

Estudio Patológico a las Instalaciones del Instituto Nacional de Vías Seccional Sucre.

Álvaro Caballero Guerrero, Juan Carlos Charris Rúa

y Gustavo Solano Colón

Universidad Santo Tomás, Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia

Notas de autor(es)

Álvaro Caballero Guerrero, Juan Carlos Charris Rúa y Gustavo Solano Colón, Programa de Patología de la Construcción, Universidad Santo Tomás, Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia.

La correspondencia relacionada con esta investigación debe ser dirigida a Álvaro Caballero Guerrero, Juan Carlos Charris Rúa y Gustavo Solano Colón.

Universidad Santo Tomás, Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia, Carrera 9 No.

51-11, Bogotá D.C., Colombia.

Contacto:

arcaballero26@yahoo.com

juancharris@ustadistancia.edu.co

gustavosolano4@yahoo.com

Resumen

El Instituto Colombiano de Vías y Transporte “Invías”, está localizado en calle 38 No. 9-111, Av. Troncal de Occidente en la ciudad de Sincelejo (Sucre).

El presente estudio se ha llevado a cabo debido a la preocupación por parte del Instituto Nacional de Vías “Invías.”, seccional Sucre, de no poner en riesgo la integridad y seguridad tanto de los empleados como de los clientes que visitan la sede.

Dicha seccional presentaba fisuras y agrietamientos tanto en los pisos como en los muros.

A través de la ejecución de ciertos ensayos y pruebas, se pudo establecer cuáles eran las causas de las posibles lesiones existentes. Todo esto en el marco de la norma sismo resistente NSR 10.

Es de vital importancia anotar que para la verificación de los esfuerzos y el análisis de vulnerabilidad sísmica, se contó con un programa basado en la modelación a través de elementos finitos, lo cual permitió determinar y verificar los diseños hasta que éstos cumplieren a cabalidad.

Esta investigación se desarrolló en tres etapas: La primera de ellas consistió en la recolección de la información del paciente, por fuentes escritas y orales, incluyendo los recolectados en la revisión. En la Segunda etapa se efectuó un levantamiento arquitectónico y estructural de la edificación, para verificar que lo propuesto en el diseño fue lo que efectivamente se construyó. En la tercera etapa se realizó la inspección de grietas y fisuras, lo que definió la metodología a utilizar para el presente estudio y llevar a presentar el diagnóstico de las causas que generaron las lesiones en la estructura, rehabilitación y recuperación de la estabilidad y durabilidad de la misma.

Finalmente todo el trabajo desarrollado resulta útil y de vital importancia por el hecho que el proyecto se ejecutó de acuerdo a los reforzamientos y diseños establecidos en el estudio, lo cual pudo dar un parte de tranquilidad y seguridad para la entidad contratante.

Su importancia pone de manifiesto cómo la utilización de las diferentes herramientas que nos brinda la ciencia de la patología de la construcción, unida con otras ramas del saber cómo lo es el análisis y calculo estructural, pueden solucionar lesiones graves que ponen en riesgo la estabilidad estructural y por ende la seguridad de quienes pueden permanecer en ciertos momentos en dichas edificaciones.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica. Inspección de grietas y fisuras. Lesiones en las estructuras. Rehabilitación y recuperación de estructuras. Estabilidad estructural.

Tabla de contenido

Introducción	1
Objetivos	2
Justificación	3
Alcance	4
Metodología	5
Selección del paciente	5
Datos específicos del estudio.	5
Responsables del estudio.	5
Información del paciente.	6
Localización.	6
Propietario.	6
Uso actual.	6
Entorno.	7
Factores medio ambientales.	7
Datos específicos del paciente.	7
1) <i>Áreas de la edificación.</i>	7
2) <i>Planos existentes.</i>	7
Tipo de cimentación.	1
Visita preliminar, verificación del estado del paciente.	2
Levantamiento de grietas y fisuras.	3
Estructura.	8
1) Análisis de carga.	8
Ensayos a elementos estructurales	9
Carbonatación en el concreto	10
Determinación de cantidad de óxido férreo	13
Toma y preparación de muestras	14
Reactivo	15
Ensayo de compresión de cilindros	15
Exploraciones con ferro escáner	17
Exploraciones realizadas	1
Estudio de vulnerabilidad sísmica	1
Evaluación de la estructura existente	2
Análisis de carga	2

Cargas de entresijos y cubiertas.....	3
Diseño estructural.....	5
Determinación de índices de sobreesfuerzo	8
Análisis de resultados de la estructura actual.....	11
Análisis y diseño de estructura reforzada.....	13
Procedimiento de reforzamiento de estructura.....	15
Conclusiones y recomendaciones	17
Bibliografía	19

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Estructura.....	6
Figura 2. Planta Arquitectónica Primer Nivel.....	1
Figura 3. Planta Arquitectónica Segundo Nivel.	2
Figura 4. Planta Arquitectónica tercer Nivel.	3
Figura 5. Exploración de cimentaciones.	1
Figura 6. Fotografías Dimensiones Zapata 1.	2
Figura 7. Exploración de muro y cimentación.....	2
Figura 8. Convenciones.....	3
Figura 9. Esquemas de Grietas Primer Piso.....	3
Figura 10. Esquemas Grietas Segundo Nivel.	4
Figura 11. Esquema de Grietas Tercer Nivel.....	5
Figura 12. Esquema de Grietas Fachada 1.	6
Figura 13. Esquema Grietas Fachada 2.	6
Figura 14. Esquema de Grietas Fachada 3.	7
Figura 15. Grietas, Humedad y Otras Patologías en la Estructura.	7
Figura 16. Grietas en los Muros de la Estructura.	8
Figura 17. Fisuras en los Muros de la Fachada.....	8
Figura 18. Análisis de la Estructura RCB.	9
Figura 19. Ensayo de Carbonatación.....	10
Figura 20. Carbonatación.	12
Figura 21. Cálculo del Tiempo de Iniciación de la Corrosión.	13
Figura 22. Extracción de Núcleos en Diferentes sitios de la estructura.....	16
Figura 23. Extracción de Núcleos en Diferentes partes de la Estructura.	17
Figura 24. Exploración con ferro escáner.	17
Figura 25. Exploraciones en la Estructura en los Tres Niveles. Exploración Columna de Tercer Piso y Separación Entre Barras, Columna 2 Tercer Piso.	18
Figura 26. Exploración en las Losas de Todos los Niveles. Dimensiones Placa en el Tercer Piso.	19
Figura 27. Exploraciones Realizadas. Planta Arquitectónica Primer Nivel.	1
Figura 28. Exploraciones en la Estructura y Planta Arquitectónica Primer Nivel.	1
Figura 29. Valores mínimos de carga muerta no estructurales.....	3
Figura 30. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.....	4
Figura 31. Cargas vivas mínimas en cubiertas.....	4
Figura 32. Nivel de amenaza sísmica en Colombia.....	6
Figura 33. Mapa de valores.....	7
Figura 34. Índice de sobreesfuerzo estructural.	8
Figura 35.	10
Figura 36.	11
Figura 37.	11
Figura 38. Pórtico con nuevo planteamiento estructural.....	13
Figura 39. Esfuerzos en cimientos, nuevo planteamiento.....	14
Figura 40. Esfuerzos en vigas reforzadas.....	14
Figura 41. Sobreesfuerzos en las columnas ya reforzadas.....	Error! Bookmark not defined.

Introducción

El Instituto Colombiano de Vías y Transporte “Invías.”, es una de las entidades que regula y vigila a cabalidad, el cumplimiento de las normas de construcción; y, en aras de preservar la integridad de sus empleados y visitantes, aprueba la realización del estudio de patología, a una de sus sedes en el departamento de Sucre.

Se ratifica dicho estudio en la sede de la ciudad de Sincelejo, debido a que se han venido observando una serie de sintomatologías que preocupan de forma considerable, dado que la edificación cuenta con pocos años de haberse construido.

Posteriormente se realiza la recolección de la información del paciente, por fuentes escritas y orales, incluyendo los recolectados en la revisión. Seguido se efectúa un levantamiento arquitectónico y estructural de la edificación, para verificar que lo propuesto en el diseño fue lo que efectivamente se construyó.

A continuación se realiza la inspección de grietas y fisuras, que definió la metodología a utilizar para el presente estudio y lleva a presentar el diagnóstico de las causas que generaron las lesiones en la estructura, rehabilitación y recuperación de la estabilidad y durabilidad de la misma.

Objetivos

- Determinar si la estructura cumple con las resistencias mínimas exigidas por la norma NSR- 10 teniendo como base los ensayos de extracción de núcleo.
- Establecer si el refuerzo encontrado en la estructura de las columnas cumple con la cuantía mínima de refuerzo requerida por las combinaciones y las solicitaciones de carga.
- Comprobar con respecto a las columnas, si las secciones están cumpliendo con el desempeño de las derivas, y si los refuerzos presentan cuantías menores a los requeridos.
- Evidenciar si la cimentación existente cumple, con los requisitos mínimos de norma, de acuerdo a los resultados que se obtengan en la modelación de la estructura.
- Demostrar si es necesario reforzar la estructura existente, planteando la adición de vigas con tal que se cumplan los requisitos de esfuerzos y de deflexiones. Así mismo definir si se deben colocar perfiles metálicos y perfiles con el fin de disminuir las luces.
- Especificar si es necesario plantear un encamisado a las cuatro columnas centrales con la finalidad de cumplir con la NSR 10, de igual forma si se debe plantear el dicho encamisado a las cuatro columnas centrales de los ejes B y C, con el fin de cumplir con los requerimientos de la NSR 10, y, a su vez si es necesario adicionar un muro estructural entre muro y muro, con el fin de aumentar la rigidez de la estructura.
- Precisar si se hace necesario el confinamiento, tanto vertical como horizontal, en los muros no estructurales, con el fin de cumplir con la normatividad que rige para este tipo de elementos.
- Concretar cuáles son los elementos que deben ser adicionados a la cimentación con el fin de que ésta tenga un mejor funcionamiento.

Justificación

El presente estudio patológico se realiza debido a la preocupación por parte del Instituto Nacional de Vías “Invías”, seccional Sucre, de no poner en riesgo la seguridad de empleados y los clientes que visitan la sede, ya que se presentan fisuras y agrietamientos en los pisos y muros de la edificación; para ello se ejecutan ensayos y pruebas con el fin de establecer cuáles son las causas de las posibles lesiones existentes. Todo esto en el marco de la norma sismo resistente NSR 10.

El Instituto Nacional de Vías, a través de su subdirección administrativa, tiene entre otras funciones en materia de mantenimiento de adecuación, la de mejorar de manera sustancial las condiciones físicas del inmueble y minimizar, en consecuencia, los riesgos de estabilidad de la sede y seguridad de los clientes que la visitan, asociado a la falta de mantenimiento en dichas obras y preservando el patrimonio de la nación.

En este sentido, la subdirección administrativa, adelantó la contratación para la construcción de la nueva edificación de la sede territorial Sucre para el funcionamiento de dicha dependencia y en atención a los clientes de dicho Departamento. Es por ello y a raíz de los daños que se han venido presentando en la edificación, se realiza el estudio de patología para determinar las causas por las cuales se presentaron los diferentes daños observados, y a su vez, la rehabilitación y reparación del paciente.

Alcance

El objeto de este estudio es dar los parámetros necesarios, por medio de una inspección patológica, para evaluar el estado de la edificación donde funciona el Ministerio de Transporte, sede Sucre, y el Instituto Nacional de Vías “Invías”.

El propósito del estudio es verificar que la estructura sea capaz de resistir las cargas a las que será sometida, además de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y, un temblor fuerte sin colapso.

La estructura se encuentra dentro del alcance que se indica en el capítulo A.10.1.3 de la NSR 10, ya que fue diseñada y construida antes de la vigencia de la presente norma.

Fueron utilizados los requisitos dados en el título A de la Norma NSR 10, en la parte de “evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia del reglamento”, necesarios para llevar a cabo la evaluación del comportamiento sísmico de la intervención, reparación, refuerzo o demolición de las estructuras en estudio.

Metodología

Selección del paciente

Para la realización del estudio, fue seleccionado el Instituto Nacional de Vías “Invías”, seccional Sucre, ubicado en la ciudad de Sincelejo.

Preparación y planteamiento del estudio.

A continuación se relacionan las actividades que se realizaron, en fichas planos y fotografías.

- Inspección preliminar del paciente.
- Información necesaria para el estudio.
- Forma de almacenar y tabular la información.
- Proceso de recopilación de información en el campo.
- Alcances de la exploración.
- Permisos y autorizaciones para hacer el estudio en la edificación.
- Equipo de trabajo para realizar la exploración.
- Servicios especializados para la exploración.

Historia clínica

Datos específicos del estudio.

El paciente a estudiar corresponde a la sede del Instituto Nacional de Vías “Invías” y del Ministerio de Transporte, seccional Sucre, con sede en Sincelejo, ubicado en la Troncal de Occidente, en la Calle 38 No. 8-159.

Responsables del estudio.

Las personas encargadas responsables de realizar el estudio son los señores Álvaro Caballero Guerrero, Gustavo Solano Colón y Juan Carlos Charris Rúa, estudiantes del programa Especialización Patología de la Construcción, 2018-02.

Fecha de realización del estudio.

El estudio patológico se realizó en el mes de agosto del año 2017.

Información del paciente.

Nombre del paciente: **Instituto Nacional de Vías “Invías”**.

Localización.



Figura 1. Ubicación de la Estructura. Fuente: Google Earth.

Propietario.

Instituto Nacional de Vías “Invías”.

Uso actual.

En la edificación funciona la sede del Instituto Nacional de Vías “Invías”, seccional Sucre.

Entorno.

La edificación está ubicada en la Troncal de Occidente, de la ciudad de Sincelejo, zona comercial, sin edificaciones a su alrededor.

Factores medio ambientales.

Se pudo evidenciar que la edificación no cumple a cabalidad con lo estipulado en las normas medio ambientales, a pesar de poseer el espacio suficiente.

Datos específicos del paciente.**1) Áreas de la edificación.**

- El área total de la edificación es de 614.88 m².
- Área primer piso 204.96 m².
- Área segundo piso 204.96 m².
- Áreas tercer piso 204.96 m².

2) Planos existentes.

- El área total de la edificación es de 614.88 m².
- Área primer piso 204.96 m².
- Área segundo piso 204.96 m².
- Áreas tercer piso 204.96 m².

PLANTA ARQUITECTÓNICA PRIMER NIVEL

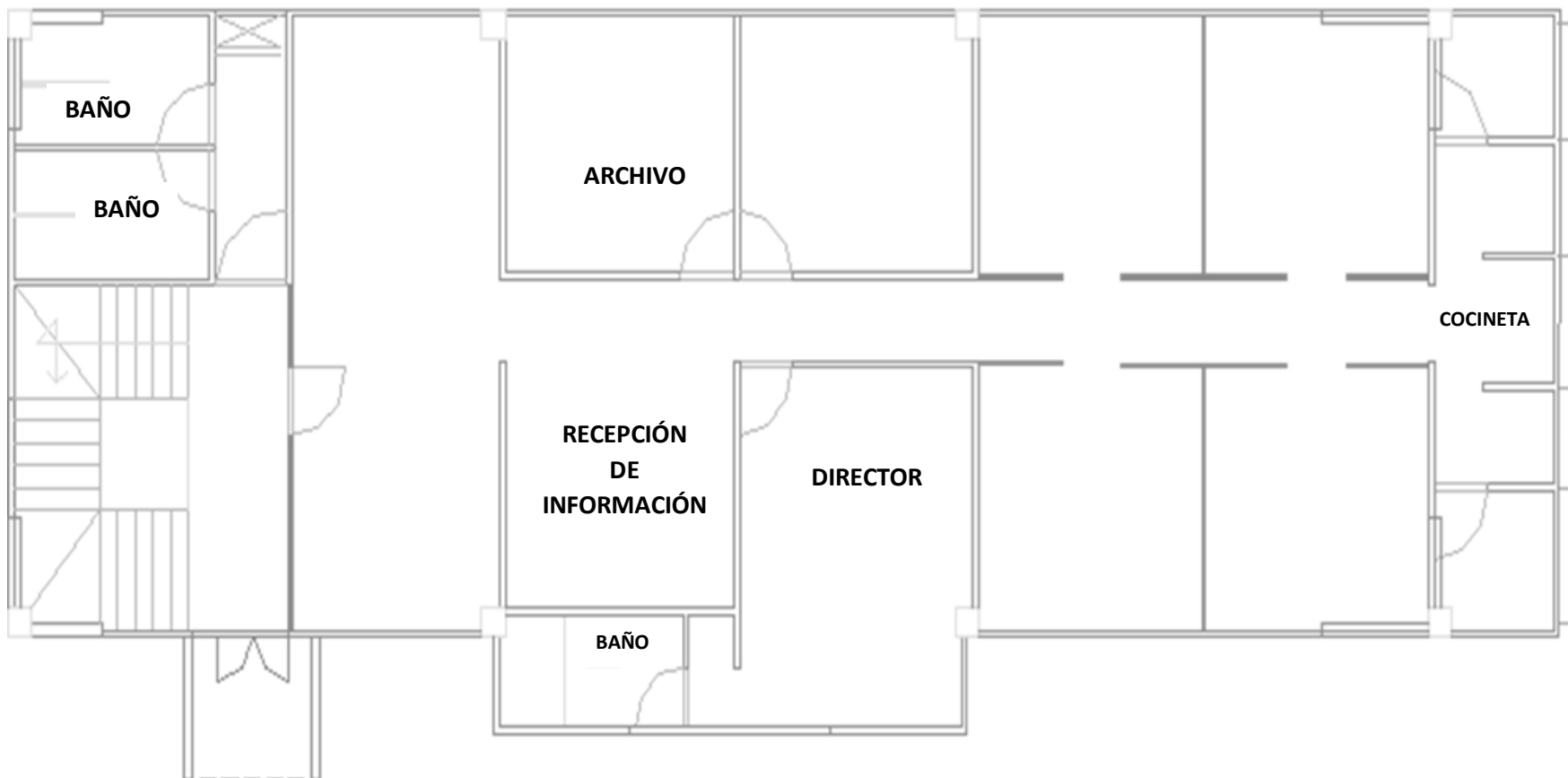


Figura 2. *Planta Arquitectónica Primer Nivel.* Fuente: Invías. Sincelejo Sucre.

PLANTA ARQUITECTÓNICA SEGUNDO NIVEL

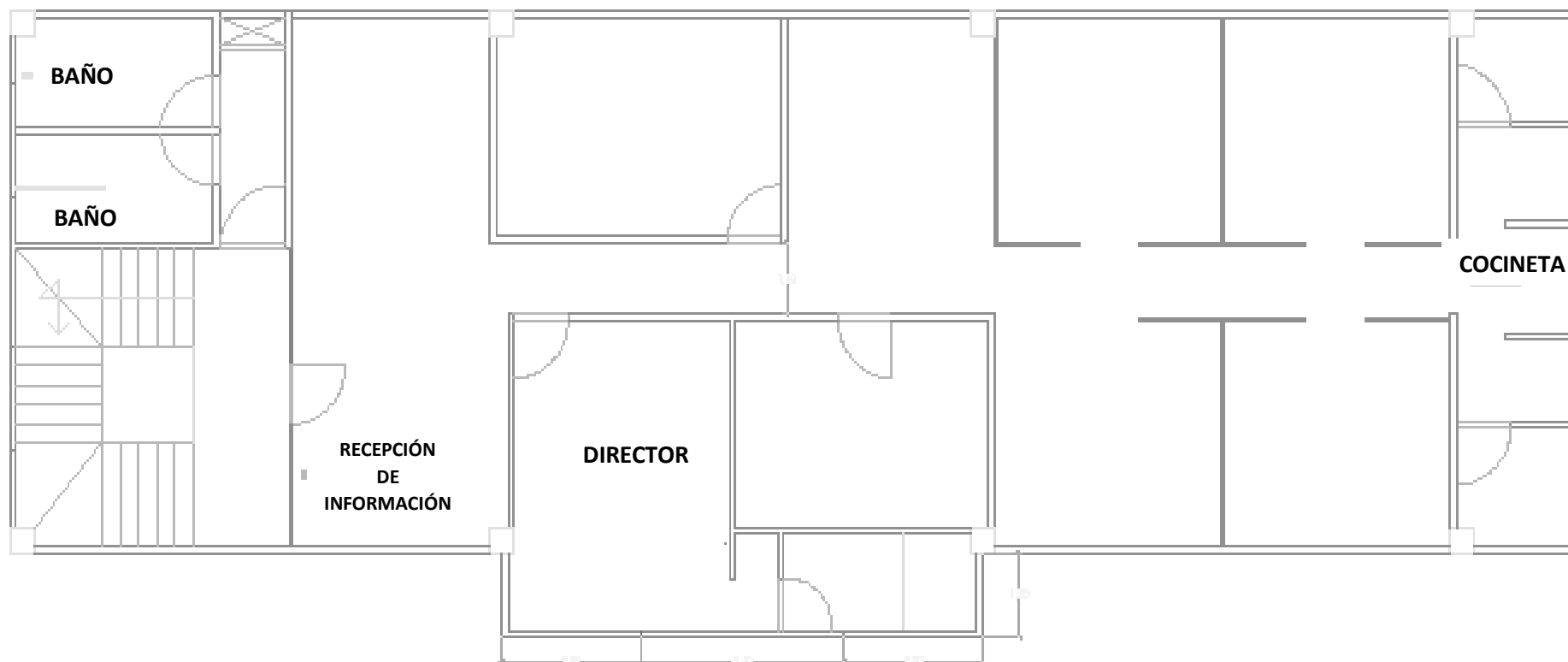


Figura 3. Planta Arquitectónica Segundo Nivel. Fuente: Invías. Sincelejo Sucre.

PLANTA ARQUITECTÓNICA TERCER NIVEL



Figura 4. Planta Arquitectónica tercer Nivel. Fuente: Invías, Sincelejo Sucre.

Tipo de cimentación.

Las dimensiones de las zapatas encontradas, tanto en la primera y en la segunda exploración, presentan las mismas dimensiones.

- Exploración de Cimentación 1 = 2.40 mts X 2.40 mts. X 0.50 mts.
- Desplante Exploración Cimentación 1 = 0.90 mts.
- Exploración de Cimentación 2 = 2.40 mts. X 2.40 mts x 0.50 mts.
- Desplante Exploración Cimentación 2 = 0.90 mts.
- Las columnas presentan dimensiones de 0.40 mts. X 0.40 m con acero de refuerzo longitudinal 5 barras # 3 separación entre barras de 6 cm. Con estribos 3/8 corrugado a cada 15 cm con un recubrimiento de 2,5 cm.
- Longitud de columnas entre placas: 3.20 metros.
- Las losas de entrepisos son en placa maciza en concreto reforzado con un espesor de 15 cm, más 5 cm de plantilla para pisos.



Figura 5. Exploración de cimentaciones. Tomada por el autor.



Figura 6. Fotografías Dimensiones Zapata 1. Tomada por el autor.



Figura 7. Exploración de muro y cimentación. Fuente: Tomada por el autor.

Visita preliminar, verificación del estado del paciente.

El sistema estructural encontrado en la exploración del edificio, consta de un sistema estructural combinado de pórticos de concreto y muros estructurales.

Levantamiento de grietas y fisuras.

Se presentan el levantamiento visual de fisuras y grietas encontradas en la edificación.

Cuadro de convenciones:




CONVENCIONES	
	Grietas de ancho menor a 3mm
	Grietas de ancho entre 3mm y 7mm
	Grietas de ancho mayor a 7mm

Figura 8. Convenciones.

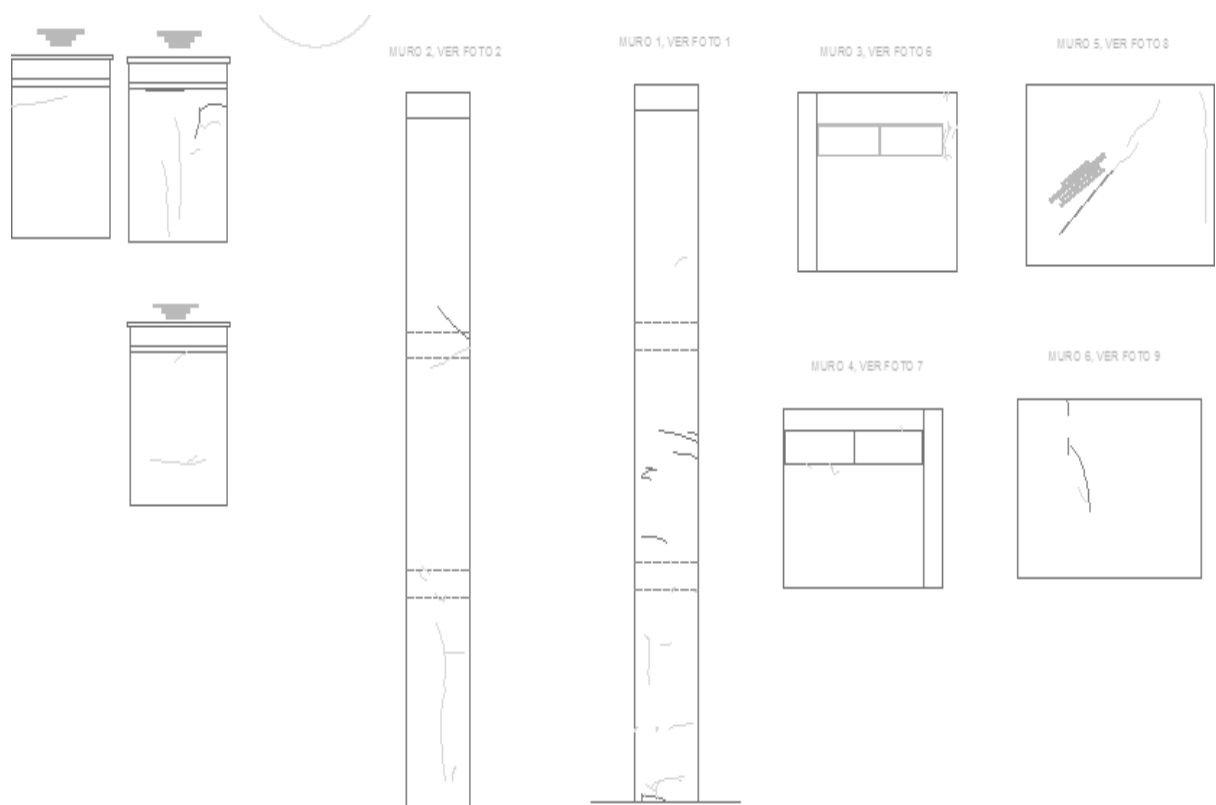
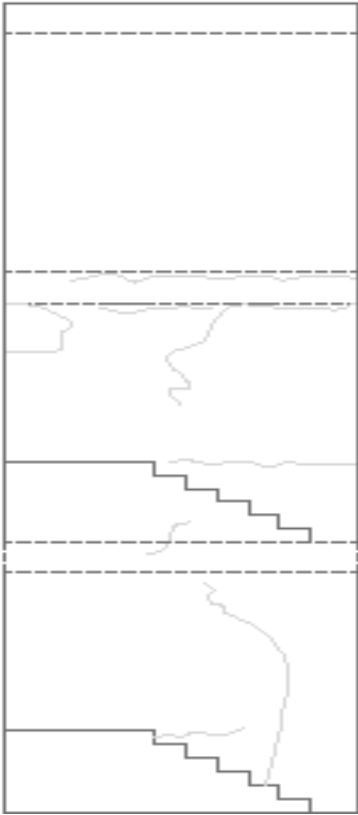


Figura 9. Esquemas de Grietas Primer Piso. Realizada por el autor.

Segundo piso.

MURO 7 ESCALERAS, VER FOTO 10 Y 11



MURO 8, VER FOTO 12



Figura 10. Esquemas Grietas Segundo Nivel. Realizada por el autor.

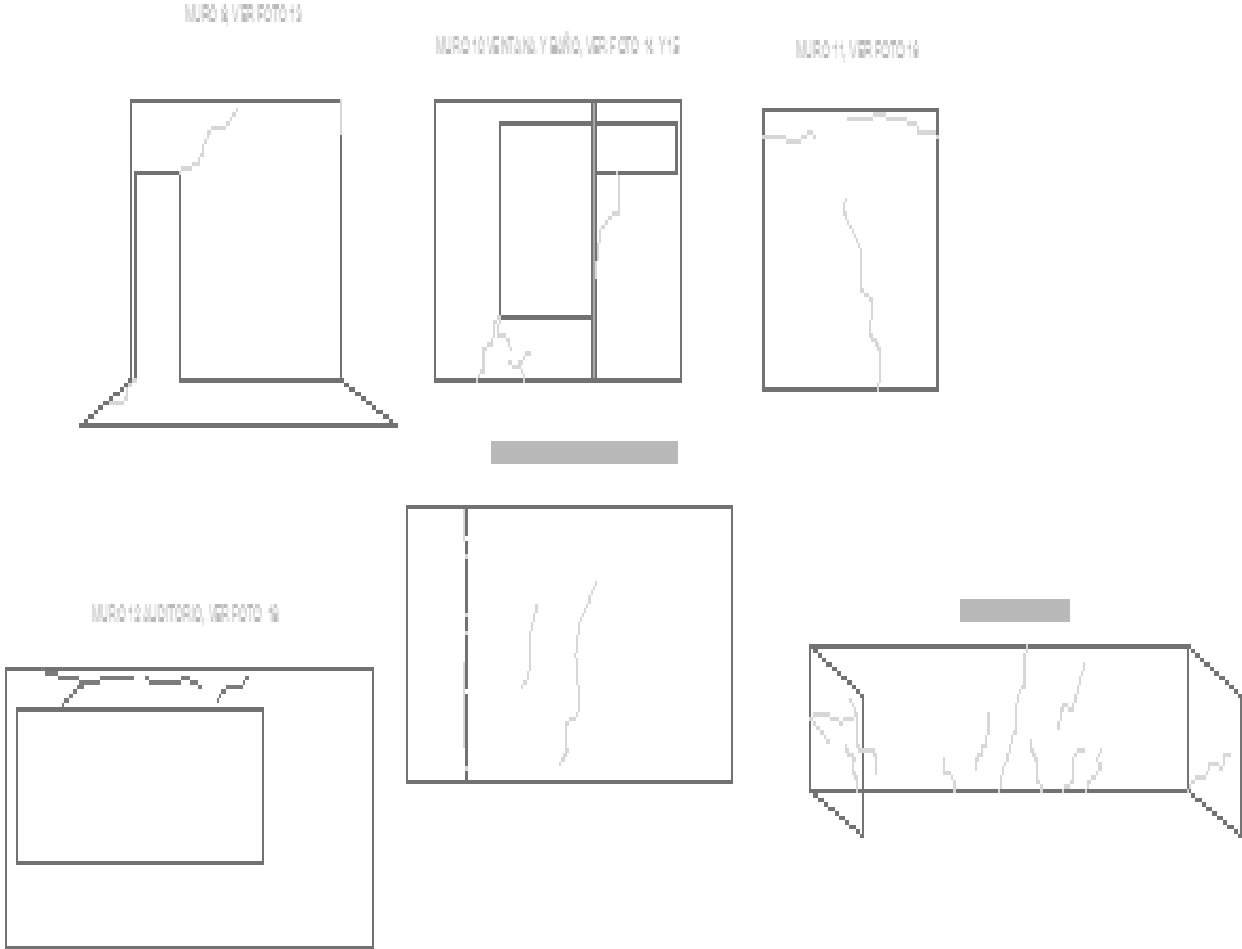


Figura 11. Esquema de Grietas Tercer Nivel. Realizada por el autor.

FACHADA 1

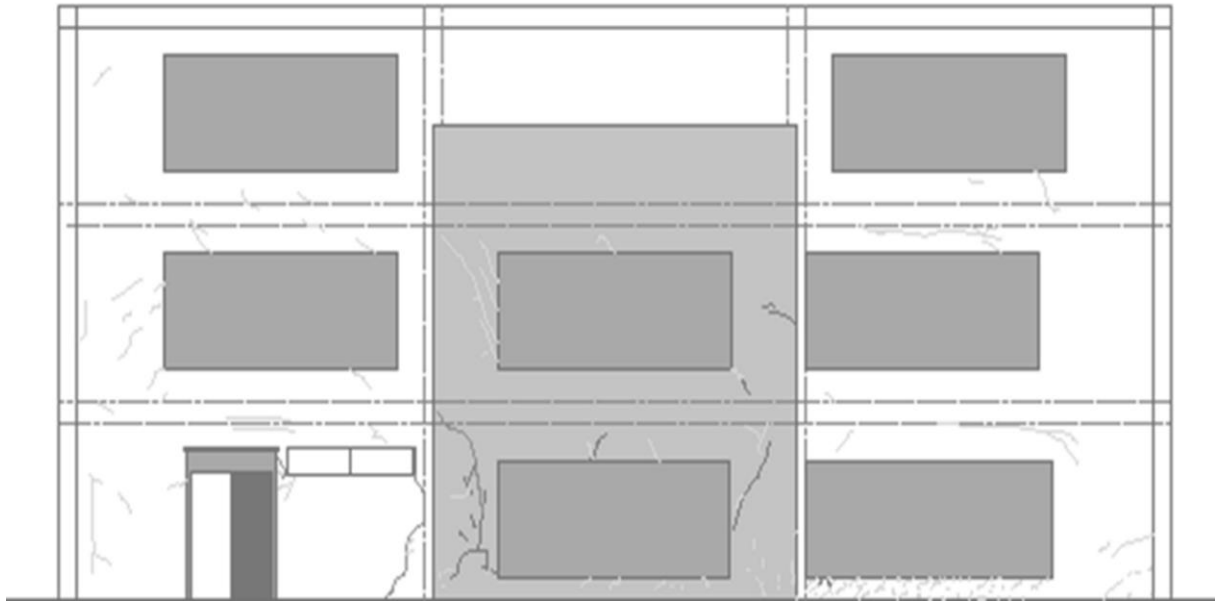


Figura 12. Esquema de Grietas Fachada 1. Realizada por el autor.

FACHADA 2

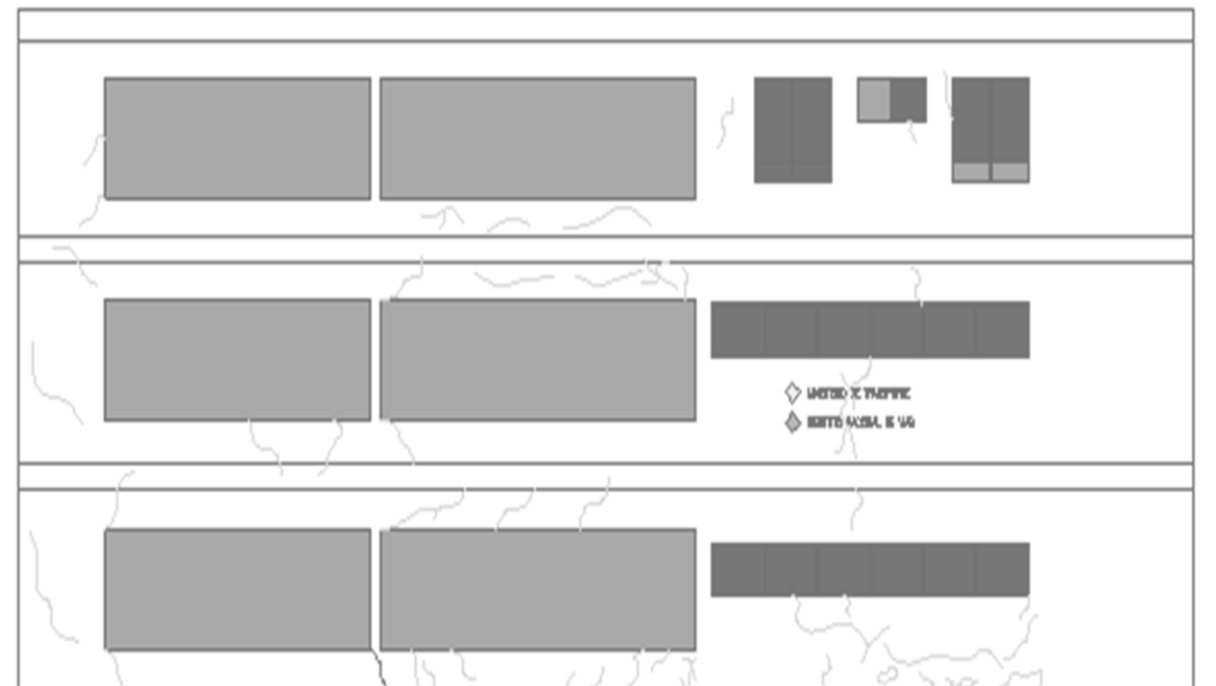


Figura 13. Esquema Grietas Fachada 2. Realizada por el autor.

FACHADA 3

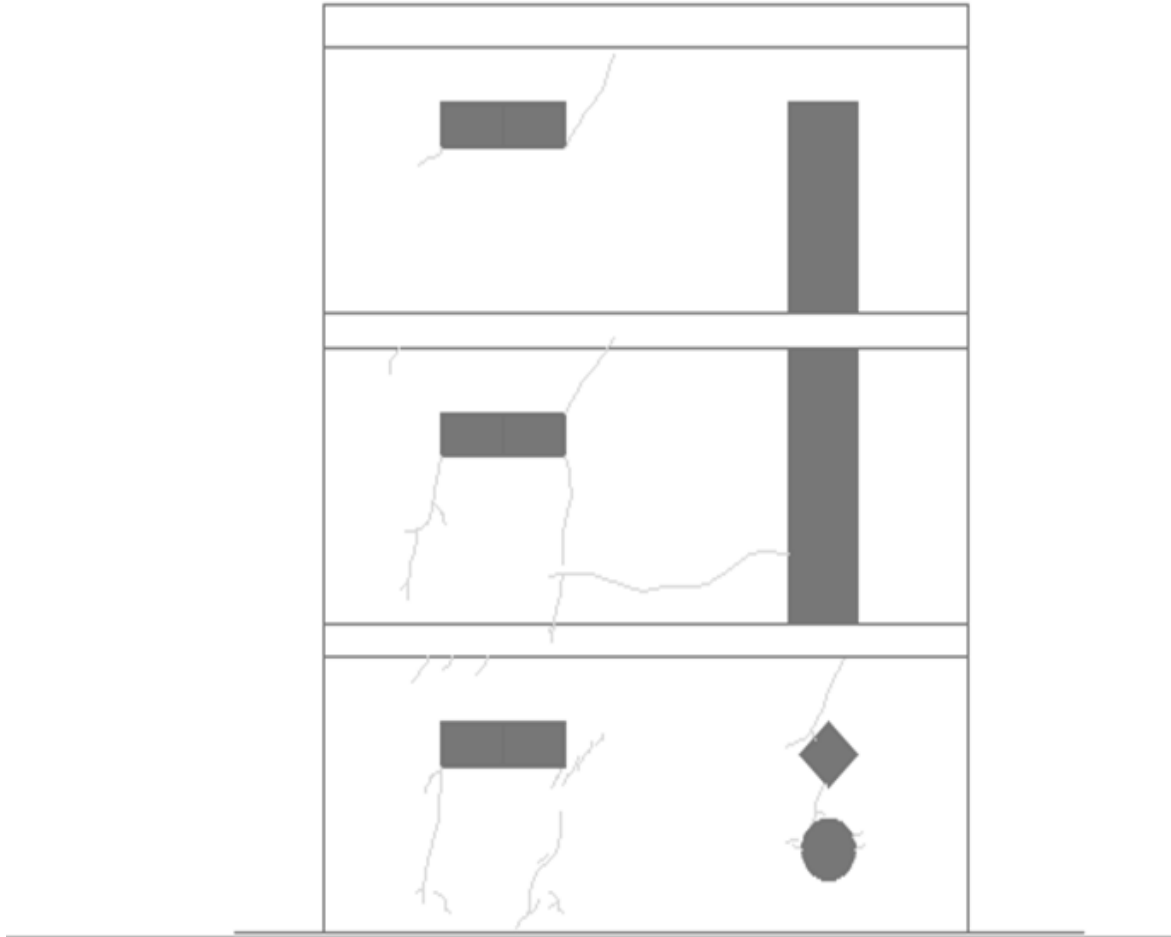


Figura 14. Esquema de Grietas Fachada 3. Realizada por el autor.



Figura 15. Grietas, Humedad y Otras Patologías en la Estructura. Tomada por el autor.



Figura 16. Grietas en los Muros de la Estructura. Tomada por el autor.



Figura 17. Fisuras en los Muros de la Fachada. Tomada por el autor.

Estructura.

1) Análisis de carga.



Figura 19. Ensayo de Carbonatación. Realizado por el autor.

Carbonatación en el concreto

Debido a la porosidad del hormigón el CO₂ de la atmósfera penetra en su interior produciendo la reacción entre el CO₂ y la fase acuosa intersticial saturada de hidróxido cálcico del hormigón y de los compuestos hidratados del cemento. A causa de esta reacción el pH del hormigón desciende a valores menores de 9, esto supone una deficiencia en la protección de las armaduras quedando expuestas a la corrosión. Se produce un gran cambio en el hormigón habiendo grandes diferencias de pH, unas con pH>12 y otras con pH<9.

El avance del frente carbonatado se puede predecir mediante la siguiente fórmula:

$$X_c = K_c * \sqrt{t}$$

Siendo:

X_c = profundidad de la capa carbonatada en mm.

K_c = Constante de carbonatación en mm/año^{0.5}.

t = Tiempo en años

El desarrollo de la carbonatación depende de varios factores como por ejemplo el contenido de CO₂ de la atmósfera, la permeabilidad del hormigón, el contenido y tipo de cemento y la humedad del ambiente.

La cantidad de CO₂ será mayor en zonas contaminadas como las zonas urbanas y especialmente en aparcamientos subterráneos, por tanto, el avance de la carbonatación será mayor. Un hormigón permeable se da con relaciones a/c altas, es un hormigón muy poroso que favorece la carbonatación. Cuanto mayor sea el contenido de cemento más será la dificultad de avance de la carbonatación. Las humedades óptimas para que se produzca la carbonatación son del 50-60%. Con humedades muy bajas, o, muy altas, (hormigón saturado), el proceso de carbonatación se dificulta.

Para comprobar si un hormigón está carbonatado se suelen utilizar indicadores de pH que cambian de color. El más común es la solución de fenolftaleína al 1% en etanol que colorea de púrpura o rosa al hormigón con pH superior a 9,5.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de cada una de las muestras extraídas en campo. De igual forma se muestran las fotografías de los resultados de las mediciones realizadas. De igual forma se realiza el cálculo de la constante de carbonatación para cada elemento con las fórmulas presentadas anteriormente, que se encuentra en función de la profundidad de carbonatación y del tiempo de uso de la estructura desde su funcionamiento apenas se terminó la construcción:

CARBONATACIÓN			
CILINDRO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD CARBONATACIÓN (cm)	CONSTANTE DE CARBONATACIÓN mm/año^{0.5}
N1 - C1	Tercer Piso	1,5	4,743
N2 - V1	Tercer Piso	1,4	4,427
N3 - V2	Tercer Piso	1,2	3,795
N4 - C2	Segundo Piso	1,0	3,162
N5 - PLA1	Tercer Piso	2,0	6,325
N5 - V3	Segundo Piso	1,8	5,692
N6 - M1	Primer Piso	1,0	3,162
N7 - M2	Primer Piso	1,5	4,743
N8 - M3	Primer Piso	1,5	4,743
N9 - Z1 Y Z2	Zapatas	1,3	4,111

Vida de uso de estructura (años).

Figura 20. Carbonatación. Realizada por el autor.

Como se puede observar en los datos obtenidos en la tabla de carbonatación, las columnas y vigas analizadas en esta parte de la edificación, aún no han presentado el inicio de la etapa de corrosión del acero, ya que están presentando profundidades de la capa carbonatada en el orden de los 2.5 cm en promedio y un valor máximo de 3.5 cm comparado con la profundidad del recubrimiento del acero que se encuentra en el orden de los 5 cm, lo cual es un punto bueno para el comportamiento de los elementos estructurales de los sistemas de pórtico ya que a pesar de la estructura tener casi los 10 años de servicio aún no se ha dado la etapa de iniciación de corrosión del acero, y de acuerdo al factor de carbonatación, se estima que esta etapa de iniciación se de en 40 años de servicio, es decir dentro de unos 40 años aproximadamente para el elemento de columnas 1 que es el que presentan una mayor profundidad de carbonatación y un recubrimiento de 5 cm, lo que indica que el concreto en

términos de durabilidad está bien. A continuación, se muestra el cálculo de este procedimiento:

$$X_c = K_c * \sqrt{t}$$

X_c =	30	mm
K =	4.743	Mm.
t =	40.00	/y1/2 Años

Cálculo del tiempo de iniciación de la corrosión en la columna 1.

Figura 21. Cálculo del Tiempo de Iniciación de la Corrosión.

Con este mismo procedimiento, y los datos de la tabla de los resultados de la carbonatación se puede ver que la etapa de iniciación de la corrosión en los otros elementos tipo pórtico (vigas y columnas), están proyectados a iniciar dentro de 60 Años en promedio. De los cálculos de este ensayo se puede determinar que el PH del concreto en promedio es superior a 11, por lo que se puede concluir que en cuanto a este punto de vista Patológico, el concreto se encuentra en un buen estado.

Determinación de cantidad de óxido férreo

En el estudio de elementos estructurales de hormigón, ante la posible presencia de cemento aluminoso en los mismos, se han estado buscando métodos cualitativos de análisis para conseguir su detección de una manera fácil, segura y rápida.

Uno de estos métodos cualitativos, quizás el más utilizado, es el de la “oxina” que reacciona con el aluminio formando un complejo insoluble amarillo, sin embargo, en la práctica, los resultados de su aplicación pueden verse falseados por una serie de factores interferentes (carbonatación del cemento, presencia de sulfatos, existencia de áridos

“aluminosos” baja dosificación en cemento, que obligan a que como mínimo, el ensayo debe ser realizado por personal experimentado.

Con el fin de aportar soluciones a estos problemas, se propone este nuevo método de detección de cemento aluminoso en el hormigón.

Significativamente la relación en este caso concreto del hormigón en estas condiciones se forma, además grandes cantidades de carbonato de cálcico, blanco, con que las colaboraciones atribuidas al hierro solo son perceptibles cuando existen proporciones importantes del ion metálico; circunstancia esta que se da en presencia de cemento aluminoso.

Toma y preparación de muestras

Ante la posibilidad de obtener resultados engañosos en hormigones aluminosos con muy baja dosificación en cemento o en hormigones de cemento portland con áridos ferrosos, si se tomara una muestra representativa de tal hormigón, debe aplicarse el método de análisis propuesto directamente sobre la pasta del mismo, o sea, sobre la zona rica en mezcla cemento arena y siempre como es lógico, en muestras exentas totalmente de contaminación férrica procedente de las armaduras.

En consecuencia, la toma de muestra tiene que realizarse del modo siguiente:

- Obtener uno o varios trozos de hormigón seco del cemento a analizar.
- Eliminar totalmente los posibles restos de materiales ajenos al hormigón.
- Con cuidado por ejemplo con varios alicates de mandíbula estrecha, coger la cantidad suficiente de pasta, de entre los intersticios del árido, evitando las zonas con manchas o residuos de óxido de las armaduras, la misma herramienta puede servir, a su vez, para triturar la muestra recogida.

Reactivo

Todos los reactivos que intervienen en las disoluciones utilizadas en la aplicación del método de análisis, son de calidad.

Disolución de ácido clorhídrico del 50%. En un recipiente de vidrio provisto de tapón, se adicionan 50 ml de ácido clorhídrico concentrado de 37%. ($d = 1,19$) y 50 ml de agua destilada.

Disolución de carbonato sódico hidróxido de sódico; en unos 70 ml de agua destilada se disuelven 20 g de carbonato sódico anhidro y 7 g de hidróxido sódico del 97%.

Realizando el ensayo según el método operatorio indicado, se obtendrá uno de los siguientes resultados:

- Color verde en la disolución clorhídrica inicial, junto con un precipitado pardo o pardo naranja, con carbonato/hidróxido de sodio: indican la presencia de cemento aluminoso en el hormigón.
- Un color amarillo de la disolución clorhídrica y un precipitado blanco o amarillo muy pálido con carbonato/hidróxido sódico: indican la ausencia de cemento aluminoso en el hormigón.

Ensayo de compresión de cilindros

A continuación, se presentan los datos arrojados en el ensayo de compresión de los cilindros.

En el registro fotográfico se evidencia la toma de muestras tomadas en el edificio Invías, sede Sincelejo.



Figura 22. Extracción de Núcleos en Diferentes sitios de la estructura. Tomada por el autor.



Figura 23. Extracción de Núcleos en Diferentes partes de la Estructura. Tomada por el autor.

Exploraciones con ferro escáner



Figura 24. Exploración con ferro escáner. Tomada por el autor.



Figura 25. Exploraciones en la Estructura en los Tres Niveles. Exploración Columna de Tercer Piso y Separación Entre Barras, Columna 2 Tercer Piso. Tomada por el autor.





Figura 26. Exploración en las Losas de Todos los Niveles. Dimensiones Placa en el Tercer Piso. Tomada por el autor.

Exploraciones realizadas



Figura 27. Exploraciones Realizadas. Planta Arquitectónica Primer Nivel. Realizada por el autor.



Escarigrafía columna tercer piso.



Figura 28. Exploraciones en la Estructura y Planta Arquitectónica Primer Nivel. Tomada por el autor.

Estudio de vulnerabilidad sísmica

- Paso 1: De acuerdo al objeto del estudio, la estructura a intervenir hace parte de los siguientes alcances que se encuentran en la Norma:
 - ❖ Reforzamiento estructural: Por lo que se puede decir que las estructuras a analizar se encuentran dentro del alcance y se sigue con los siguientes pasos.
- Paso 2: Con respecto a la información existente de la estructura en estudio, se realizó el levantamiento y la toma de los datos necesarios para la evaluación de la estructura.
- Información previa: Con respecto a la información sobre la estructura en estudio, en cuanto a planos existentes, estudios de suelos y procedimientos

constructivos, no se tiene información.

- Paso 3: Levantamiento de la estructura y estado del sistema estructural: Con respecto al estado del sistema estructural general de la estructura se tienen los datos del trabajo de campo realizado.

(Ver capítulo: levantamiento y descripción de estructura existente).

Evaluación de la estructura existente

- Paso 4 al paso 10: Solicitaciones equivalentes y análisis elástico de la estructura.

La estructura se analiza con los resultados obtenidos del levantamiento estructural y de los ensayos de resistencia del concreto y distribución del acero.

Análisis de carga

De acuerdo a la exploración realizada en la estructura, se realiza el análisis de carga para poder hacer la modelación con las secciones obtenidas, resistencia y distribución de los elementos, y las cargas que presentan.

Cargas de entrepisos y cubiertas.

Tabla B.3.4.3-1
Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales
cuando no se efectúe un análisis más detallado

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m ²) m ² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin ascensores	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
Educativos	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
Fábricas	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
Institucional	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
Comercio	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
Residencial	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacenamiento	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
Garajes	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Figura 29. Valores mínimos de carga muerta no estructurales. Fuente Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

Tabla B.4.2.1-1
Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
Fábricas	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
Comercio	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
Residencial	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
Almacenamiento	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Figura 30. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas. Fuente Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

Tabla B.4.2.1-2
Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Figura 31. Cargas vivas mínimas en cubiertas. Fuente Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

En conclusión, la estructura se analiza con los resultados del levantamiento realizado, estudio de suelos y los ensayos en el concreto con las extracciones de núcleo realizadas. El procedimiento a realizar se detalla posteriormente.

Diseño estructural

Todo el análisis y diseño de la estructura se realizará con concreto de resistencia promedio de 2.100 PSI (Aproximadamente 15 MPa), como arrojan los resultados de las extracciones de núcleo. Igualmente, el acero para los cálculos es de 420 MPa (60.000 PSI). El diseño estructural se realizó con los pasos mostrados el capítulo A de la NSR 10, el cual indica el “*procedimiento de diseño y construcción*”, específicamente en el artículo A.1.3.4 el cuál hace parte del diseño estructural. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Paso 1. Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales.

El sistema estructural se compone de sistema de pórticos en concreto y muros estructurales. Las dimensiones se escogen de acuerdo al levantamiento y los requisitos dados.

- Paso 2. Evaluación de las solicitaciones definitivas.

Con las dimensiones de los elementos de la estructura definida como resultado del paso número 1, se evalúan ahora todas las solicitaciones que pueden afectar la edificación de acuerdo a los requisitos del título B de la NSR 10. La masa de la estructura se determina con la carga muerta que se presenta en el análisis de carga.

- Paso 3. Obtención del nivel de amenaza sísmica, características de la estructuración y del material estructural empleado, y procedimiento de análisis.

Este paso consiste en localizar el lugar donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica dados en el capítulo A.2 del reglamento y en determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar, de acuerdo al valor del parámetro

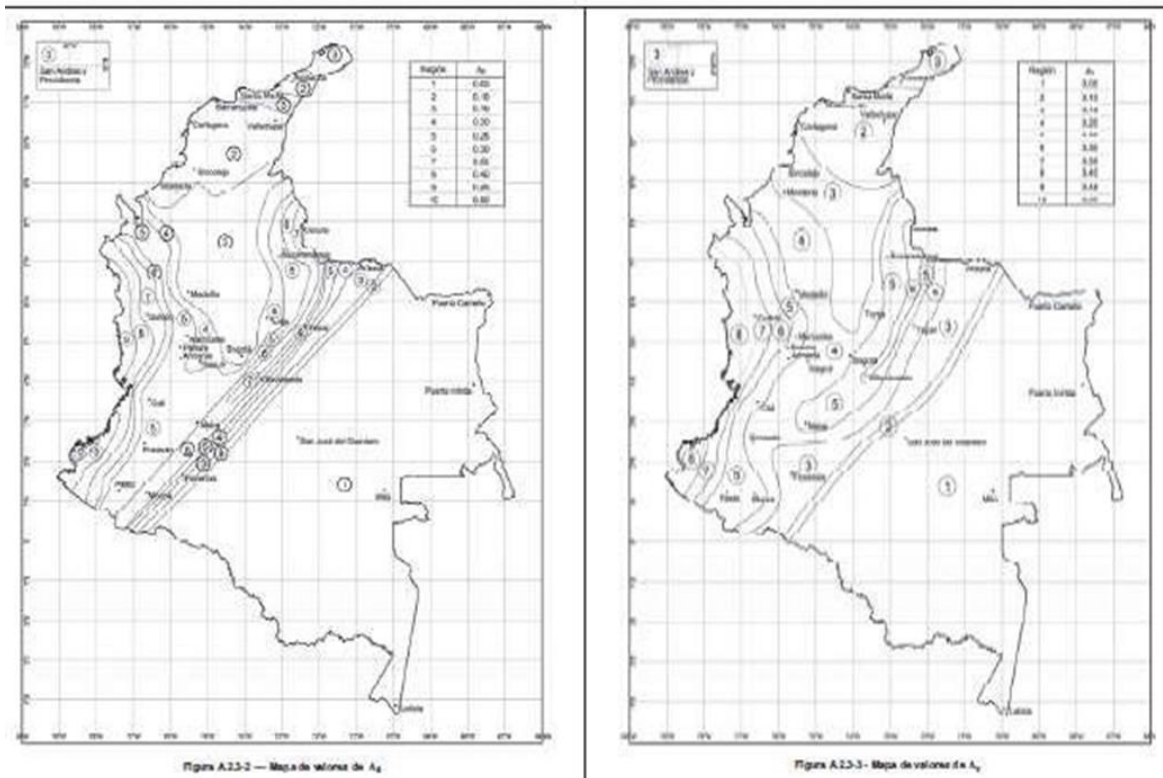


Figura 33. Mapa de valores. Fuente Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

De las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3, y de la tabla A.2.3-2 de la NSR 10, el Municipio de Sincelejo tiene el A_a es de 0.10 y el A_v de 0.15. De acuerdo a los estudios de suelos, los perfiles de suelo trabajados son D para la estructura. El grupo de Uso escogido es Grupo II por ser una edificación Institucional.

- Paso 4. Combinación de las diferentes solicitaciones.

Se tienen en cuenta las diferentes combinaciones que están en el capítulo B.2 del reglamento, para obtener las fuerzas internas de diseño de las estructuras. Para el diseño de los elementos definitivos, el efecto causado por el sismo, tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de diseño, E, obtenido dividiendo la fuerza sísmica

que se determinó anteriormente, con el coeficiente de capacidad de disipación de energía R.

- Paso 5. Revisión de los elementos estructurales.

Se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos propios del sistema de resistencia sísmica y del material estructural utilizado. La parte de la revisión del diseño, se muestra las memorias resultantes de los diferentes programas utilizados, que trabajan con los momentos y fuerzas cortantes, obtenidas en el análisis que se realizó con el uso de las diferentes combinaciones.

Determinación de índices de sobreesfuerzo

De los resultados antes obtenidos se puede obtener un resultado de los siguientes elementos estructurales tipo columna:

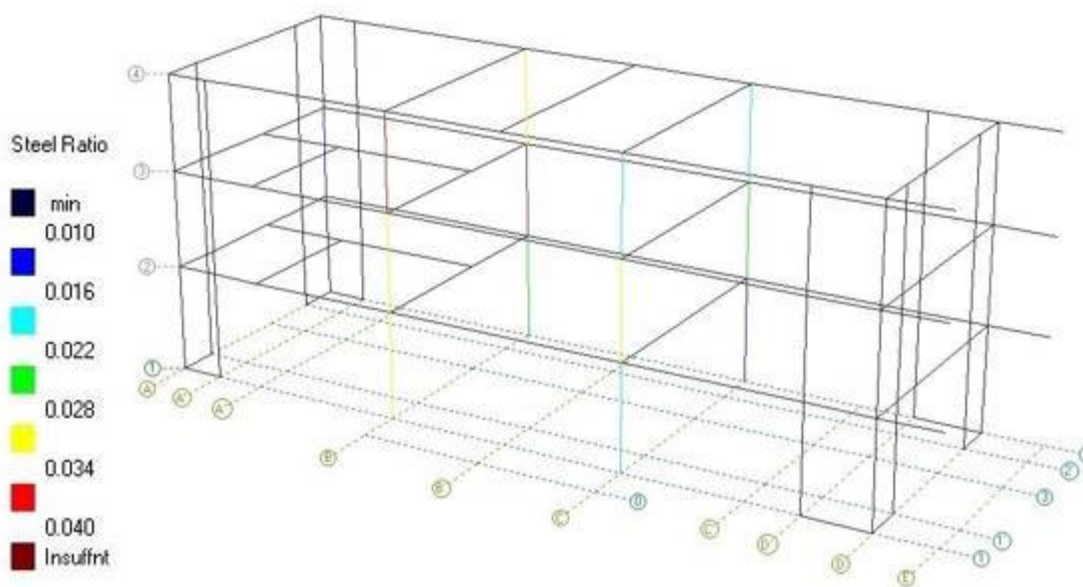


Figura 34. Índice de sobreesfuerzo estructural. Elaborada por el autor.

De esta gráfica se puede observar que las columnas del eje B1, B2, C1 y C2 presentan índices de sobre-esfuerzos superiores a 1, incluso a 2, sobre pasando su capacidad de respuesta antes las diferentes sollicitaciones de cargas de las combinaciones utilizadas, en la que están incluidos los sismos, siendo estos los que producirían un daño considerable a la edificación en caso de presentarse.

Con respecto a los índices de deflexión de las columnas se puede decir que solo este parámetro se está cumpliendo en su totalidad, y esto se puede observar en el resultado de las tablas de las derivas presentadas anteriormente. Con respecto a este punto, se puede decir que se este parámetro se cumple sin problema debido a que en la edificación existente cuatro muros en concreto reforzado a cortante, ubicados estratégicamente en planta, lo cual hace que las derivas estén incluso por debajo del 0.5%, en la que la deriva máxima permitida por la NSR-10 es del 1%. Esto a pesar de que la resistencia del concreto de estos elementos tipo muro, así como el de las columnas, están por debajo de los 15 MPa.

En cuanto a las vigas en la siguiente imagen se puede observar cómo los esfuerzos aplicados en gran parte de la viga superan los esfuerzos resistentes, principalmente por efectos de las cuantías de acero que se tienen. De igual forma se puede observar que los índices de deflexión son mayores de 1 en casi todas las vigas, lo que indica que estas placas no cumplen con las deflexiones máximas permitidas.

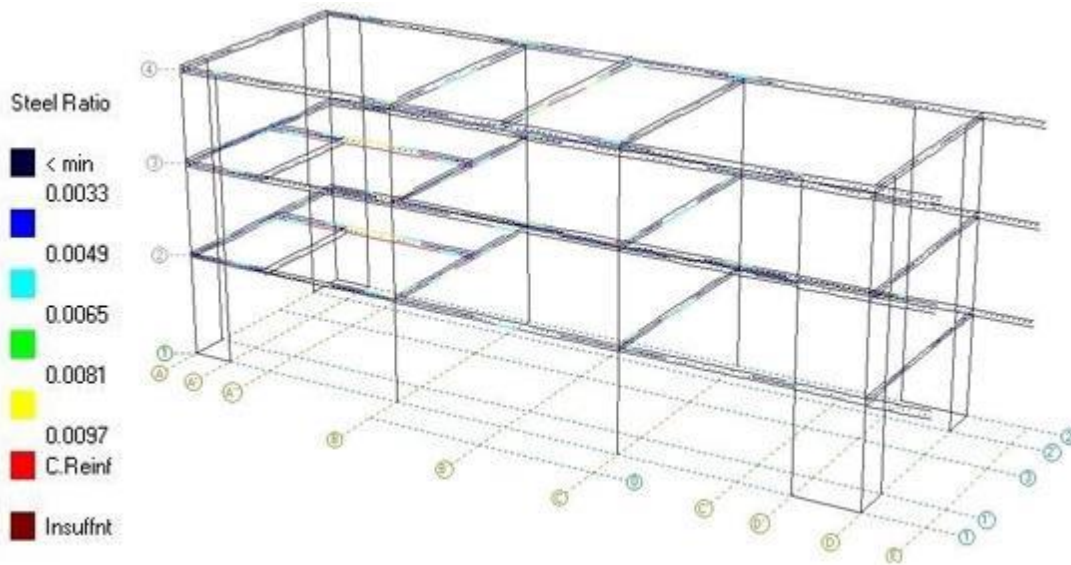


Figura 35. Elaborada por el autor.

De igual forma se puede decir que las losas macizas en concreto reforzadas, que tienen un espesor de 15 cm, no cumplen con las dimensiones mínimas para las luces presentadas entre los apoyos tipo vigas, en la que se tienen luces entre ejes de 8 metros, pidiendo un espesor por tabla de la NSR 10 de alrededor de los 24 cm requeridos. Realizando la revisión de estas losas con los 15 cm, se concluye que los índices de sobre esfuerzos y de las deflexiones presentadas, superan los índices permitidos.

Con respecto a las cimentaciones encontradas, se puede concluir que algunas de las zapatas existentes presentan sobre-esfuerzos, una vez modelada la estructura para las diferentes combinaciones de cargas de la Norma NSR 10. En la siguiente imagen nos podemos dar cuenta que las zapatas que presentan problemas son las zapatas del eje B, C y D:

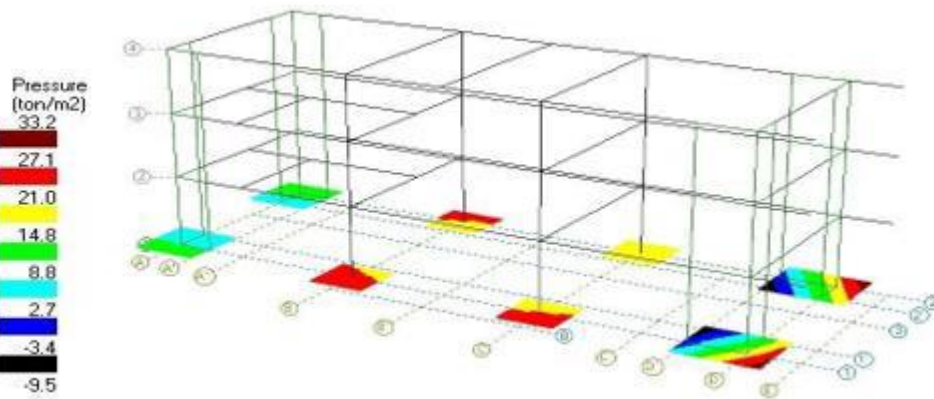


Figura 36. Elaborada por el autor.

De los muros estructurales se puede decir que los índices de sobre esfuerzos presentados se encuentran por debajo de la unidad, debido a las dimensiones de estos y su ubicación. En la siguiente imagen podemos ver estos esfuerzos:

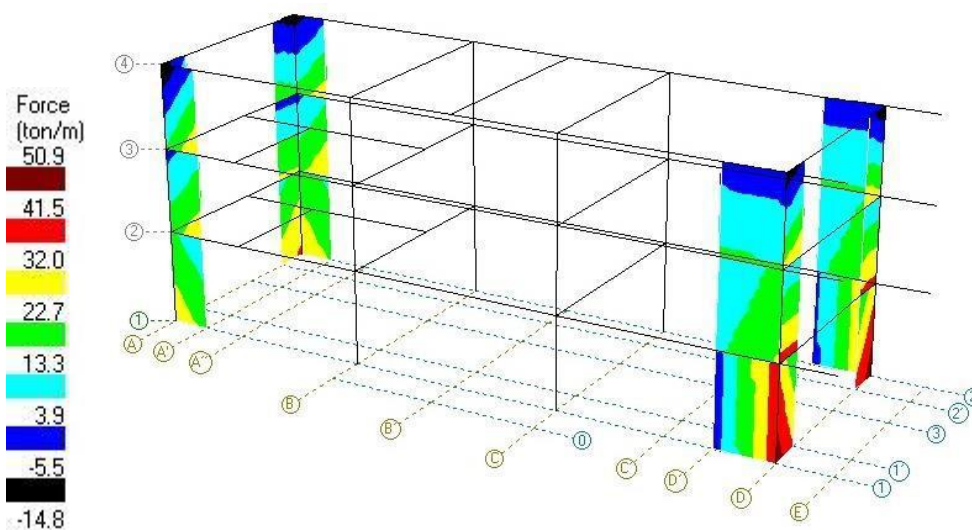


Figura 37. Elaborada por el autor.

Análisis de resultados de la estructura actual

Los resultados obtenidos del modelo y de los diferentes problemas encontrados, relacionados con el estado actual del edificación se plantean las

siguientes recomendaciones, las cuales son actividades que se deben realizar para garantizar el buen comportamiento de las estructuras para garantizar una buena respuesta de estas ante las diferentes sollicitaciones de cargas que se puedan presentar, y asegurar la seguridad de la estructura y de las personas que trabajan a diario en esta edificación.

Se recomienda reforzar la estructura, debido a las siguientes consideraciones y resultados del análisis de la estructura.

- Debido a la resistencia que se obtuvo de los ensayos de extracción de núcleo:

La estructura no cumple con las resistencias mínimas exigidas por la norma NSR-10 para este tipo de estructuras, en las que se presentan resistencias a la compresión del concreto inferior a los 15 MPa.

- Debido al refuerzo existente en los elementos estructurales:

El refuerzo encontrado en la estructura de las columnas no cumple con la cuantía mínima de refuerzo requerida por las combinaciones de cargas y las sollicitaciones de cargas.

- Debido a las secciones actuales:

En la columnas, las secciones están cumpliendo en cuanto a cumplimiento de derivas, pero como los refuerzos presentan cuantías menores a los requeridos, estos elementos no están cumpliendo. Las secciones de las vigas, no se cumple, ni en cuanto a sección ni en cuanto a refuerzo.

- Debido a la cimentación existente:

La cimentación encontrada no cumple con los requisitos mínimos de norma, ni con los resultados obtenidos de la modelación de la estructura, ya que las dimensiones son insuficientes y no tiene ningún tipo de refuerzo en acero estructural.

Análisis y diseño de estructura reforzada

Se modela la estructura nuevamente, con el planteamiento de estructuras adicionales tipo metálicas, y de encamisado de unas columnas para poder cumplir con los índices de sobreesfuerzos y de deflexión. Esta modelación se hace bajo los mismos parámetros sísmicos, el mismo análisis de cargas, las combinaciones de cargas y la misma geometría.

A continuación, se presentan las imágenes de los esfuerzos de los elementos de la estructura ya reforzada:

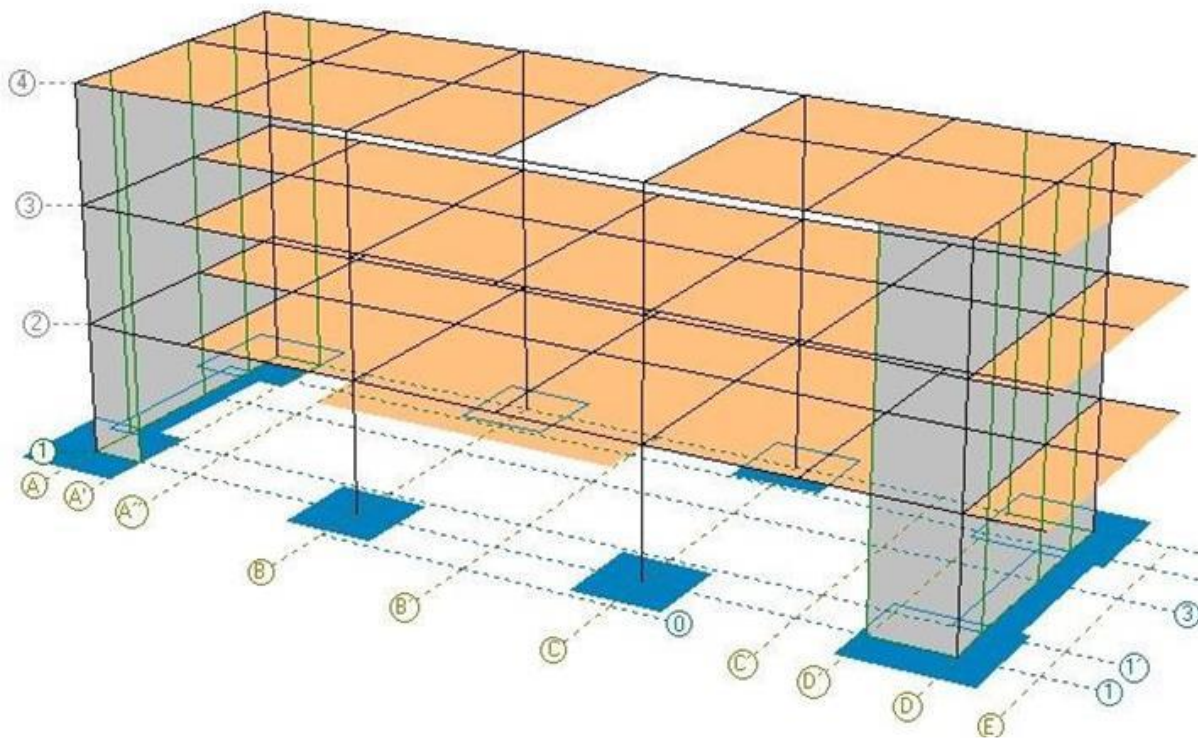


Figura 38. Pórtico con nuevo planteamiento estructural. Elaborada por el autor.

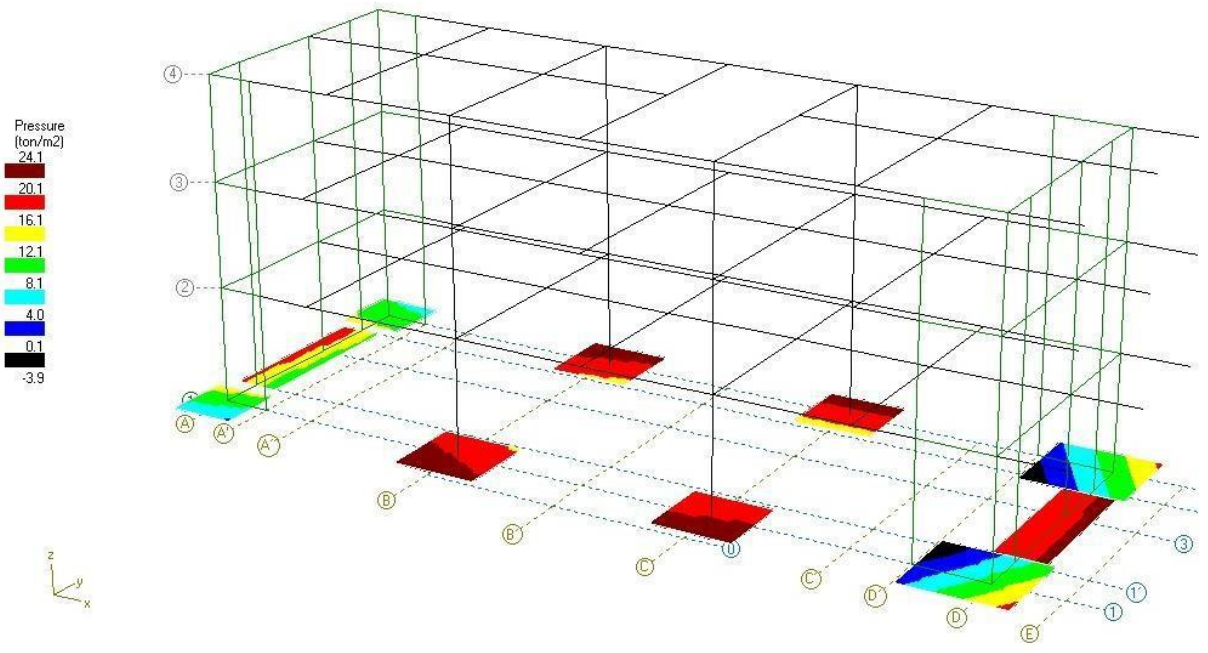


Figura 39. Esfuerzos en los cimientos, nuevo planteamiento. Elaborada por el autor.

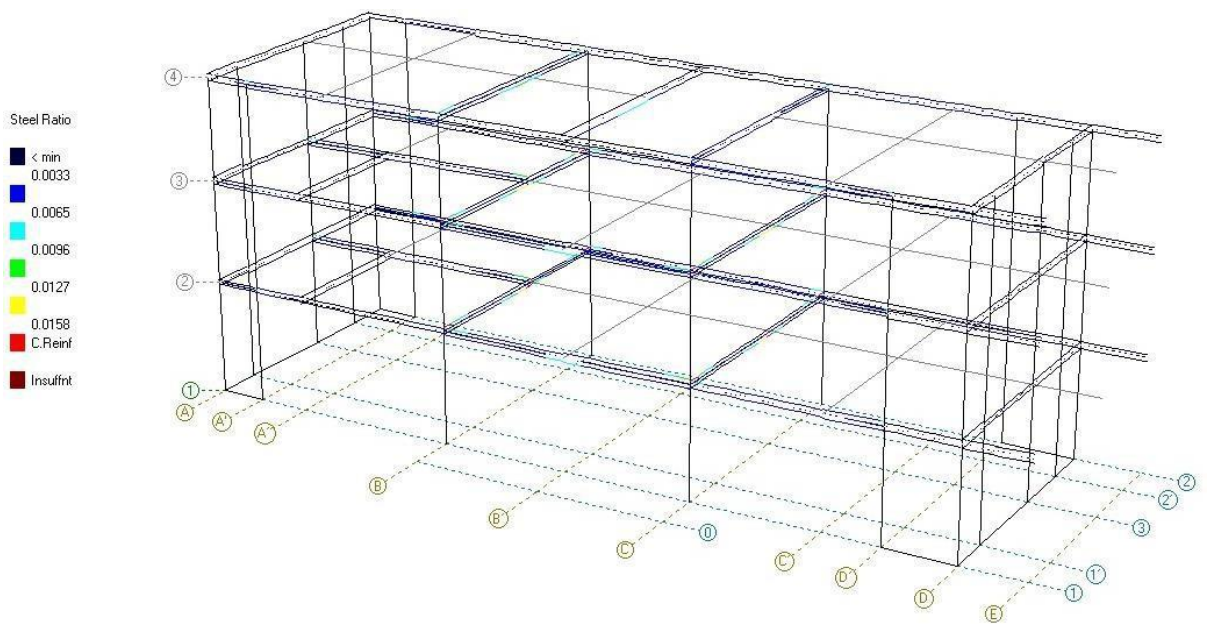


Figura 40. Esfuerzos en vigas reforzadas. Elaborada por el autor.

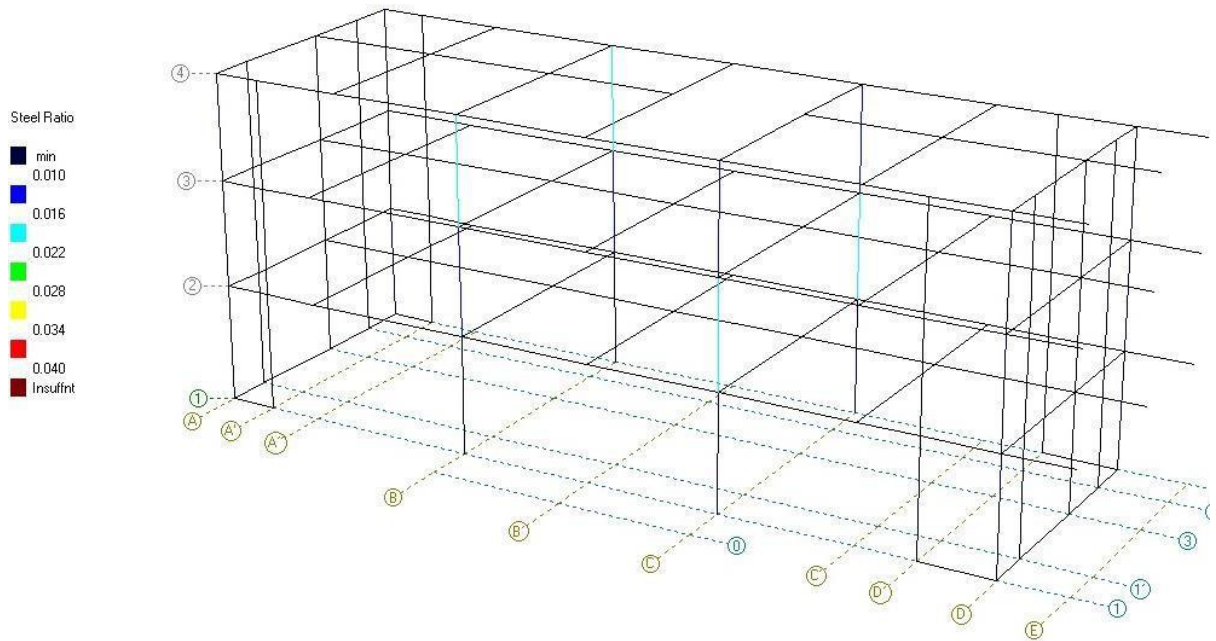


Figura 41. Sobreesfuerzos en las columnas ya reforzadas. Elaborada por el autor.

Procedimiento de reforzamiento de estructura

Dentro del reforzamiento a la estructura existente, se plantea adicionar vigas metálicas debajo de varias de las vigas en concreto reforzado existente para que trabajen en una forma combinada y así poder cumplir con los requisitos de esfuerzos y de deflexiones. De igual forma se plantea colocar perfiles metálicos debajo de las placas, para disminuir las luces entre apoyos de la losa, y para que el espesor de los 15 cm cumpla sin problema. En cuanto a las columnas se plantea realizarles un encamisado a las cuatro columnas centrales de los ejes B y C, para que cumpla con los requerimientos de la NSR 10. En las esquinas, donde se encuentran los muros estructurales, en los ejes A y D, se plantea adicionar un muro estructural entre muro y muro, para aumentar la rigidez de la estructura, y suplir lo de la resistencia a compresión baja del concreto de estas columnas y de estos muros.

Para la cimentación se plantea adicionar unas zapatas debajo de los muros estructurales que se están adicionando, considerando que trabajen como cimentación combinada de las

zapatas existentes de las esquinas. De igual forma se plantea realizar un ensanchamiento y un sobre espesor de las zapatas de los ejes centrales B y C en las que se están aumentando la dimensión de las columnas. En las vigas de cimiento existentes, se plantea adicionarles unos pedestales intermedios para acortar la luz de estas vigas y para que tengan un mejor funcionamiento. Para los muros divisorios, se planea realizar su confinamiento tanto vertical como horizontal debido a la falta de estos componentes en estos muros, esto con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de esto en cuanto a los requisitos de la normativa para estos tipos de muros no estructurales.

En los planos mostrados a continuación se pueden observar estos planteamientos de reforzamiento.

Conclusiones y recomendaciones

Del resultado del análisis de la estructura, se considera lo siguiente:

- Debido a la resistencia que se obtuvo de los ensayos de extracción de núcleo:

La estructura no cumple con las resistencias mínimas exigidas por la norma NSR-10 para este tipo de estructuras, en las que se presentan resistencias a la compresión del concreto inferiores a los 15 MPa.

- Debido al refuerzo existente en los elementos estructurales:

El refuerzo encontrado en la estructura de las columnas no cumple con la cuantía mínima de refuerzo requerida por las combinaciones de cargas y las sollicitaciones de cargas.

- Debido a las secciones actuales:

En lo concerniente a las columnas, las secciones están cumpliendo en cuanto a cumplimiento de derivas, pero como los refuerzos presentan cuantías menores a los requeridos, estos elementos no están cumpliendo. En las secciones de las vigas, no se cumple ni a sección, ni a refuerzo.

- Debido a la cimentación existente:

La cimentación encontrada no cumple con los requisitos mínimos de norma, ni con los resultados obtenidos de la modelación de la estructura. Esto se debe a que las dimensiones son insuficientes y no tiene ningún tipo de refuerzo en acero estructural.

- Planteamiento de reforzamiento de vigas:

Dentro del reforzamiento a la estructura, se plantea adicionar vigas metálicas debajo de varias de las vigas en concreto reforzado, para que trabajen en una forma combinada y así poder cumplir con los requisitos de esfuerzos y de deflexiones. De igual forma se plantea colocar perfiles metálicos debajo de las placas, para disminuir

las luces entre apoyos de la losa, y para que el espesor de los 15 cm cumpla sin problema.

- Planteamiento de reforzamiento de columnas y muros estructurales:

Para las columnas se plantea realizarles un encamisado a las cuatro columnas centrales de los ejes B y C, de forma que cumpla con los requerimientos de la NSR 10. En las esquinas, donde se encuentran los muros estructurales, en los ejes A y D, se plantea adicionar un muro estructural entre muro y muro, para aumentar la rigidez de la estructura, y suplir lo de la resistencia a compresión baja del concreto de estas columnas y de estos muros.

- Planteamiento dirigido a los muros estructurales:

En los muros divisorios, se plantea realizar su confinamiento tanto vertical como horizontal, debido a la falta de estos componentes en estos muros; esto con el fin de garantizar el correcto funcionamiento según los requisitos de la normativa para estos tipos de muros no estructurales.

- Planteamiento para la cimentación:

Dicho planteamiento se trata de adicionar unas zapatas debajo de los muros estructurales que se están adicionando, considerando que trabajen como cimentación combinada de las zapatas existentes de las esquinas. De igual forma se planea realizar un ensanchamiento y un sobre espesor de las zapatas de los ejes centrales B y C en las que se están aumentando la dimensión de las columnas. En que refiere a las vigas de cimiento existentes, se sugiere adicionarles unos pedestales intermedios para acortar la luz de estas vigas, con el fin que tengan un mejor funcionamiento.

Bibliografía

Barros Cantillo, G. (1994). *Curso de Hidrología*. Sincelejo: Universidad de Sucre.

Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.

Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. (J. G. Saldarriaga, Trad.) Bogotá: McGRAW - HILL Interamericana S.A.

Diez Hernández, J. M. (2011). *Modelamiento Hidrológico (HEC-HMS) e hidráulico fluvial (HEC-RAS)*. Universidad de Valladolid.

Ferrer, J. (2000). *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro Numero de la Curva: Perfiles de suelo y teledetección*. Madrid: Centro de estudios y experimentación de obras públicas.

Gámez Morales, W. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua: Universidad Agraria.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1999). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Sucre*. Bogotá.

Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías. (2009). *Manual de drenaje de carreteras*. Bogotá.

Monsalve Saenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

National Aeronautics and Space Administration NASA. (S.f.). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Recuperado el 15 de 8 de 2016, de

<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>

Témez Peláez, J. R. (2003). Facetas del Cálculo Hidrometeorológico y estadístico de Máximos Caudales. *Rev. de Obras Públicas* (3430), 47-51.

United States Department of Agriculture. (S.f.). *Natural Resources Conservation Service*. Obtenido de

[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/survey/partnership/ncss/?cid=](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/survey/partnership/ncss/?cid=stelprdb1043053)

stelprdb1043053US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. (2015). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide, Applications Guide*. Davis, California.

US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. Davis, California.

US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. (2016). *HEC - RAS, River Analysis System*. Davis, California.

US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. (2016). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide*. Davis, California.