

**ESTUDIO PATOLOGICO PARA INTERVENCION DEL HOSPITAL NUESTRA
SEÑORA DEL CARMEN DE APICALA ESE, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE
CARMEN DE APICALA TOLIMA**

Presentado por:

ING. ALEXIS RONDON MUÑOZ

ING. ERWIN FABIAN RONDON MUÑOZ

ING. HECTOR JAVIER GOMEZ SUAREZ

Asesor:

ING OSMART ALBERT GAMBA GOMEZ

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Especialización en Patología de la Construcción

2025

Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
1. HISTORIA CLINICA.....	4
1.1 Identificación del Paciente.....	4
1.2 Antecedentes Y Problemática Detectada	4
1.3 Diagnóstico Preliminar.....	5
2. METODOLOGÍA	5
3. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.....	6
4. DIAGNÓSTICO TÉCNICO.....	8
5. PROPUESTA TÉCNICA DE INTERVENCIÓN	10
6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	11
6.1 Introducción Del Análisis De Vulnerabilidad Sísmica	11
7. CRONOGRAMA.....	14
8. PRESUPUESTO	15
9. RESULTADOS.....	16
9.1 Resultados Técnicos por Componente Evaluado	16
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

RESUMEN

El presente estudio evaluó las condiciones estructurales del Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá E.S.E., en Tolima, Colombia. Se realizaron inspecciones visuales, levantamiento arquitectónico, ensayos no destructivos (esclerometría, ultrasonido, extracción de núcleos), análisis de vulnerabilidad sísmica y pruebas de laboratorio. Los resultados evidenciaron deterioro en elementos estructurales y no estructurales, como fisuras, desprendimientos, pérdida de sección en columnas y muros, baja resistencia del concreto, deficiencias en la cimentación y presencia de humedad capilar. El análisis mostró que la edificación no cumple con la normativa NSR-10 y presenta un riesgo sísmico relevante. Se concluyó que se requiere una intervención integral que incluya el reforzamiento estructural, la reparación de patologías y la mejora de las condiciones técnicas y sanitarias. Este diagnóstico ofrece una base técnica sólida para la toma de decisiones en procesos de rehabilitación de infraestructura hospitalaria en zonas sísmicamente activas, mejorando la seguridad y funcionalidad del establecimiento.

Palabras clave: patología estructural, hospital, NSR-10, vulnerabilidad sísmica, intervención.

ABSTRACT

This study assessed the structural condition of the “Nuestra Señora del Carmen de Apicalá” hospital in Tolima, Colombia. It included visual inspections, architectural surveys, non-destructive testing (sclerometry, ultrasonic, core sampling), seismic vulnerability analysis, and lab tests. Results showed deterioration in both structural and non-structural elements—cracks, spalling, reduced sections, low concrete strength, foundation issues, and capillary moisture. The structure does not meet NSR-10 standards and poses seismic risk. A comprehensive intervention is recommended, including structural reinforcement and sanitary improvements. This study supports informed decisions in hospital infrastructure rehabilitation in seismic zones.

Keywords: structural pathology, hospital, NSR-10, seismic vulnerability, intervention.

1. HISTORIA CLINICA

1.1 Identificación del Paciente

La edificación muestra fallas estructurales que podrían provocar su colapso ante sismos, por lo que se requiere una evaluación para definir si debe reforzarse o demolerse.

Hospital Nuestra Señora del Carmen – Carmen de Apicalá, Tolima

Tabla 1. Datos Básicos del Paciente

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Fecha de construcción	Aproximadamente entre 1970 y 1980.
Tipología estructural	Sistema aporticado en concreto reforzado.
Número de pisos	1 piso (edificación de baja altura).
Uso actual	Servicios de salud de primer nivel.
Ampliaciones o remodelaciones	Se han realizado intervenciones menores sin control técnico documentado.
Condiciones de mantenimiento	Deficiente: presencia de humedad, fisuras, instalaciones obsoletas.
Información de planos	Se cuenta con planos parciales. Algunos elementos fueron levantados en sitio.

1.2 Antecedentes Y Problemática Detectada

La edificación ha sido afectada por el paso del tiempo y presenta signos evidentes de deterioro. No existe constancia de reforzamientos estructurales, y las remodelaciones han sido empíricas, sin intervención profesional. Entre los principales problemas se identifican:

- Fisuras en muros y columnas.
- Desprendimiento de recubrimiento del concreto.
- Humedad capilar ascendente en muros.
- Baja resistencia del concreto en varios sectores.
- Inadecuada disposición de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias.

Estos hallazgos fueron detectados a través de inspección visual, entrevistas con personal del hospital y análisis preliminar de laboratorio.

1.3 Diagnóstico Preliminar

Con base en la información recolectada y observaciones en campo, se establece que la edificación presenta un deterioro funcional y estructural significativo. No cumple con los requisitos mínimos establecidos en la NSR-10 para edificaciones esenciales como hospitales.

Se recomienda realizar:

- Ensayos adicionales que permitan una caracterización más precisa del concreto y acero de refuerzo.
- Análisis detallado de la cimentación.
- Evaluación integral de las instalaciones hospitalarias (eléctricas, hidrosanitarias, gases médicos).

Este diagnóstico inicial orienta la necesidad de una intervención urgente para garantizar la seguridad estructural y funcional de la edificación.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el diagnóstico patológico del Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá se desarrolló bajo el enfoque normativo establecido por **la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el ACI 437R-19**, y guías internacionales de evaluación estructural.

Se dividió en cinco fases principales:

Fase 1: Recolección de Información y Reconocimiento Preliminar

- Revisión documental (planos, antecedentes, registros fotográficos).
- Entrevistas al personal técnico del hospital.
- Levantamiento arquitectónico y esquemas estructurales.
- Registro fotográfico de daños.

Fase 2: Inspección Visual y Clasificación de Daños

- Localización de fisuras, humedades, corrosión, desprendimientos.
- Registro mediante formatos de inspección estandarizados.
- Clasificación del tipo, extensión y severidad del daño.

Fase 3: Ensayos No Destructivos y Semi-Destructivos

Se realizaron ensayos con el objetivo de obtener parámetros mecánicos y fisicoquímicos de los materiales in situ.

El procesamiento de la información obtenida en la inspección visual se complementará con la elaboración de los siguientes ensayos.

Tabla 2. Ensayos propuestos

ETAPA	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTOS UTILIZADOS	RESULTADOS ESPERADOS
Esclerometría	ASTM C805	Martillo Schmidt	Resistencia superficial del concreto
Ultrasonido	ASTM C597	PUNDIT Lab	Velocidad de pulso ultrasónico
Extracción de núcleos	ASTM C42	Taladro rotatorio	Resistencia a compresión de concreto
Relevamiento arquitectónico	NTC 4116	Láser, cinta métrica, Autocad	Dimensiones y geometría
Revisión de acero expuesto	ACI 201.1R-08	Medición manual	Diámetro y corrosión de acero
Humedad en muros	NTC 3459	Higrómetro digital	Presencia de humedad capilar

Fase 4: Análisis de Resultados y Comparación con Normativa

- Procesamiento de resultados de laboratorio.
- Comparación con parámetros mínimos de la NSR-10 y ACI.
- Clasificación de elementos en buen estado, con deterioro leve, moderado o severo.

Fase 5: Diagnóstico y Formulación de Propuesta de Intervención

- Consolidación de hallazgos.
- Formulación de estrategias técnicas de rehabilitación.
- Evaluación de vulnerabilidad sísmica y propuesta de refuerzo.

3. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Los datos obtenidos a partir de las inspecciones y ensayos fueron procesados para establecer el estado real de los elementos estructurales y no estructurales. El análisis se presenta consolidado en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 3. Resultados principales de ensayos y observaciones en campo

ASPECTO ANALIZADO	DATOS RECOPIRADOS	MÉTODOS DE ANÁLISIS	RESULTADOS DEL ANÁLISIS
Estado del Paciente (Edificación)	Grietas, fisuras, deformaciones y asentamientos.	Inspección visual, drones, mediciones con láser y plomadas. Cumpliendo con NSR-10 Cap. A.4, ASTM E2018-15 (evaluación de condiciones del inmueble)	Grietas >2 mm, fisuras diagonales, asentamientos de hasta 4 cm.
Condiciones Ambientales	Sismos, nivel freático, temperatura y humedad.	Datos de Ingeominas, estaciones meteorológicas y estudios geotécnicos. Cumpliendo con NSR-10 Título H, IDEAM protocolos climáticos, INGEOMINAS, USGS	Sismicidad moderada-alta, freático alto, humedad >80%.
Patologías Estructurales	Corrosión, pérdida de adherencia, daño en zapatas y recubrimientos.	Ensayos destructivos y no destructivos (ultrasonido, esclerometría, etc.). Cumpliendo con ASTM C876, ASTM C597, ACI 228.2R-13, NSR-10 Título C	Pérdida del 25% en refuerzo, concreto con 180 kg/cm ² , carbonatación avanzada. (Ver anexo)
Cumplimiento Normativo (NSR-10)	Resistencia del concreto, carga del suelo, refuerzos y detalles estructurales.	Modelación con ETABS/SAP2000, pruebas de carga, análisis de cimentación. Cumpliendo con NSR-10 (Título C y G), ASCE 7-22 (cargas sísmicas), ACI 318-19	No cumple NSR-10: seguridad <1.2, mala distribución de cargas, cimentación deficiente.
Vulnerabilidad Sísmica	Capacidad de disipación sísmica y mecanismos de colapso.	Análisis modal/espectral, acelerómetros, simulaciones. Cumpliendo con NSR-10 Título G, ASCE 7-22, FEMA P-58, NIST GCR 17-917-46v1	Bajo desempeño sísmico, riesgo alto de colapso en sismos ≥ 6.0 Mw.

ASPECTO ANALIZADO	DATOS RECOPIRADOS	MÉTODOS DE ANÁLISIS	RESULTADOS DEL ANÁLISIS
Cimentación y Suelo	Tipo de suelo, asentamientos, drenaje y consolidación.	Pruebas SPT, corte directo, consolidación y permeabilidad. Cumpliendo con NSR-10 Título H, ASTM D1586 (SPT), ASTM D2435 (consolidación), ASTM D3080 (corte)	Suelo de baja capacidad, asentamientos progresivos, erosión por drenaje deficiente.
Degradación de Materiales	Resistencia del concreto y acero, fisuración y recubrimientos.	Análisis petrográfico, carbonatación, cloruros. Cumpliendo con ASTM C856 (petrografía), ASTM C876 (potencial de corrosión), ASTM C1152 (cloruros), NSR-10 Título C	Microfisuras, corrosión avanzada, pérdida de resistencia por lixiviación.

4. DIAGNÓSTICO TÉCNICO

Los resultados obtenidos evidencian que la estructura del Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá presenta condiciones críticas. A continuación, se resumen los componentes evaluados, métodos y hallazgos clave que lo confirman.

Tabla 4. Resumen de Evaluación Técnica y Estructural

ASPECTO ANALIZADO	DESCRIPCIÓN	HALLAZGOS	RECOMENDACIONES
Estado del Paciente (Edificación)	Evaluación del estado estructural general.	Asentam. diferenciales de hasta 4 cm. Fisuras >2 mm en muros. Pérdida del 25% en capacidad estructural por corrosión.	Demolición total y reconstrucción con estructura metálica y elementos sismorresistentes

ASPECTO ANALIZADO	DESCRIPCIÓN	HALLAZGOS	RECOMENDACIONES
Condiciones Ambientales	Influencia del entorno (sismos, humedad, filtraciones) en la estabilidad estructural.	Zona sísmica intermedia-alta. Humedad >80%. Filtraciones que erosionan cimentación.	Sistema de drenaje perimetral. Aplicar recubrimientos hidrófugos.
Patologías Estructurales	Daños en vigas, columnas, muros y losas.	Fisuras diagonales en muros. Corrosión avanzada. Reducción del 30% en capacidad de carga en vigas.	Reemplazar elementos críticos. Aplicar refuerzo con fibra de carbono e inhibidores de corrosión.
Cumplimiento Normativo (NSR-10)	Revisión frente a la norma NSR-10.	Factor de seguridad de 1.1. Deficiencias en refuerzo. Cimentación insuficiente ante cargas sísmicas.	Rediseño estructural completo. Cimentación profunda con pilotes.
Cimentación y Suelo	Capacidad portante y comportamiento del suelo.	Capacidad portante <2.0 kg/cm ² . Asentamientos progresivos. Erosión por filtraciones.	Pilotes perforados. Vigas de cimentación para distribuir cargas.
Vulnerabilidad Sísmica	Comportamiento ante sismos.	Derivas fuera de norma. Torsión estructural. Conexiones deficientes.	Nuevo sistema con disipadores e aisladores. Uso de acero con contraventeo en X.
Degradación de Materiales	Deterioro por envejecimiento y condiciones ambientales.	Carbonatación hasta 20 mm. Cloruros >0.15%. Exposición de acero y desprendimiento de recubrimientos.	Recubrimientos anticorrosivos. Concreto con aditivos y uso de acero galvanizado.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

En el marco del capítulo “Propuesta Técnica de Intervención”, se presenta a continuación un resumen puntual de los aspectos estructurales más relevantes identificados en la edificación del Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá, que sustentan la necesidad de una intervención integral.

Tabla 5. Aspectos Estructurales Clave para la Intervención

ÁREA/COMPONENTE	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	OBJETIVO
Cimentación	Demolición total y ejecución de cimentación profunda con pilotes y vigas de amarre.	Asegurar estabilidad y eliminar asentamientos.
Estructura Principal	Reemplazo por pórticos de acero ASTM A572 con conexiones pernadas.	Mejorar desempeño sísmico y rigidez lateral.
Entrepisos	Sustitución por losas SteelDeck con concreto liviano.	Reducir peso y aumentar eficiencia estructural.
Muros de Carga y Fachadas	Eliminación de muros portantes y uso de drywall con aislamiento.	Disminuir peso y aumentar flexibilidad estructural.
Cubierta	Cambio a cubierta metálica tipo standing seam con aislamiento.	Reducir carga y mejorar eficiencia energética.
Sistemas de Conexión	Uso de pernos de anclaje de alta resistencia.	Aumentar disipación sísmica y rigidez estructural.
Instalaciones MEP (mecánicas, eléctricas e hidrosanitarias)	Rediseño completo con sistema fotovoltaico, climatización eficiente y redes renovadas.	Garantizar eficiencia, sostenibilidad y calidad operativa.

6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

6.1 Introducción Del Análisis De Vulnerabilidad Sísmica

El análisis de vulnerabilidad sísmica del Hospital Nuestra Señora del Carmen, ubicado en el municipio de Carmen de Apicalá (Tolima), permitió identificar una serie de factores estructurales, materiales, geotécnicos y contextuales que aumentan el riesgo ante eventos sísmicos. A continuación, se presentan los aspectos clave que deben considerarse para orientar adecuadamente una futura intervención estructural:

Tabla 6. actores Estructurales y Geotécnicos Críticos para la Evaluación Sísmica

Categoría	Descripción
Ubicación	Departamento del Tolima, Municipio de Carmen de Apicalá. Coordenadas: 4°08'N, 74°43'O. Altitud: 328 m s. n. m. Clasificación sísmica: Zona de amenaza sísmica alta (NSR-10).
Descripción geológica	Depósitos cuaternarios aluviales y coluviales con estratos de arcillas expansivas, limos y arenas. Riesgo de licuación y asentamientos diferenciales en caso de sismo.
Histórico de sismos	- 1995 (Mw 5.9): Daños moderados en edificaciones antiguas.- 2008 (Mw 6.4): Fisuras en edificios mal contruidos.- 2021 (Mw 5.2, profundidad 30 km): No causó daños graves, pero reveló vulnerabilidad en estructuras deficientes.
Vecinos colindantes	<i>[No especificado en el texto original. Puedes completarlo si tienes la información.]</i>
Sistema constructivo	Estructura de pórticos en concreto reforzado, losas macizas, muros en mampostería estructural y cubierta metálica liviana con lámina trapezoidal.
Materiales	- Concreto $f'c = 21$ MPa (baja resistencia)- Acero de refuerzo: Grado 40 ($f_y = 280$ MPa)- Mampostería de bloques de arcilla sin refuerzo- Cubierta metálica ligera
Cimentación	Zapatas aisladas sobre suelos de resistencia limitada ($q_c = 1.7$ kg/cm ²). Problemas: asentamientos diferenciales (hasta 4 cm), filtraciones de agua, potencial de licuación. No hay vigas de amarre.
Sistema estructural	Sistema aporticado de concreto reforzado con elementos de mampostería estructural en fachadas. El análisis modal mostró una deriva de entrepiso de 1.8% (superior al 1% permitido). Frecuencia fundamental: 1.85 Hz.

La siguiente matriz técnica clasifica el nivel de riesgo de cada componente, facilitando la priorización de intervenciones necesarias para mejorar la seguridad sísmica del edificio. Atendiendo las solicitudes de la norma sismo resistente colombiana NRS 10.

Tabla 7. Matriz Técnica de Vulnerabilidad Sísmica y Prioridades de Intervención

PARÁMETRO EVALUADO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	NIVEL DE VULNERABILIDAD
Configuración en planta	Planta rectangular con simetría aceptable.	Baja
Configuración en altura	Relación altura/ancho de 1:4, sin irregularidades significativas.	Baja
Sistema estructural	Pórticos de concreto con refuerzo insuficiente, presenta fisuras activas.	Alta
Entrepisos	Losas macizas de concreto. Elevada masa sísmica, desfavorable para respuesta dinámica.	Alta
Cubierta	Estructura metálica con cubierta liviana.	Baja
Muros no estructurales	Mampostería sin refuerzo ni anclajes. Riesgo de desprendimiento o colapso.	Alta
Materiales estructurales	Concreto de baja resistencia ($f'c = 21$ MPa), acero grado 40.	Alta
Cimentación	Zapatas aisladas sobre suelo de baja capacidad portante. Evidencia de asentamientos diferenciales.	Alta
Condición del suelo	Suelos tipo D, presencia de arcillas expansivas y arenas con riesgo de licuación.	Alta
Estado de conservación	Fisuras estructurales activas, deterioro visible en materiales.	Alta
Sistemas de conexión	Ausencia de anclajes sísmicos adecuados. Conexiones estructurales débiles.	Alta
Respuesta dinámica estructural	Frecuencia fundamental de 1.85 Hz. Deriva de entrepiso de 1.8%. Amplificación sísmica significativa.	Alta

PARÁMETRO EVALUADO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	NIVEL DE VULNERABILIDAD
Elementos arquitectónicos	Deficiencia en confinamiento y refuerzo de elementos verticales y horizontales.	Alta
Instalaciones hospitalarias	No se observan sistemas de continuidad operativa o refuerzos funcionales post-sismo.	Alta
Evaluación Global de Vulnerabilidad Sísmica		Alta

Para interpretar la matriz anterior, se utiliza la siguiente clasificación cualitativa, que permite valorar el nivel de riesgo estructural de cada componente:

- **Baja:** El elemento cumple con los requisitos normativos mínimos y presenta un buen desempeño esperado frente a sismos. No representa amenaza estructural directa.
- **Media:** El elemento presenta deficiencias parciales que podrían comprometer su desempeño durante un evento sísmico moderado.
- **Alta:** El elemento muestra fallas, deterioro, inadecuada configuración o materiales deficientes, con alta probabilidad de daño o colapso ante un sismo significativo.

JERARQUIZACIÓN DE PROBLEMAS (ANÁLISIS CUALITATIVO)

Se jerarquizaron los hallazgos con base en tres criterios:

- Grado de afectación estructural.
- Impacto en la funcionalidad hospitalaria.
- Urgencia de intervención.

La siguiente tabla clasifica los elementos constructivos del Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá según su prioridad de intervención, considerando el riesgo estructural y funcional ante sismos, así como su impacto en la seguridad y operatividad hospitalaria.

Tabla 8. Priorización de Intervención por Riesgo Estructural y Funcional

NIVEL DE PRIORIDAD	ELEMENTOS	RECOMENDACIÓN
Alta	Columnas, cimentación, muros	Reforzamiento estructural urgente
Media	Vigas, instalaciones sanitarias	Intervención parcial y mantenimiento
Baja	Acabados, carpintería, cubierta	Intervención programada

7. CRONOGRAMA

Fase / Actividad	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 5-6	Semana 7-8	Semana 9-10	Semana 11-12
1. Alistamiento y Diagnóstico Inicial	✓	✓				
Revisión documental y levantamiento de información	✓	✓				
Inspección física preliminar de patologías	✓	✓				
Toma de registros fotográficos y planimetría de zonas afectadas	✓	✓				
2. Diagnóstico Específico y Análisis Técnico		✓	✓			
Identificación de causas (estructurales, funcionales, materiales, ambientales)		✓	✓			
Ensayos no destructivos (si aplica)		✓	✓			
Evaluación de riesgos de cada patología detectada		✓	✓			
3. Formulación de Recomendaciones y Propuesta de Intervención			✓	✓		
Diseño de estrategias de intervención			✓	✓		
Estimación de costos y prioridades			✓	✓		
Recomendaciones técnicas para contratistas y supervisores			✓	✓		
4. Elaboración de Informe Final				✓	✓	✓

Redacción del informe técnico con anexos				✓	✓	✓
Validación con interventoría / supervisión				✓	✓	✓
Ajustes y entrega del informe final					✓	✓

8. PRESUPUESTO

1. Gastos de Personal					
TIEMPO MENSUAL LA CONSULTORIA:			3	MESES	
COSTOS DIRECTOS DE PERSONAL					
PERSONAL PROFESIONAL					
SUBTOTAL COSTOS DE PERSONAL				\$180.075.000,00	
FACTOR MULTIPLICADOR				2,20	
(A) TOTAL COSTOS DE PERSONAL				\$396.171.002,50	
2. Otros Gastos Operacionales					
CANT.	DESCRIPCION	UND	COSTO	TIEMPO DE UTILIZACION	VALOR PARCIAL
OTROS COSTOS DIRECTOS					
1	Edición de Informes (Incluye Planos, Etc)	Mes	\$1.000.000,00	3	\$3.000.000,00
1	Alquiler de equipo de topografía	Mes	\$2.700.000,00	3	\$8.100.000,00
1	Arriendo de oficina	Mes	\$1.500.000,00	3	\$4.500.000,00
1	Servicios públicos	Mes	\$550.000,00	3	\$1.650.000,00
1	Comunicaciones	Mes	\$300.000,00	3	\$900.000,00
1	Ensayos de laboratorios	UND	\$183.021,34	20	\$3.660.426,89
(B) OTROS COSTOS DIRECTOS					\$21.810.426,89
(C)=(A)+(B) SUBTOTAL COSTOS BASICOS					\$417.981.429,39
AIU 30%					\$ 125.394.428,82
COSTO TOTAL DE CONSULTORÍA					\$543.375.858,21

9. RESULTADOS

7.1 Resultados Técnicos por Componente Evaluado

Justificación Técnica

En el marco del capítulo “Resultados Técnicos por Componente Evaluado”, se presentan a continuación los hallazgos obtenidos mediante inspecciones, ensayos y modelaciones estructurales aplicadas al Hospital Nuestra Señora del Carmen de Apicalá.

Esta información justifica técnicamente la necesidad de una intervención profunda, al evidenciar el estado crítico de diversos elementos estructurales y del suelo.

Tabla 9. Clasificación técnica de elementos estructurales y geotécnicos.

Componente	Ensayo / Método	Resultado Obtenido
Concreto estructural	Esclerometría, ultrasonido, testigos	Resistencia media de 18 MPa. Fisuración interna en 40% de los elementos portantes. (Ver anexo).
Armaduras	Potencial de corrosión, carbonatación	Corrosión avanzada con pérdida de sección del 25%. Carbonatación de hasta 15 mm.
Muros de mampostería	Inspección visual, termografía	Fisuras de hasta 3 mm. Delaminación en puntos críticos.
Vigas y columnas	Inspección estructural, modelado modal	Deformaciones superiores a $L/250$. Flexibilidad estructural elevada.
Cimentación	Ensayos SPT, análisis de carga	Capacidad portante insuficiente (1.2 - 1.5 kg/cm ²). Asentamientos diferenciales de 4 cm.
Suelo	Simulación Seed & Idriss, geotecnia avanzada	Riesgo de licuación con $FS = 0.85$. Humedad alta, drenaje deficiente.
Sistema estructural	ETABS, SAP2000, análisis espectral	Factor de seguridad sísmico: 1.1. Deriva de entrepiso: 1.8% (superior a NSR-10).
Cumplimiento NSR-10	Comparación normativa	No cumple: irregularidad de masas, elementos subdimensionados, cimentación inadecuada.

Contraste Con La NSR-10

- Resistencia a compresión del concreto se encuentra por debajo del mínimo exigido (17 MPa) para estructuras hospitalarias según la NSR-10.

- No se evidencian dispositivos de disipación sísmica ni juntas de dilatación. Este análisis confirma la necesidad de una intervención estructural inmediata, tanto correctiva como preventiva.

Indicadores de Vulnerabilidad Pre y Post Intervención

Los indicadores técnicos muestran mejoras sustanciales tras la intervención propuesta, reflejando un aumento en la seguridad estructural y geotécnica del hospital.

Tabla 10. Indicadores técnicos de la intervención

Parámetro Técnico	Condición Actual	Post Intervención Propuesta	Mejora Estimada
Resistencia del concreto (MPa)	18	25	40%
Factor de seguridad sísmico	1.1	1.5	36%
Deriva de entrepiso (%)	1.8%	< 1%	Cumple NSR-10
Capacidad del suelo (kg/cm ²)	1.2 – 1.5	2.5	100%
Porcentaje de fisuración	40% elementos	< 5% (con CFRP y refuerzo)	-87.5%
Riesgo de licuación (FS)	0.85	> 1.2	Reducción total

VENTAJAS TÉCNICAS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

A continuación, se presentan las principales ventajas técnicas asociadas al uso de estructura metálica en el nuevo hospital, desde el punto de vista de su comportamiento sísmico, durabilidad, rapidez constructiva y adaptabilidad técnica:

- Alto desempeño sísmico
- Prefabricación con precisión milimétrica
- Durabilidad superior a 50 años con bajo mantenimiento
- Sistema seco: menos tiempos muertos en obra
- Facilidad para implementación de redes e instalaciones técnicas

VENTAJAS FUNCIONALES DEL NUEVO DISEÑO

El diseño del nuevo hospital está pensado para ofrecer funcionalidad, seguridad operativa, eficiencia y adaptabilidad. Las siguientes ventajas funcionales respaldan la elección del sistema estructural y el modelo arquitectónico modular propuesto:

- **Diseño modular y escalable:** facilita futuras ampliaciones sin interrumpir los servicios.
- **Mejora en condiciones ambientales internas:** incorpora mejoras en condiciones ambientales internas, brindando mayor confort para los pacientes.
- **Seguridad operacional:** se refuerza con una adecuada separación de flujos y zonas críticas.
- **Flexibilidad arquitectónica:** permite adaptar fácilmente los espacios según nuevas necesidades médicas.

Impacto Operacional Proyectado

- Reducción del 80% en vulnerabilidad estructural general.
- Incremento de la vida útil estimada del hospital a más de 50 años.
- Reducción de 30% en costos anuales de mantenimiento.
- Mejora en eficiencia energética del 25% con modernización de sistemas.
- Ahorro de hasta 50% en costos post-sismo por uso de aisladores y disipadores sísmicos.

Comparativo del Desempeño Estructural (Evento Sísmico 7.5 Mw)

- Modelo Actual:

- Colapso parcial en zona de fachada principal y núcleo de escaleras.
- Derivas torsionales superiores al 2.5%.
- Fallo en anclajes de columnas y desprendimiento de muros no estructurales.

- Modelo Reforzado:

- Desplazamientos controlados.
- Comportamiento plástico controlado en disipadores de energía.
- Estructura permanece operativa después del evento sísmico.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM C42/C42M-20. (2020). Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. ASTM International.
- ASTM C597-16. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International.
- ASTM C805/C805M-18a. (2018). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM International.
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). Resolución 3100 de 2019 – Manual de habilitación para servicios de salud. Diario Oficial.

- Consejo Colombiano de Construcción Sismo Resistente (CCCSR). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá: AIS.
- ICONTEC. NTC 3459. (2001). Método de ensayo para determinar la humedad en materiales de construcción. Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC. NTC 3567. (2008). Instalaciones para gases medicinales en centros de salud. Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC. NTC 4116. (2004). Levantamiento arquitectónico de edificaciones existentes. Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- ICONTEC. NTC 2050. (2011). Código eléctrico colombiano. Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

11. ANEXOS

- Se adjunta informe de esclerometría.

PRUEBA DE ESCLEROMETRIA PARA VIVIENDA EXISTENTE

DIRECCION: Calle 2da A #5-07 Barrio Lucitania, Carmen de Apicalá, Colombia

REALIZO: ING. ERWIN FABIAN RONDON MUÑOZ

PROPIETARIO: **Hospital Nuestra Señora del Carmen**

FIRMA

PRUEBA No.	PISO	ELEMENTO	DIMENS. EN CMS	EJE	NUM.	P1 (R).	P2 (R).	P3 (R).	P4 (R).	P5 (R).	P6 (R).	P7 (R).	P8 (R).	P9 (R).	VALOR DEL REBOTE (R)	RESULTADO KGF/CM2	RESULTADO P.S.I.
1	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	28,00	26,00	25,50	27,00	30,00	27,00	27,00	26,50	28,00	27,22	182,22	2603,17
2	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	30,00	26,50	25,00	25,50	30,00	26,00	28,00	24,00	28,00	27,00	180,00	2571,43
3	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	24,00	27,00	26,50	25,00	27,00	24,50	28,00	30,00	27,00	26,56	175,56	2507,94
4	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	26,00	27,00	28,80	29,80	25,50	29,80	31,60	27,00	25,50	27,89	172,00	2457,14
5	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	27,00	31,90	25,50	29,90	27,00	29,50	25,50	31,60	29,60	28,61	185,00	2642,86
6	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	25,50	29,20	27,00	29,60	25,50	27,00	29,40	29,60	27,00	27,76	169,60	2422,86
7	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	27,50	28,00	25,00	29,50	28,00	30,50	27,50	29,50	25,00	27,83	188,33	2690,48
8	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	25,00	28,50	28,00	30,00	25,00	28,50	28,50	28,50	29,50	27,94	189,44	2706,35
9	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	27,50	29,50	27,50	29,50	26,00	29,50	25,00	27,50	25,00	27,44	184,44	2634,92
7	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	25,00	27,50	29,50	30,00	29,50	28,00	29,00	30,00	28,50	28,56	184,00	2628,57
8	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	27,00	30,00	29,50	27,00	25,00	29,50	27,00	29,50	28,00	28,06	175,00	2500,00
9	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	29,50	25,00	30,00	28,50	30,00	28,50	30,00	25,00	28,50	28,33	180,00	2571,43
10	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	25,00	29,50	30,00	27,50	30,00	29,50	25,00	27,50	30,00	28,22	192,22	2746,03
11	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	30,00	29,50	32,00	25,00	30,00	28,00	30,00	28,50	25,00	28,67	196,67	2809,52
12	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	28,50	25,00	31,50	28,50	25,00	30,50	28,50	30,50	28,50	28,50	195,00	2785,71

RESULTADO KGF/CM2	RESULTADO P.S.I.
183,30	2618,56

PRUEBA DE ESCLEROMETRIA PARA VIVIENDA EXISTENTE

DIRECCION: Calle 2da A #5-07 Barrio Lucitania, Carmen de Apicalá, Colombia

REALIZO: ING. ALEXIS RONDON MUÑOZ

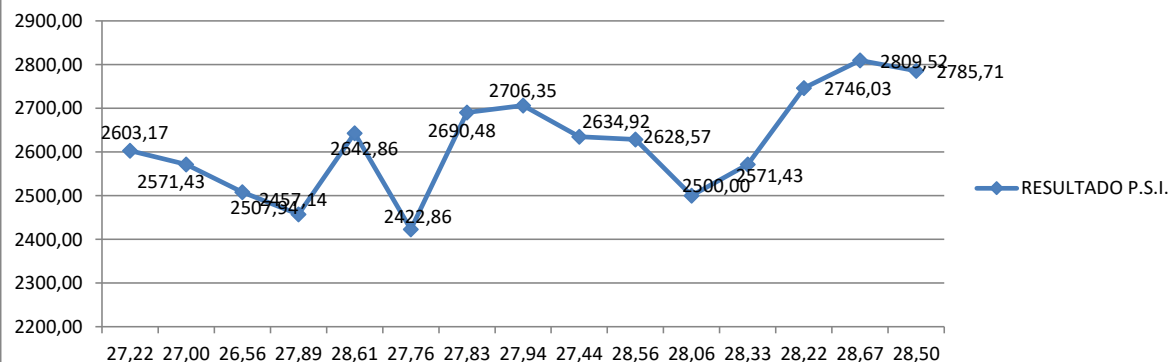
PROPIETARIO

Hospital Nuestra Señora del Carmen

FIRMA

PRUEBA No.	PISO	ELEMENTO	DIMENS. EN CMS	EJE	NUM.	P1 (R.)	P2 (R.)	P3 (R.)	P4 (R.)	P5 (R.)	P6 (R.)	P7 (R.)	P8 (R.)	P9 (R.)	VALOR DEL REBOTE (R)	RESULTADO KGF/CM2	RESULTADO P.S.I.
1	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	28,00	26,00	25,50	27,00	30,00	27,00	27,00	26,50	28,00	27,22	182,22	2603,17
2	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	30,00	26,50	25,00	25,50	30,00	26,00	28,00	24,00	28,00	27,00	180,00	2571,43
3	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	A	1	24,00	27,00	26,50	25,00	27,00	24,50	28,00	30,00	27,00	26,56	175,56	2507,94
4	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	26,00	27,00	28,80	29,80	25,50	29,80	31,60	27,00	25,50	27,89	172,00	2457,14
5	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	27,00	31,90	25,50	29,90	27,00	29,50	25,50	31,60	29,60	28,61	185,00	2642,86
6	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	B	2	25,50	29,20	27,00	29,60	25,50	27,00	29,40	29,60	27,00	27,76	169,60	2422,86
7	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	27,50	28,00	25,00	29,50	28,00	30,50	27,50	29,50	25,00	27,83	188,33	2690,48
8	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	25,00	28,50	28,00	30,00	25,00	28,50	28,50	28,50	29,50	27,94	189,44	2706,35
9	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	C	1	27,50	29,50	27,50	29,50	26,00	29,50	25,00	27,50	25,00	27,44	184,44	2634,92
7	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	25,00	27,50	29,50	30,00	29,50	28,00	29,00	30,00	28,50	28,56	184,00	2628,57
8	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	27,00	30,00	29,50	27,00	25,00	29,50	27,00	29,50	28,00	28,06	175,00	2500,00
9	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	D	2	29,50	25,00	30,00	28,50	30,00	28,50	30,00	25,00	28,50	28,33	180,00	2571,43
10	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	25,00	29,50	30,00	27,50	30,00	29,50	25,00	27,50	30,00	28,22	192,22	2746,03
11	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	30,00	29,50	32,00	25,00	30,00	28,00	30,00	28,50	25,00	28,67	196,67	2809,52
12	PRIMERO	COLUMNA	30 x 30	E	1	28,50	25,00	31,50	28,50	25,00	30,50	28,50	30,50	28,50	28,50	195,00	2785,71

RESULTADO P.S.I.



PROMEDIO F'c EN COLUMNAS

RESULTADO KGF/CM2	RESULTADO P.S.I.
183,30	2618,56

APROBACION DEL F'c

SEGÚN DEC.	SEGÚN ENSAYO
3000	NO CUMPLE