

Metodología para la evaluación patológica de muros de contención en concreto reforzado tipo voladizo construidos en la ciudad de Bogotá.

L. Perdomo^{1*} , C. Chinome² .

*Autor de Contacto: proyectos@consultecingenieria.com.co

RESUMEN

En el desarrollo de estudios de patología en muros de contención es importante realizar procedimientos establecidos en los reglamentos de construcción. En los casos en que la normativa no es suficiente para desarrollar ese tipo de estudios, es necesario buscar la estructuración de una metodología que permita ejecutar este tipo de casos. Se realiza una investigación documental con el fin de establecer ensayos para caracterizar las resistencias y durabilidad de los materiales. Posteriormente, se realizan cálculos por el método mononobe-okabe en dos estudios de caso, con el fin de conocer la vulnerabilidad sísmica y establecer estrategias de reforzamiento. Finalmente, se presentan conclusiones en donde se valida la metodología propuesta para la recuperación de muros de contención tipo cantiléver.

Palabras Clave: patología; muros en voladizo; metodología de evaluación; criterios de aceptación; rehabilitación.

Citar como: Perdomo, L., Chinome, C. (2025). “Metodología para la evaluación patológica de muros de contención en concreto reforzado tipo voladizo construidos en la ciudad de Bogotá.”. Editado por: Ángel Castillo Talavera, José Luis García Calvo, Enio J. Pazini Figueiredo y Pedro Castro Borges (Eds.), Memorias del XVIII Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y XX Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2025. Madrid, España, (pp. 571-586). DOI: <https://doi.org/10.21041/CONPAT2025/V2PC11>

¹CONSULTEC INGENIERÍA Y DISEÑO ESTRUCTURAL SAS., Bogotá, Colombia.

²CAISAN INGENIERÍA SAS, Bogotá, Colombia.

Methodology for the pathological evaluation of cantilever-type reinforced concrete retaining walls built in the city of Bogotá.

ABSTRACT

When conducting pathology studies on retaining walls, it is important to follow the procedures established in building regulations. In cases where regulations are insufficient to conduct such studies, it is necessary to structure a methodology that allows for these types of cases. Documentary research is conducted to establish tests to characterize the strength and durability of the materials. Subsequently, calculations using the mononobe-okabe method are performed in two case studies to determine seismic vulnerability and establish reinforcement strategies. Finally, conclusions are presented that validate the proposed methodology for the restoration of cantilever-type retaining walls.

Keywords: pathology; cantilever walls; evaluation methodology; acceptance criteria; rehabilitation.

Metodologia para a avaliação patológica de muros de contenção de concreto armado em balanço construídos na cidade de Bogotá.

RESUMO

Ao realizar estudos de patologia em muros de contenção, é importante seguir os procedimentos estabelecidos nas normas de construção. Nos casos em que a regulamentação é insuficiente para a realização deste tipo de estudos, é necessário estruturar uma metodologia que permita a execução deste tipo de casos. Pesquisas documentais são realizadas para estabelecer testes que caracterizem a resistência e durabilidade dos materiais. Posteriormente, são realizados cálculos utilizando o método mononobe-okabe em dois estudos de caso, a fim de determinar a vulnerabilidade sísmica e estabelecer estratégias de reforço. Por fim, são apresentadas conclusões que validam a metodologia proposta para recuperação de muros de contenção do tipo cantilever.

Palavras-chave: Patologia; paredes em balanço; metodologia de avaliação; critérios de aceitação; reabilitação.

1. INTRODUCCIÓN

Los eventos sísmicos pueden ser considerados como uno de los fenómenos naturales más peligrosos y devastadores en caso de su ocurrencia, estos eventos están ligados a la estabilidad de cualquier tipo de estructura. El Reglamento Colombiano Sismo Resistente, NSR-10, establece de manera directa que toda estructura construida antes de la vigencia del actual código de diseño deberá ejecutar un análisis de vulnerabilidad sísmica y su respectivo reforzamiento estructural de ser necesario, sin embargo, no se desarrolla de manera específica la metodología para estructuras de contención de tierras, razón por la cual esta investigación busca desarrollar una metodología con la que se logre optimizar en cierta medida los recursos en general de un proyecto estructural de este tipo.

Para el desarrollo del proyecto se contará con el análisis de dos casos de estudio localizados en la ciudad de Bogotá, a los cuales se les practicará una serie de ensayos destructivos y no destructivos con el fin de identificar las lesiones, establecer los criterios de aceptación y en caso de que se requiera plantear una alternativa de rehabilitación para las estructuras. Las muestras de las pruebas destructivas serán ejecutados y ensayadas en laboratorios certificados, entre los cuales cuenta con

la participación del Laboratorio de ingeniería de la Universidad de Los Andes.

Con el desarrollo de esta metodología se pretende dar paso a investigaciones posteriores en la que se pueda implementar a otros tipos de muro, esperando que el uso pueda ser aplicable a otro tipo de estructuras.

2. GENERALIDADES

Los muros de contención se encuentran definidos como estructuras ambientales, cuya función principal, como lo indica su nombre, es la contención de materiales, en ocasiones un terreno natural o un relleno artificial, (Calavera, 2001). De acuerdo con la literatura se establecen las partes que conforman un muro de contención, ver Figura 1:

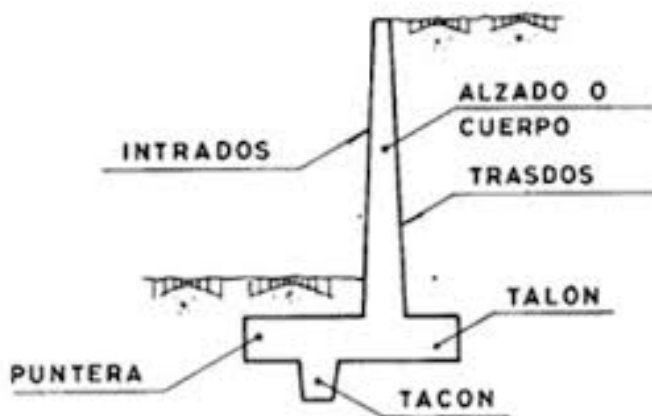


Figura 1. Secciones de un muro de contención. Fuente: (Calavera, 2001)

Dado que la investigación se fundamenta en los muros de contención en voladizo, se omitirán las generalidades de los muros de gravedad, muros pantalla o muros de sótano, muros con contrafuertes y los muros de gravedad. De tal modo, se deja en evidencia que los muros en voladizo (cantiléver) son estructuras esbeltas que funcionan como losas en voladizo construidas en concreto reforzado, pueden presentar geometrías tipo “T” o “L” invertida de acuerdo con las condiciones de diseño. Por lo general se componen de tres voladizos, los cuales fueron definidos con anterioridad, punta, talón y vástago.

En primera instancia se deberá evaluar el análisis de estabilidad de la estructura como un conjunto, esto se desarrolla con el pre-dimensionando del muro y la evaluación de cargas actuantes a fin de evitar la ocurrencia de dos condiciones de falla: *deslizamiento* en la base (cimiento) de la estructura y *volcamiento* con respecto al punto inferior de la punta (puntera) de la estructura.

2.1 Lesiones en el concreto

La evaluación y el control de las propiedades en las estructuras de concreto puede ser clasificado de acuerdo con el estado del material; cabe resaltar que, durante la primera etapa, estado fresco, las propiedades del concreto podrán verse afectadas por las prácticas en obra, sin embargo, siempre será necesario llevar un control de calidad que permita garantizar la estabilidad global del proyecto. Dadas las condiciones en las que se realice la evaluación o el diagnóstico de la estructura se pueden clasificar las lesiones en el concreto en dos estados, fresco y endurecido, cabe resaltar que en el primer caso el efecto es generado en mayor medida a partir de la práctica en obra (componente humano), y el segundo a causa de la dosificación y calidad de materiales, es esta la razón, por la cual el control de calidad se convierte en una herramienta de suma importancia en la ejecución de

los proyectos.

De acuerdo con (Montejo, 2013), las propiedades en estado fresco del concreto que deben ser controladas son:

- **Trabajabilidad o manejabilidad anticipada del concreto:** es la capacidad con la que cuenta el material para ser colocado y compactado de manera adecuada, evitando que se genere segregación entre los componentes de la mezcla. Los cinco factores principales que intervienen en la manejabilidad del concreto son: el contenido del agua en la mezcla, el contenido de aire, las propiedades de los agregados, la relación pasta/agregado y las condiciones climáticas.
- **Segregación:** se define la separación entre los agregados a causa de la poca cohesividad, los factores que influyen de manera determinante en son: la mala gradación, un mal mezclado, inadecuado transporte, mala colocación y exceso de vibrado
- **Exudación:** Se conoce como la acumulación de agua en la superficie de la mezcla, es una de las propiedades que en parte ayuda a controlar la aparición de fisuras por retracción durante la etapa de fraguado.
- **Masa unitaria baja:** se define como la cantidad de materia en 1.0m^3 de concreto, esta propiedad depende de la gradación de la mezcla, tamaño de los agregados y la cantidad de aire presente en la mezcla.
- **Alto contenido del aire:** propiedad que disminuye la resistencia del concreto y se genera en mayor medida a causa de los agregados de la mezcla; de acuerdo con (Montejo, 2013), los factores que afectan la cantidad de aire en el concreto es la cantidad de material pasa tamiz N°200 y el contenido de materia orgánica, siendo el agregado (grueso o fino) el que condicione el contenido de poros en el concreto.
- **Relación agua / cemento alta:** Puede ser catalogada como una de las principales propiedades a controlar ya que al hidratarse el cemento se empiezan a desarrollar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de concreto en general.
- **Falso fraguado:** Es el proceso de endurecimiento del concreto, donde se genera un cambio de estado plástico a sólido; el tiempo que transcurre en el cambio de estado (tiempo de fraguado) condiciona las propiedades mecánicas del concreto como lo es la resistencia a la compresión.
- **Contracción plástica:** Es el cambio volumétrico presentado durante el fraguado del concreto, desarrollando fisuras como consecuencia de la disminución del contenido de agua en la mezcla de concreto

3. CASOS DE ESTUDIO

Se estudian dos casos de estudio ubicados en la ciudad de Bogotá (Colombia), durante la etapa de levantamiento estructural se realiza la identificación de los muros usados para cada uno de los casos de estudios, lo cual se puede identificar a continuación:

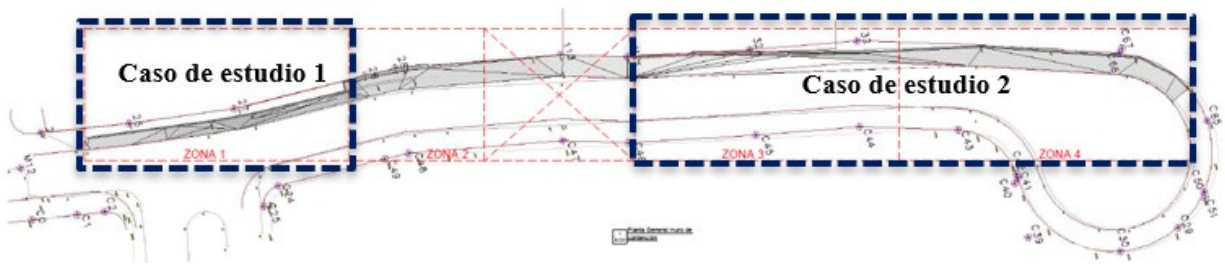


Figura 2. Identificación en plana de los casos de estudio. Fuente: Caisan Ingeniería

3.1 Caso de estudio 1

Se verifica la construcción de un muro de contención en L, los cuales, al igual que la bitácora, serán considerados sin Talón; se confirma que el vástago del muro cuenta con un espesor de 0.20m, la puntera o zarpa cuenta con un ancho total 0.60m, el espesor de acuerdo con el apique realizado es de 0.45m y desde la parte superior de la zarpa hasta el nivel del andén se cuenta con una distancia aproximada de 10cm, para establecer de esta manera una cota de desplante de 0.55m. El muro cuenta con alturas variables, que van desde los 1.20m a 3.30m.



Figura 3. Caso de estudio 1.

3.2 Caso de estudio 2

La información explorada se complementa con la información preliminar recopilada; se verifica que el vástago cuenta con un espesor de 0.20m, la puntera o zarpa cuenta con un ancho total 1.90m, el espesor de acuerdo con el apique realizado es de 0.30m desplantado a 0.80m. El muro cuenta con alturas variables, que van desde los 0.60m a 2.80m. Los muros se encuentran cimentados sobre pilas de 1.0m de diámetro separadas entre ejes cada 4.0m.



Figura 4. Caso de estudio 2.

4. RESULTADOS

4.1 Actividades de campo y ensayos de laboratorio

Se plantea un plan de ensayos bajo la inspección preliminar realizada a las estructuras. Los ensayos realizados fueron no destructivos y destructivos, cuyo fin era explorar y establecer las características de dimensión, tipología, resistencia y durabilidad de los materiales que componen las estructuras. El plan se constituyó en los siguientes ensayos:

- Ferro-Scanner y regatas de exploración
- Extracción de núcleos de concreto
- Medición de dureza superficial por medio de esclerómetro
- Compresión de cilindros de concreto
- Carbonatación del concreto
- Potencial de corrosión
- Ultrasonidos

4.1.1 Ferro-scanner y regatas de exploración

Se realizó inspección en puntos distintos seleccionados de forma intencional en las estructuras con el siguiente muestreo:

- 12 puntos de ferro-scanner en las caras frontales (expuestas) del muro de contención.
- 1 punto de ferro-scanner en la cara frontal (superior) de la zarpa.
- 3 regatas de exploración en las caras frontales (expuestas) del muro de contención.
- 1 regatas de exploración en la cara frontal (superior) de la zarpa.



Figura 5. Reporte en sitio de diámetros de aceros en cara frontal 5. Fuente: Caisan Ingeniería

De acuerdo con las regatas se obtiene:

- Regata 1: El acero longitudinal ($\varnothing=1/2''$ c./0.18m) y transversal ($\varnothing=3/8''$ c./0.20m) son corrugados y cuenta con un recubrimiento de 4.3cm.
- Regata 2: El acero longitudinal ($\varnothing=1/2''$ c./0.10m) y transversal ($\varnothing=3/8''$ c./0.35m) son corrugados y cuenta con un recubrimiento de 6.0cm.
- Regata 3: El acero longitudinal ($\varnothing=3/8''$ c./0.10m) y transversal ($\varnothing=3/8''$ c./0.28m) son corrugados y cuenta con un recubrimiento de 3.8cm en la cara frontal; en la cara posterior del muro se identificó una segunda parrilla de $5/8''$ de diámetro a 10cm de profundidad.

Se observa acero con calamina de oxidación, la zarpa cuenta con aceros longitudinales y transversales corrugados de $3/8''$, con 4.3cm de recubrimiento.



Figura 6. Registro regata #1, muro de contención caso 1. Fuente: Caisan Ingeniería

4.1.2 Extracción de núcleos y resistencia a la compresión

En Colombia para obtener la resistencia a la compresión de concreto y/o morteros, se suele realizar el ensayo de compresión de cilindros según lo estipulado en la NTC 673. Los resultados obtenidos de los ensayos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultado ensayo resistencia a la compresión.

Muestra	Ubicación	Diseño Bitácora	Laboratorio		Referencia Norma	
		f'_c (MPa) Bitácora	f'_c (PSI) Laboratorio	f'_c (MPa) Laboratorio	75% f'_c = 15.75MPa	85% f'_c = 17.85MPa
1	Zarpa 1	21	2683	18.5	Cumple	-
2	Zarpa 1	21	2094	14.4	No Cumple	-
3	Muro F8	21	2621	18.1	Cumple	-
4	Muro F1	21	2106	14.5	No Cumple	-
5	Muro F12	21	2142	14.8	No Cumple	-

Descripción		f'_c (PSI)	f'_c (MPa)	75% f'_c = 15.75MPa	85% f'_c = 17.85MPa
Resistencia promedio		2329.20	16.06	-	No Cumple

De acuerdo con lo indicado en C.5.6.5.4 de la NSR-10, “El concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85% de f'_c de diseño, y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% del f'_c de diseño.”, dado este parámetro se puede asegurar la calidad del material en cualquier tipo de construcción en concreto.

4.1.3 Carbonatación del concreto

Se tomaron 6 muestras en total, de las cuales cuatro (4) corresponden al muro y dos (2) a las zarpas. Solo una de las muestras presenta riesgo de carbonatación del acero. La muestra F12 extraída en el muro de la zona 4.

Tabla 2. Resumen ensayo carbonatación

Localización	Profundidad de Carbonatación (cm)	Promedio Prof. De carbonatación (cm)	Observación
F12 Rec. = 4.3cm	12.25	12.25	El frente de carbonatación llega hasta los aceros de refuerzo y generan riesgo de corrosión.
	12.25		
	12.25		
	12.25		
F1 Rec. = 4.3cm	2.15	2.05	Los aceros de refuerzo de la estructura no se encuentran en riesgo de corrosión.
	2.1		
	1.8		
	2.15		
F3 Rec. = 4.3cm	2.75	2.83	Los aceros de refuerzo de la estructura no se encuentran en riesgo de corrosión
	2.6		
	3		
	2.95		
F8 Rec. = 4.3cm	1.5	1.41	Los aceros de refuerzo de la estructura no se encuentran en riesgo de corrosión
	1.4		
	1.6		
	1.15		
Zarpa 1 Rec. = 4.2cm	1.3	1.40	Los aceros de refuerzo de la estructura no se encuentran en riesgo de corrosión
	1.5		
Zarpa 2 Rec. = 4.2cm	1.75	1.60	Los aceros de refuerzo de la estructura no se encuentran en riesgo de corrosión
	1.45		
Promedio =		3.59	

4.1.4 Potencial de corrosión

Se realizó una lectura a cada uno de los casos de estudio, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3 y Tabla 4 y a los criterios de aceptación establecidos, se determina que el muro presenta un riesgo alto de corrosión, con una probabilidad del 90%.



Figura 7. Potencial de corrosión caso 1 (Izquierda) y caso 2 (Derecha)

Tabla 3. Registros caso de estudio 1

(cm)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
0	-424	-310	-416	-414	-423	-424	-422	-413	-413	-310	-405	-411	-410	-391
14	-417	-414	-301	-305	-416	-413	-421	-409	-412	-396	-315	-417	-406	-408
28	-310	-417	-415	-420	-424	-316	-413	-305	-307	-318	-425	-428	-407	-420
42	-422	-412	-304	-494	-412	-422	-425	-306	-384	-310	-309	-415	-418	-301
56	-431	-424	-324	-309	-429	-430	-418	-311	-302	-410	-408	-307	-411	-302
Lectura promedio														-384

Tabla 4. Registros caso de estudio 2

(cm)	0	20	40	60	80	100	120
0	-441	-356	-418	-420	-397	-454	-445
14	-449	-447	-388	-416	-411	-404	-445
28	-421	-434	-435	-433	-427	-445	-352
42	-434	-436	-446	-443	-442	-439	-437
56	-304	-390	-316	-410	-429	-430	-448
70	-458	-362	-462	-481	-376	-466	-421
Lectura promedio							-421

4.1.5 Ultrasonido

Se realizan tres lecturas, dos (2) indirectas en el caso de estudio 1 y una (1) directa en el caso de estudio dos (2).



Figura 8. Ensayo pulso ultrasónico indirecto – Lectura 2.

Tabla 5. Resumen resultados ultrasonido

Toma 1	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/s)	Toma 2	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/s)	Toma 3	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/s)
Lectura 1	3125.43	3.1	Lectura 1	2604.17	2.6	Lectura 1	3194.89	3.2
Lectura 2	3007.52	3.0	Lectura 2	3472.22	3.5	Lectura 2	3484.32	3.5
Lectura 3	3115.26	3.1	Lectura 3	2929.69	2.9	Lectura 3	3044.15	3.0
Promedio	3082.74	3.1	Promedio	3002.03	3.0	Promedio	3241.12	3.2
Relación empírica E(MPa)		18827.4	Relación empírica (MPa)		18020.3	Relación empírica (MPa)		20411.2
f_c (MPa) C.8.5.1		16.0	f_c (MPa) C.8.5.1		14.7	f_c (MPa) C.8.5.1		18.9

De acuerdo con los criterios de aceptación indicados en la NTC 4325 “Ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto” se interpola el valor promedio de la velocidad del pulso obtenido y a partir de la ecuación (1) se obtiene el valor de f'_c teórico.

$$E = 4700f'_c \quad (1)$$

4.1.6 Microscopia electrónica de barrido SEM y Petrografía:

El análisis de la muestra de lámina delgada fue desarrollado en los laboratorios de Ingeniería de la Universidad de los Andes; este análisis lleva a cabo en el Microscopio Electrónico de Barrido alta resolución, marca Tescan Lyra 3, equipo Dual Beam SEM-FIB. Se analizan 3 de los 4 sectores inicialmente definidos.

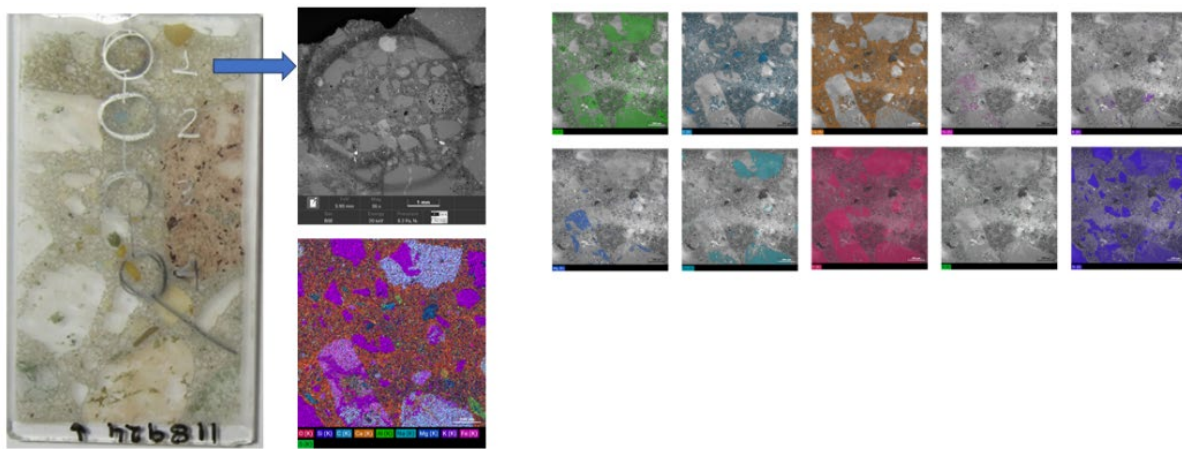


Figura 9. Muestra de lámina delgada y análisis del sector 1.

En la Tabla 6 se presenta la composición química de la muestra de acuerdo con lo observado en cada uno de los sectores y en las zonas generales analizadas.

Tabla 6. Promedios de composición química en sectores generales.

Elemento	C	O	Ca	Si	Al	S	Mg	Na	K	Fe	P	Ti	Total
Sector	% en peso												
N1-1A	38.17	39.95	6.00	11.27	2.78	0.02	0.47	0.92	0.20	0.22			100.0
N1-2B	40.89	37.62	5.10	12.96	2.31	0.08	0.35	0.59	0.02	0.03	0.05		100.0
N1-3A	32.43	44.03	5.66	14.88	1.98	0.12	0.34	0.53	0.02	0.01		0.01	100.0
Promedio	37.16	40.53	5.59	13.04	2.36	0.07	0.39	0.68	0.08	0.09		0.01	100.0

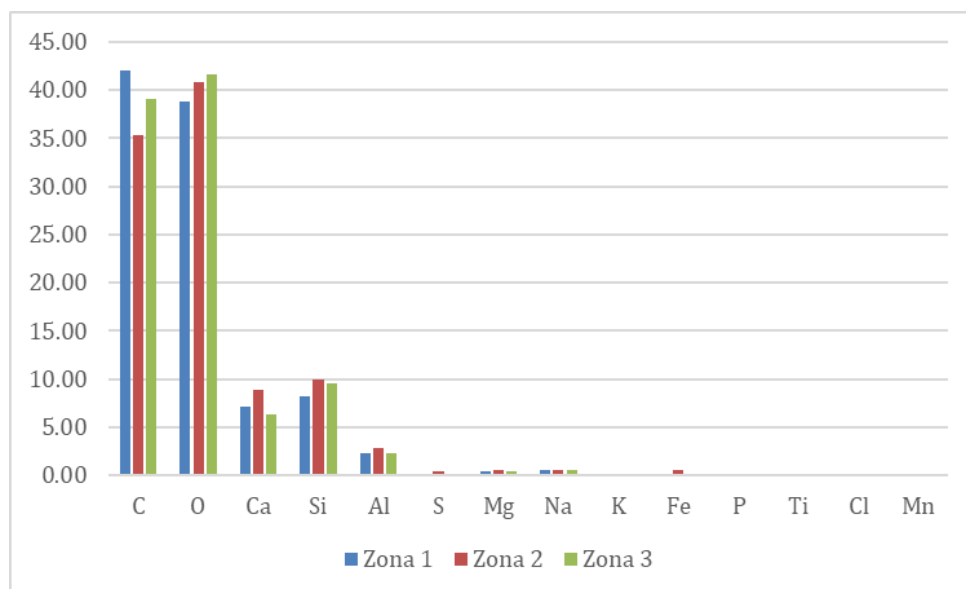


Figura 10. Composición de la muestra en los tres sectores analizados.

4.2 Vulnerabilidad sísmica

Para todos los tramos analizados se desarrolla un modelo de análisis en el software de diseño GEO5; para el caso de estudio 1, todos los chequeos y la estabilidad global de la estructura se ve comprometida, esto debido a los empujes y a las solicitaciones a las cuales es sometida la estructura.

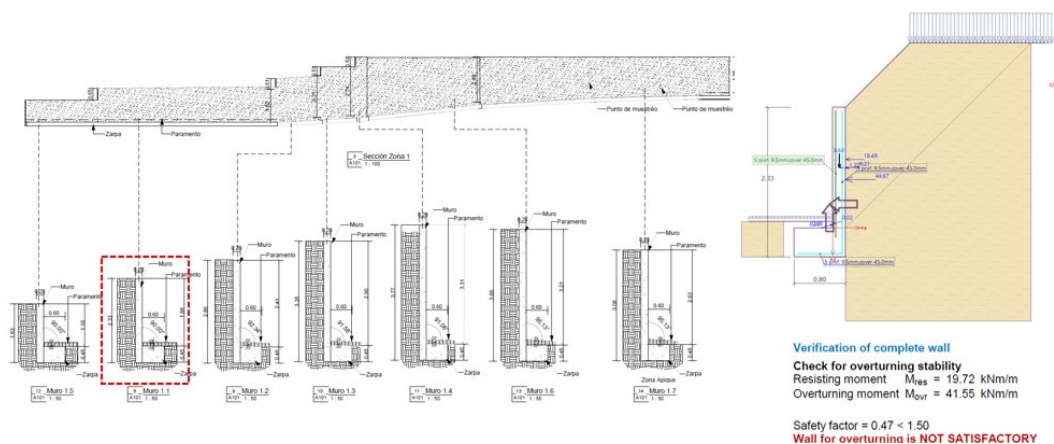


Figura 11. Modelo de análisis caso de estudio 1

Por su lado el caso de estudio dos, al contar con una geometría más robusta y unas pilas de 1.0m de diámetro logra comportarse de manera adecuada, a excepción del tramo final del muro que únicamente requiere de una cuantía mayor a la reportada en las exploraciones.

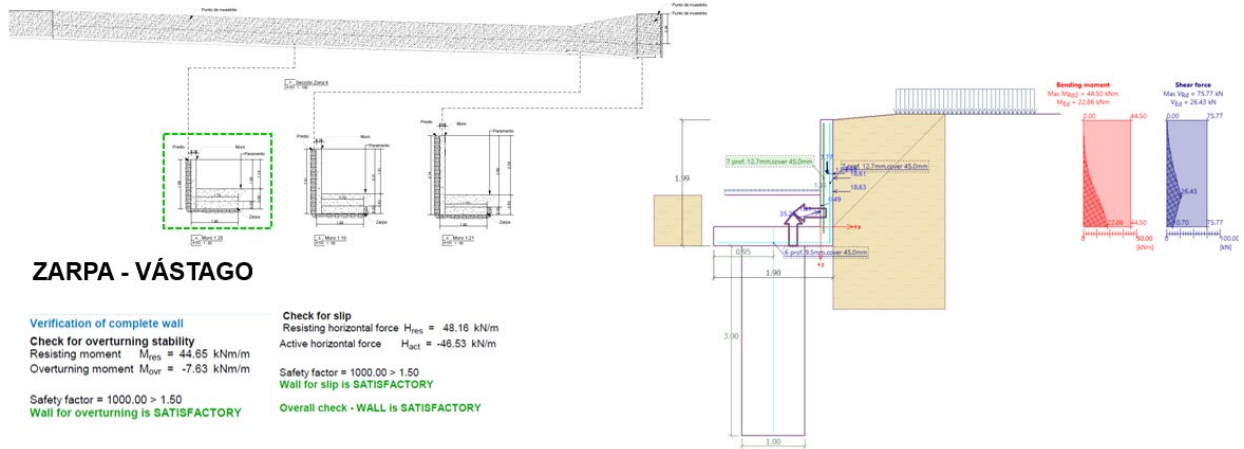


Figura 12. Modelo de análisis caso de estudio 2.

En la Tabla 7 se presenta a manera de resumen los resultados obtenidos en cada uno de los análisis ejecutados:

Tabla 7. Resumen vulnerabilidad sísmica

Identificación		Estabilidad	Deslizamiento	Capacidad Portante	Diseño Vástago	Diseño Zarpa
Zona 1	Muro 5	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 1	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 2	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 3	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 4	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 6	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 1	Muro 7	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 3	Muro 13	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 3	Muro 14	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 3	Muro 15	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 3	Muro 16	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 3	Muro 17	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 3	Muro 18	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 4	Muro 20	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Zona 4	Muro 19	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple
Zona 4	Muro 21	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple

4.3 Reforzamiento estructural

Para el caso de estudio 1 se propone aumentar las secciones del vástago y la zarpa para mejorar el comportamiento por volcamiento, adicionalmente, se propone construir pilotes de 0.50m de diámetro distanciados a 1.40m entre ejes. La zarpa se proyecta de 0.75m con un recrecimiento en profundidad y el vástago con un espesor de 0.65m en total.

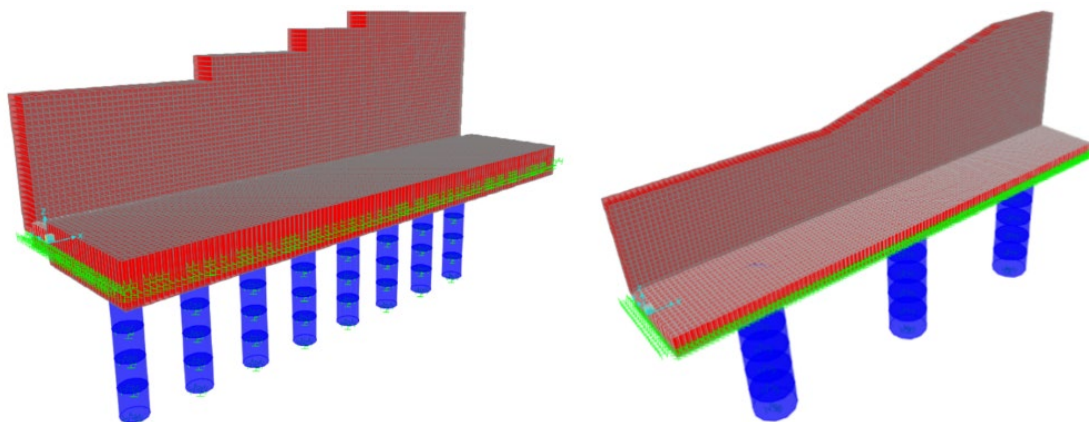


Figura 13. Modelo de análisis caso estudio 1 (izquierda) y caso de estudio 2 (derecha).

Para el caso de estudio 2 se propone aumentar las secciones del vástago y la zarpa para mejorar la cuantía en cada uno de los elementos. Tanto para la zarpa como para el vástago se proyecta un incremento de 0.15m.

4.4 Resumen de metodología

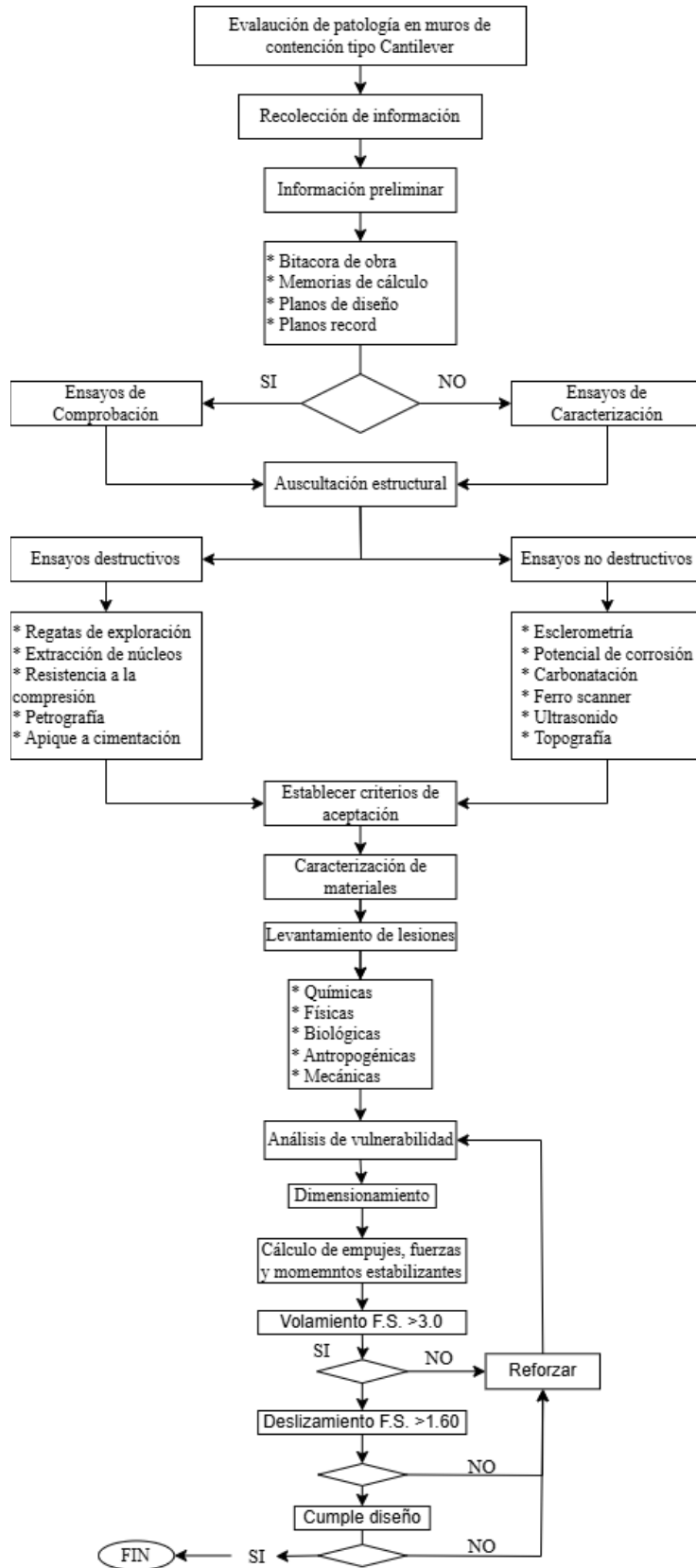
Etapas 1. Recopilación de información: durante la etapa inicial se incluye la actividad de inspección preliminar la cual permitirá tener un acercamiento al proyecto, conocer los criterios de diseño y procesos ejecutados y plasmados en las bitácoras de obra, memorias de cálculo, planos de diseño y planos récord con el propósito de establecer el criterio de muestreo más adecuado.

Etapas 2. Ensayos de campo: una vez se descarte o confirme la información existente del proyecto se procederá a ejecutar las actividades de auscultación, lo cual podrá servir como actividades de comprobación y caracterización; los ensayos realizados podrán ser destructivos y no destructivos.

Etapas 3. Diagnóstico: se evaluará la patología de los materiales que conforman el sistema estructural con base a los resultados obtenidos en la etapa anterior, se establecerán los criterios de aceptación y se realizará el levantamiento de lesiones.

Etapas 4. Análisis de vulnerabilidad sísmica: se verificará la estabilidad global de la estructura, si cumple, se finaliza el proceso, de lo contrario se deberá continuar la evaluación.

Etapas 5. Rehabilitación estructural: en caso de falla se deberá desarrollar una alternativa de reforzamiento que permita cumplir las solicitaciones de diseño requeridas en el proyecto.



5. CONCLUSIONES

- Contar con una metodología establecida y fundamentada con un código o normativa nacional para el desarrollo de la evaluación patológica de muros de contención en concreto reforzado tipo voladizo, como la metodología expuesta en la NSR-10, en su capítulo A.10, para edificaciones construidas antes de la vigencia del reglamento, le permitirá al profesional establecer los criterios y el procedimiento adecuado para la evaluación de estructuras de contención de tierras, estableciendo los criterios de aceptación y las metodologías de intervención en caso de ser requeridas. Se deja en evidencia que las normativas vigentes se encuentran enfocadas al diseño de estructuras nuevas o a la evaluación de la vulnerabilidad e intervención de edificaciones.
- La información preliminar que pueda rescatarse durante la etapa inicial de recolección de datos a partir de bitácoras de obra, memorias de cálculo, planos de diseño y planos record, garantizan un adecuado desarrollo del proyecto, en caso contrario, podrán limitar el proceso, dado que algunas actividades de exploración se pueden ver afectadas por situaciones ajenas al profesional que lidere la auscultación estructural; presencia de nivel freático, ajustes en la etapa constructiva no documentados debidamente, cambios en las condiciones locales del sitio no consideradas en el diseño inicial, son algunos de los factores que durante el proceso de recopilación de información retrasará la actividad de los inspectores, requiriendo mayor tiempo, recurso personal y recurso económico.
- Se recomienda realizar estudios de verticalidad (topografía) en las estructuras de contención de tierras como actividad preliminar, dado que esta actividad permitirá establecer numéricamente la estabilidad de la estructura; es decir, se podrá garantizar y medir si la estructura ha sufrido algún desplazamiento durante su vida útil que a simple vista podrá ser omitidos por el profesional a cargo de la evaluación estructural.
- La visita preliminar al sitio e inspección visual general ayudará a identificar las lesiones visibles en la estructura, permitiendo de esta forma establecer un criterio de muestreo centrado y enfocado a las lesiones presentes en la misma; es importante garantizar que el muestreo se realice en las zonas donde se evidencie deficiencias o afectaciones en la calidad de los materiales; se recomienda contar con un muestreo en la zona superior, media y baja del vástago del muro con el propósito de confirmar que las carteristas de los materiales sea similar en la estructura, descartando de esta forma patologías debidas al proceso constructivo.
- Las prácticas de rehabilitación para estructuras de contención de tierras, pueden llegar a limitarse debido al uso de espacio público, razón por la cual en algunos de los casos se puede considerar el diseño y construcción de una obra nueva, sin embargo, adicional a las practicas comunes de rehabilitación (encamisados, aumento de secciones, uso de láminas...) puede proponerse la modificación del sistema estructural inicial, buscando adicionar elementos que no afecten de manera directa la estructura existe pero que si aporten a la estabilidad de la estructura, es decir, adicionar un sistema de anclajes, contrafuertes, tabiques, por lo cual se deja abierta la investigación para futuros proyectos de grados.
- El desarrollo del trabajo de grado permitió desarrollar una metodología para la evaluación de la patología en muros de contención en concreto reforzado tipo voladizo, sin embargo, y como se mencionó anteriormente, se deja abierta la investigación para que esta metodología sea aplicada a otro tipo de estructuras de contención de tierras en otro proyecto de investigación, el cual, por

temas de alcance, para este proyecto en específico se limitó a muros cantiléver.

- La metodología propuesta aporta de manera positiva al estudio de la ingeniería en el territorio nacional, dado que como se manifestó por los docentes entrevistados, es pertinente estandarizar procesos, que en la práctica de la ingeniería requieren ser afianzados y esto se logra a partir de la práctica continua.

6. REFERENCIAS

Arango, J. (2022). Patología de la construcción: fundamentos. Medellín.

ASTM C876. (2022). Método de prueba estándar para determinar el potencial de corrosión del acero de refuerzo sin revestimiento en el hormigón.

Broto, C. (2005). Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción. Barcelona.

Calavera, J. (2001). Muros de contención y muros de sótano. Madrid: Intemac.

Montejo, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Bogotá.

NTC 1294. (2024). Método de ensayo para determinar la exudación del concreto.

NTC 3658. (2018). Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas.

NTC 4325. (1997). Método para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto.

NTC 673. (2021). Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Rodríguez, G. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro.

Romero, N. (2024). Diagnóstico de lesiones el concreto mediante microscopía. Seminario Internacional de Durabilidad del Concreto Reforzado en Zonas Costeras.