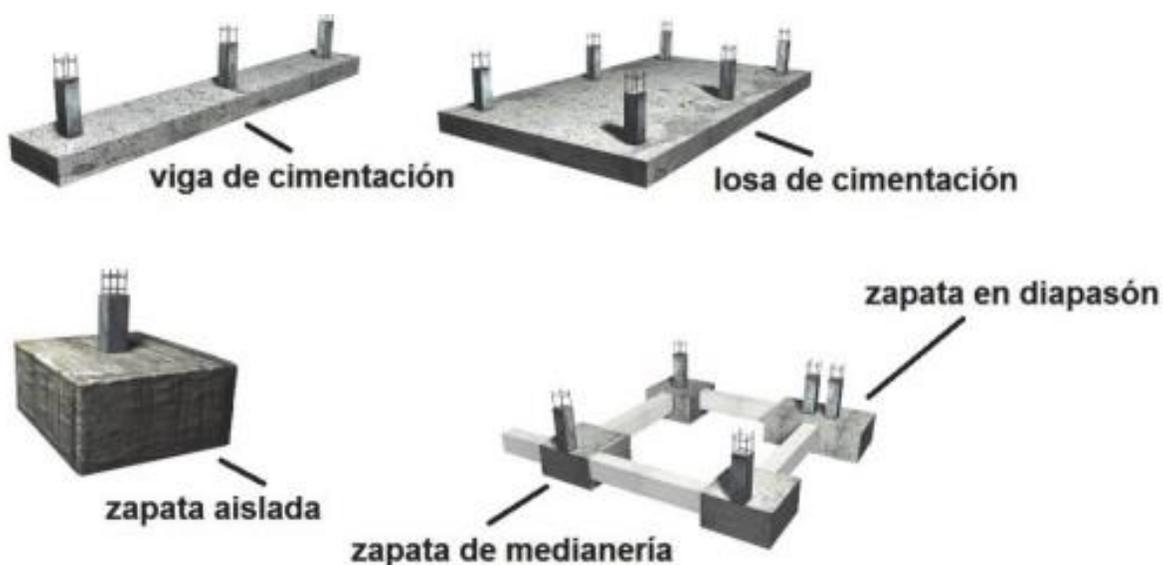
2.3.2 Cimentación superficial

Las cimentaciones superficiales son adecuadas para estructuras de poca altura con cargas moderadas. Se apoyan directamente sobre las capas más superficiales del suelo, aprovechando su

capacidad portante. Requieren un ancho mayor que su profundidad para distribuir las cargas adecuadamente. Se usan principalmente en suelos granulares y arcillosos de alta resistencia, que pueden ofrecer suficiente firmeza y estabilidad sin problemas de asentamiento excesivo.

Las zapatas aisladas y vigas de amarre son las formas más simples y comunes, especialmente en suelos homogéneos. Permiten optimizar el dimensionamiento y combinar con diferentes soluciones estructurales. Las losas de cimentación permiten distribuir las cargas de forma más uniforme cuando se cuenta con suelos de capacidad portante variable (Yepes, 2020). Sin embargo, requieren diseño cuidadoso y armado adecuado (figura 2.).

Figura 2. Tipos de cimentaciones superficiales



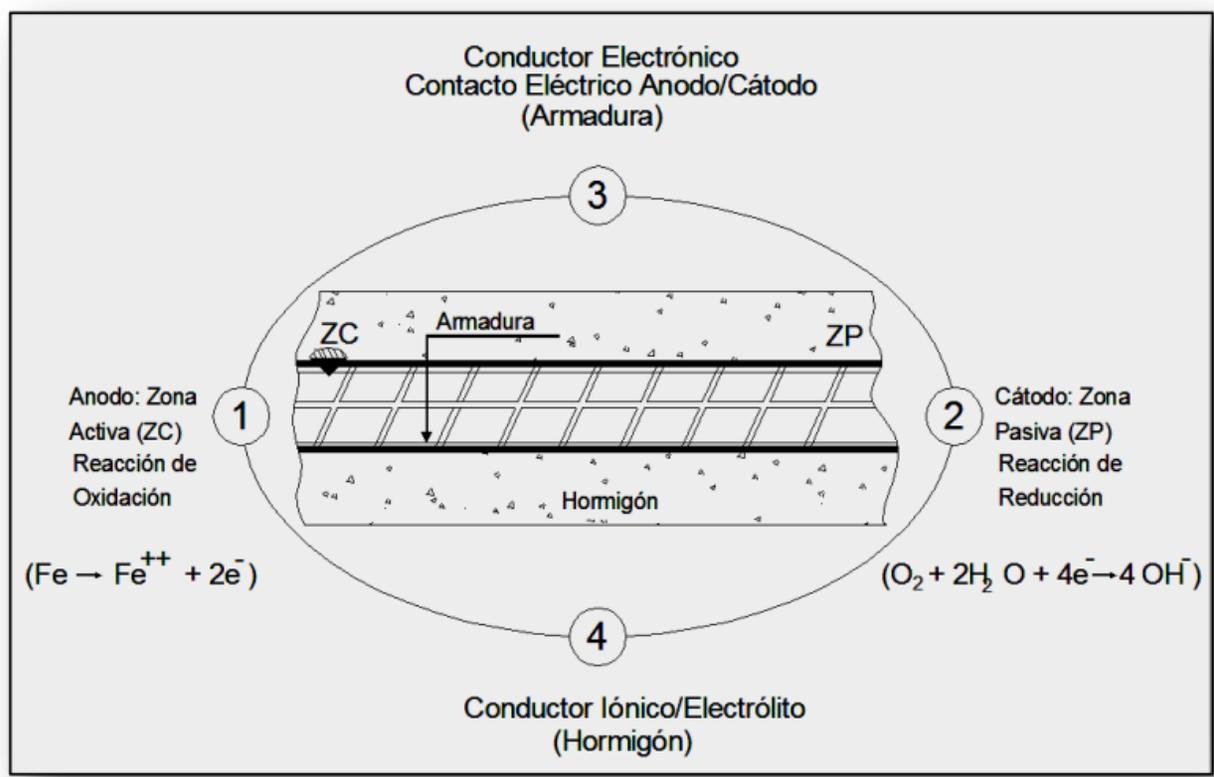
Fuente: Yepes (2020).

2.3.3 Corrosión

Degradación progresiva de un material, como el acero de armado, debido a reacciones químicas o electroquímicas con su medio ambiente. La corrosión puede adoptar formas diversas,

según la ubicación de las zonas anódicas y catódicas, y la posible existencia de tensiones mecánicas relevantes.

Figura 3. Representación electroquímica del concreto y el acero



Fuente: Vásquez y Galicia (2010).

Corrosión generalizada. Ocurre cuando el dióxido de carbono (CO_2) presente en el ambiente penetra en el concreto. El CO_2 reacciona químicamente con los compuestos de hidróxido presentes en la pasta de cemento portland, reduciendo el pH del concreto. Cuando el concreto es fresco, su pH alcalino (~ 13) mantiene las armaduras de acero protegidas al formar una capa pasiva de óxido. Sin embargo, la reducción del pH por carbonatación puede llevar el concreto a valores por debajo de 9, afectando esta capa pasiva y exponiendo las armaduras a la corrosión.

La profundidad de penetración depende de factores como la permeabilidad del concreto, la concentración de CO₂ y el tiempo de exposición. Cuanto mayor sea la profundidad de carbonatación, mayor extensión de las armaduras quedarán expuestas, una vez iniciada la corrosión, la expansión de los productos de óxido puede generar tensiones internas que eventualmente conducen al agrietamiento y desprendimiento del concreto. Esto reduce la sección útil de las armaduras y afecta la capacidad portante de la estructura.

Corrosión galvánica (cloruros-picaduras). Los cloruros, en especial los provenientes de la exposición a agua de mar o sales anticongelantes, pueden penetrar el concreto y alcanzar las armaduras de acero. Los cloruros rompen la capa protectora de óxido en el acero, exponiendo el metal base. Esto inicia el proceso de corrosión, los iones de cloruro actúan como una especie de electrodo, acelerando el traspaso de electrones entre el acero y el concreto, esto genera una célula galvánica y causa la disolución (oxidación) del acero. La presencia de iones cloruro también reduce el pH alcalino del concreto, debilitando aún más la capa de óxido en las armaduras y acelerando su corrosión.

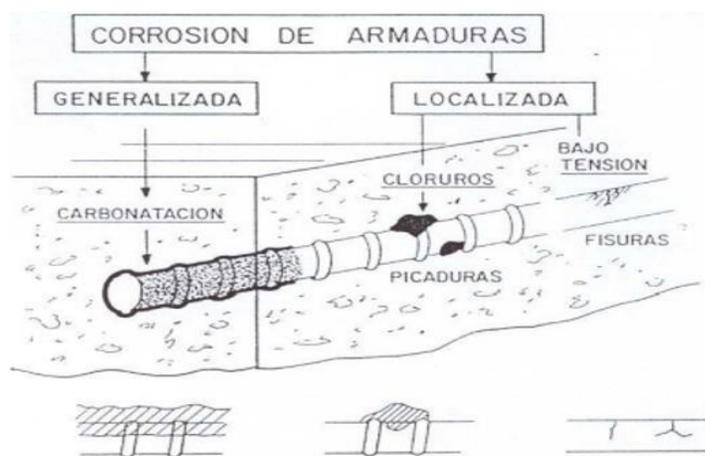
La corrosión por cloruros puede ser localizada (en áreas expuestas a altas concentraciones) o generalizada (si los cloruros están ampliamente dispersos). Los productos de corrosión (óxidos) se expanden creando presión interna que eventualmente causa agrietamientos, desprendimiento del concreto, pérdida de sección de armaduras y falla estructural (figura 4.).

Corrosión-fatiga. ocurre cuando las armaduras se ven sometidas a ciclos repetidos de tensión que causan daño mecánico acumulativo, esto genera grietas microscópicas en la capa de óxido protectora de las armaduras, exponiendo el acero y permitiendo que los agentes corrosivos

(humedad, oxígeno, iones, etc.) entren en contacto con el metal. Los ciclos de tensión repetidos, junto con la presencia de humedad y oxígeno, inician el proceso de corrosión en las armaduras.

La corrosión causa una expansión de volumen al convertir el acero en óxidos, lo que genera más tensiones internas y puede provocar grietas en el concreto. Este proceso se retroalimenta, ya que las grietas permiten mayor entrada de agentes corrosivos, acelerando la corrosión por fatiga. Este tipo de corrosión suele ser más común en estructuras sometidas a cargas cíclicas o vibraciones repetidas, como puentes y elementos de piso (figura 4).

Figura 4. Tipos de corrosión de armaduras en el hormigón



Fuente: Bermúdez (2007).

Corrosión bajo tensión. La tensión mecánica ejercida sobre las armaduras acelera los procesos electroquímicos involucrados en la corrosión, causando que ocurra a una tasa mucho mayor. A medida que el acero se corroe, los productos de corrosión (óxidos) se expanden causando presiones internas adicionales sobre las armaduras tensionadas. Esto causa que las tensiones máximas admisibles de las armaduras se alcancen más rápido, llevándolas al límite elástico o a la rotura en un período corto de tiempo. La corrosión bajo tensión generalmente

genera una falla repentina de las armaduras, sin evidencia previa de degradación como agrietamiento del concreto. Las armaduras más propensas a este tipo de corrosión son las que están sometidas a altos niveles iniciales de tensión, cerca del límite elástico del acero (figura 4).

2.3.4 Humedad del terreno por capilaridad

Este tipo de humedad se produce en los diferentes terrenos y se producen por que el agua toma contacto con los cimientos de la vivienda, afectando a los materiales de la base cimentada, esto por lo general sucede por un inadecuado aislamiento horizontal, produciendo que el agua haciende por los poros de los diferentes materiales utilizados en la construcción (Paucar, 2018).

Figura 5. Humedad por capilaridad.



Fuente: Paucar (2018).

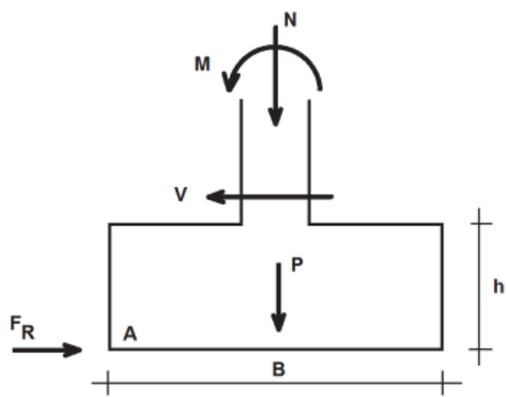
2.3.5 Diseño estructural

El diseño estructural se refiere al proceso de determinar la forma, las dimensiones y los materiales adecuados para que una estructura (como una cimentación) sea capaz de soportar

segura y adecuadamente las cargas y fuerzas a las que estará sometida durante su vida útil (Garza, 2019). En el caso de cimentaciones superficiales, el diseño estructural implica:

Determinar la fuerza total que actuará sobre la cimentación debida al peso propio de la estructura apoyada, las cargas vivas y las acciones laterales (como viento y sismo).

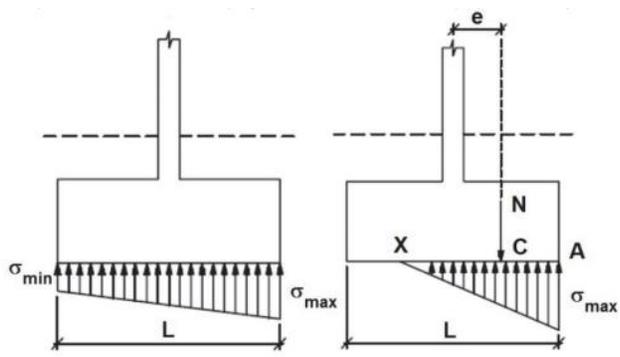
Figura 6. Cargas sobre una cimentación superficial



Fuente: Yepes (2020).

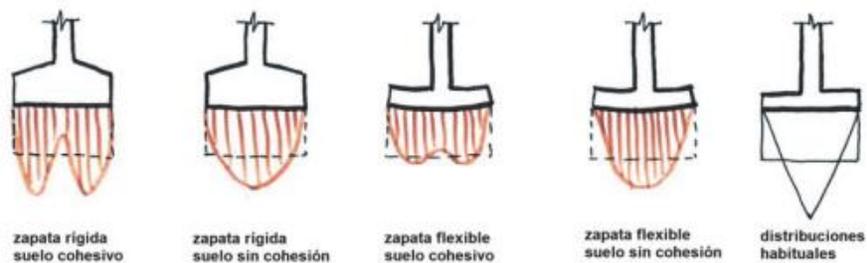
Calcular la capacidad portante del terreno en función de su tipo de suelo y características geotécnicas, para definir el tamaño necesario de la cimentación.

Figura 7. Distribución de la tensión transmitida al terreno



Fuente: Yepes (2020).

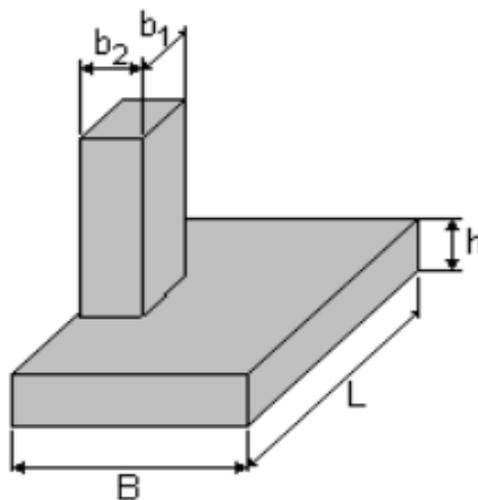
Figura 8. Distribución de tensiones en función de la naturaleza del suelo



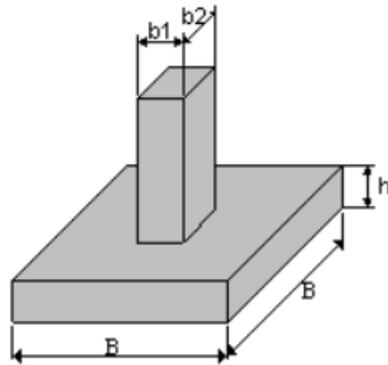
Fuente: Yepes (2020).

Definir la forma y dimensiones de la losa (o zapatas) de la cimentación de acuerdo con las cargas, el tipo de suelo, los requisitos constructivos y el espacio disponible.

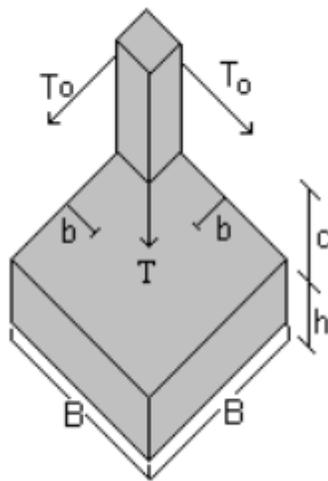
Figura 9. Zapata medianera



Fuente: Garza (2019).

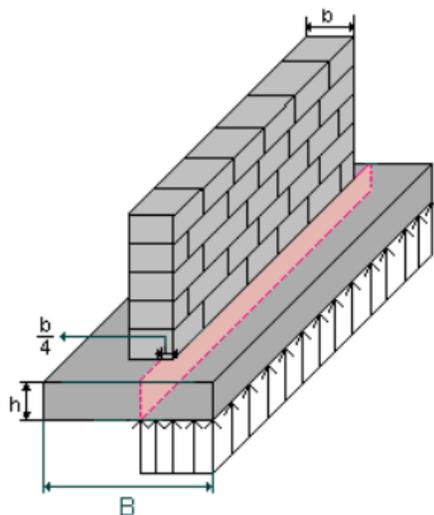
Figura 10. Zapata concéntrica

Fuente: Garza (2019).

Figura 11. Zapata esquinera

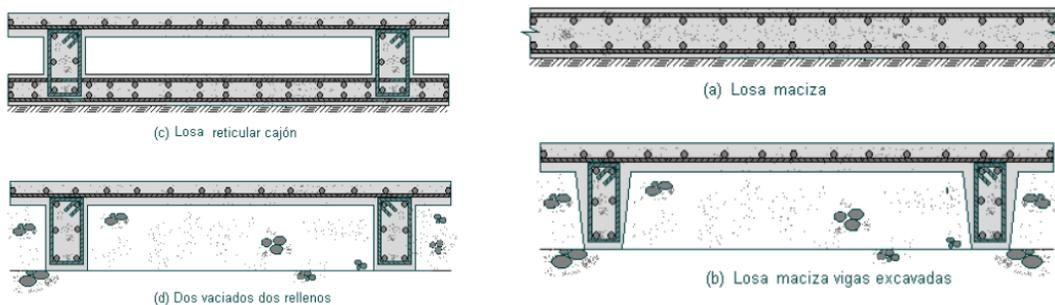
Fuente: Garza (2019).

Figura 12. Zapata continua con su sección crítica



Fuente: Garza (2019).

Figura 13. Losas de cimentación



Fuente: Garza (2019).

Especificar los materiales a utilizar en la cimentación (concreto y armaduras de acero) así como los espesores mínimos requeridos.

Considerar factores como la impermeabilización, juntas estructurantes, separación sísmica, etc.

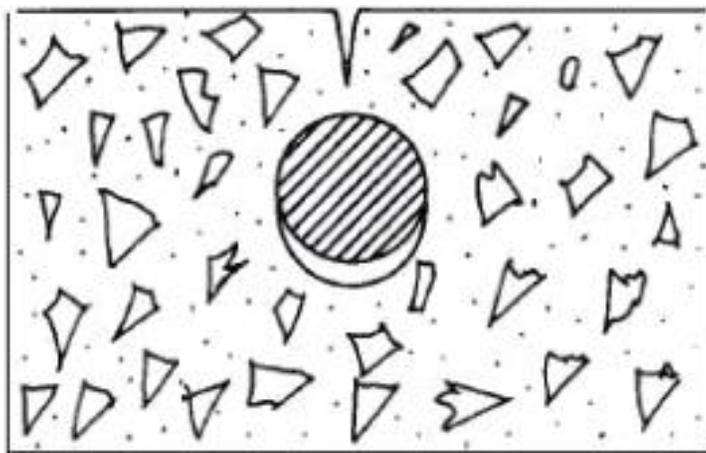
Revisar que la cimentación propuesta cumpla con normas y códigos de diseño estructural aplicables (NSR-10, AASHTO, NTC, etc.).

En síntesis, el diseño estructural de cimentaciones implica definir de manera óptima su forma, tamaño, materiales y detalles constructivos de acuerdo con las cargas a soportar y las condiciones del problema, para cumplir con los requerimientos de resistencia, servicio y seguridad.

2.3.6 Fisuración

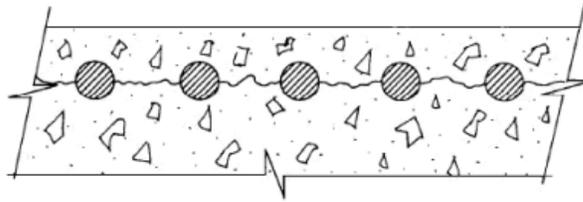
Es la formación de microgrietas o grietas muy finas que pueden o no ser visibles. La fisuración usualmente antecede al agrietamiento visible y está asociada a pequeñas deformaciones del concreto. Se produce por tensiones internas iniciales que no son lo suficientemente altas para generar grietas visibles.

Figura 14. Fisura por asentamiento plástico



Fuente: Vidaud (2013).

Figura 15. Fisuras por asentamiento plástico ante grupo de barras en un mismo plano

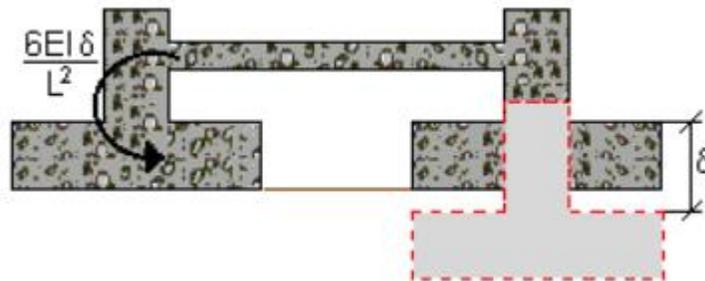


Fuente: Vidaud (2013).

2.3.7 Hundimiento diferencial

El hundimiento o asentamiento diferencial ocurre cuando diferentes partes de una estructura fundamentada se hunden o deforman en cantidades desiguales. Esto puede ocurrir durante la construcción o a lo largo de la vida útil de la estructura.

Figura 16. Asentamiento diferencial



Fuente: Garza (2019).

Las causas comunes de asentamiento diferencial son:

Diferencias en la capacidad de soporte o compresibilidad del suelo. Por ejemplo, suelos blandos alternando con capas más densas.

Presencia de capas sueltas, rellenos u otras irregularidades en el terreno.

Fallas geológicas o estratificación inclinada del suelo.

Drenaje deficiente que causa variaciones locales de la humedad.

Sobre excavaciones parciales o errores durante la construcción.

Los problemas asociados al asentamiento diferencial son:

Agrietamiento y degradación del concreto de la cimentación y de las estructuras apoyadas

Separación de juntas constructivas o de empalmes.

Daños en elementos no estructurales como revestimientos, divisiones internas, etc.

Pérdida de nivelación de pisos y desviación de muros de carga.

2.3.8 Materiales de construcción

Concreto. Es el material de construcción más utilizado para cimentaciones y losas de carga.

El concreto de buena calidad, con resistencia, densidad y baja permeabilidad apropiadas, ayuda

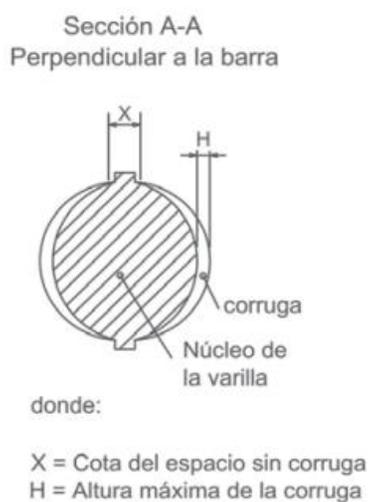
a:

- Resistir las cargas verticales y laterales que soporta la cimentación.
- Disminuir el asentamiento al aumentar la capacidad de soporte.
- Retardar la corrosión de armaduras al impedir el paso de agentes agresivos.
- Reducir el agrietamiento al soportar deformaciones mayores.

Se recomiendan concretos de más de 300 kg/cm² de resistencia a compresión, con baja relación agua/cemento. Adicionalmente, aditivos y sellantes mejoran sus propiedades.

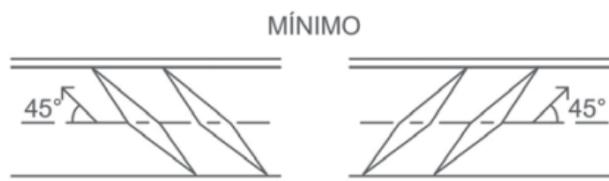
Acero de refuerzo. Se requiere acero de alta resistencia (grado 60 mínimo) con adherencia adecuada al concreto. Esto permite diseñar refuerzos más delgados, disminuyendo el peso propio de la cimentación. Además, el refuerzo mejorado retarda su corrosión.

Figura 17. Medición de ángulo de las corrugaciones



Fuente: Sanabria (2016).

Figura 18. Sección transversal de barra corrugada



Fuente: Sanabria (2016).

Figura 19. Identificación de una barra corrugada



Fuente: Sanabria (2016).

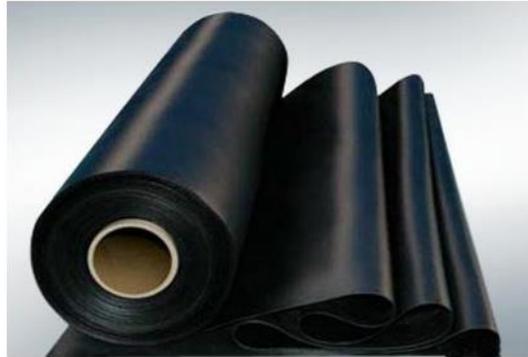
Geotextiles y membranas impermeables. Se colocan debajo de las losas de la cimentación para impedir la entrada de materiales finos como arenas y limos que pueden reducir la capacidad soporte del suelo. También sirven como membranas impermeables para prevenir el ingreso de agua subterránea.

Figura 20. Geomalla



Fuente: Chorres (2017).

Figura 21. Geomembranas



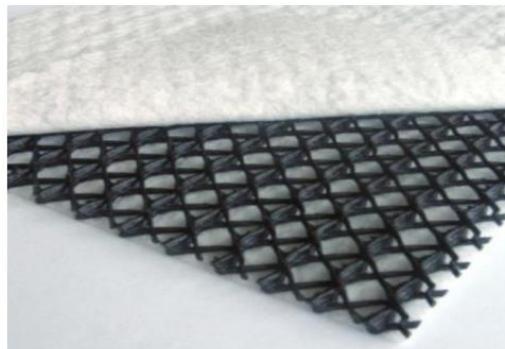
Fuente: Chorres (2017).

Figura 22. Georedes



Fuente: Chorres (2017).

Figura 23. Geocompuestos



Fuente: Chorres (2017).

2.3.9 Patologías estructurales

Las patologías estructurales son anormalidades o anomalías que afectan la integridad, seguridad y funcionamiento de una estructura. Pueden causar daños parciales o comprometer la estabilidad de la construcción. Algunas patologías comunes en cimentaciones y estructuras de concreto son:

Fisuración y agrietamiento: La formación de grietas y fisuras visibles en la masa de concreto, generalmente debido a tensiones que exceden la resistencia a tracción del material.

Hundimiento y asentamientos diferenciales: Deformaciones excesivas de la cimentación, muchas veces asociadas a fallas en el diseño geotécnico o en la calidad del terreno. Puede causar separación en juntas y fisuración.

Corrosión de armaduras: Degradación química del acero de refuerzo por la penetración de agentes corrosivos hacia las armaduras, ya sea por la presencia de cloruros o por otros medios.

Desmoronamiento: Desprendimiento parcial o total del concreto, que puede exponer las armaduras. Generalmente el resultado de procesos prolongados de fisuración y corrosión severas.

Pudrición: Deterioro localizado del concreto, que adquiere una textura esponjosa y se debilita notablemente, usualmente por ataque de sulfatos u otros agentes.

Otras patologías incluyen deterioro por ciclado térmico, congelamiento-degelación, fatiga mecánica y fallas en uniones.

2.3.10 Procedimientos constructivos

Conjunto de actividades y secuencia para ejecutar la construcción de estructuras como cimentaciones superficiales. Una inadecuada ejecución puede generar patologías, por lo tanto, un buen procedimiento constructivo afecta de manera relevante en la vida útil de la estructura, un ejemplo de un procedimiento es el siguiente:

La Preparación Adecuada del Terreno. es crucial para el correcto funcionamiento de las cimentaciones superficiales. Aquí hay algunos conceptos clave:

Nivelación e Igualación. El área donde se construirá la cimentación debe nivelarse para corregir pendientes y facilitar el vertido del concreto con las especificaciones de espesor. Se requiere una superficie plana y horizontal.

Compactación. El terreno debe compactarse mediante equipo mecánico para alcanzar la densidad especificada por el diseño geotécnico. Esto aumenta la capacidad de soporte del suelo y reduce el asentamiento posterior.

Drenaje. Es importante proveer un buen drenaje subsuperficial y perimetral para controlar la humedad en el terreno. Esto ayuda a minimizar los asentamientos diferenciales causados por variaciones en el contenido de agua.

Despeje de Materiales Suelos y Alterados. Se debe eliminar cualquier capa superficial de terreno suelto, orgánico o alterado, sustituyéndola en su caso por relleno estructural que homogenice el terreno.

Corrección de Heterogeneidades. Cuando existen variaciones significativas en el tipo o capacidad de soporte del suelo debajo de la cimentación, se utilizan técnicas como compactación dinámica profunda, inclusión de pilotes, etc.

Colocación de Geotextiles. Se colocan debajo de la losa de la cimentación para impedir la migración de partículas finas hacia el interior, manteniendo las características mecánicas del suelo de apoyo.

Colocación del Barral-ferro. Es algo clave para tener el funcionamiento esperado de la estructura, un procedimiento adecuado puede ser el siguiente:

Las barras de acero deben colocarse conforme a los planos y detalles estructurales, que especifican el diámetro, longitud y cantidad de barras.

Se debe mantener la separación y la superposición requeridas entre barras, así como las distancias a pilotes de cimentación o muros de contención.

Las armaduras se colocan sobre soportes que las mantienen en su posición correcta, a la altura especificada dentro de la losa de hormigón.

Es importante colocar separadores para mantener la distancia mínima entre barras de acero y la losa/zapata de hormigón, evitando que queden pegadas.

En casos de cargas muy altas, se colocan malla electrosoldada en dos direcciones, para proveer un refuerzo bidireccional.

Las esquinas, extremos y angularidades deben reforzarse con barras adicionales, así como la zona de unión con pilotes.

Se espera que el acero de refuerzo tenga fraguado antes del vertido del concreto, pues de otra forma puede flotar.

No se permite soldar ningún barral-ferro después de colocado el concreto, salvo por indicación estructural.

Concreto en Obra. La mezcla y colocación del concreto fresco deben seguir estrictamente las especificaciones de diseño para lograr las propiedades mecánicas requeridas. Esto implica mezclar los materiales de forma homogénea para alcanzar la resistencia, contenido de aire y consistencia especificada. El concreto se vierte en capas de espesor máximo de 20 cm y se compacta cuidadosamente con vibradores para eliminar complemente las bolsas de aire y asegurar la densidad del hormigón. Los acabados superficiales buscan sellar la superficie de la losa, mejorando su apariencia y homogeneidad.

El curado adecuado del concreto fresco es esencial para lograr las propiedades de diseño deseadas. Esto se logra evitando que el concreto se seque demasiado rápido durante las primeras horas y días después del vertido, permitiendo la hidratación completa del cemento y el fraguado óptimo. Esto se realiza mediante riego frecuente, el uso de membranas impermeables u otros métodos que conserven la humedad del concreto durante el proceso de curado.

Control de Obra. Un estricto control de obra es crucial para prevenir patologías en las cimentaciones. Las principales anormalidades que se busca evitar son:

Asentamientos Diferenciales. Derivan de heterogeneidades no detectadas en el terreno, deficiente compactación o un inadecuado nivelado de la subrasante. Un estricto control topográfico y verificaciones continuas de la densidad del terreno ayudan a prevenirlos.

Fisuración del Concreto. Puede deberse a fallas constructivas como un vibrado insuficiente que genere zonas de baja densidad, armaduras mal posicionadas o concreto de menor resistencia del especificado. Estrictas supervisiones durante el vertido y curado del hormigón son cruciales para detectar estos problemas a tiempo.

Corrosión de Armaduras. Se promueve por ingreso de agentes agresivos al concreto, normalmente por permeabilidad excesiva. Controlar la calidad y proporciones del concreto, así como un curado adecuado son medidas preventivas clave.

Agrietamiento por Fatiga. Se evita asegurando que el diseño estructural, el refuerzo y la calidad del concreto cumplan estrictamente lo especificado.

2.4 Marco Contextual

2.4.1 Ubicación espacial

En Colombia, hay varias ciudades y regiones que han experimentado problemas relacionados con la patología en cimentaciones superficiales en la construcción de edificaciones. Algunas de las ciudades donde se han reportado casos de patología en cimentaciones superficiales incluyen Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla.

Cimentaciones afectadas: Se revisarán patologías presentes en diferentes tipos de cimentaciones superficiales de obras civiles en Colombia, desde simples viviendas unifamiliares hasta edificaciones comerciales e industriales.

Características socioeconómicas: Las recomendaciones propuestas buscarán ser aplicables y adaptadas a diferentes contextos socioeconómicos en Colombia, que van desde estratos bajos hasta proyectos de alta inversión.

Clima y condiciones del terreno: El estudio considerará las particularidades de patologías en cimentaciones en regiones con climas y suelos diversos, desde la zona andina hasta el Caribe colombiano.

Soluciones de factibilidad técnica: Las medidas de mitigación que se propongan serán acordes a los recursos y capacidades técnicas disponibles comúnmente en Colombia para facilitar su implementación.

Beneficiarios indirectos: Al prevenir daños estructurales y costos de reparación en cimentaciones, se procura generar un impacto positivo sobre la industria de la construcción colombiana en su conjunto.

2.5 Marco Legal

Constitución Política de Colombia (1991): Artículo 51. Garantiza el derecho a una vivienda digna, lo que implica que las cimentaciones sean seguras y estables, sin patologías.

NSR-10: El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente establece requisitos adicionales para el diseño sísmico de cimentaciones, con el fin de asegurar su resistencia ante terremotos y evitar su colapso.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 2289: establece los requisitos técnicos para las barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto en Colombia.

ASTM D1883 - ASTM C1218/C1218M: Estas normas establecen los procedimientos para la determinación de la resistencia a la compresión de suelos. Son utilizadas en la ingeniería civil y geotécnica para evaluar la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión de los suelos, lo que permite diseñar y construir estructuras y estructuras adecuadamente

ASTM C1152/C1152M: Establece el método de prueba para determinar el contenido de cloruro ácido-soluble en mortero y concreto. Este método es utilizado para evaluar la cantidad de cloruros ácido-solubles que pueden estar presentes en el mortero y el concreto, lo que es importante para prevenir la corrosión de armaduras en estructuras de concreto.

Eurocódigo 7: Es el documento europeo que establece los requisitos para el diseño geotécnico. Este código proporciona directrices para la evaluación de la capacidad portante del suelo, el análisis de cimentaciones y la consideración de las acciones del terreno en el diseño de estructuras. Además, aborda aspectos relacionados con la seguridad geotécnica y la prevención de daños en las cimentaciones, lo que lo hace relevante para el estudio de patologías en cimentaciones superficiales.

ACI 318: Es una norma técnica publicada por el American Concrete Institute (ACI) que establece los requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de concreto.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

3.1.1 Investigación según el propósito

Se trata de una investigación aplicada porque busca identificar los factores asociados a contribuir con el desarrollo de las patologías para así proponer medidas de mitigación que permitan solucionar problemas concretos que se presentan comúnmente en cimentaciones superficiales. Se aplicarán conocimientos técnicos desarrollados anteriormente en ciencias de la ingeniería para proponer soluciones prácticas y de factibilidad técnica validada a nivel conceptual.

3.1.2 Investigación según el nivel

Según el nivel tenemos una investigación exploratoria dado que el objetivo principal es identificar las principales patologías que afectan cimentaciones superficiales en Colombia, analizar sus causas y manifestaciones.

3.1.3 Investigación según la estrategia

Como la principal fuente de información para identificar y analizar las patologías en cimentaciones, son los documentos existentes: literatura técnica, normativa, reglamentaria, informes de casos reales y trabajos de grado previos. Esto sitúa de manera predominante como una investigación Documental.

Las visitas a casos concretos y las consultas a expertos parecen jugar un papel complementario, como una forma de validar y enriquecer la información recolectada a través de fuentes documentales.

Por lo tanto, el énfasis radica en recolectar, analizar y sintetizar información disponible en documentos, validando y complementando con otras técnicas de forma secundaria.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población estaría conformada por, todas las obras civiles de construcción en Colombia que cuentan con cimentaciones superficiales como zapatas, cimientos continuos y losas de cimentación. Esto incluye desde viviendas unifamiliares hasta edificaciones comerciales e industriales. Donde se ven involucrados los profesionales en el diseño, construcción y supervisión de cimentaciones superficiales en el país, como ingenieros civiles, geotecnistas y técnicos constructores.

Por lo tanto, la población general a la que apunta este proyecto es amplia e inclusiva, abarcando todo tipo de obras civiles y personas involucradas en diseño, construcción y supervisión de cimentaciones superficiales en Colombia. Sin embargo, la unidad de análisis se centra en casos individuales de patologías y recomendaciones específicas, desde las cuales se extraerán conclusiones y propuestas generales.

3.2.2 Muestra

Dada la naturaleza del proyecto, que apunta más a generar recomendaciones conceptualmente sólidas que a probar hipótesis estadísticas, no parece necesario seleccionar una muestra probabilística de la población. En su lugar, se podría plantear lo siguiente:

Revisión detallada de al menos 5 casos representativos de patologías presentes en cimentaciones superficiales en Colombia, para ilustrar la variedad de falencias y problemáticas que se presentan. Estos casos servirían como ejemplos para explicar las recomendaciones que se plantean.

Consultas con profesionales con experiencia y conocimiento, que validen las causas, consecuencias y medidas de mitigación propuestos desde su experiencia profesional. Esto constituiría una muestra de opiniones calificadas que fundamenten conceptualmente las soluciones.

Análisis y síntesis de al menos 30 fuentes bibliográficas relevantes (trabajos de grado, investigaciones, artículos técnicos, normas) para construir el marco teórico y contextual del proyecto. Esta muestra de información documental sería suficiente para brindar sustento conceptual a la investigación.

En este caso, dada la naturaleza cualitativa del proyecto (más exploratoria que estadísticamente concluyente), más que una muestra representativa en términos probabilísticos, se requerirían ejemplos ilustrativos diversos y opiniones de expertos que confieran robustez conceptual a las propuestas planteadas.

3.3 Instrumentos para la Recolección de Información

3.3.1 Fuentes primarias

Encuestas a profesionales. Se realizarán encuestas a profesionales con experiencia y conocimiento en el diseño, construcción y supervisión de cimentaciones, para identificar patologías comunes, causas, consecuencias y medidas de mitigación desde su perspectiva práctica.

Análisis de casos. Se analizarán detalles técnicos y fotografías de casos reales de patologías en cimentaciones reportados en Colombia. Esto permitirá comprender las manifestaciones visibles y factores subyacentes en contextos reales.

3.3.2 Fuentes secundarias

Revisión de literatura. Se consultarán y sintetizarán trabajos de grado, artículos técnicos, libros especializados e investigaciones previas sobre el estado del arte del tema. Esto servirá para construir el marco teórico y contextual.

Análisis de normativa. Se revisarán normas técnicas colombianas, resoluciones y leyes relacionadas con diseño de cimentaciones y materiales de construcción, para establecer el marco legal del proyecto.

Todo esto permitirá triangular información con fuentes primarias (experiencia de campo) y secundarias (conocimiento documentado), para generar recomendaciones prácticas sólidamente fundamentadas desde diferentes perspectivas.

3.4 Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos

Análisis Detallado de Casos. Revisión pormenorizada de cada caso de patología para identificar factores asociados, similitudes y particularidades, realizando un resumen escrito con los aspectos más relevantes de cada uno.

Síntesis de la Literatura. Lectura crítica de fuentes bibliográficas para construir un marco teórico estructurado que analice las causas más comunes de patologías reportadas, los materiales involucrados y las alternativas propuestas por investigaciones previas.

Resumen de Encuestas. Extractar los puntos más importantes de cada encuesta a profesionales, incluyendo citas textuales, para sintetizar las opiniones clave en torno a factores, materiales y soluciones más adecuadas desde la perspectiva profesional.

Gráficos. Los gráficos permiten visualizar los datos de manera clara y accesible, lo que facilita la identificación de patrones, tendencias, relaciones y estructuras de los datos, Además, son una forma efectiva de comunicar los resultados del análisis de datos a un público más amplio, ya que permiten presentar la información de manera clara y precisa.

La idea es emplear principalmente técnicas cualitativas de síntesis, comparación y conceptualización visual, y mostrar los resultados de manera estructurada en escritos, tablas y graficas.

3.5 Fases y Actividades Específicas del Proyecto

3.5.1 Fase 1. Revisión de literatura y marco teórico

Realizar una búsqueda exhaustiva de fuentes bibliográficas relativas al tema.

Seleccionar al menos 30 referencias relevantes entre libros, artículos, normas, informes.

Analizar la información recolectada para determinar conceptos clave, causas comunes de patologías, limitaciones de métodos existentes.

Elaborar el marco teórico con los fundamentos conceptuales, contextuales e históricos del estudio.

3.5.2 Fase 2. Análisis de casos reales

Recopilar al menos 5 casos representativos de patologías en cimentaciones superficiales en Colombia.

Revisar detalles técnicos y fotografías para comprender manifestaciones visibles y posibles causas.

Comparar similitudes y diferencias entre casos para extraer patrones y generalizaciones.

3.5.3 Fase 3. Consulta a profesionales

Identificar profesionales con experiencia y conocimiento en el tema de patologías y cimentaciones superficiales.

Realizar encuestas para indagar sobre factores causales más comunes, consecuencias y recomendaciones desde la práctica profesional.

3.5.4 Fase 4. Propuesta de alternativas

Sintetizar información recolectada en tablas y graficas.

Establecer medidas de mitigación de las patologías estudiadas.

3.5.5 Fase 5. Conclusiones y difusión

Generar conclusiones globales que logren los objetivos de la investigación.

Socializar resultados a través de publicaciones para su difusión entre profesionales.

4. Resultados

4.1 Clasificación de las Patologías en Cimentaciones Superficiales más Recurrentes y sus Factores Causales

El mundo de la ingeniería civil y estructural se caracteriza por su constante evolución, con desafíos que requieren soluciones innovadoras y un profundo conocimiento de los materiales y procesos involucrados en la construcción de infraestructuras seguras y duraderas. Dentro de este contexto, las cimentaciones desempeñan un papel fundamental al proporcionar la base sólida sobre la cual se erigen edificaciones y estructuras de diversa índole. Sin embargo, a lo largo de su ciclo de vida, las cimentaciones pueden enfrentar una serie de problemas y anomalías que comprometen su integridad y desempeño, lo que se traduce en lo que se conoce como patologías en cimentaciones.

El objetivo principal de esta monografía es abordar de manera exhaustiva y sistemática el estudio de las patologías más recurrentes en cimentaciones. Nuestra investigación se enfocará en la clasificación de estas patologías según los mecanismos de deterioro que las caracterizan, tales como fisuración, hundimiento, desplazamiento, entre otros, y los diversos factores causales que influyen en su aparición. Estos factores pueden variar desde aspectos constructivos y geotécnicos, hasta condiciones ambientales y agentes químicos presentes en el entorno de la estructura.

Esta investigación se presenta en un momento crítico en el desarrollo de la ingeniería civil, donde la seguridad, la sostenibilidad y la longevidad de las estructuras son de suma importancia. El conocimiento profundo de las patologías en cimentaciones y su clasificación nos permitirá no

solo comprender las causas subyacentes de los problemas estructurales, sino también desarrollar estrategias de prevención y rehabilitación efectivas.

A lo largo de este trabajo, abordaremos cada uno de los aspectos mencionados en el objetivo específico: la clasificación de las patologías, los mecanismos de deterioro y los factores causales, con el fin de proporcionar a los profesionales de la ingeniería civil una herramienta valiosa para la evaluación y el diseño de cimentaciones más resistentes y duraderas.

A lo largo de esta monografía, se explorarán en detalle los diferentes tipos de patologías que pueden afectar a las cimentaciones, se analizarán los mecanismos de deterioro responsables de su aparición, y se examinarán los diversos factores causales que intervienen en cada caso. Para lograr este objetivo, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica y se presentarán ejemplos concretos de casos reales que ilustren las problemáticas estudiadas.

4.1.1 Factores que inciden en la presencia de patologías en las edificaciones

La durabilidad y la integridad de las estructuras de construcción son aspectos cruciales en el ámbito de la ingeniería civil y la arquitectura. La preservación de la estabilidad y resistencia de una edificación a lo largo del tiempo se ve influida por una serie de factores interrelacionados que deben ser cuidadosamente considerados y abordados en el proceso de diseño, construcción y mantenimiento. Para lograr este objetivo, es esencial llevar a cabo estudios previos exhaustivos que abarquen aspectos relacionados con el terreno, los fenómenos naturales, los materiales empleados y la adhesión rigurosa a las normativas pertinentes, como la Norma Sismo Resistente NSR-10. La observación diligente de estos elementos es esencial para contrarrestar cualquier efecto adverso que pueda poner en riesgo la estabilidad y la resistencia de la estructura construida.

En este contexto, se desglosarán los factores que ejercen un impacto significativo en el daño permanente y duradero de las edificaciones. Estos factores pueden clasificarse en diversas categorías, incluyendo aspectos geológicos, estructurales, constructivos, socioeconómicos y arquitectónicos. La comprensión y el control de estos factores son esenciales para prevenir daños y perjuicios irreparables en las construcciones, garantizando así su longevidad y seguridad. Los factores geológicos se refieren a las características del suelo y la geología local, que pueden influir en la estabilidad de la cimentación y la respuesta ante sismos u otros eventos geotécnicos. Los factores estructurales se relacionan con el diseño y la capacidad de carga de la estructura misma, mientras que los factores constructivos abordan la calidad de la mano de obra, los procedimientos de construcción y la calidad de los materiales utilizados. Los aspectos socioeconómicos consideran el entorno socioeconómico en el que se encuentra la edificación y su influencia en la inversión y el mantenimiento adecuado. Por último, los factores arquitectónicos se centran en el diseño y la distribución espacial de la edificación, que pueden afectar la eficiencia estructural y funcional de la misma. Cada una de estas categorías de factores desempeña un papel crítico en la prevención de daños y en la promoción de la seguridad y la durabilidad de las construcciones, y, por lo tanto, debe ser objeto de un análisis detenido y de estrategias de mitigación efectivas.

Factores Geológicos en las Patologías Estructurales. La influencia de los factores geológicos en las patologías estructurales es un tema de creciente importancia en la ingeniería civil y la arquitectura. La comprensión de cómo los procesos geológicos pueden afectar la integridad de las edificaciones es fundamental para diseñar estructuras resistentes y seguras. Los procesos geológicos que ocurren tanto en la superficie como debajo de la tierra son continuos y, en

muchos casos, pueden representar una amenaza significativa tanto para las personas como para sus construcciones.

Uno de los principales factores geológicos que inciden en la aparición de patologías estructurales es el movimiento de placas en la corteza terrestre. Este fenómeno, conocido como tectónica de placas, puede dar lugar a terremotos y movimientos sísmicos que pueden ejercer fuerzas destructivas sobre las edificaciones. La distancia a la fuente sísmica y la amplitud y duración de las sacudidas fuertes del terreno son factores críticos que determinan el impacto de un terremoto en una estructura. La sismicidad de la zona en la que se encuentra una edificación es un elemento clave a considerar, ya que algunas regiones son más propensas que otras a experimentar actividad sísmica significativa.

La interacción entre el suelo y la estructura es otro factor geológico de gran relevancia. Las propiedades del suelo en el que se encuentra una edificación, como su tipo, compactación y capacidad de carga, pueden influir en la respuesta de la estructura ante cargas sísmicas o dinámicas. Los asentamientos del terreno, que pueden ser resultado de procesos geológicos como la consolidación de suelos blandos, pueden causar deformaciones no deseadas en la edificación. Además, la licuefacción del terreno, un fenómeno en el que los suelos saturados pierden su capacidad de soporte durante un terremoto, puede tener efectos devastadores en las estructuras. La inestabilidad de taludes, relacionada con la geología local y la erosión, puede también representar una amenaza para las construcciones situadas en zonas de ladera.

El agrietamiento en muros de mampostería es una patología estructural que puede estar relacionada con factores geológicos, especialmente cuando se presentan fallas geológicas en el subsuelo. Esta situación puede desencadenar una serie de efectos adversos en la cimentación y, a

su vez, en los muros de mampostería. Aquí, explicaremos cómo la presencia de fallas geológicas puede contribuir al agrietamiento en muros de mampostería, junto con la influencia del moho como un factor adicional en este contexto de patología estructural, tal como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Agrietamiento presentando debido a fallas geológicas, con presencia de moho



Fuente: S&P (2019).

Las fallas geológicas son fracturas o discontinuidades en las capas de roca o suelo que pueden dar lugar a movimientos inusuales en el terreno. Cuando una edificación se encuentra sobre o cerca de una falla geológica activa, esta puede experimentar asentamientos diferenciales y movimientos laterales, lo que ejerce tensiones significativas en su estructura. Estos movimientos irregulares pueden causar desplazamientos y deformaciones en la cimentación de la construcción.

Las deformaciones y desplazamientos en la cimentación pueden transmitirse a los muros de mampostería que se apoyan sobre ella. Como resultado, los muros pueden verse sometidos a

tensiones no previstas en su diseño original. Estas tensiones pueden manifestarse en forma de grietas, especialmente en puntos donde se concentran las fuerzas, como las esquinas de los muros o los puntos de apoyo.

Además de las tensiones causadas por las fallas geológicas, la presencia de humedad en el subsuelo debido a filtraciones o problemas de drenaje puede propiciar la aparición de moho en los muros de mampostería. El moho, además de ser un problema de salud, puede debilitar la integridad de los materiales de construcción, como la argamasa y los ladrillos, al degradarlos con el tiempo. Esto puede aumentar la susceptibilidad de los muros a las grietas y acelerar el deterioro de la estructura.

En síntesis, es innegable la trascendencia de los factores geológicos en el surgimiento de patologías estructurales en edificaciones. La comprensión profunda de estos elementos reviste un carácter imprescindible para la concepción y desarrollo de estructuras capaces de resistir las inclemencias geológicas, así como para la adopción de medidas de mitigación apropiadas. En este contexto, resulta imperativo que los profesionales de la ingeniería y la arquitectura realicen un análisis minucioso de la geología local y evalúen la sismicidad característica de la región al concebir y materializar proyectos edilicios. El propósito subyacente radica en asegurar la integridad y la longevidad de las construcciones en un entorno geológico que, por su naturaleza intrínseca, se muestra dinámico y en ocasiones sumamente impredecible.

Factores estructurales en las patologías estructurales. El estudio de las patologías estructurales es esencial para comprender los problemas que pueden afectar la integridad y la seguridad de las edificaciones. Entre los múltiples factores que pueden contribuir a la aparición de patologías estructurales, los factores estructurales desempeñan un papel crucial. Estos factores

están relacionados con el diseño, la construcción y la capacidad de respuesta de la estructura ante cargas y eventos diversos. A continuación, se estudiará en detalle los factores estructurales influyentes en la generación de patologías en edificaciones, basándonos en la información proporcionada.

Tipología estructural. La elección de la tipología estructural es un factor clave en el desempeño de una edificación. Diferentes sistemas estructurales, como el de mampostería confinada mencionado, tienen sus propias características y requisitos. Un diseño inadecuado o una elección inapropiada de la tipología estructural pueden conducir a patologías.

Deficiencia en la Estimación de Cargas. La estimación precisa de las cargas a las que estará sometida una estructura es esencial para su diseño adecuado. Una deficiencia en la estimación de cargas puede resultar en un diseño estructural insuficiente, lo que aumenta el riesgo de patologías.

Tipo de material. La elección de materiales de construcción desempeña un papel crítico en la resistencia y durabilidad de una estructura. Utilizar materiales inadecuados o de baja calidad puede dar lugar a patologías estructurales.

Cambios bruscos de rigidez. Cambios abruptos en la rigidez de una estructura, como una transición de un material rígido a uno más flexible, pueden causar concentración de esfuerzos y grietas en puntos de transición.

Detalles de refuerzo estructural deficientes. La calidad de las conexiones y el armado de elementos estructurales es esencial. Deficiencias en estos detalles pueden debilitar la estructura y promover la aparición de patologías.

Ductilidad disponible. La capacidad de una estructura para deformarse plásticamente y disipar energía durante un evento sísmico es crucial. La falta de ductilidad puede llevar a la formación de grietas y daños irreparables.

Geometría irregular de la planta. Las plantas con geometrías irregulares pueden experimentar torsiones y desplazamientos inesperados que contribuyen a patologías.

Deficiencia en el análisis y diseño estructural. Un análisis y diseño estructural inadecuado, que no tenga en cuenta las condiciones específicas del entorno y las cargas, puede ser un factor determinante en la aparición de patologías.

Golpeteo o colindancia en edificaciones contiguas. La interacción entre edificaciones contiguas puede causar daños si no se considera en el diseño estructural.

Factores constructivos en las patologías estructurales. El análisis de las patologías estructurales no estaría completo sin la consideración de los factores constructivos, que desempeñan un papel fundamental en la salud y la durabilidad de las edificaciones. Los factores constructivos abarcan una amplia gama de elementos relacionados con la planificación, la ejecución y la supervisión de la construcción de estructuras. A continuación, se identifica cómo estos factores influyen en la generación de patologías estructurales, teniendo en cuenta la información proporcionada.

Calidad del suelo y materiales de construcción. El tipo de suelo en el que se asienta una construcción es esencial para garantizar su estabilidad. La falta de estudios geotécnicos adecuados y la elección de materiales de construcción inapropiados pueden conducir a patologías

estructurales. Es crucial corroborar que los materiales utilizados sean compatibles con las condiciones del suelo y cumplan con los estándares de calidad necesarios.

Sistemas de cimentación. En el caso de estructuras de mampostería confinada, como se menciona, es esencial un sistema de cimentación adecuado. Cada muro estructural debe contar con su propia viga de cimentación, y todos los elementos de la cimentación deben estar unidos y continuos para asegurar la estabilidad. Deficiencias en estos aspectos pueden dar lugar a patologías estructurales, como asentamientos diferenciales.

Procedimientos constructivos. La correcta ejecución de los procedimientos constructivos es fundamental para evitar problemas futuros. Un encofrado deficiente, la mala calidad de los materiales, la falta de protección contra el terreno, la incompatibilidad de los materiales utilizados y la falta de inspección eficiente pueden contribuir a la aparición de patologías.

Mano de obra y uniones defectuosas. La calidad de la mano de obra y las uniones entre elementos estructurales son aspectos críticos. Mano de obra defectuosa, uniones defectuosas entre elementos estructurales y falta de unión adecuada entre elementos y la mampostería pueden debilitar la estructura y propiciar patologías.

Concreto y refuerzo. Un adecuado proceso constructivo de mezcla, vaciado y curado del concreto, junto con un refuerzo adecuado en las conexiones del concreto, son esenciales para garantizar la resistencia y durabilidad de una estructura. Defectos en el vaciado y curado del concreto, así como la falta de recubrimiento que proporcione protección contra la corrosión, pueden ser causantes de patologías.

Inspección y supervisión. La falta de una inspección eficiente durante el proceso constructivo puede llevar a problemas no detectados que surgen posteriormente como patologías estructurales.

Deslizamientos. Los deslizamientos y movimientos inesperados durante la construcción pueden causar daños a la estructura si no se abordan adecuadamente.

Factores socioeconómicos en las patologías estructurales. El estudio de las patologías estructurales se extiende más allá de los aspectos puramente técnicos y se adentra en el terreno de los factores socioeconómicos, los cuales desempeñan un papel significativo en la génesis y propagación de problemas en las edificaciones. Los factores socioeconómicos abordan aspectos relacionados con la planificación, la toma de decisiones, la educación y la comunicación en el contexto de la construcción y el mantenimiento de estructuras. A continuación, se detalla cómo estos factores influyen en la aparición de patologías estructurales, considerando la información proporcionada.

Presupuesto y planificación. Uno de los principales factores socioeconómicos es el presupuesto disponible para un proyecto de construcción. La falta de planificación adecuada y la falta de recursos económicos pueden llevar a la utilización de materiales de menor calidad o a la contratación de profesionales no calificados, lo que aumenta el riesgo de patologías estructurales.

Cambio de uso y materiales inadecuados. El cambio del uso previsto en una edificación original puede dar lugar a patologías si no se realizan las adecuaciones estructurales necesarias. Asimismo, la elección de materiales no aptos para resistir sismos u otros tipos de cargas puede comprometer la seguridad de la estructura.

Información y sistema de alerta rápida. La falta de acceso a información relevante sobre la calidad de los materiales, las condiciones del suelo o los riesgos sísmicos puede influir en la toma de decisiones deficientes. La ausencia de sistemas de alerta rápida para eventos como sismos o desastres naturales puede exponer a las edificaciones a un mayor riesgo de daños.

Educación de la población. La falta de educación y concienciación en materia de construcción segura y mantenimiento adecuado de las edificaciones puede contribuir a la aparición de patologías. La población necesita comprender la importancia de la calidad en la construcción y las consecuencias de decisiones apresuradas o deficientes.

Comunicación entre profesionales. La falta de comunicación efectiva entre ingenieros y arquitectos puede resultar en diseños y construcciones que no cumplen con los estándares de seguridad. Una colaboración estrecha y una comprensión mutua de las necesidades y restricciones son esenciales.

Remuneración de profesionales. La remuneración insuficiente de los profesionales responsables del proyecto estructural puede influir en la calidad del trabajo y en la selección de materiales y métodos de construcción que no cumplen con los estándares óptimos.

Factores arquitectónicos en las patologías estructurales: El estudio de las patologías estructurales no se limita únicamente a aspectos técnicos y geotécnicos; también incluye factores arquitectónicos que desempeñan un papel crítico en la salud y la integridad de las edificaciones. Los factores arquitectónicos se refieren a las decisiones de diseño y distribución espacial que pueden influir en la generación de patologías estructurales. A continuación, se revisa detalladamente cómo estos factores influyen en la aparición de patologías estructurales, basándonos en la información proporcionada.

Configuración geométrica irregular. La configuración geométrica irregular en la planta y el alzado de una edificación puede afectar su estabilidad. Las formas inusuales o asimétricas pueden generar concentración de tensiones en ciertas áreas, lo que aumenta el riesgo de deformaciones y grietas.

Distribución asimétrica de los elementos de la fachada. La distribución asimétrica de los elementos de la fachada puede desequilibrar la estructura y generar tensiones desiguales en diferentes partes de la edificación. Esto puede contribuir a la aparición de patologías, especialmente en condiciones de carga o eventos sísmicos.

Utilización de materiales inflamables. La elección indiscriminada de materiales inflamables en la construcción puede ser un factor de riesgo significativo. En caso de incendio, estos materiales pueden propagar el fuego y debilitar la integridad de la estructura, lo que puede dar lugar a patologías estructurales.

Uso excesivo de espacios abiertos. El uso excesivo de espacios abiertos o grandes áreas de ventanales sin un adecuado soporte estructural puede comprometer la estabilidad de la edificación. Esto puede llevar a deformaciones y fallos estructurales, especialmente en condiciones de viento o carga sísmica.

Ubicación asimétrica del núcleo de escaleras. La ubicación asimétrica del núcleo de escaleras puede generar desequilibrios en la estructura. Un núcleo de escaleras mal ubicado puede contribuir a movimientos y deformaciones no deseados en la edificación.

Sistema de escape deficiente. Un sistema de escape deficiente que no cumpla con las normativas de seguridad puede tener un impacto en la vida útil de una edificación. En situaciones

de emergencia, la falta de rutas de escape adecuadas puede poner en riesgo la seguridad de los ocupantes y, en casos extremos, afectar la estructura.

4.2 Analizar el Impacto Estructural Generado Por las Patologías en Cimentaciones Superficiales

El estudio de las cimentaciones superficiales en Colombia ha cobrado relevancia en la ingeniería civil debido a la variabilidad de los suelos y las condiciones climáticas del país. Estas condiciones presentan retos singulares para el diseño y la construcción de estructuras seguras y duraderas. En este contexto, las patologías de las cimentaciones no solo representan un desafío técnico, sino que también implican consideraciones económicas y de seguridad pública (Sandoval y Gutiérrez, 2015). La recurrencia de defectos en las cimentaciones, como los hundimientos diferenciales y la corrosión, ha motivado la necesidad de desarrollar guías prácticas que aborden estas problemáticas desde una perspectiva local y aplicada.

Los asentamientos diferenciales son probablemente el problema más evidente y destructivo en el contexto de las cimentaciones superficiales, dado que pueden manifestarse en agrietamientos y deformaciones de la superestructura, lo que puede llevar a fallos catastróficos. En el caso del suelo colombiano, caracterizado por su diversidad, se registran áreas con alta propensión a este tipo de patologías debido a la presencia de arcillas expansivas y suelos con baja capacidad portante. Además, las prácticas de construcción y la falta de una adecuada preparación del terreno agravan estos problemas, poniendo en peligro la integridad de las edificaciones.

Por otro lado, la corrosión de los elementos de acero en las cimentaciones es otro tema que no se puede ignorar. La infiltración de agua y sales, especialmente en regiones costeras y zonas

de alta pluviosidad, desencadena procesos electroquímicos que debilitan las armaduras y, por ende, comprometen la capacidad portante y la vida útil de las cimentaciones (Bermúdez, 2007). Este fenómeno, a menudo subestimado en las etapas de diseño y construcción, puede llevar a fallas súbitas y costosas rehabilitaciones.

En respuesta a estos desafíos, el proyecto patologías en cimentaciones superficiales en Colombia pretende ofrecer un conjunto de recomendaciones enfocadas en la prevención y remediación de las patologías más comunes. La intención es brindar una herramienta que sea tanto educativa como práctica, proporcionando un marco de referencia para profesionales del campo de la construcción y la ingeniería civil. Este esfuerzo colaborativo tiene el potencial de cambiar la manera en que se abordan los problemas de cimentación en el país, reduciendo el riesgo de fallos estructurales y mejorando la resiliencia de la infraestructura nacional.

La problemática de las cimentaciones superficiales en Colombia es multifacética y sus consecuencias se manifiestan en una serie de patologías estructurales que afectan la durabilidad y la seguridad de las construcciones. Los asentamientos diferenciales, que resultan en inclinaciones y desplomes parciales de las estructuras, son frecuentemente observados en áreas urbanas y rurales, poniendo en evidencia la variabilidad de las respuestas del suelo a las cargas impuestas. Estos movimientos del suelo no solo comprometen la operatividad de las edificaciones, sino que también generan un ciclo de mantenimiento y reparación costoso y continuo.

Las causas de estos asentamientos son diversas, pero generalmente se pueden rastrear hasta la heterogeneidad de los suelos, la presencia de capas compresibles no detectadas durante las fases de exploración geotécnica o la sobreestimación de la capacidad portante del suelo en las fases de diseño. La urbanización acelerada en Colombia ha llevado a una expansión sobre

terrenos que no siempre son adecuados para el tipo de cimentaciones convencionales utilizadas, exacerbando el problema.

El fenómeno de la corrosión en las cimentaciones representa otra dimensión del problema. En Colombia, con sus climas tropicales y zonas de alta salinidad, los componentes metálicos de las cimentaciones están particularmente en riesgo. La corrosión no solo disminuye la sección efectiva de las armaduras, sino que también puede generar productos de corrosión que inducen tensiones internas en el concreto, llevando a fisuración y pérdida de adherencia entre el acero y el concreto.

Ante este panorama, la formulación del problema se centra en entender de manera integral cuáles son los factores asociados que contribuyen al desarrollo de estas patologías y cómo pueden ser abordados efectivamente. Se requiere de un enfoque holístico que considere tanto las condiciones ambientales y del suelo, como las prácticas de diseño, materiales utilizados y técnicas de construcción. La pregunta central es cómo mitigar estas patologías para asegurar un rendimiento estructural a largo plazo que garantice seguridad, funcionalidad y economía.

La metodología adoptada en este proyecto busca profundizar en el conocimiento de las patologías de las cimentaciones superficiales en Colombia a través de un estudio de casos. La recopilación de al menos cinco casos representativos permitirá una evaluación comprensiva de las problemáticas específicas del contexto colombiano. Cada caso será documentado meticulosamente, incluyendo detalles técnicos como dimensiones, materiales, procesos constructivos, condiciones del suelo y manifestaciones de las patologías.

La evaluación cualitativa se enfocará en identificar las causas raíz de las patologías observadas, basándose en evidencia visual, registros de construcción. Esto incluirá una revisión

de los procesos de diseño y construcción, evaluando en qué medida las normativas vigentes y las buenas prácticas fueron seguidas o si hubo desviaciones que pudieran haber contribuido a la problemática.

La fase de análisis de casos reales es crítica para entender las patologías en las cimentaciones. En Colombia, donde los casos estudiados revelan una variedad de problemas, desde la elección inapropiada del tipo de cimentación hasta la ejecución deficiente de las obras, el análisis detallado de cada situación concreta proporciona una comprensión más rica de las causas subyacentes de las patologías. Por ejemplo, en un caso de Bogotá, un hundimiento diferencial significativo fue atribuido a la presencia de una capa de arcilla expansiva no identificada en las exploraciones geotécnicas iniciales. Este caso pone de relieve la importancia de un estudio de suelos exhaustivo y una planificación detallada.

4.2.1 Estudio de casos reales

El análisis de casos reales de patologías ocurridas en cimientos superficiales resulta de gran utilidad para la investigación en este campo. Al estudiar ejemplos concretos de daños como hundimientos, fisuraciones u otros defectos presentados en construcciones reales cuyos cimientos no alcanzan profundidades suficientes, podemos comprender mejor cómo influyen factores geomorfológicos, climáticos y de diseño en la aparición de tales problemas.

Caso1. Patologías estructurales en la Institución Educativa Antonia Santos de Santa Rosa de Cabal.

El capítulo dedicado a las Patologías estructurales identificadas en las instituciones educativas del documento proporciona un análisis detallado de las condiciones estructurales de la

institución educativa Antonia Santos. Este análisis es crucial para comprender las condiciones actuales de la infraestructura y para planificar las intervenciones necesarias para garantizar la seguridad y la funcionalidad del edificio. (Cortes y Perilla, 2017).

Ubicación y Contexto de la Institución. La institución Antonia Santos está ubicada en una zona céntrica del municipio de Santa Rosa de Cabal, frente a la Iglesia Santa María del Monte Carmelo y al lado de la zona de mercado principal. Esta ubicación central es relevante ya que sugiere un alto uso y una importancia significativa dentro de la comunidad.

Metodología de Inspección. La inspección patológica se llevó a cabo utilizando un formato de campo o tabla de inspección, lo que permitió una evaluación sistemática de las patologías y el estado actual de la estructura. Este enfoque metodológico asegura que se realice una evaluación exhaustiva y estandarizada.

Condiciones del terreno. La edificación, con más de 60 años de antigüedad, está construida sobre un depósito lacustre, lo que implica la presencia de sedimentos de grano fino como limos y arcillas, con un alto contenido de materia orgánica, especialmente en zonas pantanosas. Estas condiciones del terreno pueden afectar significativamente la estabilidad y la integridad estructural del edificio. (Cortes y Perilla , 2017).

Patologías estructurales observadas. Según el estudio realizado en las cinco instituciones educativas del municipio de Santa Rosa de Cabal, las patologías estructurales más recurrentes fueron la pérdida de material, fisuras y/o grietas, corrosión en las estructuras metálicas, eflorescencia, humedad, asentamientos, entre otras. Estas patologías pueden ser causadas por diversos factores, como un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, materiales de calidad deficiente que no cumplen especificaciones de la NTC,

fenómenos naturales como sismos, inundaciones, deslizamientos de tierra, entre otros, y el deterioro con el transcurrir del tiempo.

Dado que la cimentación se encuentra por debajo del nivel del piso y no es directamente visible, se hace necesario analizar las patologías que puedan estar asociadas con la cimentación, como los asentamientos diferenciales. Estos asentamientos pueden generar fisuras, grietas, desplazamientos y deformaciones en la estructura superior. Por lo tanto, es crucial identificar y comprender las manifestaciones superficiales de estas patologías, ya que pueden ser indicativas de problemas en la cimentación que requieren atención y análisis detallado para garantizar la integridad estructural a largo plazo.

Asentamientos Diferenciales. Los asentamientos diferenciales se refieren a las deformaciones desiguales o no uniformes que sufre una edificación producto de la compactación desigual del suelo bajo sus cargas. Estas deformaciones ocurren cuando distintas partes de una misma cimentación se hundeen de manera desnivelada, dado que el terreno subyacente no distribuye homogéneamente las fuerzas de la construcción.

los asentamientos diferenciales se manifestaron a través de fisuramientos, grietas y desniveles observados en losas, muros y otros elementos estructurales de la Escuela Antonio Santos. Esto se debió a que algunas zonas de la cimentación se hundieron con mayor magnitud que otras, dado que los depósitos lacustres que componen el terreno de fundación, compuestos principalmente por limos y arcillas, presentan alto contenido de materia orgánica.

Figura 25. Grietas y fisuras en el piso



Fuente: Cortes y Perilla (2017).

Corrosión bajo tensión. La tensión mecánica ejercida sobre las armaduras acelera los procesos electroquímicos involucrados en la corrosión, causando que ocurra a una tasa mucho mayor. A medida que el acero se corroe, los productos de corrosión (óxidos) se expanden causando presiones internas adicionales sobre las armaduras tensionadas. Esto causa que las tensiones máximas admisibles de las armaduras se alcancen más rápido, llevándolas al límite elástico o a la rotura en un período corto de tiempo. La corrosión bajo tensión generalmente genera una falla repentina de las armaduras, sin evidencia previa de degradación como agrietamiento del concreto. Las armaduras más propensas a este tipo de corrosión son las que están sometidas a altos niveles iniciales de tensión, cerca del límite elástico del acero (figura 4).

Grietas en los muros. Las grietas observadas en los muros son indicativas de movimientos estructurales, posiblemente debido a asentamientos diferenciales o a cargas no previstas en el diseño original. Estas grietas no solo comprometen la estética del edificio, sino que también pueden ser una vía para la infiltración de humedad, exacerbando otros problemas como la corrosión y el crecimiento biológico (Cortes y Perilla, 2017).

Figura 26. Grieta existente en los muros



Fuente: Cortes y Perilla (2017).

Crecimiento de material biológico en la estructura. El crecimiento de materia biológica entre las fisuras y en la superficie de los elementos estructurales es un claro indicador de un ambiente con alta humedad y posiblemente de una deficiente impermeabilización. Este crecimiento biológico no solo es un problema estético, sino que también puede causar daños físicos a la estructura, como la expansión de fisuras y la aceleración de la corrosión (Cortes y Perilla, 2017).

Figura 27. Escaleras de acceso a los baños en la institución Antonia Santos



Fuente: Cortes y Perilla (2017).

Figura 28. Crecimiento de material biológico en la estructura



Fuente: Cortes y Perilla (2017).

El análisis detallado de estas patologías estructurales observadas en la institución educativa Antonia Santos revela una situación crítica que requiere una intervención urgente. La combinación de factores como la antigüedad de la estructura, las prácticas de construcción inadecuadas, la falta de mantenimiento, y las condiciones ambientales han contribuido al estado patológico del edificio. Este diagnóstico detallado es esencial para planificar las reparaciones necesarias y para diseñar un plan de mantenimiento que prevenga la recurrencia de estas condiciones.

Recomendaciones. Mejorar el drenaje e impermeabilización de la cimentación, ya que al asegurar un adecuado drenaje del área alrededor de la estructura como su impermeabilización ayuda a evitar la acumulación de agua, por lo tanto, se previenen o mitigan patologías que tengan relación a este fenómeno. Esto puede incluir la instalación de canales de drenaje, mejoramiento del suelo, instalación de membranas impermeables, ya que al presentarse humedad en muchas partes inferiores de la estructura se puede inducir que es muy probable que se esté generando una humedad por capilaridad (ver figura 5).

Controlar la humedad. Implementar sistemas de control de humedad, como la instalación de tapas en las juntas de las paredes o el uso de materiales de aislamiento en las superficies externas, para evitar la penetración de agua en la estructura y minimizar los efectos húmedos en la cimentación

No sobrecargar la estructura. Evitar el uso excesivo de la estructura, como el almacenamiento de materiales pesados o la instalación de elementos no estructurales que puedan aumentar la carga en la cimentación. Además, realizar inspecciones periódicas de la estructura para detectar signos de daño o desgaste temprano.

Realizar técnicas de mejoramiento del terreno como las inyecciones de compactación las cuales emplean un mortero plástico de arena-cemento a alta presión, alterando la estructura del terreno para hacerlo más denso y resistente. Estas inyecciones son controladas en cuanto a distancia y área afectada, y se monitorean continuamente los parámetros de presión, volumen de mortero y posibles deformaciones.

Como última medida, rehabilitar la cimentación, si es necesario, realizar trabajos de rehabilitación en la cimentación, como la reparación de fisuras y grietas, la aplicación de materiales de protección, agrandar sus dimensiones o la construcción de una nueva fundación si la estructura actual no es viable.

Conclusiones. Este estudio patológico es significativo ya que proporciona una base para la toma de decisiones informadas respecto a la rehabilitación y el refuerzo de la infraestructura educativa. Además, resalta la importancia de considerar las condiciones del terreno en la evaluación estructural y en la planificación de la construcción y mantenimiento de edificaciones en regiones similares.

Para un análisis más profundo y para contrastar estos hallazgos con información adicional, sería útil consultar fuentes como la normativa NSR-10 y ACI, que proporcionan directrices sobre la construcción y el mantenimiento de estructuras en condiciones similares a las de la institución Antonia Santos.

Este análisis detallado ofrece una visión clara de las condiciones estructurales de la institución Antonia Santos y subraya la urgencia de intervenciones para asegurar la integridad de la infraestructura educativa en el municipio de Santa Rosa de Cabal.

Caso 2. Patología en cimentaciones superficiales de una casa unifamiliar del sector Polo Club de la Ciudad de Bogotá

El estudio de caso sobre las patologías de una casa unifamiliar en el sector Polo Club de la Ciudad de Bogotá es un análisis detallado que busca identificar y tratar las lesiones estructurales para preservar la integridad y el valor cultural de la vivienda. (Reyes, 2022).

Introducción y Justificación. El barrio Polo Club, uno de los más antiguos de Bogotá, fue diseñado en los años 50 por el arquitecto Germán Samper. Las viviendas, construidas por el Instituto de Crédito Territorial (ICT), presentan amplios espacios internos, patios y zonas verdes. La estructura urbana del barrio y su arquitectura son consideradas patrimonio cultural, lo que justifica la importancia de mantener y restaurar estas propiedades (Reyes, 2022).

Objetivos del Estudio. El objetivo general del estudio es realizar un levantamiento patológico detallado de las lesiones que presenta la vivienda, con el fin de seleccionar los métodos adecuados para su tratamiento y conservación. Los objetivos específicos incluyen la

identificación de las lesiones existentes, el diagnóstico de su gravedad, la determinación del tratamiento más adecuado y la propuesta de soluciones técnicas constructivas. (Reyes, 2022).

Datos generales y localización. La vivienda objeto de estudio está ubicada en la Calle 85a #22-05, en la localidad de Barrios Unidos, UPZ 98 los Alcázares, barrio Polo Club. La casa tiene una matrícula inmobiliaria 50c-348363 y fue construida en 1958 (Reyes, 2022).

Patologías observadas. A la vivienda se le realizó una inspección detallada para evaluar el estado de sus elementos estructurales. Entre las patologías identificadas se encontraron:

Moho y humedad. Provocada por la humedad, la cual está generando que surjan manchas y moho en los paramentos. Así mismo influye la presencia de contenido orgánico en la zona inferior de la fachada. Por otro lado, la presencia de agua lluvia y ambiente en los muros genera afectaciones sobre la textura y tonalidad de las pinturas, lo que se evidencia con la siguiente patología (Reyes, 2022).

Desconchados y embolsados. Se origina a raíz de una mala adherencia de la pintura o en caso de humedad por capilaridad lo que genera desconchados y embolsados que se evidencia en la vivienda. Se presume que, en el primer caso, la mala adherencia puede ser causa de que la pintura se haya aplicado sobre una superficie sucia o caleada. En el segundo caso puede que la porosidad de algunos materiales de construcción aumenta la humedad y el arrastre de las sales generan eflorescencias de manchas (Reyes, 2022).

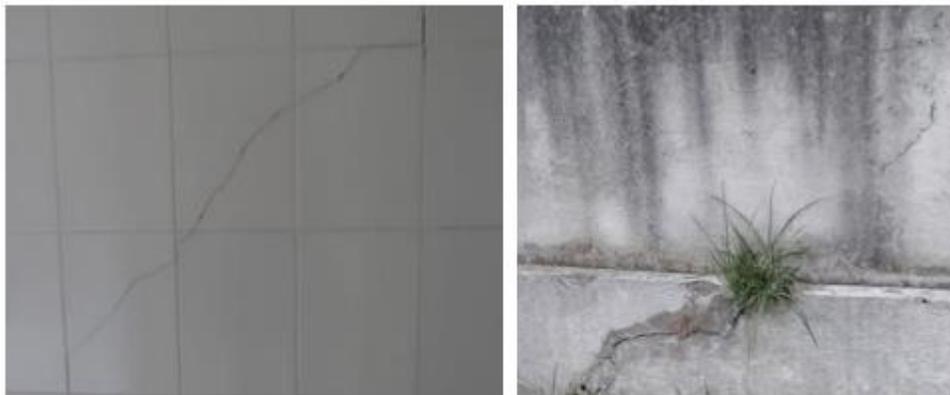
Fisuras. Pequeñas líneas de separación atravesaban sectores del enchape y muros en la cocina y baño, las cuales pueden deberse a posibles asentamientos diferenciales de la cimentación, la

cual sería la patología en la que nos centraremos ya que es la que más probabilidad tiene ser producto de una patología en la cimentación.

Para evaluar la cimentación y su posible relación con las patologías, se procedió a realizar un apique que permitió verificar la existencia de una zapata de 1m de ancho por 1m de largo por 0.3m de espesor, con un desplante de 0.5m, respecto al tipo de refuerzo que se encuentra dentro de la cimentación, este corresponde a varilla lisa 3/8", con un recubrimiento de 3cm y separación tanto longitudinal y transversal cada 22cm, este fue identificado mediante regate. Esto permitirá realizar pruebas de carga a la zapata para evaluar su resistencia estructural y establecer si las patologías se deben a problemas en la cimentación. Con los resultados se podrán proponer las acciones correctivas requeridas (Reyes, 2022).

Así las cosas, se recomienda al especialista de geotecnia, la revisión y verificación de la capacidad portante, en función a la cimentación encontrada, esto con el fin si es o no necesario plantear el reforzamiento de la cimentación preexistente, garantizando el cumplimiento en la profundidad de desplante requerida, según estudio de suelos, por lo que la fundación debe garantizar la transmisión de las reacciones de la estructura y que los asentamientos de la misma se encuentren dentro de los límites permisibles de la NSR-2010 (Reyes, 2022).

Figura 29. Fisuras en enchape y muro



Fuente: Reyes (2022).

La identificación de patologías en la cimentación de la vivienda unifamiliar en el Polo Club de Bogotá revela una serie de afectaciones que van más allá de simples imperfecciones superficiales. Las manifestaciones más críticas de estas patologías se evidencian a través de la humedad persistente y la proliferación de hongos, fenómenos que han dejado su huella en la estructura de manera preocupante. Los daños estéticos son palpables y se manifiestan en el deterioro progresivo de la pintura, que se despega y cuartea, exponiendo el material subyacente a elementos que podrían acelerar su degradación. Además, las manchas que se extienden como un lienzo descolorido a lo largo de las fachadas no son solo un detrimento visual, sino también un síntoma de problemas más profundos.

Estas manchas y el deterioro de la pintura no son meras cuestiones cosméticas; son indicadores de una posible patología estructural subyacente que, si no se aborda con prontitud y eficacia, podría tener consecuencias a largo plazo. La humedad que se infiltra puede alterar la composición química del concreto, reduciendo su pH y comprometiendo su capacidad para proteger el acero de refuerzo de la corrosión. Además, la presencia de hongos no solo desfigura las superficies, sino que también puede ser indicativa de una humedad excesiva que, con el

tiempo, puede debilitar los materiales de construcción, disminuir la resistencia mecánica de la cimentación y, en última instancia, afectar la estabilidad de la estructura.

La preocupación se intensifica al considerar que la humedad no controlada puede conducir a un ciclo de deterioro acelerado. La absorción de agua por parte de los materiales porosos, como los ladrillos y el concreto, puede resultar en ciclos de congelación y descongelación que agravan las fisuras existentes y promueven la formación de nuevas. Este proceso cíclico puede eventualmente comprometer la integridad de la cimentación, lo que resulta en un riesgo estructural que no debe ser subestimado.

Por lo tanto, es imperativo que las intervenciones no solo se enfoquen en la reparación de los daños visibles, sino que también busquen mitigar las causas subyacentes de la humedad y el crecimiento de hongos. Esto podría implicar la mejora del drenaje alrededor de la cimentación, la impermeabilización de las áreas subterráneas y la implementación de barreras de vapor para controlar la difusión de la humedad. La atención meticulosa a estos detalles no solo preservará la estética de la vivienda, sino que también garantizará la preservación de su integridad estructural para las generaciones futuras (Reyes, 2022).

Metodología de investigación. El estudio se llevó a cabo en dos etapas, desde octubre de 2021 hasta julio de 2022, e incluyó la revisión de datos, determinación de lesiones, ensayos de materiales y un levantamiento dimensional de la sección de las columnas para verificar el cumplimiento con los planos de diseño (Reyes, 2022).

Propuestas de intervención. El documento recomienda una propuesta de intervención para garantizar la estabilidad de la estructura, la cual se justifica por la necesidad de mejorar la cimentación existente y cumplir con lo establecido por la Norma NSR-10. Se enfatiza la

importancia de realizar un estudio de suelos para verificar la capacidad de portante del suelo de fundación, a fin de identificar la necesidad de reforzamiento de la cimentación o su actualización conforme a la normativa. Asimismo, se destaca la necesidad de evaluar las cargas de la edificación para garantizar el cumplimiento de los requisitos.

Recomendaciones. Se recomienda lo siguiente para reforzar las zonas que lo requieran según el análisis estructural, se propone disponer una capa de 100cm de espesor de concreto ciclópeo para debajo del nivel de fundación. Esta mezcla estará conformada en un 40% por rajón y un 60% por concreto de 3000 psi, con el objetivo de proporcionar una superficie capaz de transferir de manera uniforme las cargas entre la cimentación y el suelo. En caso de encontrarse infiltraciones o altos niveles de agua durante la excavación, se deberán tomar las medidas necesarias para no afectar ni desestabilizar la zona del proyecto ni construcciones aledañas. Esto puede requerir el uso de entibados u otros sistemas de bombeo.

Con el fin de evitar asentamientos diferenciales, se recomienda ligar la cimentación mediante vigas de enlace y rigidez, de modo que se garantice la rigidez necesaria de la misma y se prevengan deformaciones no uniformes. Estas acciones buscan mitigar las patologías estructurales diagnosticadas y fortalecer los cimientos para el adecuado soporte de la edificación (Reyes, 2022).

Conclusiones. El diagnóstico patológico revela que, a pesar de presentar patologías en su cimentación superficial, el diagnóstico patológico determinó que la estructura de la vivienda conserva resistencia adecuada. Sin embargo, este caso demuestra la importancia de realizar un buen estudio geotécnico previo y diseño estructural acorde a las condiciones del terreno, para prevenir la aparición de problemas en los cimientos.

De haberse caracterizado detalladamente las propiedades del suelo sobre el que se asienta la edificación y haber diseñado una cimentación apropiada, es probable que las patologías superficiales no se hubieran desarrollado. Esto enfatiza la relevancia de la comunicación entre los profesionales geotecnistas e ingenieros civiles durante la etapa de diseño. Un adecuado intercambio de información respecto al comportamiento mecánico del terreno y sus capacidades de soporte habría permitido dimensionar correctamente los cimientos y evitar las fallas detectadas. Por lo tanto, este caso ratifica la importancia de un trabajo multidisciplinario entre especialistas, mediante un entero estudio geotécnico y estructural inicial, para prevenir problemas estructurales en el futuro.

Caso 3. Estudio patológico de inmueble residencial en el Barrio Boston de la Ciudad de Barranquilla

El estudio patológico detallado de la residencia de la familia Mercado Hernández en Barranquilla, Atlántico, es un esfuerzo meticuloso para diagnosticar y remediar las afectaciones estructurales de un inmueble emblemático de la arquitectura doméstica caribeña de mediados del siglo XX. Este análisis no solo atiende a las patologías de origen incierto que comprometen la integridad de la construcción, sino que también se enmarca dentro de un contexto histórico y normativo relevante para la ciudad y su arquitectura (Cantillo, 2020).

El inmueble, que refleja la transición entre la arquitectura republicana y la moderna, ha sido objeto de adiciones y modificaciones que han desencadenado una serie de patologías estructurales, particularmente en sus cimentaciones superficiales. El estudio identifica que las fallas más críticas se localizan en las expansiones añadidas sin seguir los principios constructivos originales, lo que ha resultado en lesiones estructurales generalizadas y específicas.

A través de exploraciones de campo exhaustivas, incluyendo apiques, calas y monitoreo de grietas, se ha podido concluir que las cimentaciones superficiales del inmueble han sufrido debido a prácticas constructivas inadecuadas y a la falta de consideración de las cargas adicionales impuestas por las construcciones espurias. La propuesta de intervención integral sugerida en el estudio busca no solo preservar los elementos estructurales y estéticos de valor, sino también reubicar o eliminar las adiciones degradadas y reforzar los muros del patio para asegurar la estabilidad y durabilidad de la cimentación.

Este enfoque integral en el estudio de las patologías de las cimentaciones superficiales es crucial para la conservación de este patrimonio arquitectónico, asegurando que cualquier intervención se realice con respeto a su valor histórico y cultural, y con la rigurosidad técnica necesaria para su preservación a largo plazo

Patologías identificadas en la cimentación superficial. Los hallazgos del estudio patológico revelan que la edificación de la familia Mercado Hernández utiliza un sistema de cimentación mixta, lo cual es indicativo de prácticas constructivas que pueden variar en función de la época de construcción y las técnicas disponibles en ese momento. Este sistema mixto combina muros de carga construidos con ladrillo macizo y cimentaciones de concreto ciclópeo, que es un tipo de concreto grueso reforzado con piedras de gran tamaño, o con agregados de menor tamaño, dependiendo de la ubicación específica dentro de la estructura y de la fecha en que se construyó cada parte.

El uso de concreto ciclópeo sugiere que en algunas áreas de la estructura se buscó una mayor resistencia y estabilidad, aprovechando la masa y la solidez de las piedras grandes para soportar cargas significativas. Por otro lado, el uso de agregados de menor tamiz (tamaño de

grano) en otras áreas podría indicar una necesidad menor de resistencia o una adaptación a las condiciones locales del suelo o a las limitaciones de recursos en el momento de la construcción.

Figura 30. Análisis de cimentación existente 1



Fuente: Cantillo (2020).

Figura 31. Análisis de cimentación existente 2



Fuente: Cantillo (2020).

El sistema estructural corresponde por tanto a una cimentación superficial corrida en concreto ciclópeo sin refuerzo, con uso de plataforma elevada en ladrillo de arcilla cocida para el soporte de muros; la mampostería es a soga y tizón en ladrillo macizo de arcilla (0.23*0.05 m), con juntas de 2 a 3 cm y pañetes de aproximadamente 3 cm en mortero de cemento para el caso del hallazgo en apique 1 (figura 30); la plataforma elevada que se evidencia sobre el área del apique 2 (figura 31) se presume con aparejo por hiladas compuestas por dos ladrillos en soga y la siguiente en tizón. Se destaca la excelente calidad de los materiales constitutivos, que sumados a la zona sísmica de baja incidencia han garantizado la estabilidad de la edificación original a pesar de la superficialidad y dimensiones de la cimentación (Cantillo, 2020).

Es importante resaltar que las vigas descubiertas en algunos apiques (excavaciones realizadas para inspeccionar la cimentación) son excéntricas con respecto a los muros que se encuentran por encima de ellas. Esto significa que las vigas de cimentación no están alineadas directamente debajo de los muros, lo que podría ser una señal de prácticas constructivas no adecuadas o de modificaciones posteriores que no siguieron un diseño estructural coherente. La excentricidad en elementos de cimentación puede introducir momentos de flexión no previstos y tensiones en la estructura, lo que podría contribuir a algunas de las patologías observadas, como el agrietamiento y el asentamiento diferencial.

Figura 32. Ficha de apique inmueble Mi Vieja Barranquilla

ANÁLISIS CIMENTACIÓN EXISTENTE		FICHA N°: 2
REGISTRO FOTOGRÁFICO		APIQUE N°: A-2
<p>Fot. 1: Apique 2.</p>  <p>Fot. 2: posible viga en ladrillo macizo, alto: 0.2 m</p> 		
  		
<p>Fot. 3, 4 y 5: muro en ladrillo macizo de profundidad desconocida, concreto ciclópeo bajo columna seguido de muro en ladrillo y posible viga de amarre, respectivamente.</p>		HOJA: 2 de 2

Fuente: Cantillo (2020).

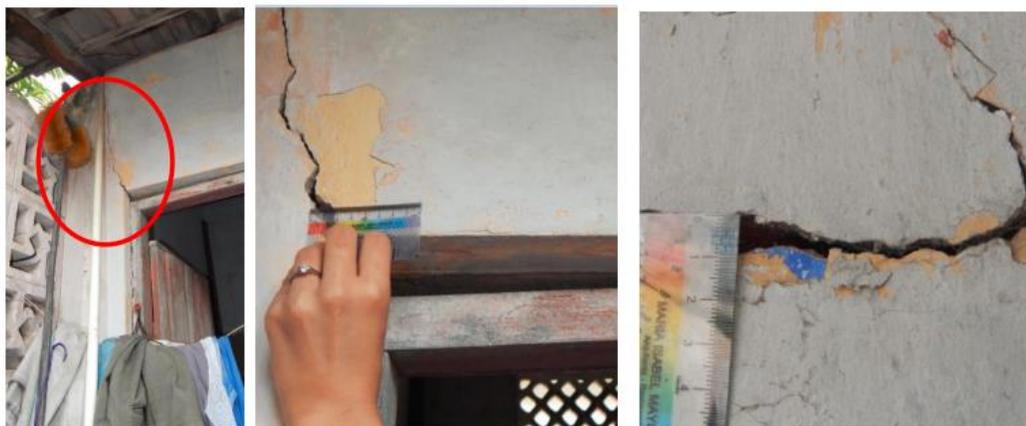
Agrietamiento. En la inspección de la cimentación superficial de la residencia Mercado Hernández, se han detectado múltiples incidencias de agrietamiento. Estas grietas presentan una diversidad en su manifestación, con variaciones significativas en anchura y penetración a través del concreto. Algunas de ellas son superficiales y otras revelan una separación más profunda, lo que sugiere una preocupante discontinuidad en la matriz del concreto.

Figura 33. Grietas en muros de baño y cocina, grietas pasantes en vanos de puertas



Fuente: Cantillo (2020).

Figura 34. Grieta sobre vano de puerta deposito



Fuente: Cantillo (2020).

Figura 35. Afectaciones al patio 1



Fuente: Cantillo (2020).

Figura 36. Espesor de fisuras y grietas del piso del patio 1



Fuente: Cantillo (2020).

La aparición de estas grietas puede atribuirse a una serie de factores de estrés que superan la capacidad de tensión del concreto. Entre las causas probables se encuentran los asentamientos diferenciales del suelo, que provocan una distribución desigual de las cargas y tensiones en la estructura. La retracción hidráulica del concreto, un fenómeno común en la fase de curado

también puede haber contribuido al agrietamiento, junto con la posible imposición de cargas que exceden las previstas en el diseño original.

Hundimiento o Asentamiento diferencial. Se ha observado que ciertas secciones de la estructura han sufrido un asentamiento desigual, lo que ha resultado en un perfil irregular de la cimentación y posibles desalineaciones en la superestructura. Este hundimiento diferencial es particularmente preocupante ya que puede inducir esfuerzos adicionales en componentes estructurales no diseñados para soportarlos.

La causa raíz de este fenómeno puede estar en la heterogeneidad del subsuelo, que presenta variaciones en su capacidad de soporte. Esto puede deberse a la presencia de rellenos heterogéneos, zonas de suelo con diferentes grados de compresibilidad o incluso a la actividad sísmica local que puede haber alterado las condiciones del suelo. Además, las modificaciones inadecuadas o las adiciones a la estructura original sin un análisis geotécnico adecuado podrían haber intensificado el problema del hundimiento diferencial.

Recomendaciones. De acuerdo a los hallazgos de las exploraciones realizadas, se concluye que la construcción original presenta estabilidad estructural moderada. Sin embargo, con el objetivo de asegurar su vida útil y dado la capacidad económica de los propietarios, se recomienda realizar un reforzamiento de la cimentación en los muros perimetrales.

La intervención consiste en construir vigas de fundación en concreto reforzado sobre la cimentación existente de los muros perimetrales. Para ello, se debe excavar paralelamente a los muros a unos 20cm de separación de cada lado. Luego, es necesario picar la parte del muro que queda empotrada en el suelo para anclar refuerzos.

Posteriormente, se deben colocar formaletas y fundir el concreto de las nuevas vigas de cimentación, cuidando el curado adecuado. Una vez fraguado, es importante anclar la cimentación existente a las nuevas vigas mediante varillas corrugadas y resinas epoxicas, con el fin de transferir correctamente las cargas al nuevo sistema (Cantillo, 2020).

Conclusiones. La construcción original se encontraba en buenas condiciones estructurales. Sin embargo, adiciones y modificaciones posteriores no tuvieron en cuenta los parámetros técnicos originales. Es posible que las patologías diagnosticadas, como grietas y agrietamientos, se hayan generado precisamente por estas intervenciones adicionales que no contaron con un estudio de suelo ni un diseño acorde a las cargas y condiciones del terreno.

La intervención planteada, siguiendo lineamientos normativos, fortalecerá los cimientos y preservará la estabilidad de la vivienda. No obstante, es indispensable que un ingeniero experto supervise su ejecución para asegurar que se realice conforme a los procedimientos técnicos establecidos.

Este tipo de soluciones de reforzamiento permiten aumentar la vida útil de construcciones de valor patrimonial, contribuyendo a la conservación del patrimonio arquitectónico de las ciudades. Por lo tanto, es importante promover este enfoque de rehabilitación que, mediante técnicas constructivas apropiadas, protege el patrimonio cultural de manera sostenible.

Caso 4. Estudio patológico y de reforzamiento estructural de la Escuela José Antonio Galán del Municipio de Ocaña, Norte de Santander

La revisión se origina debido a daños en la infraestructura de aguas residuales y pluviales que provocaron saturación del suelo y asentamientos, afectando la integridad del edificio. Esto generó alarma en la comunidad educativa, llevando a la suspensión de actividades y evacuación hacia otra sede.

Los problemas surgieron en junio de 2019, manifestándose en humedades y afloramientos de aguas residuales que comprometieron la capacidad portante del suelo. Las autoridades locales y la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña intervinieron para remediar la situación, redirigiendo la red de alcantarillado y reparando la infraestructura afectada.

Sin embargo, la infraestructura sufrió daños significativos, incluyendo fisuras, hundimientos y desajustes estructurales, lo que puso en riesgo la estabilidad del edificio. Se recomienda realizar estudios especializados por un experto en estructuras para evaluar con precisión las afectaciones y proponer una solución estructural que asegure la estabilidad del edificio y cumpla con las normativas nacionales (Trigos, 2019).

Condiciones geotécnicas. El área de estudio está caracterizada por su geología sedimentaria, con la presencia dominante de rocas cohesivas de la formación Algodonal. Estas rocas, que emergen en toda la zona, se originaron de depósitos coluvio-aluviales de extensión moderada. Composicionalmente, son heterogéneas, integradas principalmente por areniscas arcillosas y compactas con inclusiones de gravilla, intercaladas con niveles de arcilla y conglomerados que varían en espesor de acuerdo con la topografía y pendiente del terreno.

El subsuelo del sitio específico contiene una capa de relleno de hasta 4 metros, con consistencia suelta y características mecánicas débiles. Bajo esta, se halla un depósito coluvial de textura mixta y consistencia blanda, que también presenta una capacidad limitada como suelo de soporte. A mayor profundidad, se alternan capas de arenas arcillosas con una consistencia de media a firme, cuyas propiedades de soporte mejoran en función del contenido de humedad y su estado plástico.

El drenaje superficial en la región sigue una dirección noroeste-sureste, facilitado por la pendiente del terreno, que permite una evacuación rápida del agua sin erosión significativa debido a la cubierta dura del suelo. Sin embargo, el terreno tiene tendencia a una saturación alta a profundidades intermedias, con presencia de agua libre que puede socavar los suelos y comprometer tanto la estabilidad de las cimentaciones proyectadas como la de los rellenos ya construidos. Geomorfológicamente, la zona corresponde a la base de una colina estructural de poca altura, con una forma cóncava e inclinación en la misma dirección del drenaje.

Para evaluar las características geomecánicas del suelo de fundación y las condiciones reales tras los daños en las redes de aguas servidas y pluviales, se efectuó un estudio geotécnico. Este estudio incluyó cuatro puntos distintos de exploración para determinar las propiedades y limitaciones del suelo como material de cimentación. Basándose en los datos recolectados y las características hidrogeológicas identificadas, se formularon recomendaciones para los métodos constructivos y las medidas necesarias para mantener la estabilidad estructural, de acuerdo con los parámetros detectados.

El estudio consistió en realizar cuatro sondeos de penetración estándar (SPT) entre 5 y 7 metros de profundidad respecto al nivel del piso en las áreas muestreadas, empleando equipo

mecánico. Esto permitió establecer la estratigrafía del suelo soporte y, si procedía, el nivel freático.

Figura 37. Exploración suelo de cimentación – interfaz suelo-estructura



Fuente: Trigos (2019).

El estudio de suelos concluye que en el área analizada se identifica una capa superficial de relleno de consistencia suelta y pobre soporte, seguida por un depósito coluvial blando y un estrato más profundo de arenitas arcillosas de firmeza media a alta. Debido a asentamientos significativos y problemas de socavación hídrica, se recomienda una cimentación profunda para superar las zonas afectadas. Para los nuevos rellenos, se sugiere utilizar piedra angular de buen tamaño y materiales seleccionados que cumplan con los estándares normativos, evitando escombros y orgánicos de excavaciones previas.

Se debe evitar excavaciones mayores a 1.5 metros sin soporte y manejar taludes con precaución. En la construcción de cimentaciones aisladas, se debe proceder con cuidado debido a la susceptibilidad del terreno al colapso. Se insta a pavimentar las vías circundantes para prevenir

infiltraciones que alteren la humedad del suelo y revisar la red de servicios para corregir filtraciones que reduzcan la capacidad portante del terreno.

Durante la construcción, es crucial monitorear las estructuras cercanas para atender cualquier asentamiento inducido. En caso de lluvias, se debe verificar la adecuación del suelo. Además, se propone instalar un filtro para dirigir las aguas subterráneas y evitar más socavación. Por último, se aconseja impermeabilizar las cimentaciones para proteger contra la humedad ascendente.

Exploración de la cimentación. Para entender la cimentación de la edificación, se realizaron cuatro excavaciones (apiques) en distintos puntos del primer piso, exponiendo los elementos estructurales que sostienen las columnas. Se inspeccionaron dos zapatas en la zona de dos niveles y dos apoyos de muros perimetrales y de la estructura de la cubierta metálica. Se descubrió una losa de mortero de 8 cm de espesor en buen estado y un sobrecimiento de muro doble de ladrillo macizo, que se apoya en una viga de piso a nivel de zapatas, sirviendo de contención para los antepisos y los acabados cerámicos.

El material de relleno bajo las zapatas era de calidad pobre, pero se identificó una capa de receba con características moderadas como soporte. Al excavar hasta 1.20 m de profundidad, se observaron las vigas de cimentación (30x30 cm) de concreto reforzado que conectan los pedestales. La zapata cuadrada observada era de 100 cm por lado y 35 cm de altura, situada a 95 cm por debajo del nivel del piso terminado, construida de concreto reforzado.

Figura 38. Apique de cimentación esquinera



Fuente: Trigos (2019).

En un punto específico de la estructura, cerca de un área de hundimiento y al lado del portón principal, se descubrió que una columna del muro de cerramiento no tenía cimentación, como zapatas para transferir las cargas al suelo (figura 40.).

Figura 39. Ausencia de zapata bajo columna



Fuente: Trigos (2019).

Esta situación revela un proceso constructivo deficiente y la ausencia de supervisión técnica adecuada. La omisión de elementos fundamentales de cimentación ha llevado a un asentamiento diferencial significativo en esa zona, causando grietas en, fisuras en las uniones de vigas y columnas, hundimiento del andén exterior y desprendimiento de enchapes de fachada muros (figura 40. y figura 41). Estos daños son críticos, especialmente porque sobre esta área se sostiene la cubierta del patio de recreación, lo que compromete seriamente la estabilidad de la estructura.

Recomendaciones. Dada la gravedad de los daños y las malas prácticas constructivas observadas, se recomienda la demolición y reconstrucción de esta parte de la estructura, asegurando una correcta transferencia de cargas y una mejor conexión entre las cerchas de la cubierta metálica y el sistema de soporte.

Figura 40. Fisuras y grietas en muros



Fuente: Trigos (2019).

Figura 41. Anden y calles con presencia de hundimientos



Fuente: Trigos (2019).

En una zona de exploración, se detectó un relleno más estable cerca de la cimentación, gracias a la presencia de muros dobles de ladrillo macizo. Estos muros, apoyados en vigas de equilibrio al nivel de las zapatas, servían como contención para los rellenos cerca de las áreas sanitarias y la oficina de coordinación. Se cree que estos muros se construyeron para asegurar la estabilidad del terreno en pendiente, evitando deslizamientos del suelo que sostiene los pisos hacia zonas más bajas.

Los resultados de los ensayos muestran que la resistencia a la compresión del concreto en las zapatas de la cimentación es inferior a los 17 MPa, el mínimo exigido por la normativa NSR-10 para este tipo de construcción. Esto indica una calidad deficiente en la producción del concreto, probablemente debido a la falta de profesionales calificados durante la construcción y a una insuficiente supervisión.

Figura 42. Muros de sobre cimiento en ladrillo doble-contención material



Fuente: Trigos (2019).

A pesar de que se observa una gran variabilidad en la resistencia a la compresión en diferentes muestras de concreto del sistema de cimentación, la correlación de los resultados por zapata individual es consistente y aceptable según los ensayos realizados.

Para las zapatas designadas como 7F – 9G, que sostienen una estructura de dos pisos con un nivel mínimo de daños en sus elementos, se recomienda asegurar que las áreas y refuerzos de acero cumplan con las necesidades actuales. También se aconseja que los nuevos concretos tengan una resistencia a la compresión superior a los 21 MPa.

Conclusiones. El estudio realizado proporciona una clara evidencia de las consecuencias estructurales derivadas de no considerar adecuadamente las condiciones del terreno durante el diseño y la construcción de la cimentación. Además, destaca cómo factores geotécnicos como infiltraciones, variaciones en el nivel freático y malos rellenos pueden generar patologías en cimentaciones poco profundas. Las recomendaciones derivadas del estudio validan la necesidad

de cimentaciones más profundas para superar zonas de debilidad del suelo. Este caso contribuye significativamente a la comprensión del origen y desarrollo de patologías en estructuras como resultado de la interacción suelo-cimentación-estructura. En este sentido, resalta la importancia de realizar estudios geotécnicos exhaustivos antes de la construcción, como el trabajo multidisciplinario entre especialistas, mediante un integro estudio geotécnico y estructural inicial, lo que constituye un buen procedimiento constructivo a cargo de personal calificado.

Caso 5. Estudio de Caso para Patología Estructural Presentada en el Edificio Manglar de la Ciudad de Bogotá

El estudio centra su enfoque en evaluar la integridad estructural del Edificio Manglar en Bogotá, específicamente en cómo las construcciones colindantes han impactado su estabilidad. La investigación resalta un caso significativo de vulnerabilidad estructural, subrayando que los daños al Edificio Manglar son el resultado directo de las actividades de construcción simultáneas y no reguladas de dos edificios vecinos. Este escenario resalta la relevancia de una planificación y monitoreo exhaustivos durante las etapas de construcción, así como la importancia de un control efectivo durante la emisión de licencias de construcción (Castelblanco, 2020).

El análisis de la patología estructural se fundamentó en una triangulación metodológica que incluyó la revisión de documentos existentes, recolección de datos en campo y seguimiento detallado de la evolución del edificio afectado. Esta aproximación multifacética permitió no solo identificar las patologías estructurales, sino también asignar una cuantificación del daño y establecer responsabilidades civiles a los constructores de los edificios colindantes.

La patología detectada en el Edificio Manglar sugiere que las cimentaciones superficiales, siendo sensibles a las perturbaciones externas, pueden sufrir daños severos debido a la falta de

consideración de las influencias adyacentes. Estos daños podrían incluir asentamientos diferenciales, fisuración en elementos estructurales, y compromiso de la capacidad portante del suelo.

Descripción de la cimentación del edificio manglar:

Es un edificio de 6 (seis) pisos, con un sistema estructural de pórticos en concreto reforzado con una capacidad moderada de disipación de energía. Tiene una cimentación compuesta por una placa maciza apoyada sobre vigas descolgadas las cuales se encuentran dispuestas sobre apoyos en un relleno de subbase granular B-200. (Castelblanco, 2020, p.50)

Evaluación del estado de conservación del edificio. El análisis del estado de conservación del Edificio Manglar revela una serie de deterioros, dominados por daños de índole mecánico como desplazamientos estructurales, rupturas, y una variedad de grietas y fisuras que inciden en diferentes componentes del edificio, incluyendo muros y losas de entrepiso. Estos problemas se extienden por diversas áreas del inmueble, con una incidencia mayor en los dos primeros niveles. Dicho deterioro es especialmente visible en el frente del edificio, las entradas peatonales y las estructuras metálicas de los espacios ajardinados, los cuales muestran un hundimiento de la estructura de más de 30 centímetros.

Figura 43. Daños en el acceso al edificio abril del 2019



Fuente: Castelblanco (2020).

Figura 44. Daños en el acceso al edificio junio del 2019



Fuente: Castelblanco (2020).

Figura 45. Vista frontal puerta de acceso a parqueadero



Fuente: Castelblanco (2020).

En el interior del edificio, los daños más relevantes se encuentran en las zonas comunes como porterías (véase la figura 46) y parqueaderos y en los apartamentos del segundo piso, especialmente costado occidental. El parqueadero evidencia grietas y dislocaciones en sus muros del costado occidental y norte y en la placa sobre el costado norte (véase figura 47), esto ocasionó que las terrazas de los apartamentos se vieran gravemente afectadas (véase la figura 48) debido a los movimientos que ha tenido el edificio Manglar y sus vecinos causando adicionalmente humedad por microcapilaridad en los muros de la terraza y fisuras al interior de los apartamentos (Castelblanco, 2020).

Figura 46. Vista frontal daños en la portería



Fuente: Castelblanco (2020).

Figura 47. Vista generales daños en costado norte de edificio Manglar



Fuente: Castelblanco (2020).

Figura 48. Vista frontal daños en muros y placa de terraza



Fuente: Castelblanco (2020).

Revisión de la integridad del diseño y la edificación inicial del edificio Manglar. El edificio se asienta sobre una base de concreto compuesta por una losa maciza y vigas colgantes. La infraestructura soportante se conforma de pórticos de concreto reforzado, con una resistencia especificada de 210 kg/cm^2 y acero con un límite de fluencia de 4200 kg/cm^2 . Respecto a los componentes no esenciales para la estabilidad estructural y los acabados interiores, se emplearon muros de mampostería con bloques de perforación horizontal. La fachada se caracteriza por un revestimiento de ladrillo sólido prensado, aunque se carece de información precisa sobre la presencia de refuerzos internos y sistemas de anclaje adecuados.

La inspección del diseño y la ejecución original de la estructura y la cimentación del Edificio Manglar revela una implementación conforme a las normativas vigentes en el momento de su construcción. Los diseños estructurales se alinearon adecuadamente con los estándares del

Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR 98, reflejando un compromiso con la resiliencia y la seguridad sísmica. Respecto al estado actual y la calidad constructiva, estos aspectos se perciben en condiciones positivas, lo que se traduce en que las afectaciones observadas en la edificación se atribuyen primordialmente a desplazamientos diferenciales del terreno, más que a falencias inherentes al diseño o la construcción inicial (Castelblanco, 2020).

Valoración de la estructura preexistente según NSR10-A.10.4. Al analizar la estructura, que ya cuenta con una historia dado que su construcción se dio en el año 2003, se aplican criterios de evaluación que toman en consideración las propiedades mecánicas originales, como son la resistencia del concreto y del acero, documentadas en los planos estructurales. Este enfoque permite una estimación fidedigna de la capacidad actual de la estructura para soportar cargas y resistir eventos sísmicos, manteniendo la integridad y seguridad del edificio.

Determinación de la vulnerabilidad estructural siguiendo NSR10-A.10.5. La aplicación de un análisis cualitativo mediante una matriz de vulnerabilidad de riesgos al Edificio Manglar arroja resultados que sitúan al edificio en una categoría de riesgo bajo, con una probabilidad remota de ocurrencia de siniestros, lo que se clasifica en el rango C4. Este diagnóstico de vulnerabilidad, aunque tranquilizador, no subestima la necesidad de vigilancia continua y medidas preventivas para garantizar la seguridad a largo plazo de la estructura frente a posibles riesgos emergentes.

Evaluación de integridad y monitoreo de desplazamientos en el edificio Manglar. En marzo de 2019, la asociación de copropietarios del Edificio Manglar tomó la decisión estratégica de comisionar un análisis especializado para investigar las condiciones estructurales del inmueble y realizar estudios geotécnicos pertinentes. El propósito de esta iniciativa era discernir con

precisión los efectos adversos sobre la cimentación y contemplar intervenciones correctivas para los cimientos, si se determinaba que eran imprescindibles.

La metodología adoptada implicó la compilación meticulosa de datos históricos y actuales, lo que permitió articular una secuencia de eventos desde el origen de la construcción del Edificio Manglar en 2003, culminando en la última revisión topográfica efectuada en agosto de 2019. Acompañando esta línea de tiempo, se presentaron mapas detallados que registraban el alcance de los daños tanto en espacios comunes como en unidades residenciales.

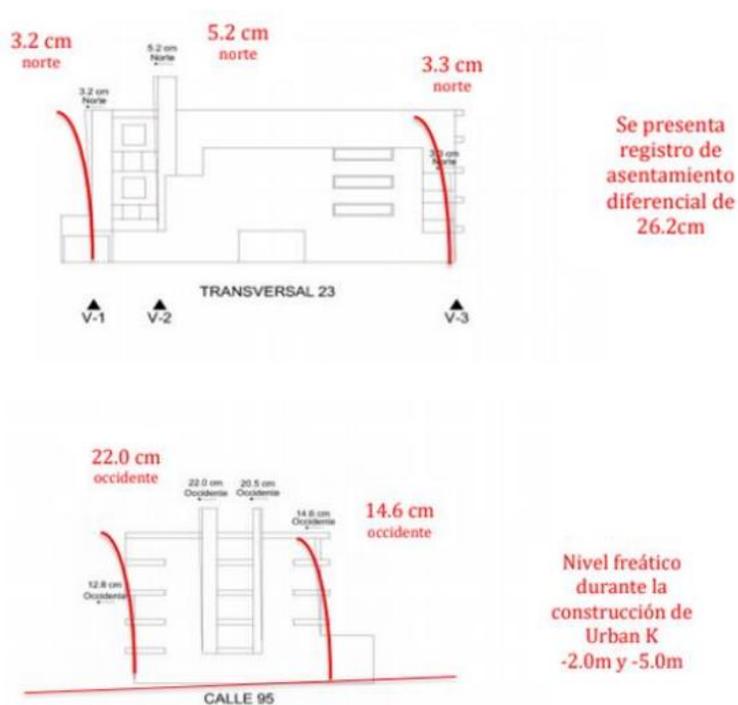
En cuanto al monitoreo topográfico, orientado al seguimiento de asentamientos y desplazamientos verticales, se estableció un programa de inspecciones mensuales, concretamente en las fechas del 15 de abril, 18 de mayo, 22 de junio y 31 de julio de 2019. Los informes redactados por el topógrafo Rodríguez proporcionan una crónica de la evolución de las deformaciones, centrándose en las discrepancias de nivel en áreas críticas como la terraza superior y el portal de acceso principal.

La serie de mediciones topográficas indicó un asentamiento progresivo del Edificio Manglar, el cual no mostraba señales de estabilización. Los informes técnicos destacaron que los índices más elevados de asentamiento se manifestaron en junio de 2019. Dichos eventos fueron corroborados mediante testigos físicos instalados estratégicamente en la estructura. Al momento del informe más reciente, se registró un desplazamiento máximo de 30.3 cm en la periferia noroeste y un mínimo de 4.1 cm en la periferia sureste, evidenciando un pronunciado asentamiento diferencial de 26.2 cm en la estructura.

Esta tendencia se intensificó drásticamente con un incremento de 23.8 cm en un período de seis meses, comparando con lecturas anteriores tomadas tras la edificación del Edificio N°1 y al

inicio de la excavación del segundo sótano del Edificio N°2, lo que demuestra un asentamiento diferencial antes inexistente.

Figura 49. Estado del edificio Manglar agosto de 2019, durante construcción del edificio N°.2



Fuente: Castelblanco (2020).

La evaluación de la verticalidad reveló desviaciones considerables, con 3.2 cm observados en la fachada norte y 5.2 cm en las inmediaciones de la sala de maquinarias del ascensor, orientación sur-norte, y desviaciones de 14.6 cm y 22 cm en las fachadas occidental y este respectivamente. Las mediciones nivelométricas en la terraza del sexto piso y la entrada principal revelaron un desnivel de 2.4 cm hacia el norte del edificio. Adicionalmente, se identificó un levantamiento del suelo de 7.0 mm en la transversal 23 y un asentamiento de 1.2 cm en la calle 95, adyacente al edificio (Castelblanco, 2020).

Propuestas de Intervención Estructural con Costos Referenciales de 2019.

Propuesta de Intervención 1. Cimentación con Pilotes Pre-excavados y Fundidos In Situ. Se propone como medida prioritaria la implementación de pilotes pre-excavados y fundidos in situ para reforzar la cimentación superficial existente. Este enfoque transforma la cimentación superficial en una más profunda, permitiendo la transmisión de cargas a un estrato de suelo subterráneo con propiedades físico-mecánicas superiores. Esta técnica se destaca por su viabilidad en zonas de difícil acceso, evitando el uso de maquinaria pesada que podría causar vibraciones dañinas a la estructura preexistente. Es especialmente adecuada para penetrar capas de suelo inestable o saturadas de agua. El coste estimado en el año 2019 para esta técnica era de \$150,000 COP por metro lineal (Castelblanco, 2020).

Propuesta de Intervención 2. Instalación de micropilotes, el documento sugiere una solución efectiva para la cimentación existente que requiere refuerzo y recalce. Ofrecen la ventaja de ser una técnica de recalce profundo, generan mínima perturbación sonora y pueden instalarse con equipos de tamaño reducido, adecuados para espacios confinados. Estos elementos son óptimos para soportar cargas axiales, tanto de compresión como de tracción. La técnica consiste en inyectar una única mezcla de lechada o mortero de cemento a baja presión en la perforación realizada. Los precios para el año de referencia 2019 se situaban en \$100,000 COP por metro lineal para esta intervención (Castelblanco, 2020).

Propuesta de Intervención 3. Yudy Castelblanco, recomienda que como complemento a los métodos anteriores, el jet grouting es una buena opción para mejorar las propiedades geomecánicas del suelo adyacente a la cimentación. Aunque no contribuye directamente al mejoramiento en la transmisión de cargas a estratos profundos, optimiza significativamente el

entorno del suelo de la cimentación. Este procedimiento tenía un valor de \$150,000 COP por metro cúbico en 2019 (Castelblanco, 2020).

Recomendaciones. Se recomienda llevar a cabo una evaluación continua de las estructuras comprometidas mediante un seguimiento instrumentado que incluya mediciones de desplazamientos verticales y horizontales. Este monitoreo permitirá obtener datos precisos sobre la efectividad de las intervenciones propuestas y facilitará ajustes en tiempo real según sea necesario.

Dada la complejidad de la situación, se sugiere priorizar la implementación de las propuestas de intervención mencionadas. La combinación de pilotes pre-excavados, fundidos in situ, micropilotes, y jet grouting proporcionará una solución integral que aborda tanto la capacidad de carga como las condiciones geomecánicas del suelo.

Es esencial llevar a cabo una desvinculación total de la zona de plataforma de la estructura principal. Este paso contribuirá a minimizar la transferencia de cargas no deseadas a la cimentación y ayudará a preservar la integridad de la estructura preexistente durante y después de las intervenciones.

Cada propuesta de intervención debe adaptarse a las condiciones específicas del sitio, considerando la geología local, las características del suelo y las limitaciones de acceso. La flexibilidad en la implementación permitirá ajustar las estrategias según sea necesario para lograr los mejores resultados. La ejecución de las intervenciones requerirá una coordinación estrecha entre ingenieros estructurales, geotécnicos y constructores. Un enfoque interdisciplinario garantizará la aplicación eficiente de las soluciones propuestas y maximizará la sinergia entre las diferentes técnicas utilizadas.

Conclusiones. El estudio del caso del Edificio Manglar de la ciudad de Bogotá, emerge como una contribución fundamental para la comprensión de los desafíos específicos que enfrentan este tipo de cimentaciones. La estructura en cuestión, con su cimentación de placa maciza, experimentó patologías notables, principalmente asentamientos diferenciales, cuya génesis y desarrollo revelan factores críticos que inciden directamente en la estabilidad del edificio. El análisis detallado del tipo de cimentación subraya su vulnerabilidad a los cambios en las condiciones del suelo. En este contexto, las patologías surgieron como consecuencia de un descenso abrupto del nivel freático durante la construcción del Edificio n°.2. Este fenómeno impactó directamente el suelo arcilloso blando, provocando asentamientos diferenciales significativos.

Las mediciones detalladas de asentamiento diferencial muestran dos etapas distintas de daño. La primera, asociada con la construcción del Edificio n°.1, generó inclinaciones y fracturas en la plataforma norte. La segunda etapa, más pronunciada, se relaciona directamente con la construcción del Edificio n°.2, evidenciando un asentamiento acelerado del Edificio Manglar en dirección sur y occidente. Este patrón de asentamiento revela una relación causal clara entre el tipo de cimentación superficial y la respuesta del suelo ante cambios en el entorno de construcción.

La profundización en la geología del terreno resalta la importancia de entender las características físicas y mecánicas del suelo circundante. La presencia de arcillas altamente compresibles acentúa la susceptibilidad de la cimentación a deformaciones bajo variaciones en las condiciones del agua subterránea. El descenso del nivel freático, aunque no afectó directamente la capacidad portante del suelo, desencadenó asentamientos que resultaron en fracturas y grietas en la estructura.

Las patologías en la cimentación, específicamente los asentamientos diferenciales, tuvieron un impacto significativo en la integridad estructural del Edificio Manglar. Los daños actuales, tales como fracturas en el sistema de muros, dislocaciones en la plataforma norte, y problemas funcionales en puertas y ventanas, se vinculan directamente con la respuesta diferencial de la cimentación a los cambios en las condiciones del suelo.

En conclusión, este estudio de caso aporta una comprensión valiosa de las complejidades asociadas con las cimentaciones superficiales, destacando la necesidad de considerar no solo el tipo de cimentación y las características del suelo, sino también los factores externos que pueden desencadenar patologías específicas. Estos hallazgos refuerzan la importancia de implementar estrategias de intervención específicas y personalizadas para abordar eficazmente las patologías en cimentaciones superficiales, garantizando la estabilidad y durabilidad a largo plazo de las estructuras.

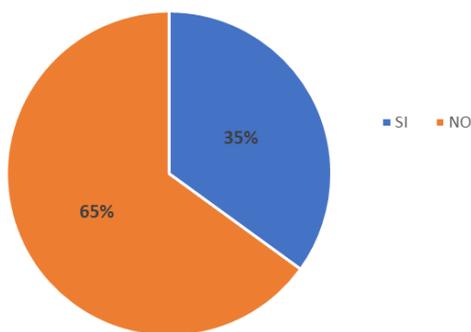
4.4.1 Encuesta

Con el objetivo de identificar los factores de influencia de cada tipo de patología presentada en cimentaciones superficiales, así como posibles interacciones e interdependencias entre ellas, se diseñó y aplicó una encuesta a través de la plataforma Google Forms. La encuesta fue respondida por 20 profesionales del área de geotecnia, patologías y estructuras, con experiencia en la investigación y atención de casos reales de fallas en este tipo de obras. A través de preguntas cerradas y abiertas, la encuesta permitió recopilar información valiosa sobre los principales elementos y condiciones que suelen incidir en cada patología recurrente, tales como aspectos del suelo, materiales utilizados, fallas en el diseño o construcción, exposición a factores

ambientales y otros. Asimismo, se obtuvieron perspectivas sobre potenciales relaciones e influencias mutuas que pueden presentarse entre distintas patologías.

Pregunta 1. ¿Cuenta con estudios relacionados a patologías en estructuras de concreto?

Figura 50. Profesionales que cuentan con estudios relacionados a patologías



Pregunta 2. ¿Si la respuesta de la pregunta anterior es SI, con cuales estudios cuenta?

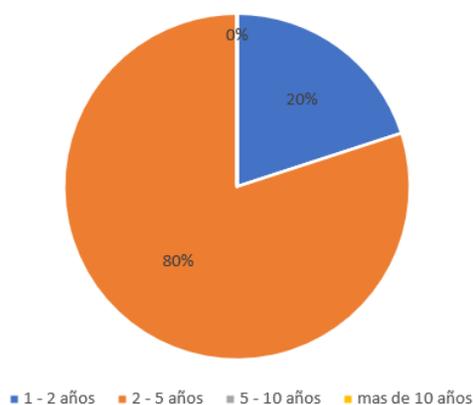
- Especialización en estructuras
- Especialista en interventoría
- Ingeniero civil estructural
- Ingeniera civil estructural
- Especialista en geotecnia
- Maestría en construcción
- Especialista en patologías de la construcción

La figura 50 muestra que, el 35% de los profesionales encuestados han realizados estudios afines a la revisión patológicas de estructuras, siendo la ingeniería estructural la que mayor afinidad cuenta con esta disciplina. De esta forma, se puede deducir que los demás profesionales

han desarrollado las habilidades de diagnosticar estructuras con patologías a través del conocimiento empírico y su desempeño profesional.

Pregunta 3. Experiencia laboral en patologías en estructuras de concreto o cimentaciones de estructuras de concreto.

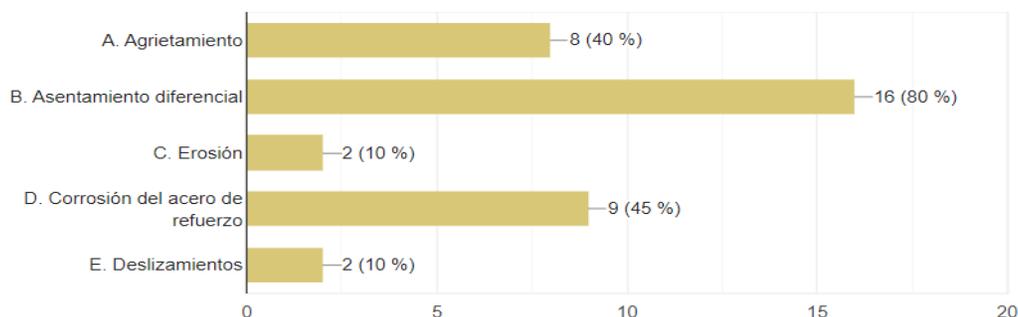
Figura 51. Rango de experiencia en campo de los profesionales



Como se puede evidenciar en la figura 51. El 80 % de los ingenieros encuestados, cuentan con una experiencia entre 1-2 años, lo que nos indica una muestra joven a nivel de experiencia. Los ingenieros más jóvenes suelen estar más familiarizados con las últimas tendencias tecnológicas. Su visión puede enriquecer procesos e innovar en el ámbito de la construcción. Estos ingenieros representan el futuro del sector y su desarrollo impactará positivamente su desempeño en los próximos años.

Pregunta 4. ¿Cuáles considera que son las patologías más comunes que afectan a las cimentaciones superficiales en su experiencia profesional?

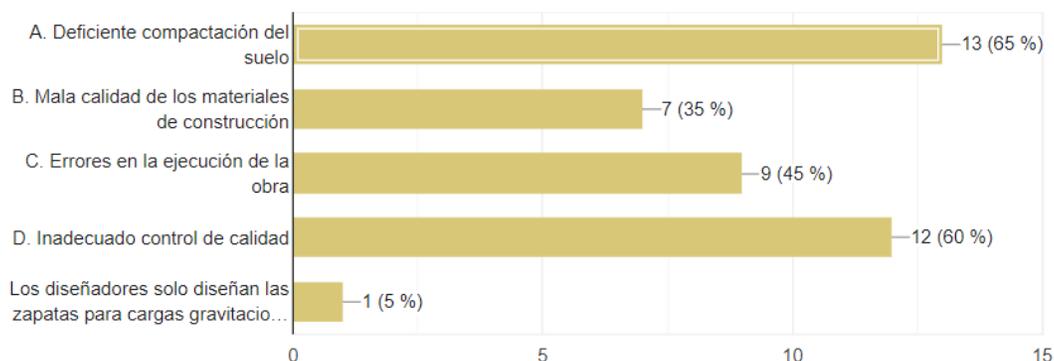
Figura 52. Patologías más comunes que afectan a las cimentaciones superficiales



Según la figura 52, el 80% de los ingenieros encuestados identificó a los asentamientos diferenciales como la patología más común en cimentaciones superficiales, denota que, a pesar de su corta experiencia, cuentan con conocimientos sólidos en las causas más frecuentes de daño en este tipo de fundaciones. Reconocer de manera unánime este problema estructural demuestra que se han interiorizado bien las materias básicas aprendidas durante su formación.

Pregunta 5. ¿Qué factores constructivos han observado que contribuyen a la formación de patologías en cimentaciones superficiales?

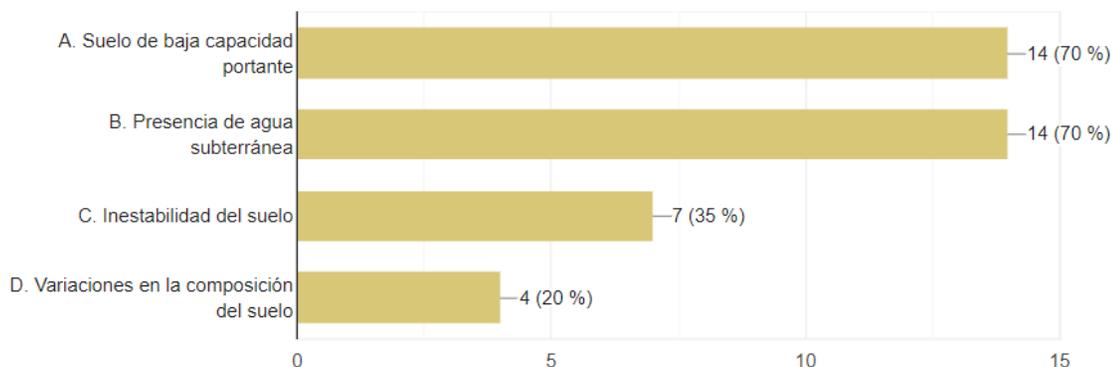
Figura 53. Factores que contribuyen a la formación de patologías



En la figura 53, se puede observar que dos de los factores más comunes que contribuyen a la formación de patologías en cimentaciones son la deficiente compactación del suelo y el inadecuado control de calidad. Con esto se puede inferir que en las obras de construcción que involucran la construcción de cimentaciones superficiales, no se lleva a cabo un procedimiento constructivo y control de calidad adecuado.

Pregunta 6. En su opinión, ¿cuáles son los principales factores geotécnicos que pueden causar patologías en las cimentaciones superficiales?

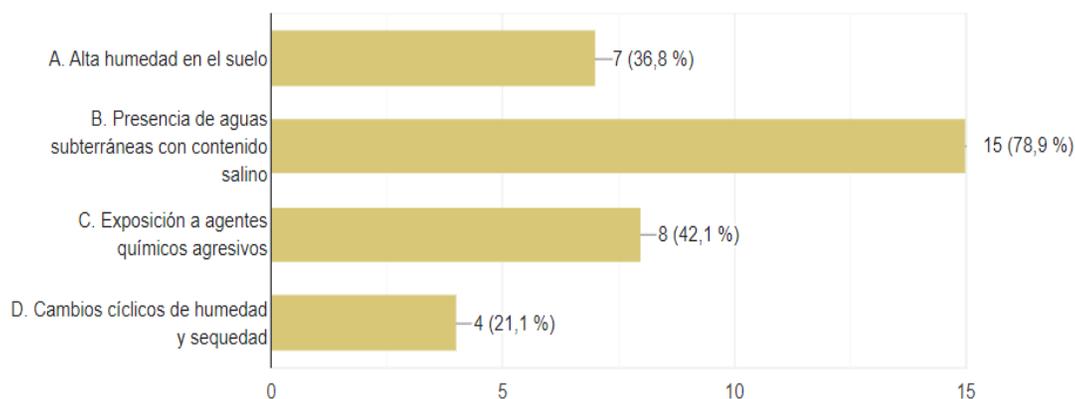
Figura 54. Principales factores geotécnicos que causan patologías en cimentaciones superficiales



En la figura 54, se puede observar que dos de los factores geotécnicos que causan patologías en las cimentaciones superficiales según los profesionales encuestados son la baja capacidad portante del suelo y la presencia de agua subterránea. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la capacidad portante del suelo y la presencia de agua subterránea al diseñar cimentaciones superficiales, ya que estos factores pueden influir significativamente en la estabilidad y el rendimiento de las estructuras construidas sobre ellos.

Pregunta 7. ¿Cómo pueden las condiciones ambientales, como la exposición a agua y sales en el suelo, contribuir a la corrosión de los armados en las cimentaciones?

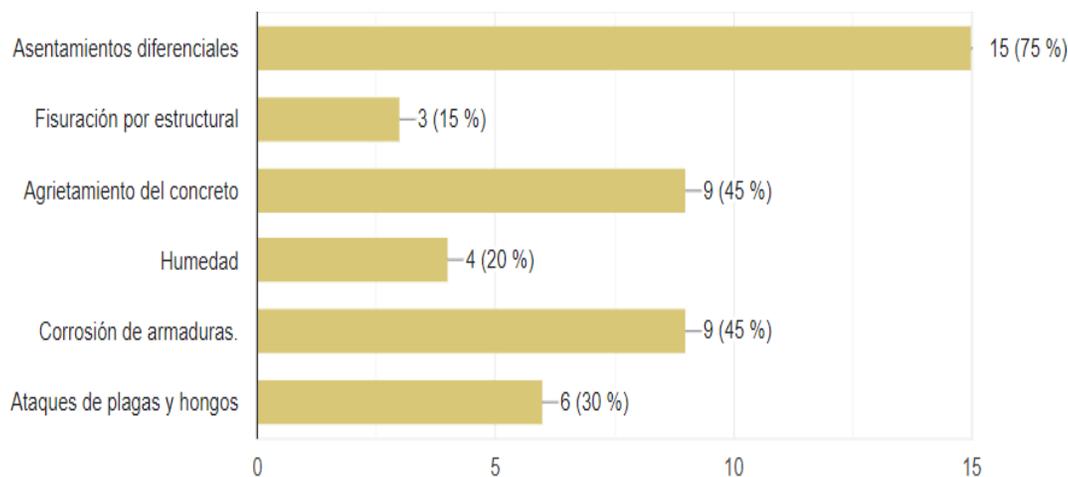
Figura 55. Agentes externos que contribuyen a la corrosión del armado de las cimentaciones



La presencia de aguas subterráneas con contenido salino fue identificada como uno de los agentes externos que contribuyen a la corrosión del armado de las cimentaciones, según la figura 55. Esto resalta la importancia de realizar un buen diseño, teniendo en cuenta los estudios geotécnicos previos, para generar propuestas de protección de la estructura, como lo son las membranas impermeables, drenajes, geotextiles, recubrimientos, etc.

Pregunta 8. ¿Cuáles son las principales patologías que han identificado en las zapatas, cimientos continuos y losas en sus proyectos?

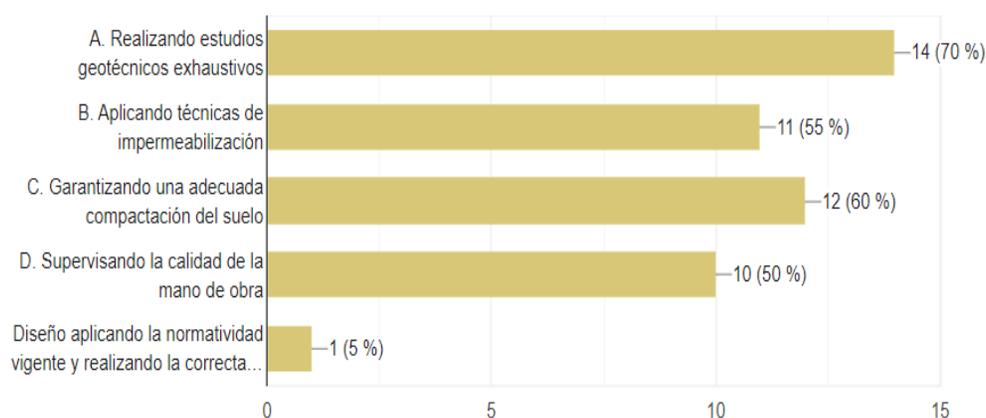
Figura 56. Principales patologías que han identificado los profesionales según su experiencia



Una de las principales patologías que han identificado los profesionales según la figura 56, son asentamientos diferenciales, esto resalta la necesidad crítica de estudios geotécnicos exhaustivos para abordar estas deficiencias en el diseño estructural. Además, subraya la importancia de implementar medidas preventivas y de mitigación de estas anomalías con el fin de asegurar la estabilidad a largo plazo de las estructuras.

Pregunta 9. ¿Cómo abordan la prevención de patologías en cimentaciones superficiales durante el proceso de diseño y construcción?

Figura 57. Técnicas de prevención de patologías en cimentaciones superficiales



Esta situación refleja la complejidad del tema abordado y la necesidad de considerar múltiples perspectivas al analizar las técnicas de prevención de patologías, la similitud en las respuestas como se evidencia en la figura 57, esto subraya la importancia de explorar en mayor profundidad este tema para generar una respuesta más fundamentada y completa, aun así es de resaltar que los estudios geotécnicos exhaustivos es la más escogida por nuestros profesionales, lo cual confirma que la geotecnia es esencial para el desarrollo exitoso de proyectos de ingeniería civil, ya que contribuye a la seguridad, durabilidad y sostenibilidad de las obras civiles.

Pregunta 10. ¿Cuáles son las medidas correctivas más efectivas que han implementado para mitigar patologías en cimentaciones superficiales en proyectos anteriores?

Las respuestas al ser muy extensas se van a presentar a continuación:

Realizar un adecuado estudio geotécnico previo para conocer las características del terreno y definir el tipo de cimentación más apropiado.

Diseñar las cimentaciones distribuyendo uniformemente las cargas y evitando puntos de sobreesfuerzo.

Utilizar sistemas de impermeabilización en la cimentación para evitar humedades.

Controlar los procesos constructivos, especialmente la calidad del hormigón y su correcta compactación y curado.

Implementar drenajes perimetrales para interceptar y desviar aguas subterráneas.

Proteger las armaduras con recubrimientos adecuados para evitar su corrosión.

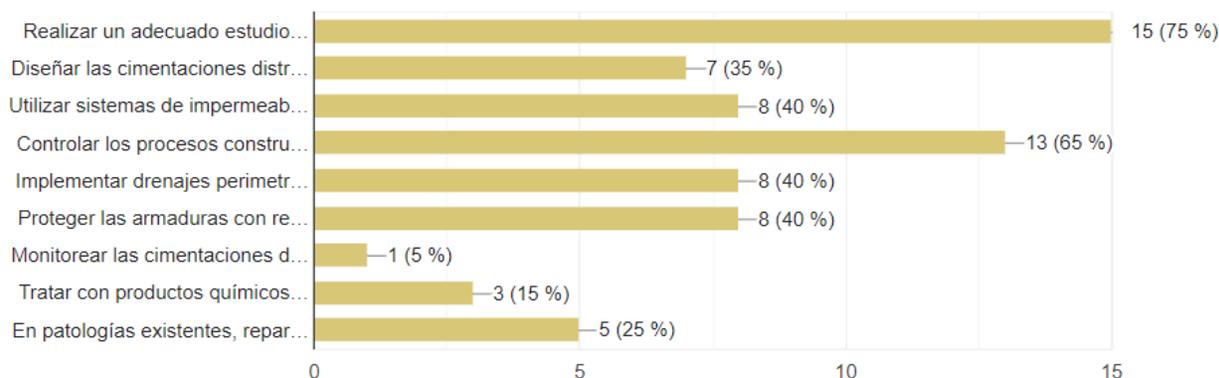
Monitorear las cimentaciones durante y después de la construcción para detectar asentamientos diferenciales.

Tratar con productos químicos el terreno donde hay riesgo de plagas o hongos.

En patologías existentes, reparar y/o reforzar la cimentación afectada.

De lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

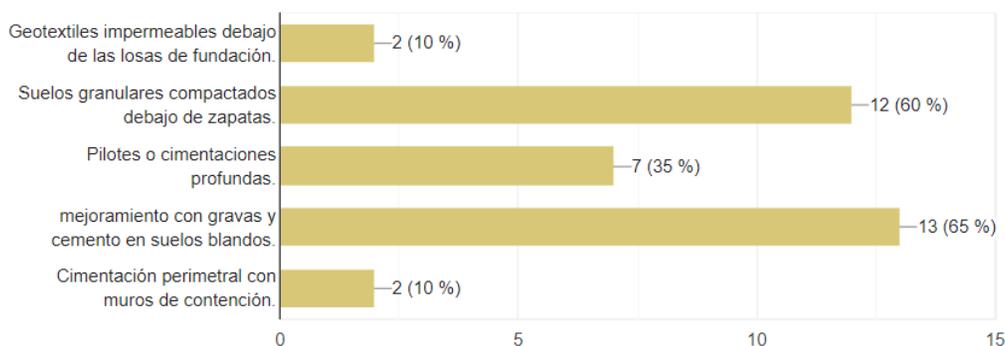
Figura 58. Medidas correctivas efectuadas por los profesionales



Las respuestas más votadas según la figura 58 fueron la de Realizar un adecuado estudio geotécnico previo para conocer las características del terreno y definir el tipo de cimentación más apropiado y Controlar los procesos constructivos, especialmente la calidad del hormigón y su correcta compactación y curado, esto nos vuelve a confirmar la importancia de la geotecnia en la prevención de las patologías en las cimentaciones superficiales como también un buen manejo del proceso constructivo y calidad de materiales.

Pregunta 11. ¿Qué se suele utilizar con más frecuencia para prevenir asentamientos diferenciales en cimentaciones superficiales?

Figura 59. Materiales y técnicas para la prevención de asentamientos diferenciales



En la figura 59 se evidencia que el mejoramiento de los suelos es la técnica que más suelen utilizar los profesionales para mitigar y prevenir los asentamientos diferenciales, este aporte es de gran importancia para la creación de una guía práctica que aborde causas, consecuencias, como también medidas de prevención y mitigación de patologías en cimentaciones superficiales.

Pregunta 12. ¿Cuál cree usted que es lo más importante a la hora de realizar un diseño estructural de una cimentación para la prevención y mitigación de las patologías?

Las respuestas al ser muy extensas se van a presentar a continuación:

Dimensionamiento correcto de la zapata para la capacidad de carga del terreno: si es muy pequeña podría sufrir sobrecargas, y si es excesivamente grande se pierde material y se generan costos innecesarios.

Distribución uniforme de las cargas sobre la zapata: esto evita puntos de mayor tensión que podrían ocasionar fisuración o asentamientos diferenciales.

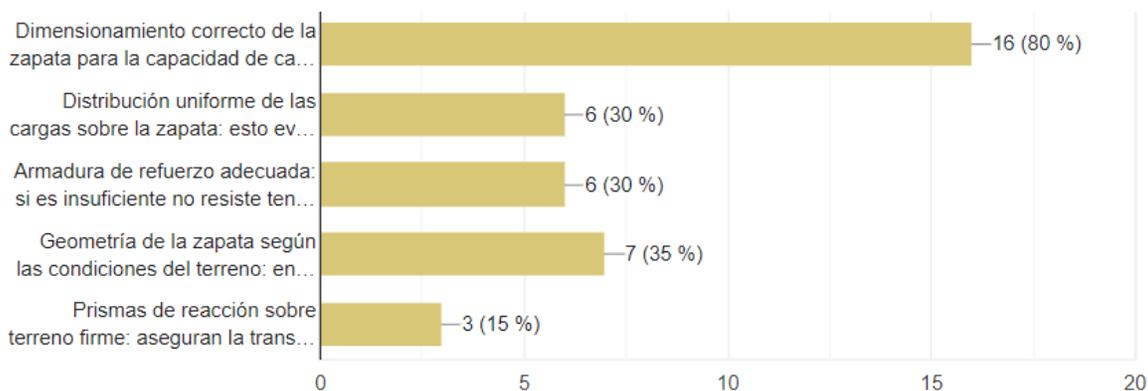
Armadura de refuerzo adecuada: si es insuficiente no resiste tensiones y puede fisurarse, debiéndose reforzar ante sobrecargas. Excesiva también es innecesaria.

Geometría de la zapata según las condiciones del terreno: en suelos blandos/húmedos se utilizan diseños con mayor área de apoyo.

Prismas de reacción sobre terreno firme: aseguran la transferencia uniforme de esfuerzos al suelo soporte.

De las cuales las respuestas elegidas por los profesionales encuestados según su experiencia y conocimiento en la construcción de cimentaciones superficiales fueron:

Figura 60. Importancia del diseño estructural para la prevención y mitigación de patologías



La opción más elegida por los profesionales según la figura 60 es Dimensionamiento correcto de la zapata para la capacidad de carga del terreno: si es muy pequeña podría sufrir sobrecargas, y si es excesivamente grande se pierde material y se generan costos innecesarios, esto nos dice, que una manera de prevenir patologías en las cimentaciones superficiales es un buen diseño estructural, ya que con este se evita cometer errores que puedan fomentar la manifestación de patologías.

Pregunta 13. ¿Cuál cree que es la mejor medida para prevenir la corrosión de las armaduras en cimentaciones?

Las respuestas al ser muy extensas se van a presentar a continuación:

Utilizar hormigón de buena calidad, denso y con un menor cociente agua/cemento. Esto mejora la impermeabilización.

Colocar armaduras con un recubrimiento adecuado según la exposición al medio. Entre 5-7 cm es lo recomendable.

Instalar membranas o geotextiles impermeables alrededor de la cimentación para evitar el ingreso de agua.

Agregar aditivos al hormigón que lo hagan más impermeable y resistente a agentes químicos agresivos.

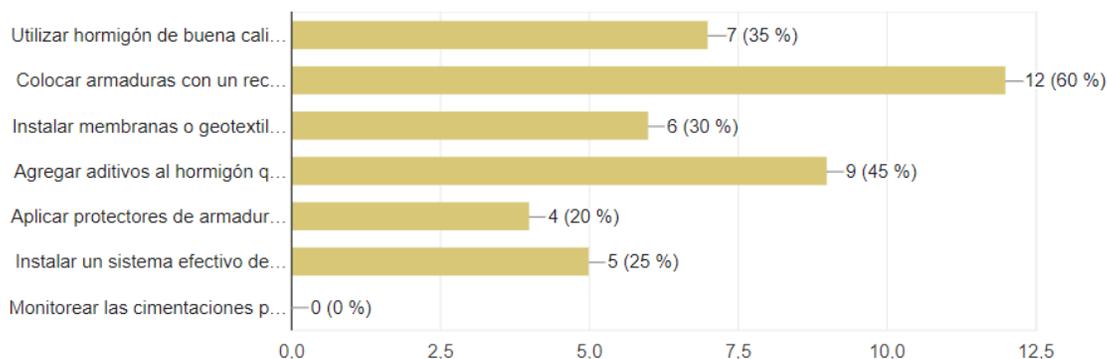
Aplicar protectores de armadura antes del vaciado, como recubrimientos epoxi o filmes de polietileno.

Instalar un sistema efectivo de recolección y evacuación de aguas superficiales y subterráneas.

Monitorear las cimentaciones periódicamente para detectar ingreso de humedades u otros factores de riesgo.

De las cuales las respuestas elegidas por los profesionales encuestados según su experiencia y conocimiento en la construcción de cimentaciones superficiales fueron:

Figura 61. Medida para la prevención de la corrosión en la armadura



La figura 61 nos muestra, que los profesionales afirman que una de las medidas más utilizadas para la prevención de la corrosión de la armadura en la cimentación superficial es la de Colocar armaduras con un recubrimiento adecuado según la exposición al medio. Entre 5-7 cm es lo recomendable, siguiendo la de Agregar aditivos al hormigón que lo hagan más impermeable y resistente a agentes químicos agresivos. Lo cual resalta la importancia del diseño estructural a la hora de la prevención de patologías.

Pregunta 14. ¿De qué forma los procedimientos constructivos aplicados durante la ejecución de la cimentación pueden incidir en el desencadenamiento posterior de procesos patológicos?

Las respuestas al ser muy extensas se van a presentar a continuación:

Deficiencias en el armado y encofrado, que generen puntos de baja resistencia en el hormigón.

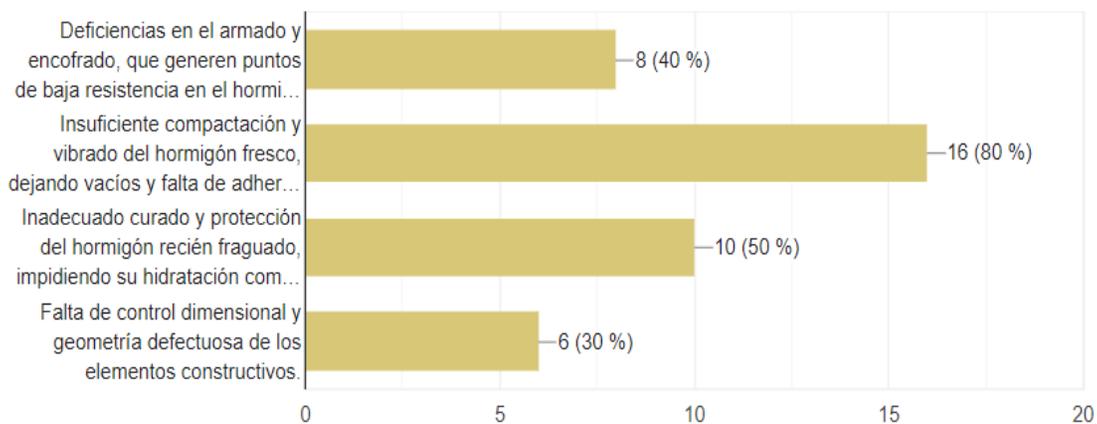
Insuficiente compactación y vibrado del hormigón fresco, dejando vacíos y falta de adherencia.

Inadecuado curado y protección del hormigón recién fraguado, impidiendo su hidratación completa.

Falta de control dimensional y geometría defectuosa de los elementos constructivos.

De las cuales las respuestas elegidas por los profesionales encuestados según su experiencia y conocimiento en la construcción de cimentaciones superficiales fueron:

Figura 62. Incidencia de los procesos constructivos en la formación de patologías



Según la figura 62, la insuficiente compactación y vibrado del hormigón fresco, dejando vacíos y falta de adherencia, es uno de los procesos constructivos que los profesionales

consideran clave en la formación de patologías en cimentaciones. La falta de compactación adecuada del hormigón fresco puede resultar en una estructura que no es resistente, duradera y compacta de manera uniforme.

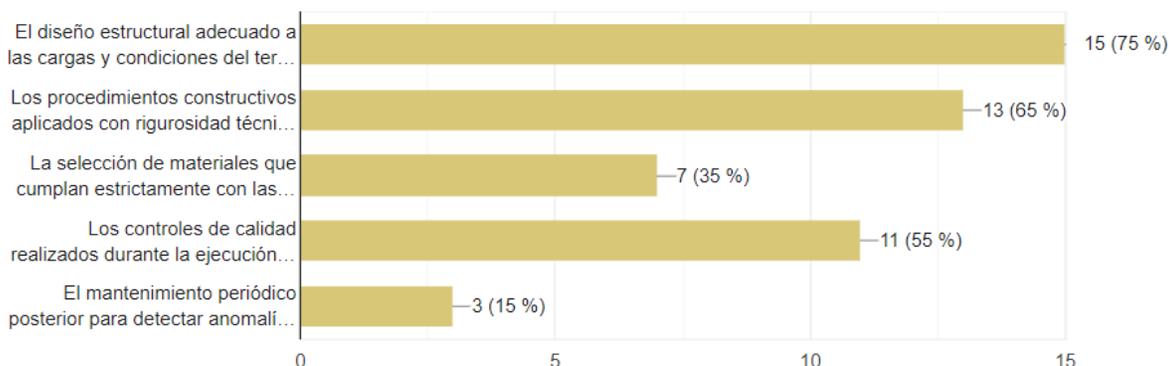
La compactación manual y por vibrado son fundamentales para lograr un hormigón homogéneo y con las propiedades deseadas. La falta de compactación y vibrado adecuados puede provocar la formación de vacíos en el hormigón fresco, lo que a su vez puede causar problemas en la estructura y reducir su resistencia. Estos vacíos pueden actuar como puertas de entrada para elementos agresivos externos, que puede contribuir a la oxidación de la armadura interna del hormigón armado.

Pregunta 15. ¿Cuál es el factor más relevante a la hora de prevenir patologías futuras en cimentaciones superficiales durante su vida útil?

- Las respuestas al ser muy extensas se van a presentar a continuación:
- El diseño estructural adecuado a las cargas y condiciones del terreno.
- Los procedimientos constructivos aplicados con rigurosidad técnica.
- La selección de materiales que cumplan estrictamente con las especificaciones requeridas.
- Los controles de calidad realizados durante la ejecución de la obra.
- El mantenimiento periódico posterior para detectar anomalías tempranamente.

De las cuales las respuestas elegidas por los profesionales encuestados según su experiencia y conocimiento en la construcción de cimentaciones superficiales fueron:

Figura 63. Factor más relevante para la prevención de patologías.



El diseño estructural adecuado a las cargas y condiciones del terreno. Y los procedimientos constructivos aplicados con rigurosidad técnica son las opciones más escogidas por los profesionales como se muestran en la figura 63, De esta forma, podemos inducir que la mejor manera de prevenir patologías en las cimentaciones, como del resto de la estructura, es en la de realizar un buen diseño estructural y realizar un procedimiento constructivo adecuado.

Pregunta 16. ¿Han observado interdependencias entre diferentes patologías en las cimentaciones superficiales? ¿Puede mencionar ejemplos?

A continuación, se exponen las respuestas más significativas, teniendo en cuenta su experiencia, conocimiento y el aporte que esta genera para la monografía.

En la cimentación de los muros de contención

Si, como ejemplo fisura de origen constructivo con fisura de tipo estructural, una puede incidir a la otra

Erosión del acero y descascaramiento del concreto. Si una parte de la cimentación asienta más que otra, puede generar tensiones en la estructura, lo que a su vez puede provocar grietas en las

paredes o losas. La erosión del suelo alrededor de la cimentación puede debilitarla, lo que podría contribuir a un hundimiento de la estructura o al colapso de la cimentación. La contaminación del suelo puede debilitar la capacidad portante de la cimentación y requerir medidas especiales de mitigación.

Porosidad en el concreto con corrosión en el acero de refuerzo.

Asentamientos diferenciales, Pueden resultar en grietas o deformaciones en estructuras cercanas, lo que a su vez puede comprometer la estabilidad de las cimentaciones adyacentes. La presencia de agua en exceso puede debilitar el suelo, lo que aumenta el riesgo de deslizamientos o socavones, lo que a su vez afecta la integridad de las cimentaciones circundantes.

Si, en una vivienda se generó afectación a su cimentación debido a qué se construyó en un terreno que no tenía las condiciones de soporte apropiadas y por lo tanto se presentaron daños en algunos muros.

Las respuestas proporcionadas por los ingenieros revelan la complejidad y la diversidad de las patologías que pueden afectar a las cimentaciones superficiales. Se destaca la interrelación entre diversos factores, como la compactación del suelo, la erosión, la porosidad del concreto, los asentamientos diferenciales y la presencia de agua subterránea, y cómo estos pueden influir en la integridad estructural y la estabilidad de las cimentaciones.

Estas respuestas aportan significativamente a la monografía sobre patologías en cimentaciones superficiales al proporcionar una visión integral de los posibles desafíos que enfrentan las estructuras en relación con su cimentación. Además, subrayan la importancia de considerar no solo los aspectos constructivos, sino también los factores ambientales y

geotécnicos que pueden impactar en la salud estructural a largo plazo. Esta comprensión integral es crucial para el desarrollo de estrategias efectivas de prevención, diagnóstico y mitigación de patologías en cimentaciones superficiales, lo que a su vez contribuye a la seguridad y durabilidad de las estructuras.

Pregunta 17. Considerando el contexto colombiano, ¿qué recomendaciones específicas puede ofrecer para prevenir y mitigar las patologías en cimentaciones superficiales en la región?

A continuación, se exponen las respuestas más significativas, teniendo en cuenta su experiencia, conocimiento y el aporte que esta genera para la monografía.

En el contexto Cúcuta, se debe realizar un estudio geotécnico representativo que busque la presencia de material arcilloso que pueda conllevar a futuros asentamientos diferenciales. Control de calidad en el proceso de diseño y construcción. Buenas prácticas a la hora de la ejecución de los proyectos.

Consultar con un especialista en el tema para que oriente el proceso constructivo

Buen control de calidad en el proceso constructivo.

Se deben realizar suficientes estudios geotécnicos para conocer las condiciones del terreno y tomar decisiones oportunas al caso. Además, durante el proceso constructivo se debe ser riguroso y tener suficiente criterio para cumplir a cabalidad con los estudios y planos estructurales.

mejorar la calidad en la mano de obra y capacitaciones en los procesos constructivos y de calidad en la supervisión y control de obra.

Hacer una buena inspección sobre las plagas que puede generar el terreno, control de los procedimientos constructivos y horario de fundida teniendo en cuenta el factor climático.

Conocer lo mejor posible las condiciones del terreno y el comportamiento de la zona donde se ejecuta el proyecto.

Diseño geotécnico y estructural adecuado, y supervisión técnica.

En Colombia, donde las condiciones geotécnicas pueden variar significativamente según la región, es fundamental tomar medidas específicas para prevenir y mitigar patologías en cimentaciones superficiales, no generalizar, dejar de lado la excesiva cantidad de correlaciones que existen y centrarnos en estudios geotécnicos detallados y específicos para cada proyecto y zona. Selección de cimentaciones apropiada. Instalar sistemas de drenaje apropiados para evitar la acumulación de agua en el área de la cimentación, ya que el agua puede debilitar el suelo y causar erosión. Implementar medidas para control de erosión.

Un buen diseño estructural adecuado a las cargas y condiciones del terreno, además y muy importante la selección de materiales deben cumplir estrictamente con las especificaciones arrojadas en el diseño estructural

Diseñar las cimentaciones de acuerdo al tipo de suelo y aplicando correctamente la norma NSR-10.

Realizar adecuados diseños estructurales, estudio geotécnico y correctos procesos constructivos.

Utilizar sistemas de drenaje efectivos para gestionar adecuadamente el agua subterránea y evitar problemas de socavamiento y asentamientos diferenciales. Realizar un monitoreo constante durante la fase de construcción para detectar cualquier signo temprano de deterioro o falla potencial en las cimentaciones, y tomar medidas correctivas oportunas.

Implementar y realizar estudios minuciosos de suelos, construir con materiales que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.

Realizar estudios de suelos, geotécnicos y geológicos rigurosos que presenten de manera clara la zona donde se construirán las cimentaciones, uso de materiales con calidad adecuada y control de calidad periódico a los procesos constructivos.

Las respuestas proporcionadas por los profesionales ofrecen un enfoque integral sobre las recomendaciones específicas para prevenir y mitigar patologías en cimentaciones superficiales en el contexto colombiano. Estas recomendaciones destacan la importancia de realizar estudios geotécnicos representativos, control de calidad en el proceso de diseño y construcción, consulta con especialistas, selección adecuada de cimentaciones, implementación de sistemas de drenaje efectivos, monitoreo constante durante la construcción, y uso de materiales que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.

Estas valiosas recomendaciones aportan significativamente a la monografía sobre patologías en cimentaciones superficiales al resaltar la necesidad de considerar las condiciones geotécnicas específicas de cada región en Colombia. Además, subrayan la importancia de la rigurosidad en los procesos constructivos, el diseño estructural adecuado, la selección de materiales apropiados, y la implementación de medidas preventivas específicas para cada proyecto y zona. Esta

comprensión detallada y específica es esencial para garantizar la durabilidad y la seguridad de las cimentaciones superficiales en el contexto colombiano.

4.3 Guía Practica

Dado que el estudio permitió identificar las patologías más frecuentes en cimentaciones superficiales en el contexto colombiano, así como sus principales factores causales, interrelaciones e impactos, se consideró pertinente elaborar una guía práctica que sintetizara dichos hallazgos. La importancia de la guía es facilitar a profesionales del sector la comprensión y prevención de estas fallas, a través de un documento que de forma didáctica y accesible aborde cuáles son las fallas más comunes en el país, cuáles son sus causas fundamentales y cómo estas pueden variar según aspectos del entorno y diseño de cada obra. Asimismo, la guía proporciona orientaciones sobre posibles medidas correctivas y de mitigación que pueden aplicarse una vez presentada una patología, con el fin de evitar su propagación o el surgimiento de nuevas fallas. De esta forma, se espera que la guía contribuya de manera efectiva a mejorar las prácticas de diseño, cálculo y construcción de cimentaciones (ver Anexo 1).

4.3.1 Objetivos y alcance ampliados

La guía no solo busca identificar y corregir patologías en cimentaciones superficiales, sino también promover una comprensión más profunda de las interacciones entre el diseño estructural, el comportamiento del suelo y el impacto ambiental. Además, se enfoca en la promoción de prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

4.3.2 Tipos de patologías detallados

Patología estructural temprana. En el contexto de las cimentaciones superficiales se centra en identificar y abordar problemas estructurales que emergen en las fases a corto plazo de la vida de una construcción. Estos problemas son especialmente críticos porque ocurren durante o inmediatamente después de la construcción, y al inicio de la vida útil proyectada de la estructura. Estas patologías se desarrollan en las primeras etapas de la vida de una estructura, a menudo debido a deficiencias en el diseño, selección de materiales, prácticas de construcción o adaptación al entorno geotécnico.

Patología estructural no invasiva. Este término se refiere a las condiciones particulares y desafíos que enfrentan las estructuras antiguas, especialmente aquellas cercanas a la Vulnerabilidad de Uso Público (VUP), donde la seguridad y conservación son de suma importancia. El diagnóstico de patologías en estas construcciones debe ser meticuloso y respetuoso, utilizando técnicas no invasivas siempre que sea posible. La restauración y corrección de las patologías requieren un enfoque especializado que respete la integridad histórica y estética de la estructura, a la vez que asegure su estabilidad y seguridad.

Patología de ingeniería forense. Se refiere al estudio detallado y sistemático de las causas y circunstancias que han llevado al colapso o falla grave en una estructura, como un edificio o una cimentación. Este campo combina principios de la ingeniería civil, la arquitectura, la mecánica de suelos y otros conocimientos especializados para analizar por qué una construcción falló, buscando identificar las raíces de las patologías que llevaron al colapso.

4.3.3 Diagnóstico y corrección detallados

El proceso de diagnóstico incluye la recopilación de datos históricos del sitio y la estructura, análisis de planos y documentos de construcción, y entrevistas con los responsables de mantenimiento. Las técnicas de corrección varían desde el refuerzo de la cimentación existente hasta el rediseño completo del sistema de soporte.

4.3.4 Normativas y marco legal ampliados

Se analiza el impacto de las regulaciones ambientales y de seguridad en el diseño de cimentaciones superficiales, y cómo las normativas han evolucionado en respuesta a desastres naturales y avances tecnológicos. Se incluye una discusión sobre la responsabilidad legal de los ingenieros y constructores en el cumplimiento de estas normativas.

4.3.5 Estrategias de mejora del terreno detalladas

Se detallan casos de estudio donde se han aplicado estas técnicas, mostrando su efectividad en diferentes condiciones geológicas y ambientales. Se discuten también los costos y beneficios de cada técnica, así como consideraciones para su implementación.

4.3.6 Conclusión de la guía práctica

La guía concluye haciendo énfasis en la necesidad de adoptar un enfoque integral y continuo para el adecuado diseño, construcción y mantenimiento de las cimentaciones superficiales. En particular, se resalta la importancia de impulsar procesos de educación permanente dirigidos a los profesionales del sector, mediante los cuales puedan actualizar sus conocimientos sobre las últimas tendencias y técnicas constructivas relacionadas con cimentaciones.

Asimismo, se destaca la relevancia de promover la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico, a fin de generar nuevos materiales y soluciones acordes con los retos geotécnicos del país. Esto permitirá contar con herramientas más eficientes para el diagnóstico y reparación de patologías. Por otra parte, la guía enfatiza en la necesidad de un trabajo colaborativo entre las diferentes disciplinas involucradas como la ingeniería civil, geotecnia, construcción e interventoría. Solo mediante un enfoque multidisciplinario será posible comprender y atender de manera integral los factores que afectan el desempeño de las cimentaciones a lo largo de su vida útil. De esta forma, se busca sentar las bases para lograr cimentaciones más seguras, duraderas y sostenibles, que contribuyan decisivamente a la construcción de edificaciones confiables en Colombia.

5. Conclusiones

El presente estudio permitió analizar las principales patologías que afectan las cimentaciones superficiales, identificando sus causas y consecuencias estructurales. Se evidencia que factores como suelos expansivos o de baja capacidad portante, excavaciones inadecuadas, malos diseños estructurales y la falta de control de calidad en la mano de obra y materiales, conducen a anomalías como hundimientos diferenciales, fisuración y corrosión de las cimentaciones.

Estas patologías comprometen seriamente la capacidad portante de las cimentaciones, generando impactos estructurales adversos que ponen en riesgo la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Por ello, es crucial clasificar las patologías según sus mecanismos de deterioro, a fin de proponer soluciones de mitigación preventiva y correctiva para garantizar un adecuado desempeño a lo largo del tiempo.

Frente a ello, se concluye la necesidad de desarrollar una guía práctica de patologías en cimentaciones superficiales. Esta herramienta deberá orientar a profesionales de la ingeniería civil y la construcción sobre la identificación de factores causales, el análisis de impactos estructurales, y la implementación de acciones mitigantes técnicamente factibles, validadas por expertos. Con una gestión integral que contemple aspectos geotécnicos, constructivos y de supervisión, se podrá mejorar notablemente la confiabilidad y durabilidad de las cimentaciones en obras de edificación en Colombia, garantizando así la seguridad y bienestar de las comunidades.

6. Recomendaciones

Es fundamental recomendar que, a pesar de las limitaciones en el acceso a casos reales de patologías en cimentaciones superficiales, se realicen esfuerzos para recopilar la mayor cantidad de información disponible, ya sea a través de estudios de casos, investigaciones en campo o análisis detallados de patologías documentadas. Además, se debe resaltar la importancia de complementar la información con simulaciones y modelos que ayuden a comprender y abordar estas patologías, a pesar de la dificultad de acceso directo a casos concretos.

Es importante recomendar adoptar un enfoque más cualitativo que cuantitativo en el análisis de las posibles soluciones a las patologías en cimentaciones superficiales. Dado que la validación directa en proyectos reales es limitada, es fundamental centrarse en describir y comprender las patologías observadas en lugar de cuantificarlas numéricamente. Los resultados obtenidos de esta manera pueden proporcionar una visión general aplicable, especialmente en el contexto colombiano. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que, debido a la limitada cantidad de casos reales, estas conclusiones no pretenden ser definitivas, sino más bien orientaciones para profundizar en el estudio.

Es crucial recomendar una supervisión y seguimiento detallado durante la construcción para asegurar que el diseño de la cimentación sea implementado correctamente. Esto implica la presencia de ingenieros civiles que puedan verificar in situ que el proceso de construcción se ajusta a las especificaciones del diseño, lo que ayudará a prevenir problemas futuros y garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Referencias Bibliográficas

- American Concrete Institute-ACI 364.1 R-94. (1999). *Guía para la Evaluación de Estructuras en Concreto antes de una Rehabilitación*. San Francisco: American Concrete Institute – ACI.
- Arteaga, J. G., Real, A. Y., Aperte, J. A., Cameo, M. M., Espinosa, O. M., y Gamir, V. N. (2020). Monitorización de Variables Ambientales en Cimentaciones Superficiales
Monitoring of Environmental Variables in Surface Foundations J. *Anales de Edificación*, 6(3), 53-59.
- ASTM. (2020). C1152/C1152M – 04 Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. https://www.astm.org/c1152_c1152m-20.html
- Bartel, H. G. y Huebener, R. P. (2007). Walther Nernst: Pioneer Of Physics, And Of Chemistry. World Scientific, 14(4), 147-159.
- Basset Salom, L. (2020). *Patología de las cimentaciones: Técnicas de intervención en el terreno*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional RIUNET. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/143923/Basset%20-%20Patolog%C3%ADa%20de%20las%20cimentaciones%3A%20T%C3%A9cnicas%20de%20intervenci%C3%B3n%20en%20el%20terreno.pdf>
- Basset Salom, L. (2021). *Proceso patológico de la estructura: lesiones, síntomas y causas*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional RIUNET. https://www.researchgate.net/publication/324170625_Patologia_de_las_cimentaciones_causas
- Becerra-Rojas, A. C. y Marín-Ramírez, D. C. (2021). *Variación de la capacidad de carga de una cimentación superficial en suelo granular estabilizado, una aproximación empírica,*

- semiempírica y racional*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCC.
- Cantillo, C. (2020). *Estudio patológico del inmueble residencial de la familia Mercado Hernández*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio institucional USTA.
- Cardona C. y Muñoz J, (2012), *Guía metodológica para la identificación, análisis y tratamiento de patologías en estructuras de concreto reforzado en edificaciones*. [Tesis de Grado, Universidad Libre de Pereira]. Repositorio Institucional ULP.
- Castelblanco, Y. (2020). *Estudio de caso para patología estructural presentada en el edificio Manglar de la ciudad de Bogotá*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio institucional USTA.
- Chorres, M. (2017). *Uso de geotextiles para la mejora del suelo de las cimentaciones superficiales en suelos arenosos Asentamiento Humano Pachacútec Distrito de Ventanilla–2017*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Coaguila, A. y Steven, W. (2022). *Estudio geotécnico con fines de cimentación superficial para una vivienda unifamiliar ubicada en el parque industrial, Pampa Inalámbrica, Ilo, 2020*. [Tesis de grado, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio Institucional UJCM.
<https://hdl.handle.net/20.500.12819/1903>
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículos relacionados*.
<https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
- Cortes, B. y Perilla, K. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de Santa Rosa de Cabal (Sector Educativo)*. [Tesis de Grado, Universidad Libre de Pereira]. Repositorio Institucional ULP.

- Cuervo, L. (2019). *Unidad didáctica para la enseñanza del concepto de fuerza en resortes reales más allá de la Ley de Hooke*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia].
Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76897>
- Diaz, E. G. (2022). Origen de la cuña de Prandtl-mecanismo de falla usado para cimentaciones superficiales. *Gaceta Técnica*, 23(2), 107-120.
- Espínola, S.y Iraola, B. (2021). *Análisis y Diseño de Cimentaciones Superficiales*.
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3277>
- Evans, U. R. (2014). *Corrosiones metálicas*. Reverté.
- Farbiarz, J., Campos, A., Arango, J. y Cardona O. (2011). *Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales*. Grupo Magenta.
- Fernández Polo, J. B. (2023). *Zonificación de suelos para el diseño de cimentaciones superficiales en el sector CHOC CHOC, distrito de Moche, Trujillo, La Libertad*. [Tesis de Grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional UPAO.
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/10152>
- Florentin, M. y Granada, R. (2009). *Patología Constructivas en los Edificios*. Prevenciones y Soluciones.
- Garza, L. (2004/2019). *Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNC.
https://www.academia.edu/44094075/dise%C3%91o_de_estructuras_de_cimentacion_de_acuerdo_a_nsr_10_garza
- Gerolymos, N. y Gazetas, G. (2006). Winkler model for lateral response of rigid caisson foundations in linear soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(5), 347-361.

- Griffith, A. (1921). The phenomena of rupture and flow in solids *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 2(21), 163–198.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2010). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistentes. NSR-10. 2010*. Bogotá D.C.
- Jaramillo, G. (2019). *Manual de cimentaciones*. [Tesis de Grado, Universidad del Quindío]. Repositorio Institucional UNQ.
<https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/1/browse?type=type&value=Cap%C3%ADtulo+de+Libro>
- Lizárraga Tito, J. S. (2019). *Cimentaciones superficiales en suelos conglomerados aplicando métodos convencionales en el distrito de San Martín de Porres-2018*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47018>
- López, S., Gil, M., Álvarez, Y. y Patiño, J. (2021). *Cimentaciones: procesos constructivos y su diseño de ejecución*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico Metropolitano]. Repositorio Institucional, ITM.
- Louis, L. (1984). *Patología de las cimentaciones*. <http://hdl.handle.net/20.500.12622/5576>
- Mehta, P. K. y Monteiro, P. J. (2014). *Concreto. Microestructura, propiedades e materiais*. IBRACON.
- Mendoza, M. y Alvarado, M. (2018). *Patología en las cimentaciones*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional, UNC.
- Monjo, J. y Maldonado, L. (2001). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Munilla-Lería

- Murthy, V. (2002). *Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering*. CRC press.
- Ortiz, A. (2019). Patología de las Cimentaciones. *Informes de la construcción*, 35(350), 5–35.
<https://doi.org/10.3989/ic.1983.v35.i350.2019>
- Palacio, R. y Figueroa, T. (2008). Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín. *Revista EIA*, 10(1), 121-130.
<https://www.redalyc.org/pdf/1492/149212844009.pdf>
- Paucar, R. (2018). *Guía técnica para la prevención y reparación de humedades por capilaridad en la cimentación de viviendas unifamiliares en la parroquia de Conocoto*. [Tesis de grado, Universidad de las Américas]. Repositorio Institucional UCA.
- Payares, F. y Ferrer, R. (2021). *Identificación, estudio e intervención de patologías edificio Smart Clarisas*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio institucional USTA.
- Peck, K. y Terzaghi, K. (1986). *Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica*. El.
- Pérez Anahua, E. (2022). *Diseño estructural de la cimentación superficial más adecuado en la IEP. Miguel Grau de la ciudad de Puno 2022*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Perilla, K. y Cortes, B. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de santa rosa de cabal*. [Tesis de grado, Universidad Libre de Colombia]. Repositorio Institucional Unilibre. <https://hdl.handle.net/10901/16981>
- Quevedo, E. y Atalaya, G. (2015). *Patología en las cimentaciones*. [Tesis de grado, Universidad Católica de los Ángeles de Chimbotes]. Repositorio Institucional UCACH.

- Reyes Ramírez, C. A. (2022). *Estudio de patologías para una vivienda unifamiliar ubicada en el Polo Club en la ciudad Bogotá*. [Tesis Doctoral, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
- Rodríguez, F., Cesar, J., Vaca, L., Mariela, A. y Barroso, A. (2023). Análisis y Diseño de Cimentaciones Superficiales Cargadas Excéntricamente. *Jóvenes en la ciencia*, 21(5), 1-6.
- Sanabria-Barboza, D. (2016). Barras de acero corrugadas y lisas para refuerzo de elementos de concreto estructural en Costa Rica.
https://facenil.com/?gclid=Cj0KCQiAqsitBhDIARIsAGMR1RgborM0I5rVn40Z0OowbNhzn-7JTwbPwDYw1fFuCsVdPWY9Fu0y6-QaAi_qEALw_wcB
- Sánchez Romero, F. J. (2021). *Cimentaciones superficiales: cálculo de tensiones transmitidas al suelo*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional RIUNET.
- Sandoval Hurtado, J. P. y Gutiérrez Jiménez, J. N. (2015). *Análisis y caracterización de las cimentaciones superficiales en la ciudad de Chihuahua (México) vs. la ciudad de Bogotá de (Colombia)*. [Tesis de grado, Universidad de la Gran Colombia]. Repositorio Institucional UNGC.
- Sierra Peña, J. J. (2020). *Revisión de literatura: capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos parcialmente saturados*. [Tesis de Grado, Universidad de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional, UIJG.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1238/Sierra%20Pe%C3%B1a%2C%20Johan%20Javier-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Trigos, L. (2019). Evaluación estructural de la Escuela José Antonio Galán. [Tesis de grado, Centro de Investigación y Docencia Económicas]. Repositorio Institucional CIDE.
<http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/459>
- Urraca, C. P. (2020). Cómo mejorar la cimentación de un muro ya existente: Refuerzo y recalce de cimentación del muro de contención de tierras en Autovía A-6. *Cercha: Revista de los aparejadores y arquitectos técnicos*, 1(47), 70-71.
- Vásquez, M. y Galicia, W. (2010). *Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego. Repositorio Institucional UPAO.
- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad? *Construcción y Tecnología en concreto*, 1(45), 20-23.
- Yepes, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Universitat Politècnica de València.