

Estudio patológico para intervención de muro de contención

Presentado por:

César Augusto Urrego Villegas

Sergio Andres Giraldo Lopez

Andres Felipe Arteaga Arteaga

Asesor:

Osmar Albert Gamba Gomez

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería
Especialización en Patología de la Construcción
2026

Tabla de contenido

RESUMEN	3
Palabras clave	3
ABSTRACT.....	4
Keywords.....	4
HISTORIA CLÍNICA.....	5
Objeto contractual y características del muro.....	5
METODOLOGÍA	6
ANÁLISIS DE DATOS.....	7
DIAGNOSTICO	9
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	10
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	11
CRONOGRAMA.....	13
PRESUPUESTO	15
RESULTADOS.....	16
BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXOS	19
Anexo 01 – Esclerometrías.....	19
Anexo 02 – Escaneo de refuerzo	20
Anexo 03 – Resistencia a la compresion	21
Anexo 04 – Análisis geotécnico	22
Estabilidad local.....	22
Estabilidad global	23
Anexo 05 – Análisis estructural.....	24
Anexo 07– Solución de intervención geotecnico-estructural	25
Anexo 08– Patologías identificadas (plano).....	25

RESUMEN

El presente estudio patológico de un muro de contención ubicado en el municipio de Hispania, Antioquia, con una edad aproximada de catorce (14) años al momento de la inspección tiene como finalidad de implementar un estudio detallado de causas, diagnóstico e intervención.

A partir de la elaboración de la historia clínica del elemento estructural, se busca establecer si las patologías actualmente evidenciadas tienen su origen en posibles deficiencias asociadas a las etapas de diseño multidisciplinario, especificación técnica o proceso constructivo o si, por el contrario, corresponden a la acción de agentes externos no contemplados en el proyecto original, tales como variaciones en las condiciones geotécnicas, cambios en las solicitaciones de carga, deficiencias en el manejo de aguas o procesos naturales de deterioro propios de su vida útil.

La determinación de estas causas se desarrolla mediante una matriz de análisis de datos en la cual se correlacionan antecedentes técnicos, inspección visual, registro fotográfico, condiciones del entorno, posibles mecanismos de daño y evaluación estructural (American Concrete Institute, 2019) y geotécnica de acuerdo con el reglamento colombiano (NSR-10, 2010). Este procedimiento permite formular un diagnóstico técnicamente fundamentado, acompañado de una propuesta de intervención debidamente justificada y orientada a restablecer las condiciones de estabilidad y funcionalidad estructural.

La alternativa de intervención planteada se soporta en un análisis de vulnerabilidad que parte del componente estructural y geotécnico como eje principal de evaluación. El análisis constituye la base comparativa para la identificación de posibles deficiencias ingenieriles, tanto en el diseño como en la ejecución, y considera igualmente las patologías que puedan comprometer la estabilidad global, el desempeño estructural y la vida útil del muro de contención.

Palabras clave

Vulnerabilidad sísmica, muro de contención, patología estructural, reforzamiento estructural, drenaje, estabilidad geotécnica, vida útil.

ABSTRACT

The present pathological study of a retaining wall located in the municipality of Hispania, Antioquia, with an approximate age of fourteen (14) years at the time of inspection, aims to carry out a detailed analysis of causes, diagnosis, and intervention.

Based on the development of the structural element's "clinical history," the study seeks to determine whether the currently observed pathologies originate from potential deficiencies associated with the stages of multidisciplinary design, technical specifications, or the construction process, or, conversely, whether they are the result of external agents not considered in the original project, such as variations in geotechnical conditions, changes in loading demands, deficiencies in water management, or natural deterioration processes inherent to its service life.

The determination of these causes is carried out through a data analysis matrix in which technical background, visual inspection, photographic records, environmental conditions, potential damage mechanisms, and structural (American Concrete Institute, 2019) and geotechnical evaluations in accordance with the Colombian code (NSR-10, 2010) are correlated. This procedure allows for the formulation of a technically supported diagnosis, accompanied by a properly justified intervention proposal aimed at restoring the structural stability and functionality of the system.

The proposed intervention alternative is supported by a vulnerability analysis based on structural and geotechnical components as the main axes of evaluation. This analysis constitutes the comparative basis for identifying potential engineering deficiencies in both design and construction, while also considering pathologies that may compromise global stability, structural performance, and the service life of the retaining wall.

Keywords

Seismic vulnerability, retaining wall, structural pathology, structural strengthening, drainage, geotechnical stability, service life.

HISTORIA CLINICA

El proyecto corresponde al estudio patológico y propuesta de intervención de un muro de contención ubicado en la Calle 52 entre carreras 49 y 50, zona urbana del municipio de Hispania, departamento de Antioquia. La inspección técnica fue realizada el 20 de septiembre de 2025.

La estructura fue construida entre el 24 de octubre y el 24 de diciembre de 2011, con el propósito de recuperar la vía Cádiz, afectada por la ola invernal 2010–2011.

Objeto contractual y características del muro

La obra consistió en la construcción de un muro de contención en concreto hidráulico reforzado, destinado a soportar la vía y proteger las viviendas adyacentes. Adicionalmente, contempló la reconstrucción del suelo desprendido por efecto de lluvias, reposición de la calzada y recuperación de la estructura de pavimento.

Las dimensiones del muro fueron verificadas mediante levantamiento estructural en campo y contrastadas con la información técnica disponible (**Figura 1**). El dimensionamiento considera geometría general, sección transversal y características de refuerzo, en función de garantizar estabilidad frente a empujes laterales del terreno y condiciones ambientales del sitio.

Figura 1. Muro de contención y dimensionado



Como información preliminar, se tiene que el contratista realizó la construcción con base en los parámetros establecidos en cartillas del INVIAS.

El muro de contención presenta actualmente diversas patologías, entre las cuales se identifican fisuras, grietas y desprendimientos de concreto de manera significativa, así como evidencia de eflorescencias, asentamientos localizados y un leve volcamiento en el módulo N.º 2. Adicionalmente, no se evidencia la presencia de un filtro de drenaje en el trasdós del muro.

Asimismo, se observan humedades y empozamientos en la corona del muro. Por otra parte, se identificaron oquedades en el módulo N.º 1, el cual, además, no cuenta con la pata de concreto, tal como se muestra en la Figura 1. Cabe resaltar que para una mayor interpretación

Cabe resaltar que, para una mejor interpretación y valoración de las patologías identificadas, se debe consultar el Anexo 08 del presente documento.

METODOLOGÍA

La metodología empleada se basó en una evaluación integral del muro de contención, mediante la revisión de información existente, inspección visual, levantamiento de datos en campo, ensayos no destructivos y destructivos, y análisis estructural y geotécnico.

Inicialmente, se realizó la recopilación y análisis de antecedentes técnicos. Posteriormente, se efectuó la inspección visual y el levantamiento geométrico, identificando patologías como fisuras, grietas, asentamientos, humedades y deformaciones, así como la evaluación del sistema de drenaje.

Para la caracterización del material y del sistema estructural, se ejecutaron ensayos de esclerometría (ASTM International, 2015), escaneo de refuerzo y extracción de núcleos de concreto, con el fin de determinar la resistencia del material y la disposición del acero. En la **Tabla 1** se presenta los ensayos realizados

Tabla 1. *Ensayos realizados en el muro de contención*

Etapas	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
Levantamiento geométrico del muro y levantamiento de perfil del terreno de forma aproximada (Bungey et al., 2006).	Medición de dimensiones del muro, desplomes, alineación y deformaciones. Estimar un perfil transversal muro	Cinta métrica, nivel, plomada y cámara.	Verificación de geometría, detección de desplazamientos o inclinaciones del muro y dimensionado del terreno para análisis geotécnico
Evaluación de fisuras (Bungey et al., 2006).	Caracterización de grietas (apertura, longitud, patrón, actividad)	Fisurómetro y flexómetro	Clasificación de fisuras y determinación de su posible origen

Tabla 1. *Ensayos realizados en el muro de contención*

Etapas	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
Evaluación de humedad, oquedades y filtraciones (Bungey et al., 2006).	Identificación de zonas con presencia de agua, eflorescencias o presión hidrostática	Inspección visual.	Determinación de problemas de drenaje o infiltración
Revisión del sistema de drenaje (Bungey et al., 2006).	Verificación del funcionamiento de drenes, aliviaderos o filtros	Inspección manual	Confirmación de operatividad del sistema de drenaje
Ensayos de esclerometría (ASTM International, 2015)	Evaluación no destructiva de la resistencia superficial del concreto mediante rebote	Esclerómetro	Estimación de la resistencia a compresión del concreto y detección de zonas heterogéneas
Escaneo de refuerzo (British Standards Institution. (2011)	Identificación de la ubicación, diámetro y recubrimiento del acero de refuerzo	Escáner de refuerzo	Determinación de la disposición del refuerzo y verificación de recubrimientos
Extracción de núcleos de concreto ASTM International. (2020)	Obtención de muestras cilíndricas del concreto para análisis en laboratorio (2 núcleos)	Equipo de perforación diamantada	Determinación real de la resistencia a compresión y evaluación de la calidad del concreto

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos consistió en la integración e interpretación de la información obtenida mediante inspección visual, ensayos de campo y pruebas de laboratorio, con el fin de evaluar el estado estructural y geotécnico del muro de contención. Este proceso permitió identificar las patologías presentes, determinar sus posibles causas y establecer el nivel de desempeño y vulnerabilidad de la estructura, tal como se presenta en la **Tabla 2** y Anexo 08.

Tabla 2. *Análisis de datos de acuerdo con la información recopilada*

Aspecto analizado	Datos recopilados	Métodos de análisis	Resultados del análisis
Estado general del muro (Bungey et al., 2006).	Presencia de fisuras, grietas, asentamientos diferenciales y leve volcamiento en módulo N°2.	Inspección visual y levantamiento geométrico	Se evidencia afectación en la estabilidad del muro, asociada a posibles movimientos del terreno y/o deficiencias en el diseño o construcción
Condiciones ambientales (Bungey et al., 2006).	Humedades en la corona del muro, presencia de eflorescencias y acero de refuerzo expuesto	Inspección visual y registro fotográfico	Se identifican procesos de infiltración y exposición del refuerzo, lo que indica condiciones propicias para el deterioro del concreto y corrosión del acero
Calidad del concreto (ASTM International, 2021)	Resistencia a compresión de núcleos: ~11-17 MPa (Anexo 03). Valores de esclerometría entre 18–28 MPa (Anexo 01)	Ensayos destructivos (núcleos) y no destructivos (esclerometría)	Se determina una resistencia inferior a la esperada y una alta variabilidad del material, evidenciando un concreto no homogéneo
Configuración del refuerzo (Bungey et al., 2006).	Barras #4 @ 0.25 m en el trasdós, sin evidencia de refuerzo en el intradós. Recubrimiento de 5 cm (Anexo 02)	Escaneo de refuerzo	Disposición de refuerzo insuficiente y no simétrica, lo cual puede comprometer el comportamiento estructural del muro
Sistema de drenaje (Bungey et al., 2006).	Ausencia de filtro de drenaje en el trasdós del muro	Inspección visual	Se evidencia deficiencia en el sistema de drenaje, favoreciendo la acumulación de presión hidrostática detrás del muro
Cumplimiento normativo (NSR-10; American Concrete Institute, 2019)	Condiciones de refuerzo, recubrimiento y desempeño estructural	Comparación con normativa aplicable	El muro no cumple con los lineamientos de la NSR-10 y ACI en cuanto a disposición del refuerzo y criterios de recubrimiento, lo que afecta su durabilidad y seguridad

DIAGNOSTICO

El diagnóstico se fundamentó en la interpretación integrada de los datos obtenidos en campo y laboratorio, permitiendo evaluar el estado actual del muro de contención, identificar las causas de las patologías y determinar su nivel de afectación estructural y geotécnica, como base para la definición de las intervenciones requeridas, tal como se presenta en la **Tabla 3** y las patologías evidenciadas en el Anexo 08.

Tabla 3. *Diagnóstico de acuerdo con el análisis de datos*

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
Estado del muro (componente estructural)	Evaluación del comportamiento global del muro frente a estabilidad, geometría y desempeño estructural	Presencia de fisuras, grietas, asentamientos diferenciales y leve volcamiento, lo que indica afectación en la estabilidad del sistema	Realizar análisis de estabilidad global (volcamiento, deslizamiento y capacidad portante) y considerar medidas de reforzamiento o reconstrucción parcial
Condiciones ambientales	Evaluación de la interacción del muro con agentes externos como agua y ambiente	Humedades en la corona, eflorescencias y exposición del acero de refuerzo, evidenciando infiltración y condiciones de deterioro (FEMA, 2015).	Implementar impermeabilización en corona, control de escorrentías y protección del refuerzo expuesto mediante reparación del concreto
Patologías estructurales	Análisis de daños visibles en el concreto y su comportamiento	Fisuración activa y deterioro superficial asociado a ingreso de agua y posibles sobreesfuerzos (FEMA, 2015).	Sellado e inyección de fisuras según su tipología, reparación de zonas deterioradas y monitoreo de la actividad de las grietas
Calidad del concreto	Evaluación de las propiedades mecánicas del material	Resistencia a compresión baja ~11-17 MPa (American Concrete Institute, 2019) y alta variabilidad (18–28 MPa), indicando concreto no homogéneo según ensayo	Evaluar la necesidad de reforzamiento estructural (encamisado, recrecido o refuerzo externo) en función de la capacidad resistente requerida

Tabla 3. *Diagnóstico de acuerdo con el análisis de datos*

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
		de esclerometría (Anexo 01 y Anexo 03)	
Configuración del refuerzo	Verificación de la disposición y características del acero de refuerzo	Refuerzo únicamente en trasdós (barras #4 @ 0.25 m), ausencia en intradós y recubrimiento de 5 cm (Anexo 02).	Diseñar e implementar un sistema de reforzamiento que garantice adecuada distribución del acero y cumplimiento de criterios estructurales
Sistema de drenaje	Evaluación de la capacidad del muro para disipar presiones de agua	Ausencia de filtro de drenaje en el trasdós, favoreciendo acumulación de presión hidrostática	Diseñar e instalar un sistema de drenaje adecuado (filtro, geodrenes o aliviaderos) para reducir presiones detrás del muro
Cumplimiento normativo	Verificación del cumplimiento de criterios técnicos y normativos aplicables	Incumplimiento de la NSR-10 en disposición del refuerzo y criterios de recubrimiento	Ajustar el diseño y/o intervención del muro para cumplir con la normativa vigente, garantizando seguridad estructural y durabilidad

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La propuesta de intervención se basa en la definición de soluciones técnicas orientadas a restablecer la estabilidad y el desempeño del muro de contención, mediante el reforzamiento estructural con anclajes pasivos y sobre espesor en concreto reforzado con un espesor de 0.10m, de acuerdo con los criterios de diseño y reforzamiento estructural (American Concrete Institute, 2019), complementado con la implementación de un sistema adecuado de drenaje y estabilidad geotécnica (Federal Highway Administration, 2006), tal como se presenta en la **Tabla 4** y sustentado en los anexos 01 al 08.

Tabla 4. Propuesta de intervención

Área / Componente	Propuesta de intervención	Objetivo
Muro de contención (estructura general)	Reforzamiento estructural mediante recrecido del muro en el intradós e implementación de anclajes pasivos.	Restaurar y mejorar la capacidad estructural del muro frente a esfuerzos de empuje lateral
Zonas con fisuras y grietas	Sellado e inyección de fisuras (Sikainjection 101) y reparación de concreto deteriorado	Recuperar la continuidad estructural y evitar el ingreso de agentes externos
Sistema de drenaje (trasdós)	Instalación de sistema de drenaje (filtro granular, geotextil, geodrenes y/o aliviaderos)	Reducir la presión hidrostática y evitar acumulación de agua detrás del muro
Corona del muro	Implementar canales en la zona superior del muro (trasdós).	Prevenir infiltraciones de agua hacia el interior del muro
Zonas con acero expuesto	Limpieza, pasivación del acero y reposición de recubrimiento con mortero estructural	Proteger el refuerzo contra la corrosión y garantizar su durabilidad
Estabilidad global del talud	Realizar análisis geotécnico y estructural detallado: volcamiento, deslizamiento, capacidad portante (Federal Highway Administration, 2006).	Verificar la seguridad del sistema y definir si se requiere reforzamiento adicional o reconstrucción parcial
Cumplimiento normativo	Ajuste del diseño de intervención conforme a normativa vigente (NSR-10)	Garantizar condiciones de seguridad, durabilidad y desempeño adecuado

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad corresponde al nivel de susceptibilidad del muro de contención frente a acciones externas e internas, tal como se **Tabla 5**.

Tabla 5.
Vulnerabilidad sísmica

Ítem	Descripción
Ubicación	Muro localizado en zona urbana del municipio de Hispania
Descripción geológica	Influencia del sistema de fallas Romeral Fault System. Presencia de rocas sedimentarias (arcillolitas y limolitas)
Histórico de sismos	Actividad sísmica regional con eventos entre 3.0 y 5.0 Mw entre el 2012 y 2025, (Servicio Geológico Colombiano, 2012–2025).
Vecinos colindantes	Presencia de viviendas, vía Cádiz e infraestructura urbana
Sistema constructivo	Estructura de concreto reforzado vaciado in situ
Materiales	Concreto con resistencia ~11-17 MPa y variabilidad con esclerómetro de 18–28 MPa.
Cimentación	Apoyo sobre suelo existente, color rojito con presencia de saturación
Sistema estructural	Muro en concreto hidráulico reforzado (tipo cantiléver)

En la **Tabla 6** se presenta los índices de vulnerabilidad geotécnica y estructural (NSR-10, 2010) de acuerdo con los resultados obtenidos en el Anexo 04 y Anexo 05.

Tabla 6. Índices de Vulnerabilidad geotécnica y estructural

Componente	Tipo de análisis	Parámetro evaluado	Criterio de evaluación	Nivel de vulnerabilidad
Estabilidad local	Geotécnico	Volcamiento	$FS \geq 1.5$ (No necesita reforzamiento)	2.64
Estabilidad local	Geotécnico	Deslizamiento	$FS \geq 1.5$ (No necesita reforzamiento)	1.27
Estabilidad local	Geotécnico	Capacidad portante	$FS \geq 3.0$ (No necesita reforzamiento)	3.42
Estabilidad global	Geotécnico	Deslizamiento (movimiento en masa)	$FS \geq 1.5$ (No necesita reforzamiento)	1.12
Estructural	Flexión en vástago (intradós)	Momento resistente vs actuante	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	3.82
Estructural	Flexión en vástago (trasdós)	Momento resistente vs actuante	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	1.48
Estructural	Flexión en zapata (cara superior)	Momento resistente vs actuante	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	1.03
Estructural	Flexión en zapata (cara inferior)	Momento resistente vs actuante	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	1.11
Estructural	Corte en vástago	Resistencia al corte	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	0.82
Estructural	Corte en zapata	Resistencia al corte	≤ 1.0 (No requiere reforzamiento)	0.28

CRONOGRAMA

El cronograma de actividades corresponde a la planificación y programación de las etapas del estudio, desde la recolección de información hasta el análisis y presentación de resultados, estableciendo tiempos estimados para cada actividad (**Tabla 7**).

Tabla 7. Cronograma de actividades

Fase	Actividad	Descripción	Duración estimada
Planeación	Revisión de información existente	Antecedentes y documentación disponible	1 día
Recolección de datos	Inspección visual	Identificación de patologías, registro fotográfico y evaluación inicial del muro	4 días
Recolección de datos	Levantamiento geométrico	Medición de dimensiones, alineación, desplomes y deformaciones	
Recolección de datos	Evaluación de fisuras	Caracterización de grietas (apertura, longitud, patrón)	
Recolección de datos	Evaluación de humedad y drenaje	Identificación de filtraciones y revisión del sistema de drenaje	
Ensayos en campo	Ensayos de esclerometría	Evaluación de la resistencia superficial del concreto	2 días
Ensayos en campo	Escaneo de refuerzo	Identificación de ubicación, diámetro y recubrimiento del acero	
Ensayos en campo	Extracción de núcleos	Obtención de muestras de concreto para laboratorio	
Ensayos de laboratorio	Ensayo de compresión	Determinación de la resistencia del concreto (núcleos)	30 días (espera de resultados)
Procesamiento	Análisis de resultados	Integración de resultados de campo y laboratorio	4 días
Evaluación	Diagnóstico estructural	Determinación del estado del muro y causas de patologías	4 días
Evaluación	Análisis de vulnerabilidad sísmica	Evaluación de condiciones geotécnicas, estructurales y sísmicas	

Tabla 7. Cronograma de actividades

Informe	Elaboración de informe técnico	Redacción de resultados, conclusiones y recomendaciones	14 días
Informe	Revisión y ajustes finales	Correcciones y validación del informe	
Reforzamiento estructural (incluye: memoria y planos)	Elaboración de análisis estructural e informe técnico	Solución a problemática	14 días
Total	—	—	73 días calendarios

PRESUPUESTO

El presupuesto corresponde a la estimación de los costos asociados al desarrollo del estudio, incluyendo actividades de campo, ensayos de laboratorio, análisis técnico y elaboración de informes técnicos (**Tabla 8**).

Tabla 8. Presupuesto de actividades

Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
1	Transporte y logística	Global	3	\$ 800,000	\$ 2,400,000
2	Inspección visual y registro fotográfico	Global	1	\$ 1,400,000	\$ 1,400,000
3	Levantamiento geométrico	Global	1	\$ 1,500,000	\$ 1,500,000
4	Evaluación de fisuras	Jornada	2	\$ 400,000	\$ 800,000
5	Evaluación de humedad y drenaje	Jornada	1	\$ 400,000	\$ 400,000
6	Ensayos de esclerometría (ASTM International, 2015)	Unidad	6	\$ 135,000	\$ 810,000
7	Escaneo de refuerzo	Unidad	4	\$ 285,000	\$ 1,140,000
8	Extracción de núcleos de concreto	Unidad	2	\$ 425,000	\$ 850,000
9	Ensayo de compresión de núcleos	Unidad	2	\$ 40,000	\$ 80,000
10	Análisis de resultados	Global	1	\$ 250,000	\$ 250,000

Tabla 8. Presupuesto de actividades

Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
11	Análisis de vulnerabilidad sísmica (énfasis estructural y geotécnico)	Global	1	\$ 12,500,000	\$ 12,500,000
12	Elaboración de informe técnico y revisiones	Global	1		
13	Reforzamiento estructural	Global	1	\$ 7,500,000	\$ 7,500,000
Total	—	—	—	—	\$ 29,630,000

RESULTADOS

El presente estudio patológico evalúa las condiciones estructurales y geotécnicas de un muro de contención ubicado en el municipio de Hispania, Antioquia, con una edad aproximada de catorce (14) años al momento de la inspección. El objetivo principal es identificar las causas de las patologías observadas, establecer un diagnóstico técnico y formular una propuesta de intervención que garantice la estabilidad y funcionalidad del sistema.

La metodología empleada incluyó la recopilación de antecedentes, inspección visual, levantamiento geométrico, ensayos no destructivos y destructivos, así como análisis estructural y geotécnico. Los resultados evidencian una condición estructural deficiente, caracterizada por fisuración, asentamientos diferenciales, leve volcamiento, baja resistencia del concreto (11–17 MPa) y una configuración inadecuada del refuerzo. Adicionalmente, se identificaron deficiencias en el sistema de drenaje y condiciones ambientales adversas, como presencia de humedad, eflorescencias y exposición del acero de refuerzo.

Desde el punto de vista patológico, estas condiciones indican la ocurrencia de procesos de deterioro asociados a la penetración de agentes agresivos en el concreto. La baja calidad y alta porosidad del material favorecen la carbonatación, reduciendo el pH del concreto y despasivando el acero de refuerzo. Asimismo, la presencia de humedad constante y la posible acción de cloruros contribuyen al desarrollo de procesos de corrosión, generando fisuración, pérdida de recubrimiento y disminución de la capacidad estructural.

El análisis de vulnerabilidad sísmica evidencia un nivel de vulnerabilidad moderado a alto, asociado a deficiencias en el diseño, condiciones geotécnicas desfavorables y deterioro de los materiales. Con base en lo anterior, se plantea una solución de intervención que incluye el

reforzamiento estructural mediante recrecio en concreto reforzado y anclajes pasivos, complementado con la implementación de un sistema adecuado de drenaje.

En conclusión, el estudio permite establecer una relación directa entre las patologías observadas, los mecanismos de deterioro del concreto y las deficiencias estructurales y geotécnicas del sistema, proporcionando una base técnica sólida para la intervención propuesta y la recuperación de las condiciones de estabilidad y servicio del muro de contención.

BIBLIOGRAFÍA

American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19)*. ACI.

ASTM International. (2015). *ASTM C805 – Standard test method for rebound number of hardened concrete*. ASTM.

ASTM International. (2021). *ASTM C39/C39M – Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM.

ASTM International. (2020). *ASTM C42/C42M – Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete*. ASTM.

British Standards Institution. (2011). *BS 1881-204 – Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters*. BSI.

Bungey, J. H., Millard, S. G., & Grantham, M. G. (2006). *Testing of concrete in structures* (4th ed.). Taylor & Francis.

Federal Highway Administration. (2006). *Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes*. FHWA.

FEMA. (2015). *Seismic evaluation of existing buildings (FEMA P-154 / FEMA 310)*.

INGEOMINAS. (2007). *Estudios geológicos regionales de Antioquia*. Bogotá, Colombia.

NSR-10. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

Servicio Geológico Colombiano. (2012–2025). *Catálogo sísmico de Colombia*.

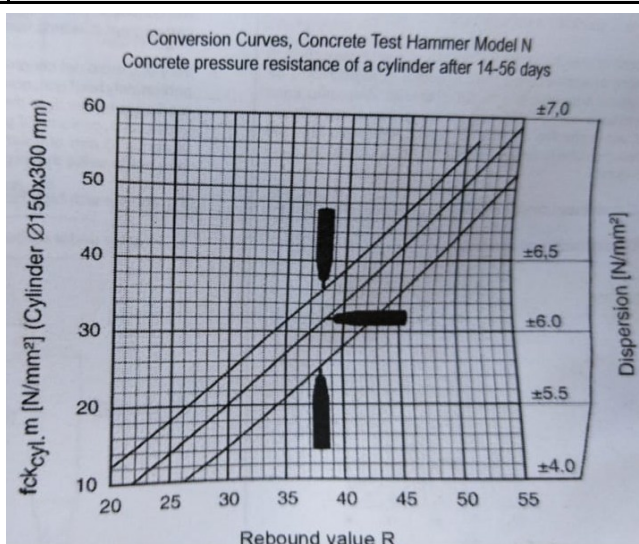
Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Mapa de fallas geológicas de Colombia*. Bogotá, Colombia.

ANEXOS

Anexo 01 – Esclerometrías

ESTRUCTURA: MURO DE CONTENCIÓN	
ENSAYO	LOCALIZACIÓN
SC1	Muro zona B
SC2	Muro zona F
SC3	Muro zona O
SC4	Muro zona S
SC5	Muro zona W
SC6	Muro zona AA

RESISTENCIA A LA COMPRESION INDIRECTA POR MEDIO DE REBOTE									
MEDIDA	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6			
1	32	32	28	34	30	36			
2	28	24	28	34	28	38			
3	34	30	28	34	28	38			
4	26	28	26	35	32	36			
5	30	30	30	35	30	38			
6	32	28	28	33	30	38			
7	28	30	28	34	32	36			
8	28	28	30	35	30	38			
9	32	28	28	35	28	36			
10	34	28	28	34	30	34			
MÁXIMA	34	32	30	35	32	38			
MÍNIMA	26	24	26	33	28	34			
PROMEDIO	30	29	28	34	30	37			
f'_c (MPA)	20	20	18	24	20	28			



Modelo	58-C0181/C	Marca	Controls	Serial	17003199
--------	------------	-------	----------	--------	----------

Anexo 02 – Escaneo de refuerzo

Escaneo N°1, zona B: No se identifico refuerzo en el intrados (cara externa).

Escaneo N°1, zona F: No se identifico refuerzo en el intrados (cara externa).

Escaneo N°1, zona S: No se identifico refuerzo en el intrados (cara externa).

Escaneo N°1, zona W: No se identifico refuerzo en el intrados (cara externa).

El refuerzo se identifico debido a que el muro presenta un desprendimiento de sección considerable (**Figura 2**), donde se alcanza a evidenciar barras N°4 (1/2”) espaciadas cada 0.25m. en sentido vertical y horizontal.

Figura 2. *Identificación de acero de refuerzo*



Anexo 03 – Resistencia a la compresion



REGISTRO FOTOGRÁFICO NÚCLEOS EXTRAÍDOS

Ilustración 1 Núcleo P7-R1



Ilustración 2 Núcleo P7-R2



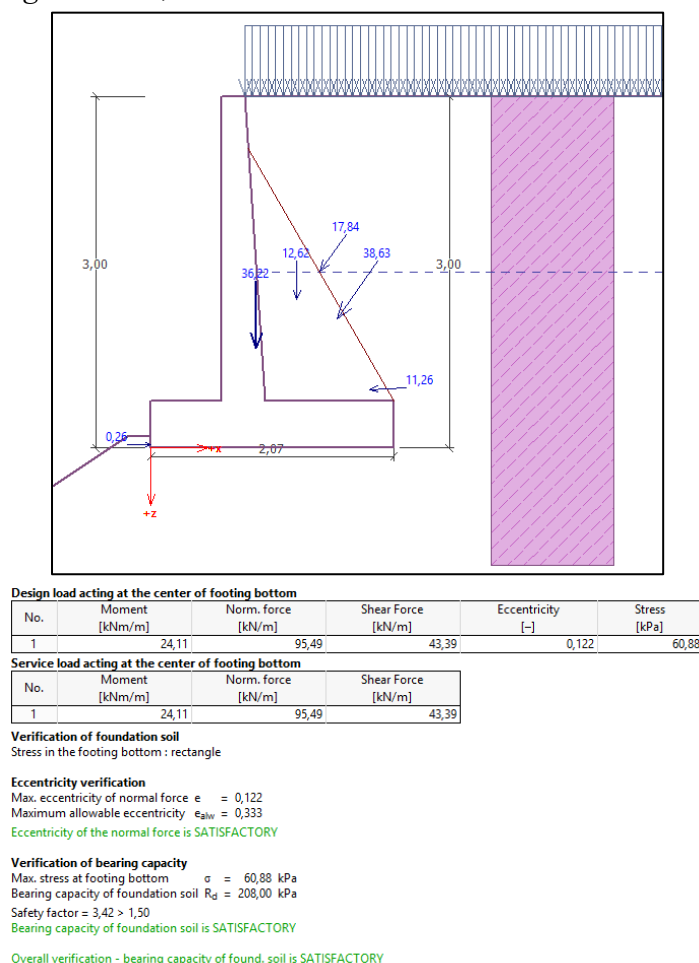
Resistencia a compresión (f'_c)				
Elemento	Ensayo	f'_c [MPa]	Factor de corrección	f'_c corregido [MPa]
Muro de contención módulo N°1	P7-R1	10.30	1.09	11.23
Muro de contención módulo N°1	P7-R2	15.90	1.09	17.33

Anexo 04 – Análisis geotécnico

De acuerdo con la información recopilada se realizó un análisis de estabilidad global en el software GEO5 (licencia DEMO), en donde se plantean las condiciones de sitio y cargas vehicular estipuladas 10.8 kN/m^2 (NSR-10, 2010), peso específico de 18 kN/m^3 , coeficiente de fricción de 30° y cohesión nula con base a estudios geológicos regionales (INGEOMINAS, 2007). Adicionalmente como caso conservador se considera un nivel freático a una distancia de 1.50m desde la corona debido al déficit control del agua. En donde, se determinó que la condición global no es estable

Estabilidad local

Figura 3. Análisis geotécnico, estabilidad local



Verification of complete wall

Check for overturning stability

Resisting moment $M_{res} = 120,42 \text{ kNm/m}$
 Overturning moment $M_{ovr} = 45,53 \text{ kNm/m}$

Safety factor = $2,64 > 1,50$
 Wall for overturning is **SATISFACTORY**

Check for slip

Resisting horizontal force $H_{res} = 55,13 \text{ kN/m}$
 Active horizontal force $H_{act} = 43,39 \text{ kN/m}$

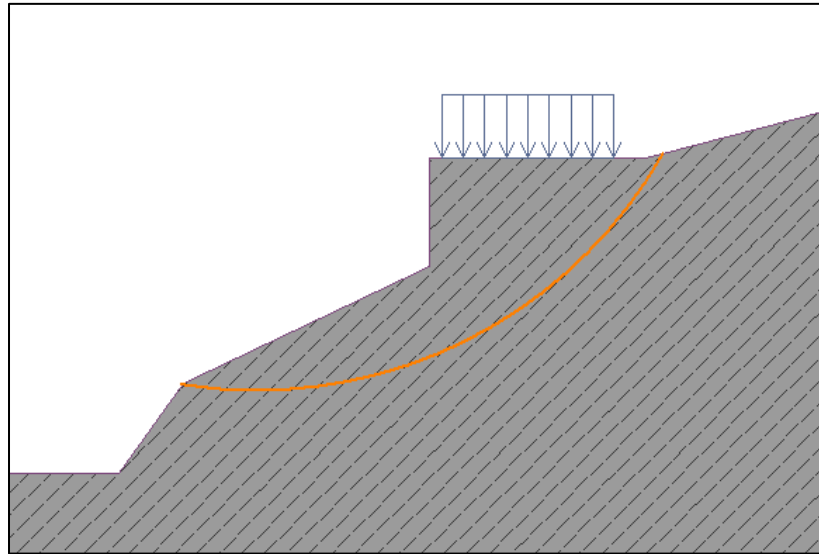
Safety factor = $1,27 < 1,50$
 Wall for slip is **NOT SATISFACTORY**

Volcamiento ≥ 1.5 (Cumple)	Deslizamiento ≤ 1.5 (No cumple)	Capacidad portante ≥ 3.0 (Cumple)
$M_{res}=120.42\text{kN/m}$ $M_{ovr}=45.53\text{kN/m}$ $M_{res} / M_{ovr}=2.64$	$H_{res}= 55.13 \text{ kN/m}$ $H_{act}= 43.39\text{kN/m}$ $H_{res} / H_{act} =1.27$	$R_d=208\text{Kpa}$ Esfuerzo actual= 60.88KPa

Estabilidad global

Figura 4.

Análisis geotécnico, estabilidad global



Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 200,28 \text{ kN/m}$

Sum of passive forces : $F_p = 224,23 \text{ kN/m}$

Sliding moment : $M_a = 2179,08 \text{ kNm/m}$

Resisting moment : $M_p = 2439,59 \text{ kNm/m}$

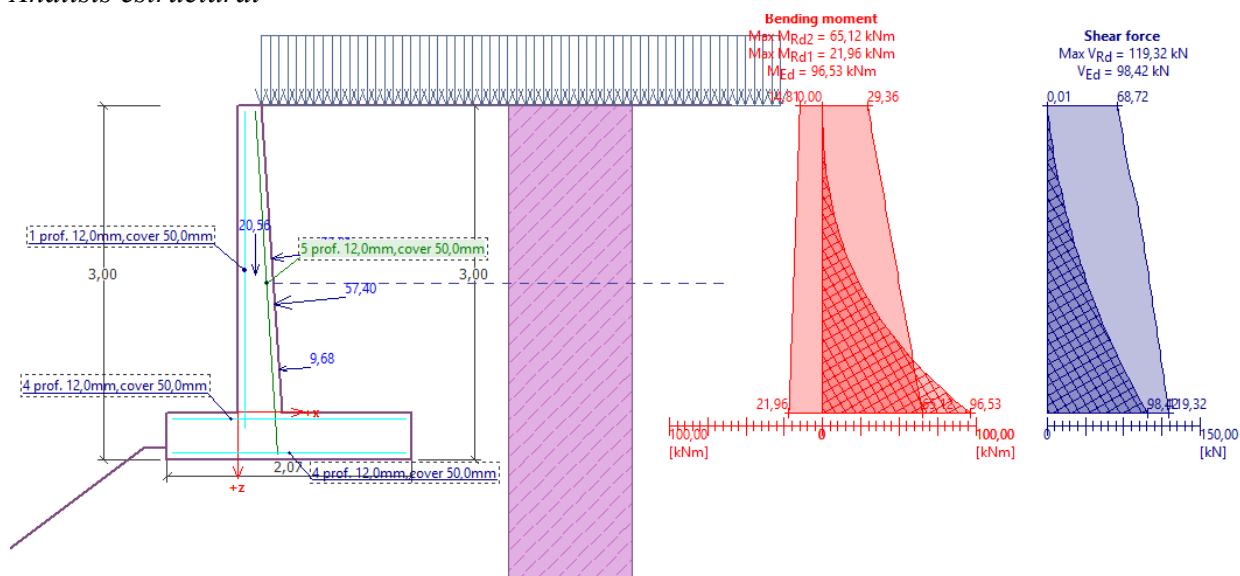
Factor of safety = $1,12 < 1,50$

Slope stability **NOT ACCEPTABLE**

Estabilidad global ≤ 1.5 (No cumple)
$F_a=200.28\text{kN/m}$ $F_p=224.23\text{kN/m}$ $F_p / F_a =1.12$

Anexo 05 – Análisis estructural

Figura 5.
Análisis estructural



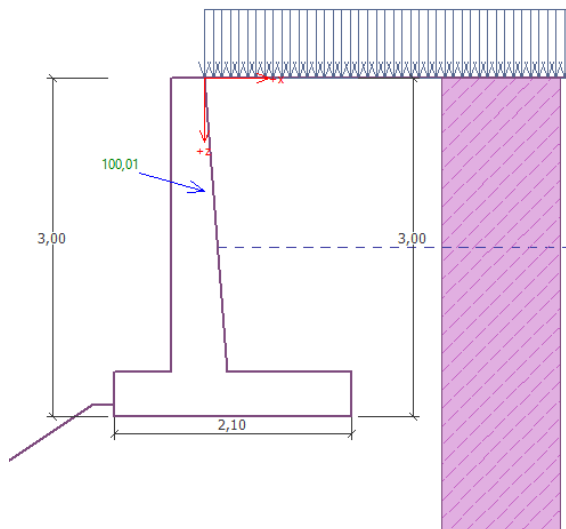
Trasdós	Intradsós
— Wall stem check - front reinf. SHEAR : SATISFACTORY (0,0%) Depth = 2,60 m BENDING : SATISFACTORY (0,0%) Depth = 2,60 m ✓ DESIGN PRINCIPLES : NOT OK. (382,0%)	— Wall stem check - back reinf. SHEAR : SATISFACTORY (82,5%) Depth = 2,60 m BENDING : NOT OK. (148,2%) Depth = 2,60 m ✓ DESIGN PRINCIPLES : SATISFACTORY (76,4%)
Zapata cara inferior	Zapata cara inferior
— Wall jump check SHEAR : SATISFACTORY (28,9%) BENDING : SATISFACTORY (62,2%) ✓ DESIGN PRINCIPLES : NOT OK. (103,6%)	— Wall heel check SHEAR : SATISFACTORY (28,6%) BENDING : NOT OK. (111,4%) ✓ DESIGN PRINCIPLES : NOT OK. (103,6%)

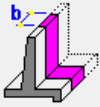
Anexo 07– Solución de intervención geotecnico-estructural

Con base al modelo inicial se implementa una carga de 100kN, equivalente a la fuerza resistida por una barra N°8 incluyendo factores de seguridad y adicionalmente se implementa un recremento de sección de 0.10m de concreto en la cara externa (intradós). A continuación, se presenta los resultados obtenidos.

Figura 6.

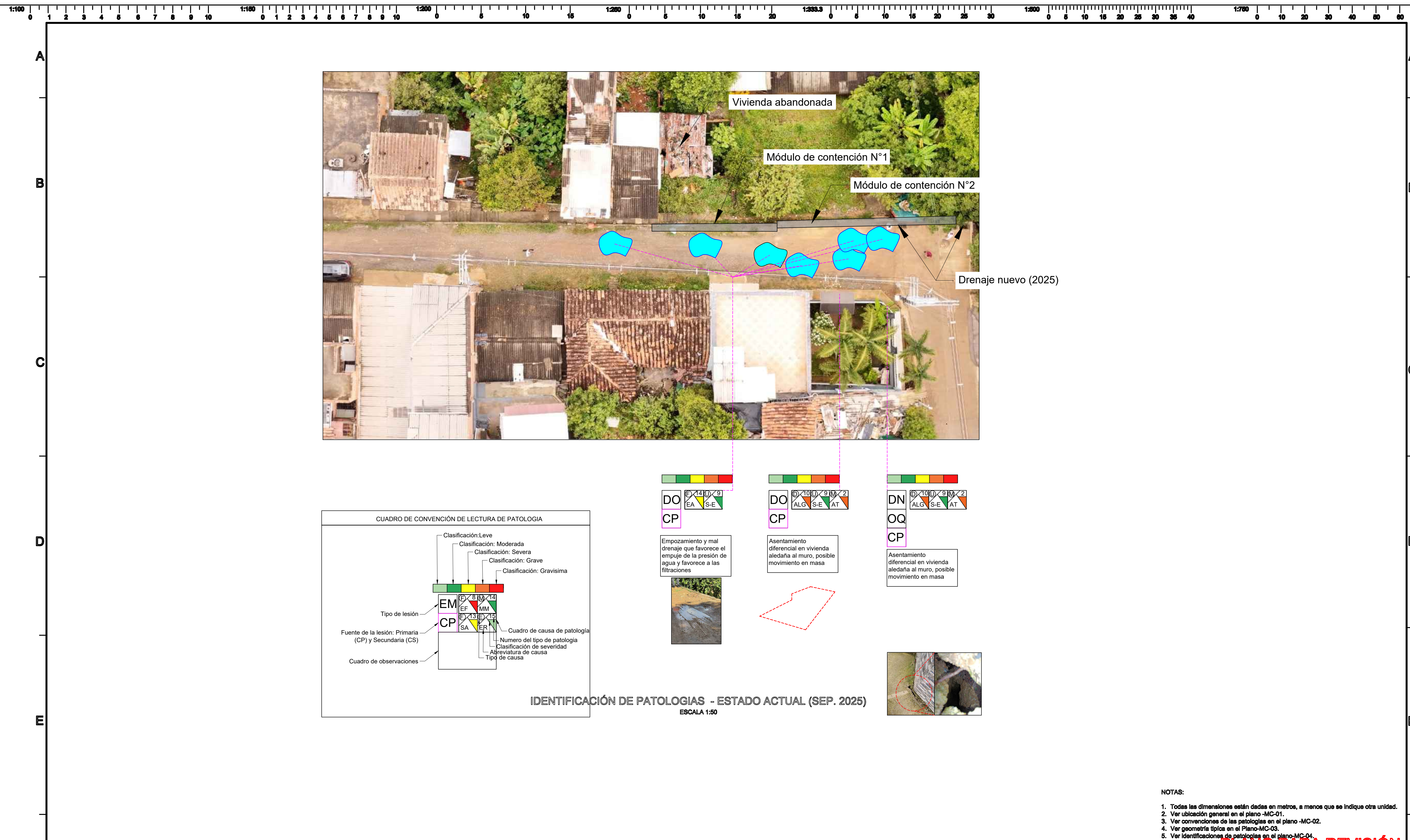
Muro de contención ajustado con intervención



— Dimensioning location — ☒ Wall stem check - front reinf. SATISFACTORY (68,2%) ☒ Wall stem check - back reinf. SATISFACTORY (92,4%) ☒ Wall jump check SATISFACTORY (89,5%) ☒ Wall heel check SATISFACTORY (71,6%) Cross-section width : b = 1,00 [m] 	— Verification — OVERTURNING : SATISFACTORY (20,1%) SLIP : SATISFACTORY (0,1%) — Verification — ECCENTRICITY: SATISFACTORY (0,0%) FOUNDATION SOIL: SATISFACTORY (44,4%)
Condición estructural cumple	Condición geotécnica cumple

Nota de reforzamiento: Implementar un sobreespesor de 0,10 m en la cara exterior, reforzado con barras #5 espaciadas cada 0,20 m en ambas direcciones, utilizando concreto de 28 MPa. Para el anclaje, se deberá disponer un anclaje pasivo con barra N.º 8, con una longitud total de 10 m y un bulbo de 4,0 m, inyectado con lechada de resistencia de 21 MPa.

Anexo 08– Patologías identificadas (plano)



PLANO PARA REVISIÓN

