APLICACIÓN DE TEMAS DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO LA VOZ DEL LLANO

Por:
Jefferson Dayans García Socha
Juan David Rozo Ávila

CC BY NC

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
AÑO 2020

APLICACIÓN DE TEMAS DE INGENIERIA CIVIL
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO LA VOZ DEL LLANO

Por:
Jefferson Dayans García Socha
Juan David Rozo Ávila

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez, Esp.
Director

Ing. Alexander Solarte Benavides, Esp. Me.
Codirector

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
AÑO 2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. José Gabriel Mesa Angúlo, O.P.
Rector General

P. Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg.Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Juan Manuel Herrera, Me
Decano Facultad de Ingeniería Civil

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para emprender un camino lleno de éxito.

Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, principalmente mi más sincero agradecimiento a mi Director y Codirector, el Ing. Emiro Andrés Lozano y el Ing. Ing. Alexander solarte Benavides, quienes con su conocimiento y guía, fueron imprescindibles para el desarrollo del trabajo.

A mis compañeros, quienes a través de tiempo fuimos fortaleciendo una amistad y creando una familia, muchas gracias por toda su colaboración, por convivir todo este tiempo conmigo y por compartir bonitas experiencias.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mis padres, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

RESUMEN

El presente proyecto evalúa la integridad estructural del edificio *La Voz de Llano,* identificando principalmente sus características y antecedentes. Para esto, se plantea una metodología que identifica paso a paso las causas de la problemática que existe en la edificación, en cuanto a patologías estructurales y vulnerabilidad sísmica. Inicialmente, se hace un levantamiento estructural acompañado de una inspección visual que incluye registro fotográfico, permitiendo una caracterización minuciosa de los elementos estructurales y de lo arquitectónico, en consecuencia se realiza ensayos de laboratorios mencionados a continuación ferro scan, extracción de núcleos de hormigón, profundidad de carbonatación y esclerometría, que nos reconoce las propiedades mecánicas de los materiales y el estado de vulnerabilidad de los mismos, adicional a ello, los resultados de los laboratorios nos da certeza de los puntos críticos de la estructura agilizando el diagnóstico de las patologías existentes, así mismo contribuyendo al dictamen de las causas y consecuencias de las afectaciones estructurales, que posteriormente nos permite dar recomendaciones para su mejoramiento.

Ahora bien, con los datos obtenidos anteriormente, se realiza un modelo numérico en un software de elementos finitos (ETABS) que representa el comportamiento de la edificación y nos permite hallar el cálculo de los índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad, contribuyendo al análisis de vulnerabilidad sísmica, el cual se ejecutó con un sismo umbral de daño debido a que la estructura ya está construida y solo se debe demostrar que será capaz de resistir futuros sismos, de igual manera este análisis nos permitió identificar los elementos con mayor necesidad de reforzamiento para garantizar su integridad en un posible evento sísmico.

El hecho de realizar la evaluación sísmica del edificio nos permitió conocer bajo que solicitaciones se encuentra la edificación con respecto a la Norma Sismo Resistente (NSR-10), un punto que permite evaluar una estructura que fue construida antes de dicha norma, así mismo conocer si cumple con los requerimientos necesarios para ser considerada una edificación sismo resistente.

Palabras Clave: *Vulnerabilidad sísmica, Patologías, Integridad estructural, resistencia estructural.*

ABSTRACT

In this project, it intends to evaluate the structural integrity of the La Voz de Llano Building, mainly identifying its characteristics and background. For this, a methodology is proposed that identifies step by step the causes of the problem that exists in the building, in terms of structural pathologies and seismic vulnerability. Initially, a structural survey is carried out accompanied by a visual inspection that includes photographic registration, allowing a thorough characterization of the structural and architectural elements, consequently laboratory tests such as Ferro Scan, Extraction of concrete cores, Depth of carbonation and sclerometry, which recognizes the mechanical properties of the materials and their state of vulnerability, in addition to this, the results of the laboratories gives us certainty of the critical points of the structure speeding up the diagnosis of existing pathologies, as well contributing to the opinion of the causes and consequences of structural effects, which subsequently allows us to give recommendations for improvement.

However, with the data obtained previously, a numerical model is made in a finite element software (ETABS) that represents the behavior of the building and allows us to find the calculation of the overexertion and flexibility indices, contributing to the vulnerability analysis seismic, which was executed with a threshold damage earthquake because the structure is already built and it must only be demonstrated that it will be able to withstand future earthquakes, in the same way this analysis allowed us to identify the elements with the greatest need for reinforcement to guarantee its integrity in a possible seismic event.

The fact of carrying out the seismic evaluation of the building allowed us to know under what solicitations the building is in relation to the resistant earthquake norm (NSR-10), a point that allows to evaluate a structure that was built before said norm, also to know if it meets the necessary requirements to be considered a resistant earthquake building.

Key Word: *Seismic vulnerability, Pathologies, Structural integrity, structural resistance.*

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 13
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 14
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
3. JUSTIFICACIÓN 15
4. OBJETIVOS 16
4.1. OBJETIVO GENERAL 16
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
5. ALCANCE 17
6. MARCO DE REFERENCIA 18
6.1. MARCO TEÓRICO 18
6.1.1 Durabilidad del concreto 18
6.1.2 Vulnerabilidad sísmica 19
6.1.3 Vulnerabilidad Estructural 19
6.1.4 Vulnerabilidad no estructural 20
6.1.5 Vulnerabilidad funcional 20
6.1.6 Factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica de edificaciones 20
6.1.7 Ensayos destructivos 22
6.1.8 Ensayos no destructivos 23
6.1.9 Ventajas de los ensayos no destructivos 23
6.1.10 Esfuerzos y deformaciones 23
6.1.11 Origen de los sismos 24
6.1.12 Patología 25
6.1.13 Relación entre demanda y capacidad 28
6.1.14 Definición del índice de sobreesfuerzo 28
6.1.15 Determinación del índice de sobreesfuerzo 28
6.1.16 Resistencia efectiva 29
6.1.17 Definición del índice de flexibilidad 29
6.1.18 Análisis de Vulnerabilidad 29
6.2. MARCO CONCEPTUAL 30
6.3. ESTADO DEL ARTE 31
6.3.1 Estudio patológico fachada principal torre 1 *edificio frontera living apartments* 31
6.3.2 Estudio patológico edificio de oficinas corporación minuto de Dios ... 32
6.3.3 Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: edificio nacional (DIAN) 33
6.3.4 Determinación y evaluación de las patologías del concreto en el canal de regadío del distrito de Cabana 34
6.4. MARCO NORMATIVO 36
6.5. MARCO GEOGRÁFICO 37
6.5.1 Descripción física 37
6.5.2 Lugar de aplicación del proyecto 39
6.5.3 Geología de la zona 39

7. METODOLOGÍA 41
7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS 41
7.1.1 Recopilación de información básica 41
7.1.2 Solicitud de permisos y autorizaciones 41
7.1.3 Historia Clínica del paciente 41
7.1.4 Inspección visual. 41
7.1.5 Pruebas de laboratorio 44
7.1.6 Mapeo de daños 44
7.1.7 Modelado en ETABS 44
7.1.8 Etiología. 44
7.1.9 Evaluación 44
7.1.10 Informe de resultados y recomendaciones 44
7.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 45
8. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA 46
9. SOLICITUD DE PERMISOS Y AUTORIZACIONES 48
10. INSPECCIÓN VISUAL 48
10.1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL 51
10.2. PATOLOGÍA ESTRUCTURAL 54
10.2.1 Plan y metodología para el levantamiento estructural de los elementos 54
10.2.2 Propiedades y características de los materiales de construcción 55
11. HISTORIA CLÍNICA DE LA EDIFICACIÓN 56
12. PRUEBAS DE LABORATORIO 62
12.1. ESCLERÓMETRO 62
12.2. FERRO SCAN 68
12.3. DETECCIÓN DE ACERO DE REFUERZO - REGATAS 70
12.4. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS Y PRUEBAS DE CARBONATACIÓN 73
12.5. RESUMEN RESULTADOS 77
13. MAPEO DE DAÑOS. 78
14. MODELADO EN ETABS 82
14.1.1 Descripción de la estructura 82
14.1.2 Evaluación sobre la resistencia de los materiales de la estructura 83
14.1.3 Secciones de los elementos 84
14.1.4 Sistema de placa entrepiso 86
14.1.5 Cargas típicas 86
14.1.6 Parámetros sísmicos 88
14.2. ANÁLISIS ESTÁTICO 88
14.3. ANÁLISIS DINÁMICO 89
14.3.1 Porcentaje de participación de masas 89
14.3.2 Periodo de la estructura 90
14.3.3 Ajuste de resultados 90
14.3.4 Combinaciones de carga 91
14.4. CÁLCULO DE LA DERIVA 92
15. ETIOLOGÍA 95
16. EVALUACIÓN 95

16.1. ÍNDICES DE SOBREESFUERZO DE COLUMNAS PARA CORTANTE Y FLEXO COMPRESIÓN (POR EL MÉTODO DE CURVAS DE INTERACCIÓN) 95
16.1.1 Columna C2 y C6 del segundo piso 96
16.1.2 Columnetas CN6 y CN14 del cuarto piso 99
16.1.3 Índices de sobreesfuerzo de columnas para flexo compresión (por el método de acero de refuerzo) 102
16.2. REVISIÓN DE VIGAS 105
16.3. INDICES DE SOBREESFUERZO GENERAL E INDICES DE FLEXIBILIDAD GENERAL 109
16.3.1 Índice de sobreesfuerzo general e índice de vulnerabilidad general 109
16.3.2 Índice de flexibilidad general e índice de vulnerabilidad. 110
16.4. SECUENCIA DE FALLA. 115
17. INFORME DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES 119
17.1. RECOMENDACIONES GENERALES 119
17.2. RECOMENDACIONES PARA LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN LA ESTRUCTURA 119
17.2.1 Solución de la problemática de las columnas ante cargas verticales. 120
17.2.2 Acción del sismo 120
17.2.3 Refuerzo en Columna 121
17.2.4 Refuerzo en vigas. 121
17.3. ACCIONES INMEDIATAS PARA LOS PROBLEMAS DE HUMEDAD 123
18. ANÁLISIS DE RESULTADOS 124
19. RESULTADOS E IMPACTOS 126
20. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS 128
20.1. CONCLUSIONES 128
20.2. TRABAJOS FUTUROS 129
BIBLIOGRAFÍA 130
ANEXOS 132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de ϕc y ϕe 29
Tabla 2 Normativa del proyecto 36
Tabla 3. Vista fachada y plano de la edificación 47
Tabla 4. Ensayos de laboratorio. 55
Tabla 5 Patologías en la edificación. 56
Tabla 6 Elementos sometidos a prueba de golpe de esclerómetro. 62
Tabla 7. Valores de golpe de esclerómetro 63
Tabla 8. Valores en MPa de los datos de esclérometro. 65
Tabla 9. Datos obtenidos del ferro scan. 68
Tabla 10. Datos de las regatas. 70
Tabla 11. Resistencia por ensayo de carga axial de los cilindros 74
Tabla 12 Resistencia a compresión f'c de los elementos. 84
Tabla 13. Tabla de placas entrepiso. 86
Tabla 14. Asignación de cargas vivas y muertas. 86
Tabla 15. Parámetros sísmicos 88
Tabla 16. Coeficiente Ct y α. 88
Tabla 17. Datos para el cálculo del periodo natural 89
Tabla 18. Proporciones de masa participantes modales 89
Tabla 19. Periodo de la estructura 90
Tabla 20.Parametros para ajustar resultados. 90
Tabla 21. Valores de cortante basal dinámico. 91
Tabla 22. Cortante basal mayorado 91
Tabla 23. Derivas por piso 92
Tabla 24. Índice de sobreesfuerzo y vulnerabilidad general 109
Tabla 25. Índices horizontales de columnas 110
Tabla 26. Índices verticales de Vigas 113
Tabla 27. Índice de flexibilidad general. 114
Tabla 28 Indices De Sobre Esfuerzo 115
Tabla 29 Refuerzo en columnas 121
Tabla 30. Resultados 126
Tabla 31. Impactos 126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vulnerabilidades estructurales. 20
Figura 2. Esfuerzo - deformación 24
Figura 3. Placas tectónicas 25
Figura 4. Ubicación de Villavicencio 37
Figura 5. Ubicación Edificio 39
Figura 6. Formato de inspección patológica 42
Figura 7. Formato peritaje técnico 43
Figura 8. Formato de inspección 50
Figura 9. Formato de inspección 51
Figura 10. Vista frontal (Sur) 51
Figura 11. Vista posterior (Norte) 52
Figura 12. Vista lateral derecha (Oriente) 53
Figura 13. Vista lateral izquierda (occidente) 54
Figura 14 Ubicación del esclerómetro en el piso 1 64
Figura 15 Ubicación del esclerómetro en el piso 2 64
Figura 16 Ubicación del esclerómetro en el piso 3 64
Figura 17 Ubicación del esclerómetro en el piso 4 64
Figura 18. Curva de conversión de numero de golpe a MPa 65
Figura 19 Toma de datos placa 2 piso. 67
Figura 20 Toma de datos CL-15 67
Figura 21 Toma de datos CL 5. 68
Figura 22. Ferro scan viga 1 piso 4 69
Figura 23. Ferro scan viga 1 piso 3. 69
Figura 24. Ferro scan C5 69
Figura 25. Ferro scan C7 69
Figura 26. Regata viga piso 4 70
Figura 27. Regata C5 70
Figura 28. Regata viga piso 3 71
Figura 29. Regata C7 71
Figura 30. Armados de elementos estructurales C5 71
Figura 31. Armados de elementos estructurales C7 72
Figura 32. Armados de elementos estructurales Viga 72
Figura 33 Ubicación extracción de núcleo columna C7 piso 1 75
Figura 34 Ubicación extracción de núcleo columna C5 piso 4 75
Figura 35 Ubicación extracción de núcleo Eje 9 piso 3. 75
Figura 36 Ubicación extracción de núcleo Eje 9 piso 4. 75
Figura 37. Carbonatación C7 76
Figura 38. Carbonatación C5 76
Figura 39. Carbonatación viga piso 4 76
Figura 40. Carbonatación viga piso 3 76
Figura 41. Planta 4 78
Figura 42. Planta 3 79
Figura 43. Planta 2 80
Figura 44. Terraza o azotea 81

Figura 45. Planta piso 2 82
Figura 46. Planta piso 3 83
Figura 47. Planta piso 3 a la azotea 83
Figura 48 Esquema de configuración de columnas 85
Figura 49 Esquema de vigas 85
Figura 50. Espectro de diseño NSR10. 88
Figura 51**.** Ubicación de las columnas evaluadas en el análisis de índices de sobre esfuerzos 96
Figura 52. Ubicación de las columnetas evaluadas en el análisis de índices de sobreesfuerzos 99
Figura 53. Esquema de vigas planta del segundo piso 106
Figura 54. Esquema de vigas planta del tercer piso 106
Figura 55**.** Esquema de vigas planta del cuarto piso 107
Figura 56. Esquema de vigas planta del quinto piso 108
Figura 57**.** Esquema de vigas planta de la azotea 109
Figura 58. Esquema de vigas 115
Figura 59. Esquema de falla (a) 117
Figura 60. Esquema de falla (b) 117
Figura 61. Esquema de falla (c) 118
Figura 62. Esquema de falla (d) 118
Figura 63. Configuración de columnas con nuevas dimensiones sobre la estructura 120
Figura 64. Configuración de vigas en los pisos superiores 122

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de las estructuras es un factor decisivo en la seguridad y el desarrollo de los municipios. Villavicencio (Colombia) está situado en una zona de amenaza sísmica alta según lo establecido en el titulo A de la Norma Sismo Resistente -10. Por lo tanto, es importante garantizar el funcionamiento y seguridad que brinda el edificio *La Voz del Llano*, teniendo en cuenta que actualmente funciona como sede del medio de comunicación *Noticias del Llano* que alberga diariamente funcionarios y directivos. Teniendo en cuenta lo anterior, es de vital importancia conocer la edad que tiene la estructura, es decir sus años de antigüedad. Ya que existe la incertidumbre en la seguridad e integridad que ofrece la edificación a dichas personas que frecuentan el recinto. Además, el edificio está ubicado en una zona central de la economía del municipio donde concurre mucha gente y su regular imagen y posibles fallas estructurales compromete la confiabilidad y seguridad que brinda el municipio a sus habitantes.

El edificio *La Voz del Llano* a simple vista presenta afectaciones patológicas que comprometen la estructura desde el criterio ingenieril, el desarrollo del presente proyecto permite conocer la integridad de la estructura, es decir, da un dictamen de sus componentes, principalmente de los elementos estructurales. Ahora bien, es preciso mencionar que se tuvo en cuenta los antecedentes de la edificación como su uso, accidentes, antigüedad, modificaciones, entre otros, que nos brindaron información previa sobre los problemas en el funcionamiento y los riesgos que atentan contra la vida del personal que frecuenta el recinto y sus espectadores. De acuerdo a lo anterior, fue necesario realizar un estudio de patologías estructurales existentes y el estado de vulnerabilidad sísmica frente a eventos sísmicos teniendo en cuenta el nivel de importancia de la edificación.

Por otra parte, la NSR-10 dispone en el capítulo A-10 la obligación de verificar mediante un estudio de actualización a las estructuras edificadas antes de su vigencia, con la finalidad de que una edificación que se rehabilite debe cumplir con los parámetros de dimensionamiento, acero de refuerzo y solicitaciones de resistencia, la edificación deberá ser capaz de contrarrestar y resistir los sismos que puedan ocurrir en la región de Villavicencio. El edificio *La Voz del Llano* aplica para dicha actualización ya que se construyó en la década de los 90 antes de la norma NSR-98, cuando el origen de la mayoría de edificios del municipio de Villavicencio recién empezaba. Esta información hace que este estudio sea interesante, además de la connotación histórica que enmarca esta estructura, ya que origina en gran parte la historia de los primeros edificios altos del municipio de Villavicencio. A pesar de los años y el uso de la instalación, se observa que ésta sigue prestando un servicio adecuado a las personas que a diario permanecen en ella. A pesar de que no se ha intervenido su estructura, funciona apropiadamente para soportar las cargas a las que se encuentra actualmente sometido, es necesario realizar modificación en su estructura para que sea considerada una estructura segura.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La importancia de conocer si las estructuras en donde diariamente frecuentamos y visitamos son totalmente seguras, es una de las principales tareas de la ingeniería civil, de ahí la necesidad de estudiar el edificio la voz del llano. Teniendo en cuenta que el municipio de Villavicencio tiene una edad de 179 años y por ende se debe tener un control de las estructuras antiguas, si éstas son aptas para las solicitaciones sísmicas y si han sido intervenidas o reforzadas correctamente para seguir en funcionamiento. Ahora bien, el edificio *La Voz del Llano* tiene 29 años, una edad considerable, donde la calidad de los materiales se ve afectado por los factores externos como la humedad, los cambios de temperatura, y filtraciones de humedad en los elementos estructurales que deja en evidencia a simple vista el deterioro arquitectónico y en consecuencia genera dudas sobre su integridad estructural. Por lo tanto, garantizar la seguridad del edificio es de suma importancia ya que es un lugar de reunión de trabajo donde se desarrollan las noticias de la región del llano, eventos socio-culturales, entrevistas y en ocasiones reuniones de carácter político.

Los problemas que se pudieron evidenciar en el edificio *La Voz Del Llano* son el agrietamiento, escamado, desintegración, erosión, filtración, delaminación y eflorescencia; afecciones generadas por fenómenos naturales y un diseño obsoleto para los estándares de construcción, estos problemas fueron identificados al hacer un levantamiento del edificio y conocer sus de resistencia.

En función de preservar la vida útil del edificio y teniendo en cuenta la latente amenaza a la que se encuentra expuesta, se comprobó el comportamiento que tiene la edificación frente a un evento sísmico, así como el funcionamiento actual de los elementos estructurales del edificio *La Voz del Llano* frente a lo reglamentado por la NSR-10.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El edificio *La Voz Del Llano* es vulnerable a un evento sísmico, como se comportarían los elementos estructurales, qué tan vulnerables son y qué condiciones cumpliría frente a la NSR - 10?

Inicialmente se inició un proceso de investigación donde identificamos el año de construcción del edificio *La Voz del Llano*, construido bajo los lineamientos del decreto 1400 de 1984 por un método de construcción combinado con variaciones como espesores de losa de transición y configuración de columnas en sus pisos, el principal material de construcción del edificio es el concreto armado y su estado es medianamente bueno en elementos afectados por humedad y bueno en los demás.

3. JUSTIFICACIÓN

La actual investigación se fundamenta en el hecho de que, en el edificio *La Voz del Llano* (Villavicencio), se observan daños patológicos tales como eflorescencias, escamado, filtración, erosión, distorsión, agrietamiento, entre otros; que están deteriorando los acabados arquitectónicos y pueden afectar el funcionamiento de los elementos estructurales de la edificación, por ende, identificar los diferentes factores que afectan los componentes estructurales, ya sean externos o internos, es importante para tomar medidas de recuperación o de prevención para así evitar pérdida de vidas humanas, así como de estructuras de importancia para el municipio. "*Según un informe del Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático* ***(Idiger)****, en Bogotá hay* ***2.363 edificaciones*** *diagnosticadas técnicamente en* ***riesgo estructural****. Por ello, la* ***Universidad de La Salle****, mediante una iniciativa educativa sobre patología estructural, propuso acciones para evaluar, reforzar y rehabilitar las estructuras para evitar una tragedia"* [1].

Debido a que en el pasado no se contaba con una norma sismo resistente las estructuras tienen más probabilidad de colapsar y generar pérdidas de vidas humanas así como ocurrió en el evento sísmico de Popayán de 1983 que dejó un total de 300 muertos y la catedral de Manizales sufrió grandes daños [2], teniendo en cuenta que Villavicencio se encuentra según Julián Oscar Escallón Silva en una zona de alta sismicidad, es vital conocer el estado del edificio *La Voz del Llano* para así mismo garantizar que las personas puedan ingresar.

La realización del estudio de patología y vulnerabilidad sísmica del edificio *La Voz Del Llano* es un avance en el desarrollo socio-político ya que los resultados son de interés para entes gubernamentales y administrativos que realicen labores de construcción y diseños de estructuras en el municipio. Los resultados de la investigación ayudan a la toma de decisiones con respecto al aprovechamiento de los recursos del estado y por consiguiente una mejor planificación, en donde se pueda evitar o disminuir los errores que presenta la edificación en estudio.

Asimismo, en Villavicencio fue relevante considerar la historia del municipio y el origen de las estructuras que ocupamos habitualmente, ya que cuenta con aproximadamente 178 años de fundada y es importante cuestionar si las edificaciones públicas son seguras, ya que estéticamente la mayoría presentan desperfectos a simple vista. Por tal razón se llevó a cabo la investigación de patología y vulnerabilidad sísmica de los elementos estructurales, con el fin de comprobar y calificar el estado del edificio, experimentando con las diferentes variables, principalmente la resistencia actual de los elementos estructurales a las cargas actuantes, dando como resultado recomendaciones asequibles para la estructura y aportándole al desarrollo del municipio.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica a la planta física del edificio *La Voz del Llano,* ubicado en el municipio de Villavicencio, teniendo en cuenta las patologías estructurales, evaluando la resistencia actual de los elementos estructurales y verificando su comportamiento de acuerdo a lo reglamentado en la NSR – 10.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características que presenta la edificación respecto a la vulnerabilidad y patología existente, mediante una inspección visual y registro fotográfico.
- Determinar las propiedades mecánicas de la edificación mediante ensayos destructivos y no destructivos.
- Determinar cómo se comportaría estructuralmente la edificación frente a un evento sísmico, asumiendo los parámetros descritos en el capítulo A-10 de la NSR – 10.
- Evaluar la resistencia de la estructura en su estado actual, basándose en un modelo numérico en un software de elementos finitos (ETABS) que represente el comportamiento de la edificación.
- Dar recomendaciones para la rehabilitación de zonas afectadas basadas en la inspección preliminar.
- Proponer la rehabilitación de los elementos estructurales que no cumplan con la capacidad requerida.

5. ALCANCE

Este proyecto tiene fines académicos, sociales e investigativos donde se analizarán los datos obtenidos basándonos en antecedentes registrados en problemáticas similares, es decir estudios que abarquen edificaciones antiguas con un nivel representativo cultural elevado.

Se realizó el estudio de patología y vulnerabilidad sísmica de la superestructura del edificio *La Voz del Llano*, ubicado en la ciudad de Villavicencio, Meta. Para la elaborar el estudio fue necesario la autorización de la administración del edificio, para así realizar el ingreso a la instalación y hacer la toma de fotografías que muestran las afecciones e identifican las principales causas del deterioro presente en la estructura.

Una vez realizada la inspección, se hicieron ensayos de laboratorio invasivas y no invasivas a por lo menos cuatro elementos estructurales. Se realizaron laboratorios de ferro scan, esclerómetro, profundidad de carbonatación y extracción de núcleos, que reflejaron el estado de la resistencia del concreto y el refuerzo de los elementos estructurales. Dichos ensayos permitieron obtener datos de gran importancia para el estudio patológico como lo es la obtención de valores de resistencia del concreto a través del ensayo de núcleos extraídos o pruebas de impacto del esclerómetro en vigas, columnas y losas.

Para el análisis del comportamiento estructural se hizo mediante un modelo computarizado, en este caso usando el software ETABS, que permitió ingresar todas las variables halladas en los ensayos de laboratorio y el levantamiento estructural. Basándonos en lo anterior se pudo ejecutar el modelo y hacer la evaluación de vulnerabilidad sísmica, obteniendo como resultado el comportamiento estructural de la edificación frente a un evento sísmico, identificando el grado de vulnerabilidad al que se encuentra expuesto los elementos estructurales.

Finalmente, se hizo un informe que contiene la descripción de las lesiones en el edificio y un listado de daño según el grado de afectación. Así mismo un análisis de los causantes de las lesiones con sus respectivas recomendaciones para mitigar los daños. También se incluyó en el informe, la revisión y chequeo de los parámetros mínimos que exige la NSR – 10.

6. MARCO DE REFERENCIA

En Colombia a través de la historia se ha optado por diferentes métodos constructivos, como lo son los muros cargueros y el sistema de pórticos, en Colombia hay una alta presencia de sismos, estos sismos siempre han diezmado vidas humanas y también construcciones, sin embargo el año de 1984 es donde apareció el primer Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes pero aun así se siguieron presentando problemas causados por los sismos así que para 1998 aparece la primera edición de la norma sismo resistente, en la actualidad la norma sismo resistente es la que fue expedida en el año 2010, estas normas en lo que llevan de expedidas su única función ha sido conservar las vidas humanas haciendo estructuras que sean resistentes y no colapsen en el caso de ocurrencia de un sismo, las estructuras con más de 10 años son estructuras que no fueron diseñadas la norma sísmica actual y representan un peligro para las personas que los ocupan.

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Durabilidad del concreto

Las estructuras de concreto están expuestas al ataque químico y físico de diferentes agentes. La durabilidad del concreto variará entonces conforme tales factores sean más o menos agresivos, y también de acuerdo con las propiedades de sus componentes, el origen de la mezcla y las condiciones de colado y curado que se hayan aplicado en su construcción.
La planeación y el diseño deberán entonces no solamente estar basados en el uso de la estructura, sino también en las condiciones ambientales y en la vida útil esperada de la misma. Estas definiciones básicas deberán estar reflejadas en los materiales y especificaciones de construcción, y tanto en el concepto como en los detalles estructurales.

En el contexto de la práctica común, se diseña y detalla no sólo para las cargas que actuarán en la vida útil de una estructura, sino también para los efectos de agrietamiento y temperatura; sin embargo, sólo se consideran condiciones especiales de exposición para grupos muy particulares de estructuras.
Es muy común que los códigos y normas actuales sólo prescriban las variaciones adecuadas de la relación agua/cemento y del recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo de acuerdo con una clasificación muy simple de las condiciones de exposición. Sin embargo, en la práctica se encuentran muchas y más diversificadas condiciones de exposición, y no sólo en relación con el medio ambiente, sino también según el uso pretendido de la estructura.
Por eso es muy importante saber que existen dos factores preponderantes en la determinación de la tasa de corrosión: la resistividad eléctrica del concreto y la disponibilidad de oxígeno en el cátodo, los cuales se relacionan con los siguientes factores:

- Contenido de humedad en el concreto: mientras que un incremento de la humedad en el concreto reduce su resistividad, reduce también la penetración y difusión de oxígeno, que se vuelve mínima para el concreto saturado, mientras que los concretos expuestos a humedecimiento y secado intermitentes son más susceptibles de corroerse.
- Temperatura: estudios de campo y de laboratorio han mostrado que la corrosión en el acero de refuerzo se acelera con el incremento de la temperatura, en virtud de que ésta afecta directamente la solubilidad del oxígeno y también la movilidad de sustancias tales como los cloruros que participan preponderantemente en el proceso de corrosión. También, los cambios bruscos de temperatura en el aire ambiental pueden resultar en condensación de agua sobre la superficie de concreto y cambiar así su contenido de humedad.

El dióxido de carbono puede asimismo penetrar en el concreto, aunque su tasa de penetración se puede controlar eficazmente mediante la impermeabilidad de un concreto de buena calidad. El C02, el dióxido de sulfuro y el óxido nítrico, considerados importantes contaminantes del aire, reaccionan también con los hidróxidos en el concreto y los convierten en carbonatos. Así, todos ellos, en condiciones naturales de exposición, dan lugar a procesos de carbonatación del concreto, por lo que la carbonatación es hoy su mecanismo dominante de neutralización.

6.1.2 Vulnerabilidad sísmica

Es el acto de propensión intrínseca a recibir y sufrir daño frente a un evento de sismicidad y está relacionada llanamente con sus propiedades físicas y estructurales de diseño.

6.1.3 Vulnerabilidad Estructural

Se define como la habilidad con que se puede afectar la integridad de todos los elementos sismo resistente de una edificación durante una ocurrencia sísmica, a causa del mismo. Los compendios sismo resistentes, son aquellos responsables de recibir, resistir, y transmitir a la cimentación de la estructura todas las cargas a las cuales esta se expone; cargas que pueden ser de espécimen temporal, permanente, de sismo, empuje o ambientales.

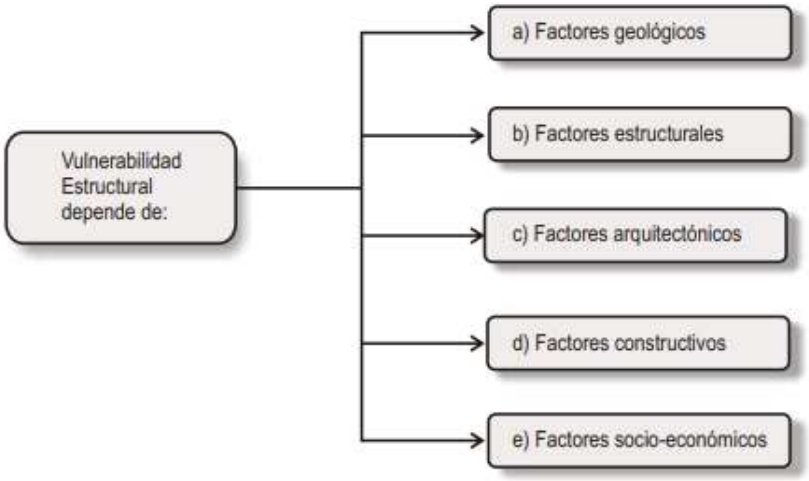


Figura 1. Vulnerabilidades estructurales.
Fuente: José Luis Alonso G.

6.1.4 Vulnerabilidad no estructural

Es la susceptibilidad de los elementos de una edificación a romperse por resistencia durante una ocurrencia sísmica, es decir, que las solicitaciones del ambiente alrededor resulten ser mayores que los esfuerzos máximos que puedan resistir dichos elementos.

6.1.5 Vulnerabilidad funcional

La vulnerabilidad funcional en las estructuras, no evidencia rupturas por falta de resistencia en los elementos estructurales al momento del evento sísmico, sino que más bien lleva a fallas por servicio, es decir, después de la ocurrencia sísmica hay probabilidades que la edificación no quede en condiciones para desempeñar de manera exitosa con las demandas de los aspectos básicos para considerarla óptima para su uso a razón de ser vulnerable.

6.1.6 Factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica de edificaciones

Factores geológicos

- Sismicidad de la zona
- Distancia a la fuente sísmica
- Mecanismos de falla
- Magnitud del terremoto
- Fallo superficial
- Características geotécnicas locales
- Interacción suelo-estructura
- Amplitud y duración de las sacudidas fuertes del terreno
- Asentamientos del terreno

- Licuefacción del terreno
- Inestabilidad de taludes
- Avalanchas
- Tsunamis [3]

Factores estructurales

- Tipología estructural
- Tipo de material
- Deficiencia de la estimación de las cargas
- Deficiencia en el análisis y diseño estructural
- Ductilidad disponible
- Problemas torsionales
- Cambios bruscos de rigidez
- Geometría irregular de la planta
- Detalles de refuerzo estructural deficientes en las conexiones y armado de elementos estructurales
- Golpeteo o colindancia e edificaciones contiguas
- Normas utilizadas, edad de la edificación
- Apoyo de vigas o tramos en puentes de tamaño insuficiente [3]

Factores arquitectónicos

- Configuración geométrica irregular en la planta y en el alzado de la edificación
- Ordenanzas: retiros, alturas, porcentaje de construcción, etc.
- Grandes luces y pocas columnas
- Distribución asimétrica o impropia de los elementos de la fachada
- Utilización indiscriminada de materiales inflamables
- Uso excesivo de espacios abiertos
- Ubicación asimétrica del núcleo de escaleras y de ascensores
- Sistema de escape deficiente o inexistente
- Distribución errática de la tabiquería [3]

Factores constructivos

- Encofrado deficiente
- Mala calidad de los materiales utilizados en la construcción
- Protección deficiente contra el fuego
- Incompatibilidad de los materiales utilizados
- Falta de inspección eficiente
- Mano de obra defectuosa
- Uniones defectuosas de elementos prefabricados

- Falta de unión apropiada entre los elementos estructurales y los tabiques de mampostería
- Soldadura defectuosa
- Defectos de vaciado y del curado del concreto
- Refuerzo inadecuado en las conexiones o juntas de los elementos de concreto armado
- Falta de recubrimiento propiciando la corrosión
- Conexiones metálicas defectuosas
- Anclajes deficientes de equipos médicos y hospitalarios [3]

Factores socio-económicos

- Cambio del uso previsto en la edificación original
- Utilización de materiales no aptos para resistir sismos
- Falta de información y de sistema de alerta rápida
- Educación de la población
- Remuneración deficiente a profesionales responsables del proyecto estructural
- Viviendas de bajos recursos, no apropiadas para zonas sísmicas
- Ordenanzas vigentes
- Falta de recursos económicos
- Poca comunicación entre el ingeniero y el arquitecto
- Falta de planes de contingencia durante desastres [3]

6.1.7 Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos son aquellos que se acometen para medir la capacidad de cierto material preseleccionado para soportar esfuerzos de diferente tipo.

- Estáticos: dureza, tracción, compresión, cizallamiento, pandeo, torsión y flexión
- Destructivos dinámicos: de resistencia al choque y fatiga
- Tecnológicos: de chispa, de plegado, de embutición y de forja

En los ensayos destructivos, se usa normalmente una probeta constituida con el material que se desea ensayar y que más adelante servirá para una sola aplicación. Una probeta es cierta muestra del material que se pretende ensayar con una formas y dimensiones que ya se han establecido, estas probetas y/o especímenes sufren cambios de acuerdo al ensayo que se somete dejando cambios definitivos como fruto de la prueba.

6.1.8 Ensayos no destructivos

Son aquellos ensayos que se basan en los fenómenos físicos, su finalidad es obtener información sobre los defectos o estado de un material, para no provocar daños químicos, mecánicos o dimensionales al propio material [3].

Existen varias pruebas a las que se recurren para realizar ensayos no destructivos, las más importantes son las siguientes:

- Prueba de la extracción
- Prueba de la ruptura
- Velocidad de pulsos ultrasónicos
- Cilindros moldeados en el lugar
- Prueba de resistencia a la penetración
- Prueba del martillo de rebote [3]

6.1.9 Ventajas de los ensayos no destructivos

- Identificación, cuantificación y localización de defectos como poros, burbujas, delaminación
- Muestreo parcial o total de las uniones, dependiendo del plan de requerimientos de calidad
- Detección temprana del defecto, posibilidad de subsanación del defecto antes de su vida en uso
- Detección del defecto durante la vida en uso del producto, pudiéndose realizar operaciones de mantenimiento alargando la vida útil del producto [4].

6.1.10 Esfuerzos y deformaciones

Los esfuerzos y las deformaciones están altamente ligados entre sí, ya que, al momento de someter a un material a ciertos esfuerzos, dicho material sufre algunas deformaciones. Por lo tanto, es importante determinar los cambios que generan las deformaciones a partir de la aplicación de los distintos esfuerzos.
Un factor importante para tener en cuenta es la diferencia que debe existir entre las deformaciones presentadas en el suelo y las deformaciones admisibles en dicho suelo, es decir, las deformaciones que se presentan no deben ser mayores a las admisibles, con esto aseguramos una estabilidad en el suelo y en la estructura; esto es posible determinarlo a partir de la curva esfuerzo-deformación.

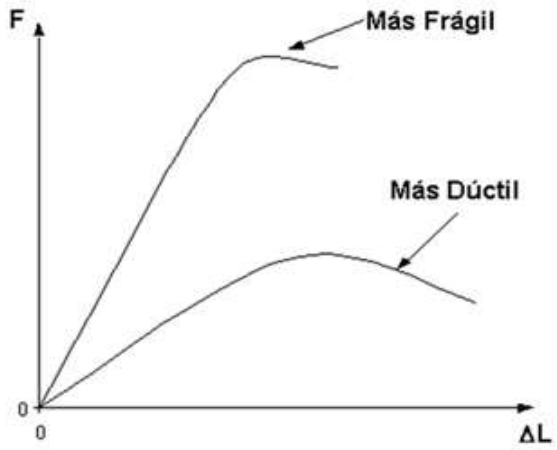


Figura 2. Esfuerzo - deformación
Fuente: José Luis Alonso G.

6.1.11 Origen de los sismos

El pensamiento básico de la teoría que se entiende de la tectónica de placas es que toda la capa externa, es decir, la cubierta más superficial de la tierra sólida, denominada litósfera (100 Km), está dividida por varias placas rígidas que han crecido a lo largo de pequeñas cadenas meso-oceánicas casi lineales; estas placas se transportan en otra cubierta menos rígida, la astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites complexionales de interacción, donde toda la corteza terrestre es comprimida en sucesiones montañosas o donde han habido fosas marinas [3].

El proceso y mecanismo original que causa el movimiento de todas las placas no se conoce con precisión, pero se ha considerado que es debido a corrientes de convección o movimientos del manto plástico y caliente de la tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación de la tierra.

Así pues, la superficie de la tierra está conformada por 15 placas mayores: Africana, Antártica, Arábiga, Australiana, del Caribe, de Cocos, Euroasiática, Filipina, India, Juan de Fuca, de Nazca, Norteamericana, del Pacífico, de Scotia y Sudamericana; y 43 menores [3].

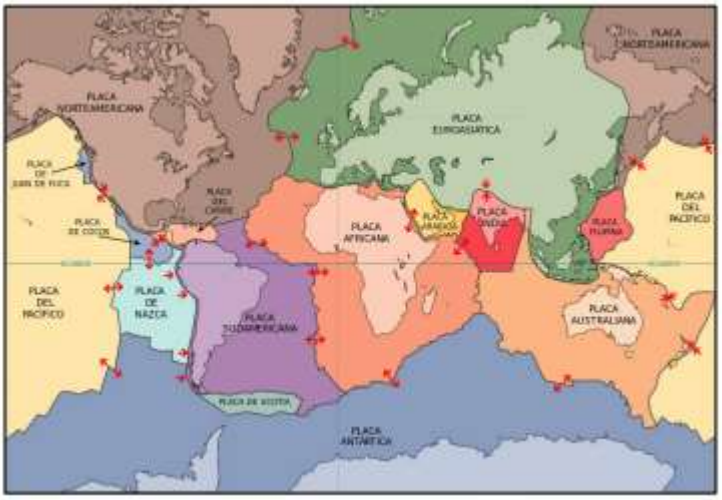


Figura 3. Placas tectónicas
Fuente: José Luis Alonso G

Los tres tipos más importantes de movimientos de placas son divergentes, friccionantes y convergentes.

6.1.12 Patología

El concepto de patología, comúnmente utilizado en el ámbito médico se empieza a utilizar bajo la premisa de que las edificaciones son vistas de la misma forma que el cuerpo humano donde se tiene una concepción que la dan los diseñadores, una etapa de gestación o nacimiento donde la estructura es construida y puesta en funcionamiento, y una vida útil que al igual que en los seres humanos es cuando ya se entra en una etapa productiva en un periodo determinado, cuando se presenta una patología se recurre a un experto que identifica la afección y su etología y propone un tratamiento adecuado que ayude a aumentar la vida útil [5].

Lesiones físicas

Las lesiones físicas son causadas por aspectos físicos es decir factores ambientales que están en contacto con los elementos estructurales [6].

Humedad

La humedad no representa un problema en los elementos estructurales siempre y cuando esté por debajo de un valor normal, la humedad puede llegar a los elementos de diferentes maneras, inicialmente se puede contemplar una humedad de obra que es generada durante la construcción de los elementos, hay una humedad capilar que es producto del ascenso de agua del suelo a la edificación, la humedad de filtración, es producto del agua que logra acceder a la edificación desde el exterior por medio de la fachada y la cubierta, la humedad de condensación que es la que se produce cuando se realiza una condensación

desde el interior hasta el exterior dejando humedad en los elementos, por último la humedad accidental que es causada por la ruptura de cañerías y conducciones de agua. [6]

Erosión

La erosión se presenta mayormente cuando hay presencia de agua que propicia el fenómeno de meteorización, es decir el desprendimiento de material pétreo de la estructura y la ruptura de las láminas superficiales [6].

Suciedad

Hace referencia al depósito de partículas en la superficie de las fachadas, el depósito se puede dar por la acción de la gravedad o por ayuda de la lluvia que permite que las partículas penetren en los poros superficiales de los materiales [6].

Lesiones mecánicas

Las lesiones mecánicas pueden también considerarse lesiones físicas debido a que también son causados por acciones físicas, el motivo para darle una clasificación diferente es su importancia, una lesión mecánica es toda aquella que causa un desplazamiento en los elementos, así como la apertura de material [5].

Deformaciones

Las deformaciones se pueden presentar tanto en elementos estructurales como en mampostería, el tiempo de aparición de una deformación puede ser instantáneo o con el transcurso del tiempo dependiendo del tipo de carga.
Las principales lesiones que causa la deformación se pueden clasificar en 4, la flexión es una deformación que afecta elementos horizontales que se cargan excesivamente de forma vertical, esta deformación afecta las vigas de la estructura, los pandeos son otro tipo de lesión similar a la flexión a diferencia que la deformación en la flexión se presenta en el eje vertical y el pandeo se presenta en el eje horizontal causado por la excesiva carga a compresión sobre elementos verticales, este tipo de lesión se puede apreciar en las columnas de una edificación, otro tipo de deformación son los desplomes se dan cuando elementos verticales tienen empujes horizontales en la parte superior, por último los alabeos que hace referencia a la rotación de elementos causada por esfuerzos horizontales [6].

Lenguaje de las grietas

La manera en la que una edificación muestra sus afecciones es por medio de las grietas, el análisis de las mismas nos permite saber qué es lo que está ocurriendo en la estructura, su análisis es complejo ya que tiene diferentes causas y no siempre es una única causa, sino que la presencia de problemas en muchas ocasiones es simultánea [5].

Al inspeccionar una estructura es importante conocer la diferencia entre las fisuras y las grietas, las fisuras son aberturas de muy pequeñas dimensiones que solo afecta la superficie, estas aberturas no deben ser mayores a los dos milímetros, las grietas en cambio son aberturas que afectan todo el espesor de los elementos, se puede considerar una grieta leve a partir de los dos milímetros hasta los 5 milímetros, una grieta moderada es de los 5 hasta los 10 milímetros, a partir de los 10 milímetros se considera que es una grieta grave [6], [5].
Un causante de grietas en la edificación es el exceso de carga y hace referencia a cuando un elemento es sometido a una carga para la cual no fue diseñado, otro causante la dilatación y contracción higrotérmica causadas por la acción del agua y del clima [5].
Las fisuras en las edificaciones se pueden evidenciar en las juntas, soportes y mampostería y son causadas por falta de adherencia o de deformación y por la dilatación contracción [6].

Desprendimientos

El desprendimiento hace referencia a la separación entre el material de acabado y los elementos de soporte, este tipo de lesión es consecuencia de otro tipo de lesiones como la humedad y presencia de fisuras [6].

Lesiones químicas

Este tipo de lesiones es causado por la presencia de sustancias químicas que por lo general causan la descomposición de los materiales de los elementos, los agentes químicos que normalmente originan las lesiones son las sales, ácidos y álcalis [6].

Eflorescencias

Este tipo de lesión es causado por la presencia de humedad y causa una salida de las sales propias de los materiales a causa de la evaporación y luego se cristalizan en el exterior, este tipo de lesión genera un tipo de marca muy específica, genera una mancha similar a una flor, se puede presentar sobre el material propio o en los materiales cercanos al que le ocurre este fenómeno, también puede que se haga la cristalización debajo de la superficie del material, que luego hará que se desprenda [6].

Oxidaciones y corrosiones

Ambos fenómenos son transformaciones moleculares del material que afectan, comúnmente se presenta en elementos metálicos como el hierro y el acero, ambos fenómenos ocurren al mismo tiempo y por eso suele decirse que son lo mismo. La oxidación es un proceso químico donde los metales se transforman en óxido debido a la acción del oxígeno la oxidación se presenta con facilidad debido a que es más estable químicamente estable, la corrosión es la pérdida progresiva de las partículas superficiales del metal [6].

Organismos

Los animales o plantas pueden llegar a afectar la superficie de los materiales, las afecciones químicas producidas por sustancias segregadas, y las patologías físicas se presentan en su mayoría por erosión.
Los animales que causan daños a las estructuras son en su mayoría son insectos que se alojan en el interior del material y se alimentan de él, animales de mayor tamaño como aves afectan los materiales en forma de erosión.
Las plantas generan distintos tipos de afecciones donde se encuentran a las que son causadas por el peso propio de la planta o la acción de sus raíces, también hay plantas de menor tamaño o microscópicas donde el daño se genera a nivel químico, dentro de este tipo de plantas podemos encontrar que el moho afecta materiales porosos donde se hace un cambio de color, olor y aspecto; también están los hongos que afectan normalmente la madera, donde la descomponen e incluso pueden llegar a destruirla completamente [6].

6.1.13 Relación entre demanda y capacidad

Deben determinarse unos índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad, que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las solicitaciones equivalentes definidas en A.10.4.2. Del presente Reglamento [7].

6.1.14 Definición del índice de sobreesfuerzo

El índice de sobreesfuerzo se expresa como el cociente entre las solicitaciones equivalentes, calculadas de acuerdo con A.10.4.2 y la resistencia efectiva. Tiene dos acepciones:

a) Índice de sobreesfuerzo de los elementos: El cual se refiere al índice de sobreesfuerzo de cada uno de los elementos estructurales individuales, y [7]
b) Índice de sobreesfuerzo de la estructura: Cuando se determina para toda la estructura, evaluando los elementos con un mayor índice de sobreesfuerzo individual y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto [7]

6.1.15 Determinación del índice de sobreesfuerzo

Para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, torsión, etc., debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicarle las solicitaciones equivalentes, mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el Título B del reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, por la resistencia efectiva del elemento. El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de

estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación [7].

6.1.16 Resistencia efectiva

La resistencia efectiva Nef de los elementos, o de la estructura en general, debe evaluarse como el producto de la resistencia existente N_{ex} multiplicada por los coeficientes de reducción de resistencia ϕc y ϕe así:

$$N_{ef} = \phi c \, \phi e \, N_{ex}$$

Donde a ϕc y ϕe se les asigna el valor dado en la Tabla A.10.4-1, dependiendo de la calificación de la calidad y estado de la estructura definida en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2. del presente reglamento [7].

Tabla 1. Valores de ϕc y ϕe

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	**Regular**	**Mala**
ϕc o ϕe	1.0	0.8	0.6

Fuente: NSR-10 [7]

6.1.17 Definición del índice de flexibilidad

Debe determinarse un índice de flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el reglamento. Tiene dos acepciones: a) Índice de flexibilidad del piso: el cual se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el Reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación, y b) Índice de flexibilidad de la estructura: definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Se debe evaluar para las deflexiones verticales y para las derivas [7].

6.1.18 Análisis de Vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

a. Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación considerando las relaciones entre demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos.
b. Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla

progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo.

c. Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento, y
d. Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. el inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento [7].

6.2. MARCO CONCEPTUAL

En el presente proyecto es importante mencionar los principales términos que hacen referencia al estudio de investigación, para poder interpretar mejor el proceso y que servirán para el correcto desarrollo del proyecto. Por ejemplo el refuerzo estructural conlleva el incremento de características mecánicas en los elementos estructurales del edificio *La voz de Llano* respecto a su capacidad y resistencia, para cumplir su función, en este caso el refuerzo utilizado en el edificio es refuerzo de acero estructural.

El daño estructural de la edificación representa las lesiones y deterioros principalmente en columnas, cimentaciones y vigas. Generalmente estos daños se presentan durante un evento sísmico o como consecuencia del cambio de solicitaciones de uso de la estructura. El sismo, son movimientos precipitados al interior de la tierra que se producen vibraciones o movimientos del suelo; el principal fundamento responsable de la mayoría de los eventos sísmicos (grandes y pequeños) es la ruptura de las rocas en las capas superficiales más externas de la corteza terrestre. Producto de lo anterior se puede presentar patologías que describen las lesiones y el análisis de los causantes de las lesiones, que se verifican mediante inspecciones visuales superficiales del edificio y sus elementos, para posteriormente proporcionar recomendaciones para la mejora de los elementos.

La estructura del edificio representa la unión de diferentes elementos del edificio como vigas, columnas y muros que hacen parte de un todo. Por otra parte el concreto es producto de una mezcla de materiales, que tiene propiedades de adición y cohesión que al hacer contacto con el agua reacciona químicamente para unir materiales áridos, formando una pasta uniforme que al pasar por un proceso de fraguado se endurece.

Una lesión que presente el edificio hace referencia al daño ocasionado por factores mecánicos, físicos y químicos de los elementos. Así mismo la deformación o deformaciones que existan son las variaciones que tenga un

elemento debido a las cargas a la cual sea sometido, otra propiedad de los elementos es el estado límite**,** es aquel que se conoce como el punto hasta el cual un material puede ser sometido a la acción de una fuerza sin que este se fracture o pierda su estabilidad mecánica.

Los elementos de la edificación objeto de estudio, es la viga y la columna, la viga, es un elemento horizontal diseñado para soportar cargas transversales y transmitirlas a los elementos verticales, y la columna es un elemento estructural axial sometido a compresión donde la dimensión longitudinal es la principal de sus dos dimensiones. Las columnas ideales son elementos homogéneos de sección recta constante, sin embargo siempre presentan ciertas imperfecciones.

6.3. ESTADO DEL ARTE

6.3.1 Estudio patológico fachada principal torre 1 *edificio frontera living apartments*

Alcance: Realizar el estudio patológico de la fachada principal de la torre 1 en la Urbanización FRONTERA LIVING APARTMENTS incluyendo el levantamiento de las lesiones, el análisis general de vulnerabilidad sísmica y levantamiento arquitectónico de la fachada principal, para determinar el estado actual de la estructura y así poder orientar hacia una propuesta de intervención.
Estudios a realizar:

- Levantamiento arquitectónico de las lesiones
- Análisis estructural y vulnerabilidad sísmica de las condiciones generales de la estructura
- Evaluación del estado patológico actual de la fachada en ladrillo

Con ayuda de la información recolectada se podrá emitir un concepto del estado general de la estructura, el cumplimiento de la NSR-10 y evaluar la metodología de inspección, reparación o intervención de la misma.

Resultados: Se obtiene evidencia de eflorescencia y esto es una consecuencia de la lesión de existencia de humedad y de las características fisicoquímicas de los materiales que componen la fachada, como son el contenido de sales y la porosidad.

Los materiales afectados son producto de las sales han afectado las unidades de ladrillo en fachada, también dichas sales de vanadio afectan las unidades de mampostería en fachada.

Periodicidad: Las manchas por la afectación de las sales de vanadio se produjeron luego de que las unidades de mampostería fueron instaladas.

Conclusiones: En este informe es importante resaltar la presencia de manchas de color verde a negro en la fachada principal compatibles con vanadio, también se evidenciaron eflorescencias en el ladrillo de color claro, en la parte central, estas provienen del material y de humedad de obra.

Las lesiones se relacionan con deficientes procesos constructivos como la mala preparación de mortero de pega, de la impermeabilización y de las boquillas, por otra parte del análisis de vulnerabilidad se determinó que la estructura fue construida bajo los parámetros de la presente norma NSR-10 y se verificó el cumplimento de los lineamientos que en ella se establecen de acuerdo al capítulo 10 del título A

La formulación de la propuesta de intervención es interesante y óptima debido a que los laboratorios y los estudios químicos garantizan las recomendaciones para eliminar las manchas de vanadio y dar un buen aspecto estético a la fachada, en la cual se especifica el procedimiento y presupuesto de manera general.

6.3.2 Estudio patológico edificio de oficinas corporación minuto de Dios

Metodología: Se realizará una investigación del edificio recopilando información que se pueda obtener desde que fue construido hasta la actualidad, para esto se realizarán varias entrevistas con los propietarios, visita al archivo general de Planeación Distrital en donde se consultará la información de la licencia de construcción de dicha edificación, se verificará la existencia de la empresa que realizó la construcción del edificio para confrontar la información con que cuentan ellos y así empezar a plantear hipótesis de lo que ha estado ocurriendo y empezar con la investigaciones de campo como es el levantamiento de la edificación, la identificación de las patologías existentes, el planteamiento de los ensayos destructivos y no destructivos que se van a llevar a cabo y con los resultados obtenidos de éstos, determinar el estado de los materiales actualmente y con estos datos poder realizar la valoración y el análisis estructural del edificio, para la cual se utilizará la ayuda de un software que modele la estructura y así poder obtener los índices de capacidad de los elementos, dicho análisis se realizará por una de las metodologías reconocidas para éste tipo estudios.

Diagnóstico: En el edificio de Oficinas de la Corporación Minuto de Dios, se están presentando dos tipos de lesiones mecánicas y físicas, que se evidencian en algunos de los elementos de la estructura que componen la edificación, estas afectaciones vienen presentándose desde hace unos 6 años aproximadamente.

Para determinar la capacidad, resistencia y poder realizar un análisis detallado de la estructuras se realizaron una serie de ensayos, como primera medida se realizará una inspección visual detallada de la estructura y luego se harán pruebas

de esclerometría, que nos darán una resistencia aproximada del concreto de los elementos de la edificación, también se utilizaran los fisurómetros que ayudaron a determinar si las grietas están activas o si por el contario ya se detuvieron, y por último se hace necesario realizar extracciones de núcleos de los elementos de concreto tanto en la cimentación, como en las vigas, para así tener un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los elementos.

Luego de obtener los resultados de los ensayos realizados, se procederá a tomar toda la información para analizar la estructura, obteniendo los índices de sobreesfuerzo a los cuales está siendo sometida la estructura de la edificación, determinar la capacidad de resistencia que poseen los elementos que la conforman, para así plantear las posibles intervenciones que podrían implementarse en ésta.

Conclusiones: Una vez compilada toda la información de la historia clínica del paciente se puede concluir que las lesiones presentadas en el paciente corresponden a afectación relacionadas con el comportamiento del subsuelo y los esfuerzos adicionales a los cuales fue sometida la estructura.

Al revisar los resultados de los ensayos de laboratorios se puede decir que la edificación debe ser intervenida en el menor tiempo posible, ya que los elementos se encuentran sobre esforzados y muchos han sobrepasado su capacidad de resistencia, que al momento de ser sometidos a una excitación sísmica el predio tiene un alto riesgo de colapso.

Para dar solución a las patologías presentadas en la edificación se concluye que la opción más viable de acuerdo a las normativas vigentes y a las lesiones presentadas en el paciente es la propuesta de un nuevo sistema estructural de pórticos en concreto con zapatas aisladas, que le den una mejor flexibilidad a la edificación.

6.3.3 Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: edificio nacional (DIAN)

El presente informe da los resultados del proceso ejecutado para conocer el estado del sistema estructural del *Edificio Nacional* en el municipio de Villavicencio y si requiere rehabilitación; con el propósito de conservar su funcionalidad ante un evento sísmico. Este proyecto tiene como resultado el diagnóstico del estado de la construcción, del cual dependen las acciones que se deben tomar para permitir la conservación del inmueble.

Muestra: El *Edificio Nacional* ubicado en Villavicencio, Meta donde actualmente funcionan las oficinas de correos nacionales y que se encuentra bajo la administración de la DIAN seccional Meta, esta construcción es de carácter patrimonial y se clasifica como bien inmueble de interés cultural de la nación.

Resultados: Obedeciendo los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo se tiene que la construcción está en optima condición para soportar efectos sísmicos moderados, algunos elementos estructurales no cumplen con el índice de sobreesfuerzo, por lo tanto es necesario un reforzamiento estructural para que cumpla los requisitos que exige la NSR – 10.

Para el caso específico del muro 22, en el que se tiene el índice de sobre esfuerzo más alto, las condiciones de este muro son particulares, tiene una geometría en la que predomina el ancho de la base que esta sostenida por tres columnas y un muro con distancias libres de gran relevancia, estas distancias y las cargas que recibe por su peso generan esfuerzos concentrados en diferentes zonas del muro.

Conclusiones: Se define lo siguiente:

- Se requiere realizar un estudio de rehabilitación sísmica para el edificio Nacional teniendo en cuenta los procedimientos establecidos por la NSR-10, para el caso de edificaciones declaradas como patrimonio histórico en el capítulo A.10.9.2.5, en donde se aumente el nivel de seguridad de los elementos estructurales vulnerables ante las solicitaciones equivalentes y se permita alcanzar un índice de sobreesfuerzo seguro.
- Los valores de verificación de la deriva en cada uno de los nodos se encuentran dentro del rango establecido por el NSR-10 (no superan el 0,5% de la altura del piso), al realizar el cálculo para el índice de flexibilidad se obtiene que no hay deformaciones excesivas que afecten el buen desempeño de la estructura**.**
- El edificio se encuentra en buen estado aparente, visualmente el edificio está en buenas condiciones, con lesiones leves con respecto al estado de conservación.

6.3.4 Determinación y evaluación de las patologías del concreto en el canal de regadío del distrito de Cabana

En esta investigación se implementa una metodología que para este proyecto será la compilación de los antecedentes existentes y de entrada; en este período se hizo un sondeo sobre el ordenamiento, análisis y validación de datos de entrada existentes y lo necesario para poder ayudar a cumplir los objetivos, asimismo los cálculos para generar una memoria de cálculo que facilitó el análisis del estado del

concreto en el canal de conducción. En definitiva, se realizó un examen de resultados, que muestran los aspectos y conclusiones suplementarios que se generaron acerca del tema.

Muestra: Para ejecutar la presente investigación, se efectuó un examen visual a la población afectada, toda aquella que se estableció por los kilómetros del canal de regadío del distrito de Cabana en el año 2015. Los cálculos y diseños fueron de tipo descriptivo-no experimental y de corte transversal.

Patología: Se puede dividir las falencias halladas en los canales en dos grandes conjuntos: fallas de superficie, fallas de estructura.

Fallas de superficie

- Por imprecisiones en los métodos de cálculo o en las normas
- Por no especificar la resistencia y características apropiadas de los materiales que se emplean (concretos y agregados)
- Por no respetar las tolerancias dimensionales permisibles en los elementos
- Por utilizar poco cemento (mezclas pobres o porosas)

Fallas de estructura

- Por malas prácticas de manejo, conformación y compactación del terreno de fundación.
- Por ausencia de cálculos o por no valorar todas las cargas y condiciones de servicio del canal.
- Por no proyectar juntas de contracción, de dilatación o de construcción.
- Por no tolerar deformaciones excesivas en el cálculo.

Resultados: Como resultados finales de las muestras, se obtiene un porcentaje de afectación de 50.43 % y un porcentaje (%) sin daños de 49.66 %, por lo tanto esto obedece a un nivel de severidad de 2 y severidad moderado.

Lo más frecuente en causal de fallas en las distintas tramos o muestras son erosión debido a que el porcentaje llega hasta a un 34.80 %. Este grado de deterioro del concreto se confinó en casi todas las muestras o tramos registrados.

Las rupturas que mayor daño que produjo al concreto, de todas las fallas inspeccionadas, fueron la erosión con 34.80 %, descascaramiento 9.81 %, vegetación con 24.83 %, grietas longitudinales, sello de junta con 8.70 %, verticales, transversales y diagonales con 8.55 %.

Finalmente el porcentaje que evidenció sobre de las patologías del concreto en el canal del distrito de Cabana, alcanzó los 49.66 % sin daños, con un nivel de severidad 2 y severidad moderado. En consecuencia todos los paños del canal del distrito de Cabana se localizan en un nivel de severidad 2 y severidad moderada.

6.4. MARCO NORMATIVO

Para el desarrollo del presente proyecto es necesario tener en cuenta lo que dicen las normas colombianas vigentes en relación a las estructuras y su uso, la siguiente tabla refleja las normas que serán utilizadas

Tabla 2 Normativa del proyecto

Norma	Sección
NSR-10	
NTC-3692	Ensayo de esclerómetro
Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364.1R-94	General
Building Code Requirement for Structural Concrete ACI-318-2011.	General
Sociedad Americana de Ensayos y Materiales - ASTM – E 632/82	General

Fuente: Autores

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

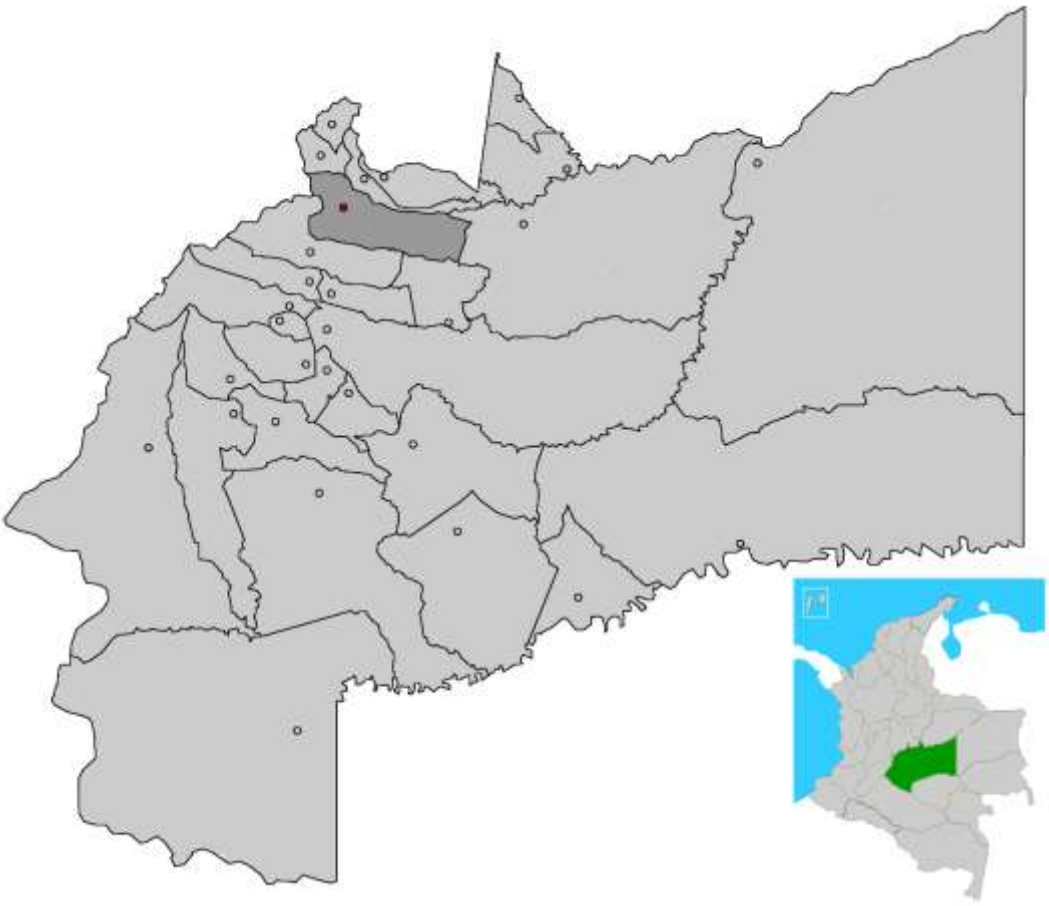


Figura 4. Ubicación de Villavicencio
Fuente: Academic [8]

6.5.1 Descripción física

Villavicencio, capital del departamento del Meta, es el mayor núcleo poblacional, económico, administrativo y cultural de los llanos orientales de allí que se le llame "Puerta del Llano", está situada al noroccidente del departamento del Meta, en el pie del monte de la cordillera oriental en la margen izquierda del río Guatiquía, localizado a los 04° 09' 12" de latitud norte y 73° 38' 06" de longitud oeste y a una altura de 467 metros sobre el nivel del mar, es la ciudad más grande de los llanos orientales y la primera fuente comercial y de abastecimiento para la región, está ubicada en el centro del país [9].

El municipio de Villavicencio, limita:

NORTE El Calvario y Restrepo
SUR San Carlos de Guaroa y Acacias
ORIENTE Puerto López
OCCIDENTE Acacias y el departamento de Cundinamarca

En el territorio municipal se distinguen dos regiones: una montañosa, ubicada al occidente y nororiente del municipio, conformada por el costado de la cordillera oriental; la otra región una planicie ligeramente inclinada hacia el oriente y nororiente, correspondiente al pie de monte. Bordeada al norte por el río Guatiquía, al sur por el río Guayuriba; por la parte central de esta planicie cruzan los ríos Ocoa y Negro, numerosos caños y corrientes menores [9].

Gentilicio: Villavicense

Población: 451.221 habitantes (Censo DANE 2018. Según proyecciones del DANE, para el 2020 Villavicencio tendrá 514.092 habitantes).

Extensión: 1.328 km2
Altura: 467 msnm
Temperatura promedio: 27º C promedio
Meses secos: de diciembre a marzo
Meses más lluviosos: de abril a septiembre.
Precipitación media anual: 3.663 mm.

El comercio es el sector más dinámico, debido que a través de Villavicencio se canaliza hacia Bogotá y otras ciudades del interior la mayoría de productos agropecuarios y agroindustriales del llano, siendo denominada la despensa de Colombia [10].

La actividad económica es dinámica y se encuentra principalmente en el comercio, la agricultura, la ganadería y la explotación del petróleo y gas en el campo de Apiay [10].

6.5.2 Lugar de aplicación del proyecto.

Edificio La Voz del Llano

Figura 5. Ubicación Edificio
Fuente: Google earth.

El edificio *La Voz del Llano* se encuentra ubicado en la Cra. 31 #37-71, Villavicencio, Meta en la zona centro de la ciudad, el edificio está a unos pasos del parque central Los libertadores y del edificio Davivienda centro.

6.5.3 Geología de la zona

Litología y estratigrafía

Rocas precámbricas a jurásicas

- Metamorfitas del quetame: Metamorfitas, cuarcitas, filitas verdes, grises y moradas, metalimolitas.
- Formación brechas de Buenavista: Ruditas, pizarras, filitas y esquistos [11]

Rocas cretáceas

- Formación lutitas de macanal: lodita gris oscura con interposiciones de arenisca lítica y calcáreos.
- Formación arenisca de caqueza: areniscas cuarzosas con intercalaciones de lodita gris verdosa
- Formación Fomeque: arcillo litas pardo amarillentas, con presencia de areniscas líticas grises

- Formación Une: arenisca gris claro con interposiciones de arenisca cuarzosa
- Grupo Palmichal: nivel superior arenoso, medio conformado por lutitas arcillosas y un nivel inferior arenoso [11]

Rocas terciarias

- Formación de corneta: Bloques y guijos de cuarcita, arenisca y lodita.

Depósitos cuaternarios

- Abanicos coluvio aluviales: suelos de textura franco limosa
- Coluviones: Depósitos de talud
- Terrazas aluviales: En el borde del rio Guatiquía, Upín y Ocoa.

Estructuras tectónicas

Las fallas que pasan por la ciudad de Villavicencio son las siguientes:

- Falla Rio negro
- Falla Servita
- Falla Santa maría
- Falla Argentina
- Falla El mirador
- Falla Quebrada la honda
- Falla Pescado [11]

7. METODOLOGÍA

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

7.1.1 Recopilación de información básica

Inicialmente se investigó en el municipio de Villavicencio, en los archivos municipales, que datos habían existentes sobre el edificio *La Voz del Llano*. También por medio del dueño del edificio, se realizaron trámites para obtener algunos planos arquitectónicos, y algunas especificaciones que nos permitieron, conocer detalladamente la estructura.

7.1.2 Solicitud de permisos y autorizaciones

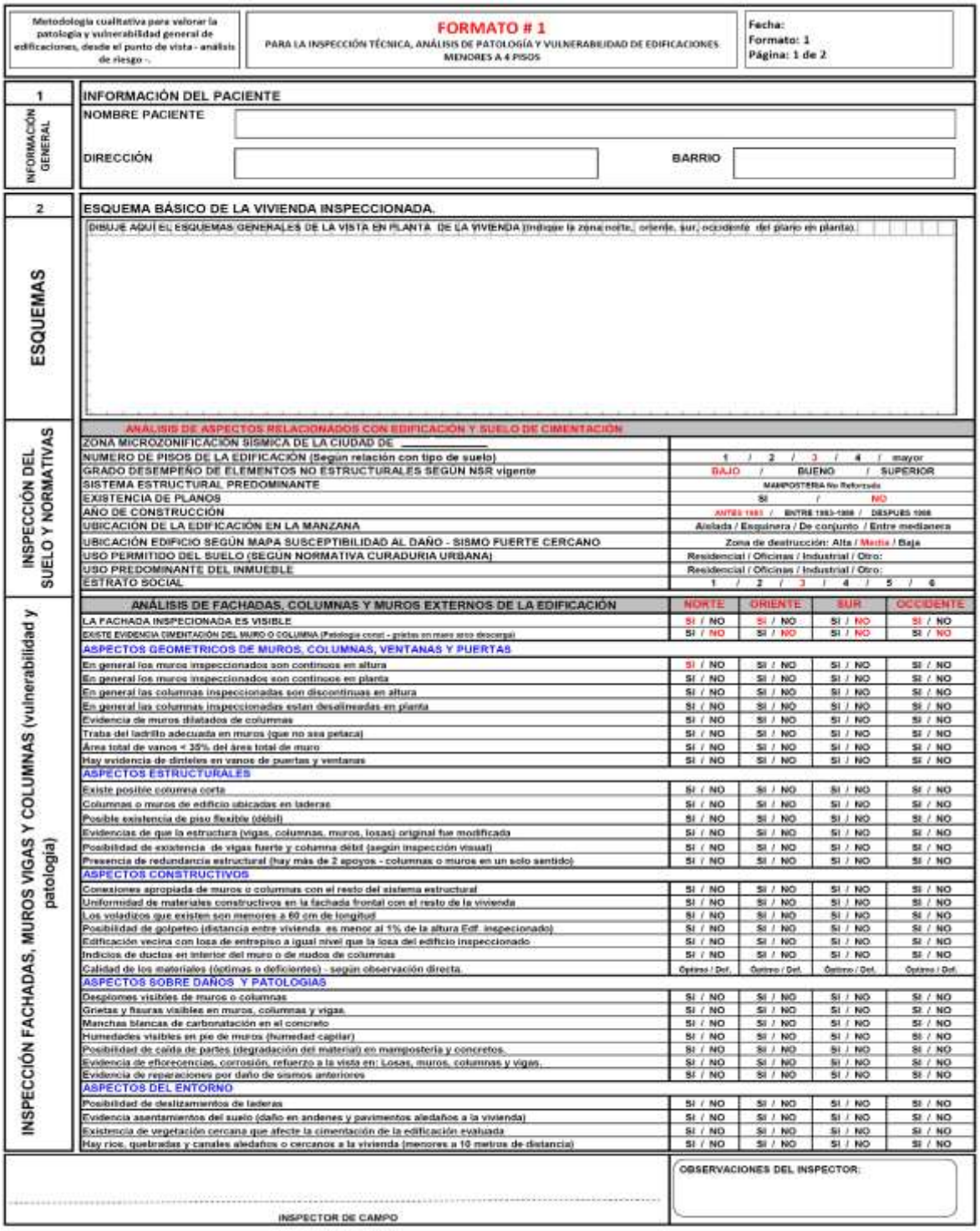
Para el ingreso a las instalaciones, se solicitó permiso a la gerencia de la emisora *Radio 1,* la cual es la que hace uso de la edificación, donde se aclaraba la justificación del estudio actual dejando en claro cuál era el propósito, siguiente a ello, sin ningún problema obtuvimos el permiso sin inconvenientes.

7.1.3 Historia Clínica del paciente

Para el reconocimiento del paciente se realizó una inspección visual para así identificar las características que presenta, así como los datos principales del mismo. Se registró en su historia clínica el nombre, ubicación, área, edad, antecedentes y consignación de daños.

7.1.4 Inspección visual.

Se realiza una visita a la edificación en donde se hace un conteo e identificación de las distintas lesiones, llenando un formato para su fácil identificación, se hizo un registro fotográfico donde se muestran las diferentes características de las lesiones, a continuación, se presenta el formato donde se registra las características generales del paciente:



Metodología cualitativa para valorar la patología y vulnerabilidad general de edificaciones, desde el punto de vista - análisis de riesgo -.

FORMATO # 1
PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA, ANÁLISIS DE PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES MENORES A 4 PISOS

Fecha:
Formato: 1
Página: 1 de 2

1 — INFORMACIÓN GENERAL

INFORMACIÓN DEL PACIENTE

NOMBRE PACIENTE

DIRECCIÓN — BARRIO

2 — ESQUEMAS

ESQUEMA BÁSICO DE LA VIVIENDA INSPECCIONADA.

DIBUJE AQUÍ EL ESQUEMAS GENERALES DE LA VISTA EN PLANTA DE LA VIVIENDA (Indique la zona norte, oriente, sur, occidente del plano en planta).

INSPECCIÓN DEL SUELO Y NORMATIVAS

ANÁLISIS DE ASPECTOS RELACIONADOS CON EDIFICACIÓN Y SUELO DE CIMENTACIÓN	
ZONA MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE LA CIUDAD DE _____	
NUMERO DE PISOS DE LA EDIFICACIÓN (Según relación con tipo de suelo)	1 / 2 / 3 / 4 / mayor
GRADO DESEMPEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SEGÚN NSR vigente	BAJO / BUENO / SUPERIOR
SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	MAMPOSTERIA No Reforzada
EXISTENCIA DE PLANOS	SI / NO
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	ANTES 1983 / ENTRE 1983-1998 / DESPUES 1998
UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN LA MANZANA	Aislada / Esquinera / De conjunto / Entre medianera
UBICACIÓN EDIFICIO SEGÚN MAPA SUSCEPTIBILIDAD AL DAÑO - SISMO FUERTE CERCANO	Zona de destrucción: Alta / Media / Baja
USO PERMITIDO DEL SUELO (SEGUN NORMATIVA CURADURIA URBANA)	Residencial / Oficinas / Industrial / Otro:
USO PREDOMINANTE DEL INMUEBLE	Residencial / Oficinas / Industrial / Otro:
ESTRATO SOCIAL	1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6

INSPECCIÓN FACHADAS, MUROS VIGAS Y COLUMNAS (vulnerabilidad y patología)

ANÁLISIS DE FACHADAS, COLUMNAS Y MUROS EXTERNOS DE LA EDIFICACIÓN	NORTE	ORIENTE	SUR	OCCIDENTE
LA FACHADA INSPECIONADA ES VISIBLE	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
EXISTE EVIDENCIA CIMENTACIÓN DEL MURO O COLUMNA (Patología corsi - grietas en muro arco descarga)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS GEOMETRICOS DE MUROS, COLUMNAS, VENTANAS Y PUERTAS				
En general los muros inspeccionados son continuos en altura	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general los muros inspeccionados son continuos en planta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general las columnas inspeccionadas son discontinuas en altura	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general las columnas inspeccionadas estan desalineadas en planta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de muros dilatados de columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Traba del ladrillo adecuada en muros (que no sea pelaca)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Área total de vanos < 35% del área total de muro	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Hay evidencia de dinteles en vanos de puertas y ventanas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS ESTRUCTURALES				
Existe posible columna corta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Columnas o muros de edificio ubicadas en laderas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posible existencia de piso flexible (débil)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencias de que la estructura (vigas, columnas, muros, losas) original fue modificada	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de existencia de vigas fuerte y columna débil (según inspección visual)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Presencia de redundancia estructural (hay más de 2 apoyos - columnas o muros en un solo sentido)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS				
Conexiones apropiada de muros o columnas con el resto del sistema estructural	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Uniformidad de materiales constructivos en la fachada frontal con el resto de la vivienda	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Los voladizos que existen son menores a 60 cm de longitud	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de golpeteo (distancia entre vivienda es menor al 1% de la altura Edf. inspeccionado)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Edificación vecina con losa de entrepiso a igual nivel que la losa del edificio inspeccionado	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Indicios de ductos en interior del muro o de nudos de columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Calidad de los materiales (óptimas o deficientes) - según observación directa.	Óptimo / Def.	Óptimo / Def.	Óptimo / Def.	Óptimo / Def.
ASPECTOS SOBRE DAÑOS Y PATOLOGIAS				
Desplomes visibles de muros o columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Grietas y fisuras visibles en muros, columnas y vigas.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Manchas blancas de carbonatación en el concreto	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Humedades visibles en pie de muros (humedad capilar)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de caída de partes (degradación del material) en mampostería y concretos.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de eflorecencias, corrosión, refuerzo a la vista en: Losas, muros, columnas y vigas.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de reparaciones por daño de sismos anteriores	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS DEL ENTORNO				
Posibilidad de deslizamientos de laderas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia asentamientos del suelo (daño en andenes y pavimentos aledaños a la vivienda)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Existencia de vegetación cercana que afecte la cimentación de la edificación evaluada	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Hay rios, quebradas y canales aledaños o cercanos a la vivienda (menores a 10 metros de distancia)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO

INSPECTOR DE CAMPO

OBSERVACIONES DEL INSPECTOR:

Figura 6. Formato de inspección patológica
Fuente: Geovanny Maldonado [12]

Además se tendrá en cuenta un formato adicional para hacer el peritaje final de la estructura que nos indique variables claves para definir resultados, mostrada a continuación:

PERITAJE TÉCNICO PARA RECONOCIMIENTO DE EDIFICACIONES
Ley 1848 de 2017 - Decreto 1077 de 2015 - Ley 400 de 1997 - NSR10

1. DIAGNÓSTICO

1.1 Identificación

N° de Radicado:		Dirección:	
Cédula Catastral:	Barrio:	Estrato:	Uso:
Ciudad:	Año de Construcción:	Profesional Enc:	

1.2 Tamaño

Área de lote: M^2 Área total de construcción: M^2 Pisos sobre el terreno: Sótanos:

1.3 Posición de la edificación:

Esquina, costados restringidos ☐ Intermedia, costados restringidos ☐ Libre por un costado ☐ Libre por dos costados ☐

1.4 Propiedades de los Materiales

Los materiales predominantes en la edificación son:

1.5 Sistema Estructural de conformidad con A.3

Pórtico resistente a momentos ☐ Mampostería Estructural ☐ Muros de concreto reforzado ☐ Combinación de sistema estructural ☐ Sistema Dual ☐

1.6 Geometría, conforme con A.3

	Buena	Regular	Mala		Buena	Regular	Mala
Configuración planta	☐	☐	☐	Vulnerabilidad Sísmica	☐	☐	☐
Configuración Altura	☐	☐	☐	Cantidad de muro en las dos direcciones	☐	☐	☐

Ro	
Φa	
Φp	
Φr	
R	

1.7 Predimensionamiento C.9.5 (a)

DESCRIPCIÓN	ALIGERADA		MACIZA	
Simplemente apoyado	L/16		L/20	
Un apoyo continuo	L/18,5		L/24	
Ambos apoyos continuos	L/21		L/28	
Voladizos	L/8		L/10	

L vano ☐ Metros

H diseño ☐ centímetros

1.8 Nivel de Amenaza Sísmica A.2

DES		Aa		Fa		I	
DMO		Av		Fv			
DMI		Ad					

1.9 Estudios Geotécnicos, conforme Título H

1.9.1 Clasificación de las unidade de construcción por categorías según H.3.1.1 Tabla H.3.1-1 NSR-10

BAJA ☐ MEDIA ☐ ALTA ☐ ESPECIAL ☐

1.9.2 Número de sondeos mínimos según H.3.2.3 Tabla H.3.2-1 NSR-10

Categoría ☐ Número de Sondeos ☐ Und Profundidad ☐ Metros

1.9.3 Estudio de suelos conforme con H.2.2.2 NSR-10

SI ☐ NO ☐ N° de Páginas ☐

1.9.4

Perfil del suelo Tipo		Asentamiento δ	
Profundidad de Desplante hr		Esfuerzo último Qu	
Capacidad Admisible Qa			

1.9 Planos con elementos estructurales de muros confinados, especificación técnica de materiales, cimientos entrepisos y cubierta. Todos los planos y estudios especializados deben ir debidamente rotulados y firmados por profesional idóneo de acuerdo con el título VI Ley 400 de 1997. Planos ☐ de ☐

Figura 7. Formato peritaje técnico
Fuente: Geovanny Maldonado [12]

7.1.5 Pruebas de laboratorio

Se realizaron pruebas de laboratorio invasivas y no invasivas sobre los elementos estructurales del edificio para saber cuál es su estado actual y si cumple con requisitos, se realizarán pruebas no invasivas como el esclerómetro (NTC 3692) y ferro scan y las invasivas como profundidad de carbonatación y de extracción de núcleos.

7.1.6 Mapeo de daños

Después de elaborados los planos estructurales se señala los daños patológicos más relevantes y donde se plasma las lesiones identificadas durante el diagnóstico, el mapeo de daños se requiere para identificar fácilmente las patologías presentadas en toda el área del paciente, generalmente se realiza de vista en planta con sus respectivas convenciones.

7.1.7 Modelado en ETABS

Se realiza un modelo en el software ETABS contemplando los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y el levantamiento estructural. Con lo anterior se aclara que el modelo se ejecuta teniendo en cuenta el estado actual de sus elementos estructurales. Y así, éste represente el comportamiento real de la estructura frente a un evento sísmico, dando como resultado un análisis completo respecto al chequeo de derivas, índice de sobreesfuerzo, análisis estructural dinámico, entre otros.

7.1.8 Etiología.

Se identifica las fallas o lesiones que presenta la estructura y que lo está causando, es decir, el origen del problema. Más adelante, en el desarrollo del proyecto se describe lo anterior.

7.1.9 Evaluación.

Determinar en qué estado se encuentran los diferentes elementos y si son confiables para la seguridad.

7.1.10 Informe de resultados y recomendaciones

Se elabora un documento donde se evidencia los distintos elementos que presentan lesiones, el origen de estas, e indicaciones sugeridas para controlar y mejorar el estado de la edificación, en el informe se anexa una carpeta donde se encuentran los formatos de las visitas con sus respectivas fotografías.

7.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Esta investigación va dirigida a las edificaciones existentes en el municipio de Villavicencio, diseñadas y construidas con anterioridad a la vigencia de la presente versión del reglamento Colombiano de construcciones sismo resistente. Las muestras identificadas son las afecciones y síntomas que presentan los pacientes (edificaciones) con el deterioro a través del tiempo y el uso actual, es decir las patologías que se evidencien y generan incertidumbre en las personas que las frecuentan. Para la recolección de datos nos basamos en instrumentos como los ensayos de laboratorio que nos proporciona información sobre las propiedades físicas y químicas de los materiales que componen la edificación

El número de muestras de laboratorio obedece a la cantidad de elementos que componen la superestructura y la cantidad de laboratorios que nos proporcionan información suficiente para el objeto del proyecto. Se contemplan cuatro ensayos de laboratorio tales como ferro scan, extracción de núcleos, profundidad de carbonatación y el ensayo de esclerómetro, que por cada uno se realizará cuatro muestras, exceptuando el ensayo de esclerómetro que según la NTC-3692 se debe dar por lo menos diez golpes a cada elemento con distancia mínima de dos centímetros. En este caso, tenemos treinta y cuatro elementos estructurales, por consiguiente sería un total de a lo sumo trescientos treinta y cuatro golpes de esclerometría.

Para la inspección visual y registro de datos del paciente (edificación) se utiliza los formatos que permite seguir un proceso de recolección de información necesaria para evaluar e inspeccionar las lesiones del paciente de manera confiable como lo muestra la Figura 6 y 7, del numeral 7.1.4.

La norma legal vigente (NSR-10) de Colombia es la base de donde partimos para realizar comparaciones con toda la recolección y obtención de información, para poder dar un dictamen final del estado del paciente.

8. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Se buscó la información de la edificación en el archivo municipal de Villavicencio, de igual forma se contactó al propietario de la edificación para obtener información pertinente al proceso constructivo de la edificación, el proceso constructivo no pudo ser determinado por medio del propietario de la edificación.

El edificio *La Voz Del Llano* se encuentra ubicado en la zona centro, de la ciudad de Villavicencio, es una edificación estrato 3, de 5 pisos que consta en el primer nivel de una zona comercial, en el segundo piso es utilizado como una bodega para un local comercial, el tercer y cuarto piso corresponden a oficinas donde se encuentra la recepción y la gerencia de la emisora *Radio 1*, y en el 5 nivel está la sala de prensa donde se de la emisora. También cuenta con una azotea donde están los equipos de radio difusión y dos tanques de almacenamiento de agua. El administrador de la edificación es el señor Jaime Pava.

Según los datos obtenidos en el trabajo de recopilación de información tenemos:

- Nombre de las instalaciones: edificio *La Voz Del Llano*.
- Fecha aproximada de construcción del proyecto: Abril de 1991
- Área aproximada del proyecto: 261.12 m^2
- Dirección del proyecto: calle 38 # 69A-100
- Tipo de uso de la edificación: Oficinas
- Estrato de la edificación: 3
- Años promedios de construcción del proyecto: 29 años

El propietario del edificio proporcionó algunos planos arquitectónicos de la edificación donde se pudo determinar que el año de construcción de la edificación fue en el año 1991. Con la información proporcionada por lo planos se pudo identificar los elementos estructurales columnas presentes en el edificio y se le dio una nomenclatura a cada uno de los elementos.

8.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El edificio *Voz Del Llano* ubicado en la ciudad de Villavicencio, la cual es objeto de estudio cuenta con 5 niveles y una azotea, con un área aproximada en los pisos 1 y 2 de 30.60 m^2, y en los pisos del 3 a la azotea de 57.63m^2.

Esta estructura posee un sistema estructural combinado, el cual cuenta con pórticos en concreto en la fachada principal y en la parte trasera de la edificación tiene muros estructurales, del piso 3 hacia arriba cuenta con columnetas en toda la fachada principal, las cuales ayudan a soportar las cargas de los siguientes pisos.

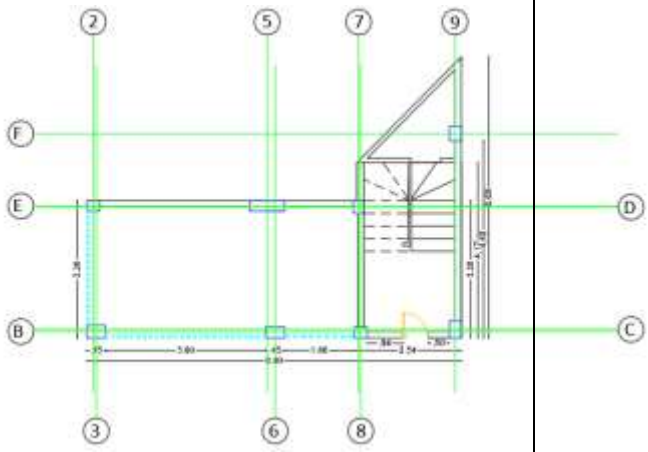
Tendríamos entonces 8 columnas de las cuales 3 llegan hasta el piso 3 y las 5 restantes continúan hasta el último piso ayudándose con 16 columnetas, que

están en toda la parte perimetral de la fachada principal, contamos 4 vigas principales. El sistema de losas es una losa maciza la cual varía su espesor en cada uno de los pisos.

Las dimensiones de los elementos estructurales son:

- Columna 1: 31x25 cm aprox.
- Columna 2: 45x30 cm aprox.
- Columna 3: 83x25 cm aprox.
- Columna 4: 45x27 cm aprox.
- Columna 5: 25x30 cm aprox.
- Columna 6: 30x27 cm aprox.
- Columna 7: 28x35 cm aprox.
- Columna 8: 29x40 cm aprox.
- Columnetas: 16x37 cm aprox.
- Vigas: 30x50 cm aprox.
- Espesor losa:
    - Segundo Piso: 32 cm aprox.
    - Tercer Piso: 55 cm aprox.
    - Cuarto Piso: 35 cm aprox.
    - Quinto Piso: 32 cm aprox.
    - Azotea: 43 cm aprox.
- Muros espesor: 15 cm aprox.

Tabla 3. Vista fachada y plano de la edificación

	
Fotografía de la edificación	Imagen del plano en planta del primer y segundo piso

9. SOLICITUD DE PERMISOS Y AUTORIZACIONES

Debido a que el estudio requería de la presencia de personal en el edificio, se habló con el señor Jaime Pava quien autorizó la entrada al sitio y de igual forma autorizó la realización de las pruebas de laboratorio a los diferentes elementos estructurales. No hubo ningún inconveniente.

10. INSPECCIÓN VISUAL

Al realizar la inspección visual se pudo determinar los principales daños que se encontraban en el edificio, se realizó un registro fotográfico de cada uno de ellos.

Durante las visitas a la edificación se tomaron las medidas reales de cada uno de los elementos estructurales, así como la de las dimensiones generales de cada una de las plantas de la edificación, de igual forma se identificaron los elementos a los cuales se les haría pruebas de laboratorio invasivas o no invasivas.

Durante la visita se evidenció que el sistema constructivo de la edificación es el de placas de transición, es decir placas macizas de gran tamaño que distribuyen la carga a las columnas.

Al momento de realizar la visita para la inspección visual se llenaron los formatos de peritaje técnico y formato de inspección patológica, que se muestran a continuación:

PERITAJE TÉCNICO PARA RECONOCIMIENTO DE EDIFICACIONES
Ley 1848 de 2017 - Decreto 1077 de 2015 - Ley 400 de 1997 - NSR10

1. DIAGNÓSTICO

1.1 Identificación

N° de Radicado: Dirección:
Cédula Catastral: Barrio: Centro Estrato: Uso: Oficinas
Ciudad: Villavicencio Año de Construcción: 1961 Profesional Enc:

1.2 Tamaño

Área de lote: 34,38 M^2 Área total de construcción: M^2 Pisos sobre el terreno: 6 Sótanos: No

1.3 Posición de la edificación:

Esquina, costados restringidos [X] Intermedia, costados restringidos [ ] Libre por un costado [ ] Libre por dos costados [ ]

1.4 Propiedades de los Materiales

Los materiales predominantes en la edificación son: Concreto reforzado
Mamposteria estructural

1.5 Sistema Estructural de conformidad con A.3

Pórtico resistente a momentos [ ] Mampostería Estructural [ ] Muros de concreto reforzado [ ] Combinación de sistema estructural [X] Sistema Dual [ ]

1.6 Geometría, conforme con A.3

Configuración planta	Buena [X]	Regular [ ]	Mala [ ]	Vulnerabilidad Sísmica	Buena [ ]	Regular [X]	Mala [ ]	Ro	5,25
Configuración Altura	Buena [X]	Regular [ ]	Mala [ ]	Cantidad de muro en las dos direcciones	Buena [ ]	Regular [ ]	Mala [X]	Φa	0,8
								Φp	0,8
								Φr	0,75
								R	2,52

1.7 Predimensionamiento C.9.5 (a)

DESCRIPCIÓN	ALIGERADA		MACIZA	
Simplemente apoyado	L/16	–	L/20	0,15
Un apoyo continuo	L/18,5	–	L/24	0,20
Ambos apoyos continuos	L/21	–	L/28	0,1475
Voladizos	L/8	–	L/10	0,228

L vano [ ] Metros
H diseño [0,228] centímetros

1.8 Nivel de Amenaza Sísmica A.2

DES	X
DMO	
DMI	

Aa	0,20
Av	0,20
Ad	

Fa	1,4
Fv	2,0

I	1,00

1.9 Estudios Geotécnicos, conforme Título H

1.9.1 Clasificación de las unidade de construcción por categorías según H.3.1.1 Tabla H.3.1-1 NSR-10

BAJA [ ] MEDIA [ ] ALTA [ ] ESPECIAL [ ]

1.9.2 Número de sondeos mínimos según H.3.2.3 Tabla H.3.2-1 NSR-10

Categoría [ ] Número de Sondeos [ ] *Und* Profundidad [ ] *Metros*

1.9.3 Estudio de suelos conforme con H.2.2.2 NSR-10

SI [ ] NO [ ] N° de Páginas [ ]

1.9.4

Perfil del suelo Tipo		Asentamiento δ	
Profundidad de Desplante hr		Esfuerzo último Qu	
Capacidad Admisible Qa			

1.9 Planos con elementos estructurales de muros confinados, especificación técnica de materiales, cimientos entrepisos y cubierta. Todos los planos y estudios especializados deben ir debidamentente rotulados y firmados por profesional idóneo de acuerdo con el título VI Ley 400 de 1997. Planos [ ] de [ ]

Página 1 de 2

Figura 8. Formato de inspección

Metodología cualitativa para valorar la patología y vulnerabilidad general de edificaciones, desde el punto de vista - análisis de riesgo -.

FORMATO # 1
PARA LA INSPECCIÓN TÉCNICA, ANÁLISIS DE PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES MENORES A 4 PISOS

Fecha:
Formato: 1
Página: 1 de 2

1 INFORMACIÓN GENERAL

INFORMACIÓN DEL PACIENTE

NOMBRE PACIENTE: Edificio la voz del llano.

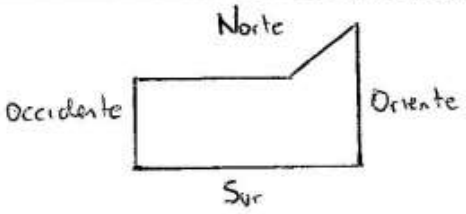
DIRECCIÓN:

BARRIO: Centro.

2 ESQUEMAS

ESQUEMA BÁSICO DE LA VIVIENDA INSPECCIONADA.

DIBUJE AQUÍ EL ESQUEMAS GENERALES DE LA VISTA EN PLANTA DE LA VIVIENDA (Indique la zona norte, oriente, sur, occidente del plano en planta).



INSPECCIÓN DEL SUELO Y NORMATIVAS

ANÁLISIS DE ASPECTOS RELACIONADOS CON EDIFICACION Y SUELO DE CIMENTACION

ZONA MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE	
NUMERO DE PISOS DE LA EDIFICACIÓN (Según relación con tipo de suelo)	1 / 2 / 3 / 4 / (mayor)
GRADO DESEMPEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SEGÚN NSR vigente	BAJO / BUENO / SUPERIOR
SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	
EXISTENCIA DE PLANOS	SI / NO
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	ANTES 1984 / ENTRE 1984-1998 / DESPUES 1998
UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN LA MANZANA	Aislada / Esquinera / De conjunto / Entre medianera
UBICACIÓN EDIFICIO SEGÚN MAPA SUSCEPTIBILIDAD AL DAÑO - SISMO FUERTE CERCANO	Zona de destrucción: Alta / Media / Baja
USO PERMITIDO DEL SUELO (SEGÚN NORMATIVA CURADURIA URBANA)	Residencial / Oficinas / Industrial / Otro:
USO PREDOMINANTE DEL INMUEBLE	Residencial / Oficinas / Industrial / Otro:
ESTRATO SOCIAL	1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6

INSPECCIÓN FACHADAS, MUROS VIGAS Y COLUMNAS (vulnerabilidad y patología)

ANÁLISIS DE FACHADAS, COLUMNAS Y MUROS EXTERNOS DE LA EDIFICACION	NORTE	ORIENTE	SUR	OCCIDENTE
LA FACHADA INSPECIONADA ES VISIBLE	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
EXISTE EVIDENCIA CIMENTACIÓN DEL MURO O COLUMNA (Patología const - grietas en muro arco descarga)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS GEOMETRICOS DE MUROS, COLUMNAS, VENTANAS Y PUERTAS				
En general los muros inspeccionados son continuos en altura	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general los muros inspeccionados son continuos en planta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general las columnas inspeccionadas son discontinuas en altura	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
En general las columnas inspeccionadas estan desalineadas en planta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de muros dilatados de columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Traba del ladrillo adecuada en muros (que no sea petaca)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Area total de vanos < 35% del área total de muro	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Hay evidencia de dinteles en vanos de puertas y ventanas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS ESTRUCTURALES				
Existe posible columna corta	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Columnas o muros de edificio ubicadas en laderas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posible existencia de piso flexible (débil)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencias de que la estructura (vigas, columnas, muros, losas) original fue modificada	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de existencia de vigas fuerte y columna débil (según inspección visual)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Presencia de redundancia estructural (hay más de 2 apoyos - columnas o muros en un solo sentido)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS				
Conexiones apropiada de muros o columnas con el resto del sistema estructural	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Uniformidad de materiales constructivos en la fachada frontal con el resto de la vivienda	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Los voladizos que existen son menores a 60 cm de longitud	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de golpeteo (distancia entre vivienda es menor al 1% de la altura Edf. inspeccionado)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Edificación vecina con losa de entrepiso a igual nivel que la losa del edificio inspeccionado	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Indicios de ductos en interior del muro o de nudos de columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Calidad de los materiales (óptimas o deficientes) - según observación directa	Optima / Def.	Optima / Def.	Optima / Def.	Optima / Def.
ASPECTOS SOBRE DAÑOS Y PATOLOGIAS				
Desplomes visibles de muros o columnas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Grietas y fisuras visibles en muros, columnas y vigas.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Manchas blancas de carburatación en el concreto	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Humedades visibles en pie de muros (humedad capilar)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Posibilidad de caida de partes (degradación del material) en mamposteria y concretos.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de eflorecencias, corrosión, refuerzo a la vista en: Losas, muros, columnas y vigas.	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia de reparaciones por daño de sismos anteriores	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
ASPECTOS DEL ENTORNO				
Posibilidad de deslizamientos de laderas	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Evidencia asentamientos del suelo (daño en andenes y pavimentos aledaños a la vivienda)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Existencia de vegetación cercana que afecte la cimentación de la edificación evaluada	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO
Hay rios, quebradas y canales aledaños o cercanos a la vivienda (menores a 10 metros de distancia)	SI / NO	SI / NO	SI / NO	SI / NO

INSPECTOR DE CAMPO

OBSERVACIONES DEL INSPECTOR:

Figura 9. Formato de inspección

10.1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

Con la información recolectada por parte de la administración y con la información hallada mediante procesos de medición y levantamiento estructural se realizó el esquema de las vistas del edificio.

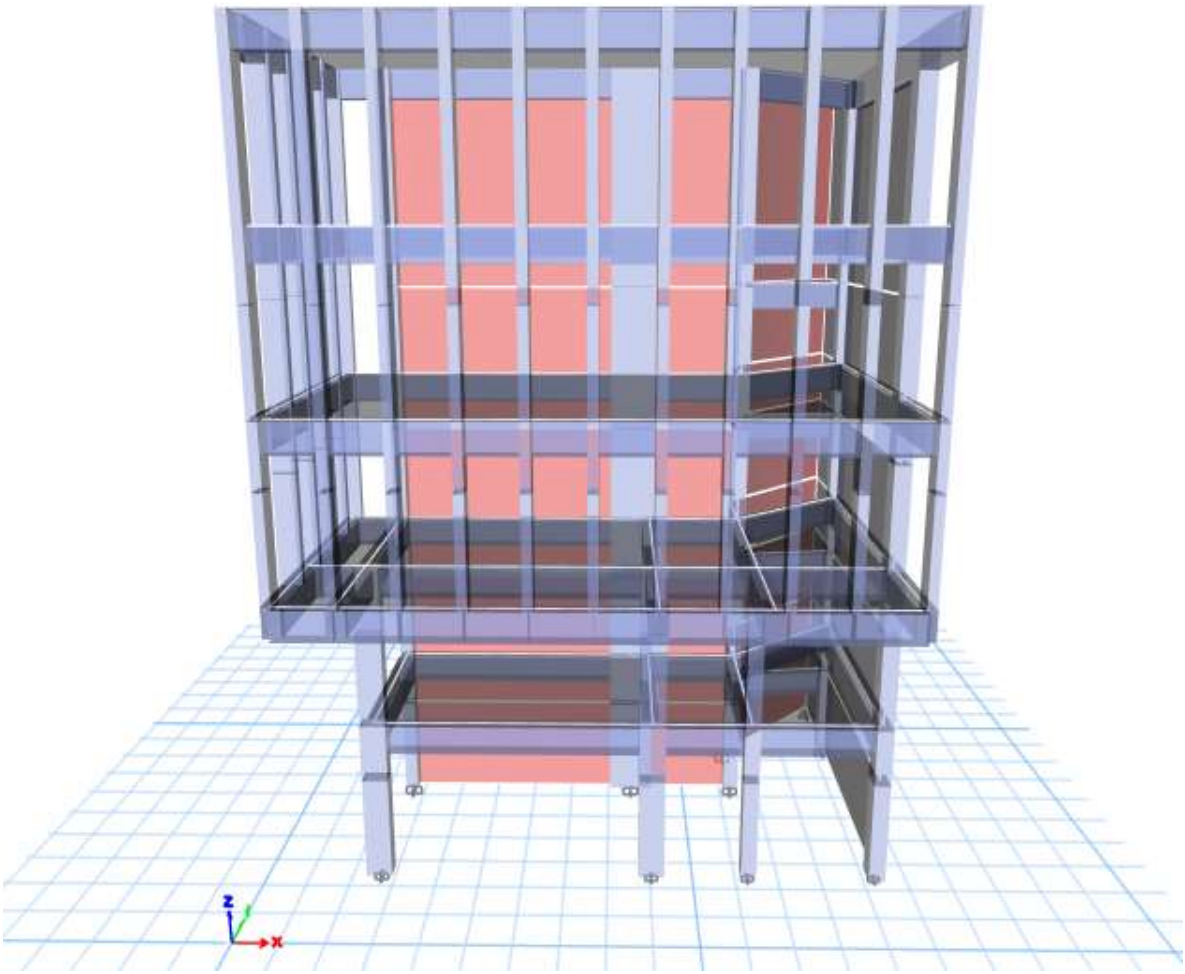


Figura 10. Vista frontal (Sur)
Fuente: Autores

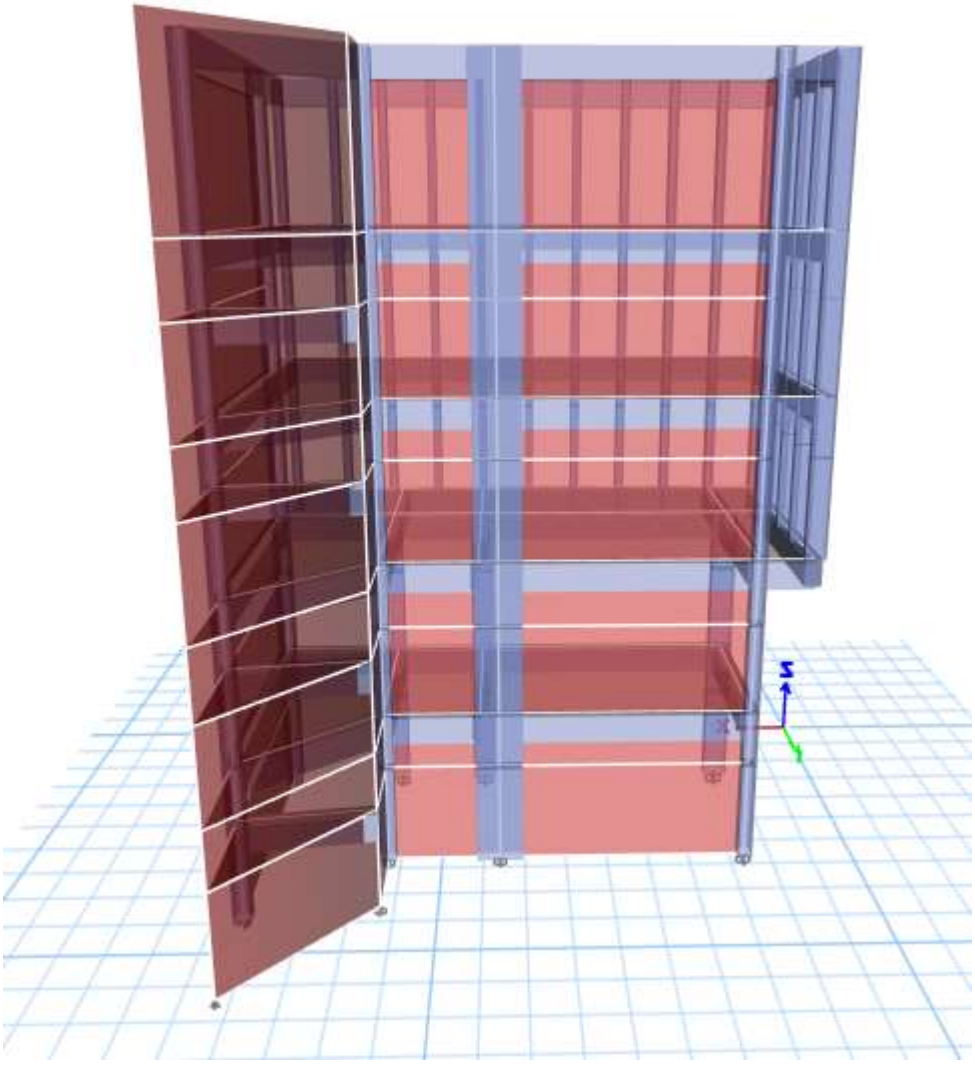


Figura 11. Vista posterior (Norte)
Fuente: Autores

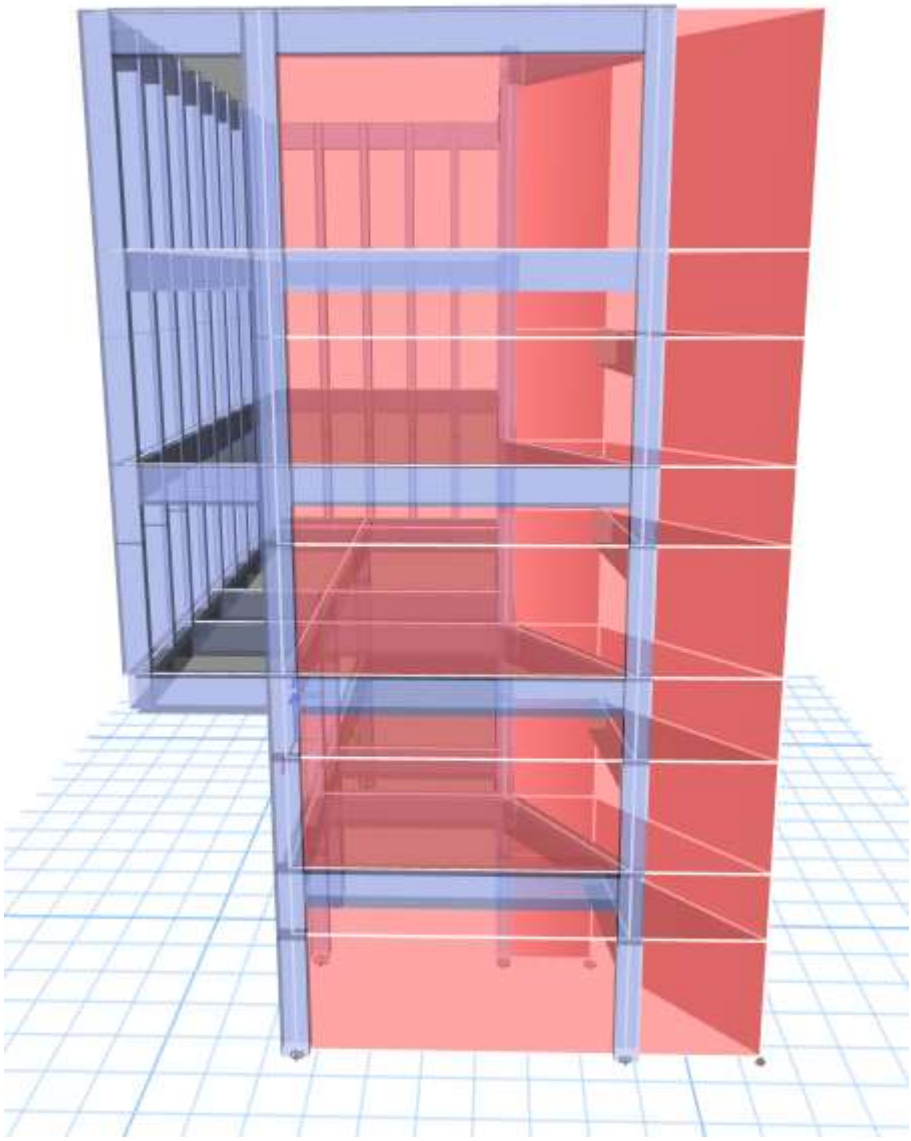


Figura 12. Vista lateral derecha (Oriente)
Fuente: Autores

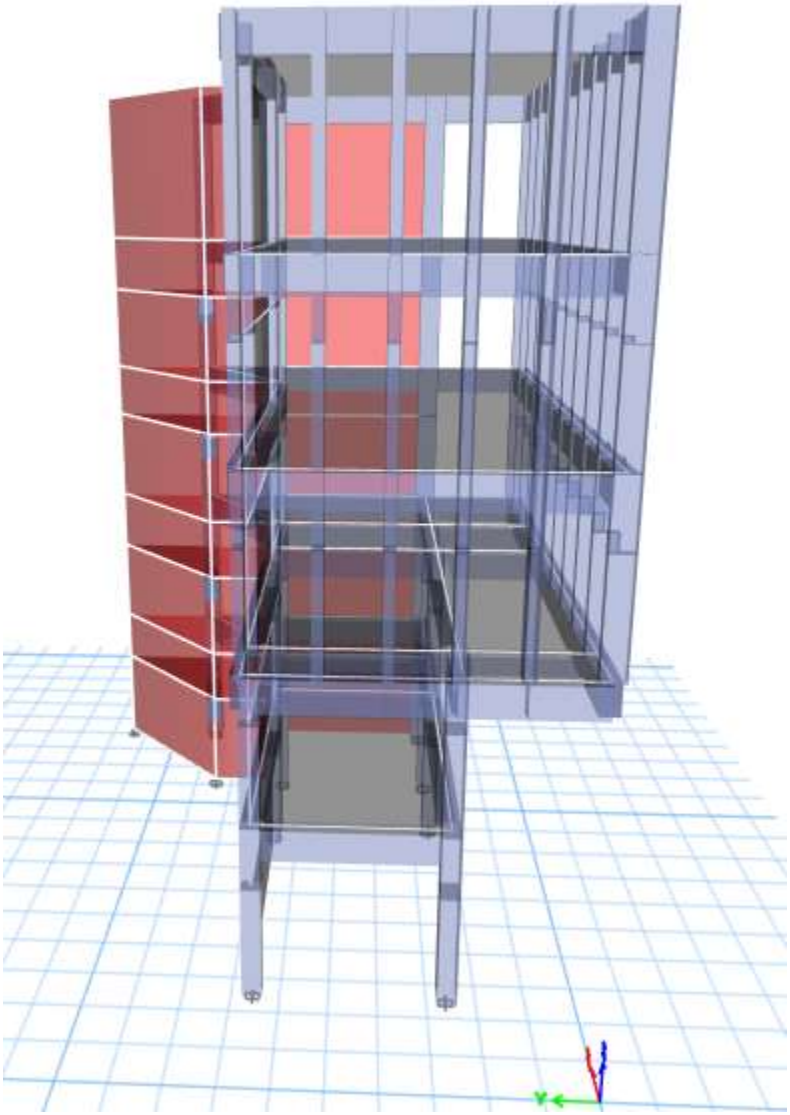


Figura 13. Vista lateral izquierda (occidente)
Fuente: Autores

10.2. PATOLOGÍA ESTRUCTURAL

10.2.1 Plan y metodología para el levantamiento estructural de los elementos

Para realizar el estudio de patología estructural se organizó primero la información existente referente a las dimensiones de la estructura, detalles, cargas actuantes. Adicionalmente esta información se estudió directamente de la edificación mediante inspecciones en el sitio. Toda esta información se procesó y coloco en formatos para interactuar directamente con los modelos de análisis. La metodología se resume en lo siguiente:

- Inspección visual.
- Tipificación sistema estructural: se realizó un recorrido a la estructura para definir la resistencia a cargas horizontales y verticales
- Caracterización Geométrica: se realizaron medidas de los elementos existentes.
- Caracterización del material: se realizaron ensayo de laboratorio para determinar las características físicas de cada uno de los materiales.
- Definición de los elementos principales: a partir de los resultados obtenidos en las actividades anteriores, se estableció la importancia relativa de cada uno de los componentes.

10.2.2 Propiedades y características de los materiales de construcción

De los materiales que conforman la estructura se pretende conocer de estos la resistencia de los materiales, rigidez, estado actual y la localización del acero de refuerzo.

Para determinar los anteriores parámetros se realizaron los siguientes ensayos, los cuales se rigen bajo la siguiente normativa:

Tabla 4. Ensayos de laboratorio.

Ensayo	Normativa	Título de la norma aplicable
Esclerometría	NTC 3692	Ingeniería civil y arquitectura método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido
Compresión axial de los núcleos de concreto	NTC 3658	Ingeniería civil y arquitectura método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concretos aserradas
Verificación y localización de refuerzo	NSR-10	
Carbonatación con fenolftaleína		Carbonatación en los elementos estructurales

Las pruebas de laboratorio realizadas a los elementos estructurales se dividen en las pruebas no invasivas y las pruebas invasivas, se realizó la prueba de golpe de esclerómetro con un equipo suministrado por parte de la Universidad Santo Tomás, las pruebas de carbonatación, extracción de núcleos y regatas fue realizada por el laboratorio CIVINCON.

11. HISTORIA CLÍNICA DE LA EDIFICACIÓN

Tabla 5 Patologías en la edificación.

<table>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN</td><td colspan="3">edificio La Voz Del Llano Calle 38 # 30a – 100</td></tr>
<tr><td colspan="2">PISO ANALIZADO</td><td>Azotea, escalera, cuarto y quinto piso</td><td>Fecha</td><td>18/Sep/2019</td></tr>
<tr><td>ID</td><td>DETALLE 1</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
<tr><td>P1</td><td> </td><td colspan="3">Presencia de humedad en las fachadas de las ventanas, que están deteriorando los acabados.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 2</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
<tr><td>P2</td><td> </td><td colspan="3">Presencia de liquen en la fachada, también se observa descascaramiento y fisuración en la mampostería de fachada posiblemente una de las causas sea el contraste de intensos calores y fuertes lluvias ocasionando que la humedad sea variada.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 3</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN</td><td colspan="3">edificio La Voz Del Llano Calle 38 # 30a – 100</td></tr>
<tr><td colspan="2">PISO ANALIZADO</td><td>Azotea, escalera, cuarto y quinto piso</td><td>Fecha</td><td>18/Sep/2019</td></tr>
<tr><td>P3</td><td> </td><td colspan="3">En la columna del 4 y 5 piso la cual baja hasta donde se encuentran los tanques elevados podemos observar que se ha ido deteriorando una gran parte de la fachada, este problema de humedad también está deteriorando el elemento estructural por lo cual de mucha importancia realizar la debida intervención.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 4</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
<tr><td>P4</td><td> </td><td colspan="3">Deterioro en los acabados por presencia de humedad, que ha descascarado la pintura y ha comprometido el elemento estructural.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 5</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN</td><td colspan="3">edificio La Voz Del Llano Calle 38 # 30a – 100</td></tr>
<tr><td colspan="2">PISO ANALIZADO</td><td>Azotea, escalera, cuarto y quinto piso</td><td>Fecha</td><td>18/Sep/2019</td></tr>
<tr><td>P5</td><td> </td><td colspan="3">Presenta fisura en uno de los muros estructurales de la parte lateral izquierda, la cual no manifiesta gran peligrosidad para la estructura.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 6</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
<tr><td>P6</td><td> </td><td colspan="3">Deterioro en los acabados de uno de los muros que corresponde a la escalera para subir al 5 piso, una de sus posibles causas sea la bajante que se presenta desde de la azotea lo cual está comprometiendo al elemento estructural y su refuerzo.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 7</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
</table>

NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN		edificio *La Voz Del Llano* Calle 38 # 30a – 100		
PISO ANALIZADO		Azotea, escalera, cuarto y quinto piso	Fecha	18/Sep/2019
P7		Descaramiento en el concreto debido a los ataques físicos y químicos que ha sufrido, lo cual ya está comprometiendo su refuerzo estructural, se presenta en la placa de los tanques de almacenamiento de agua.		
	DETALLE 8	**DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES**		
P8		Presencia de liquen por los encharcamientos de agua que se presentan en la azotea, los cuales deben ser debidamente conducidos a las bajantes, para que no excedan cargas sobre los elementos y comprometan la estructura.		
	DETALLE 9	**DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES**		
P9		Presencia de materia orgánica que se ha producido por los agentes físicos sobre la placa de los tanques de almacenamiento de agua, este es uno de los puntos por donde más baja agua hacia los elementos estructurales.		
	DETALLE 10	**DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES**		

<table>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN</td><td colspan="3">edificio La Voz Del Llano Calle 38 # 30a – 100</td></tr>
<tr><td colspan="2">PISO ANALIZADO</td><td>Azotea, escalera, cuarto y quinto piso</td><td>Fecha</td><td>18/Sep/2019</td></tr>
<tr><td>P10</td><td> </td><td colspan="3">Encharcamiento que se presenta en la azotea son conducidos por el desnivel hacia los muros estructurales, lo cual hace que se presente humedades en sus partes inferiores.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 11</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
<tr><td>P11</td><td> </td><td colspan="3">Presencia de humedad en placa de entrepisos.</td></tr>
<tr><td></td><td>DETALLE 11</td><td colspan="3">DESCRIPCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTES</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DE LA EDIFICACIÓN</td><td colspan="3">edificio La Voz Del Llano Calle 38 # 30a – 100</td></tr>
<tr><td colspan="2">PISO ANALIZADO</td><td>Azotea, escalera, cuarto y quinto piso</td><td>Fecha</td><td>18/Sep/2019</td></tr>
<tr><td>P12</td><td> </td><td colspan="3">Fisura fina que se presenta en uno de los muros estructurales de la parte lateral izquierda, la cual no manifiesta que sea de gran peligrosidad para la estructura.</td></tr>
</table>

12. PRUEBAS DE LABORATORIO

12.1. ESCLERÓMETRO

Las pruebas de golpe de esclerómetro fueron realizadas a todos los elementos estructurales de la edificación.

Tabla 6 Elementos sometidos a prueba de golpe de esclerómetro.

ELEMENTOS SOMETIDOS A PRUEBA DE GOLPE DE ESCLEROMETRO		
PLANTA 1	**PLANTA 2 Y MEZZANINE**	**PLANTA 3 Y 4**
C1	C7	VG1-4
C2	CL-2	C5
C3	CL-3	CL-2
C4	CL-4	CL-3
C6	CL-5	CL-5
C7	CL-6	PLACA PISO 4
C8	CL-7	PLACA TERRAZA
C9	CL-8	
PLACA DEL MEZZANINE	CL-9	
	CL-10	
	CL-11	
	CL-12	
	CL-13	
	CL-14	
	CL-15	
	PLACA PISO 2	
	PLACA PISO 3	

Fuente: Autores

En total se realizó la prueba de golpe de esclerómetro a un total de 34 elementos estructurales de los cuales veintiséis (28) son columnas, cinco (5) son placas de transición y un (1) elemento viga. La totalidad de los elementos estructurales están distribución de la siguiente manera:

- Planta 1: 10 vigas, 8 columnas y 2 muros estructurales, el cual uno se ubica en la parte lateral y el otro parte posterior
- Planta 2: Una placa de transición, 8 columnas, 2 muros estructurales, el cual uno se ubica en la parte lateral y el otro parte posterior.
- Planta 3, 4 y 5: 21 columnas, 2 muros estructurales y una placa de transición.

Según la norma NTC 3692 el ensayo de golpe de prueba de esclerómetro debe llevarse a cabo con mínimo 10 golpes por elemento, adicionalmente se debe obtener la media de los datos, cualquier golpe que se encuentre por debajo o por encima de la media por 6 unidades será tomado como un dato atípico, por lo cual será anulado.

En la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos con el equipo de esclerometría ordenados de menor a mayor para facilitar el proceso de eliminación de datos atípicos. Con la ayuda de la piedra que tiene el equipo de adecuó la superficie de la muestra según lo indica la norma antes mencionada. Los valores varían considerablemente debido a que en algunas zonas existía una o varias patologías que había afectado la resistencia del elemento estructural.

Tabla 7. Valores de golpe de esclerómetro

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO	DOCUMENTO		CÓDIGO DEL FORMATO
	ENSAYO DE CAMPO DE PATOLOGÍA		
	FECHA DEL ENSAYO	VERSIÓN	CÓDIGO DEL ENSAYO
	19 de septiembre de 2019		
NOMBRE DEL PROYECTO			edificio *La Voz Del Llano*
ENSAYO:			Ensayo esclerómetro

Planta 1												
LECTURA Nº	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***
C1	29	29	32	34	35	36	36	36	36	38	-	-
C2	27	-	30	31	31	32	34	34	36	38	-	-
C3	24	26	26	27	27	28	29	30	30	33	-	-
C4	20	25	26	27	27	28	29	30	30	33	-	-
C6	29	29	30	32	34	35	35	35	37	38	-	-
C7	24	26	26	26	28	32	34	34	37	38	-	-
C8	26	30	32	32	33	33	34	38	42	47	47	48
C9	26	27	28	28	29	30	30	30	33	33	-	-
Mezzanine	23	24	24	27	27	28	28	29	29	30	31	32
Planta 2 y mezzanine												
LECTURA Nº	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***
C7	26	28	28	28	29	29	29	30	30	30	-	-
CL-2	20	30	30	31	32	32	32	34	34	35	-	-
CL-3	32	32	34	36	36	37	37	38	38	45	-	-
CL-4	30	32	32	34	37	38	39	39	39	42	-	-
CL-5	29	29	30	31	31	31	31	31	32	35	38	-
CL-6	29	29	29	30	32	32	32	33	33	39	-	-
CL-7	31	33	35	35	36	36	36	38	38	38	-	-
CL-8	32	34	38	39	39	40	40	40	42	42	43	-
CL-9	32	32	32	34	35	35	37	38	38	41	-	-
CL-10	32	33	33	33	33	33	35	36	38	40	-	-
CL-11	22	22	24	25	30	34	36	36	38	39	40	-
CL-12	29	30	31	32	34	34	34	35	36	40	-	-
CL-13	27	29	30	30	32	32	32	33	36	36	-	-
CL-14	28	29	30	32	32	35	35	36	38	39	-	-
CL-15	19	20	20	20	22	22	22	24	24	27	28	-
Placa piso 3	24	24	25	25	26	27	28	28	30	30	-	-
Placa piso 2	28	28	28	29	29	30	30	32	32	34	-	-
Planta 3 y 4												
LECTURA Nº	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***
Placa piso 4	29	30	30	30	32	32	33	34	34	36	-	-

VG1-4	28	30	31	31	32	32	32	34	36	38	-	-
C5	29	30	31	31	32	32	34	35	37	37	-	-
CL-2	31	32	32	32	33	33	34	34	35	37	-	-
CL-3	31	32	32	34	34	36	37	37	38	38	42	-
CL-4	32	32	32	33	34	36	36	37	38	38	-	-
CL-5	31	32	32	34	34	38	39	39	40	40	-	-
Terraza	27	28	28	29	29	30	32	32	33	36	38	-

Fuente: Autores

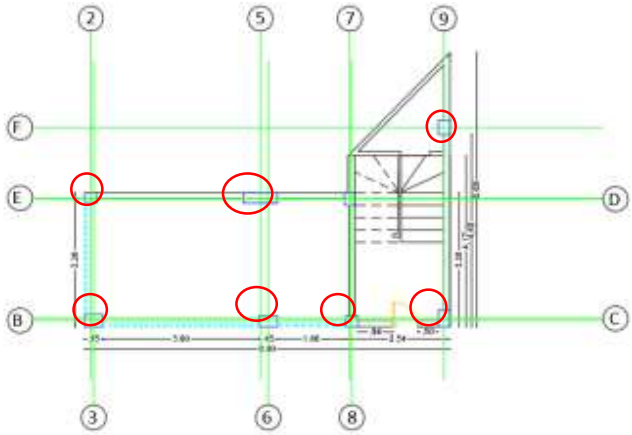


Figura 14 Ubicación del esclerómetro en el piso 1
Fuente: Autores

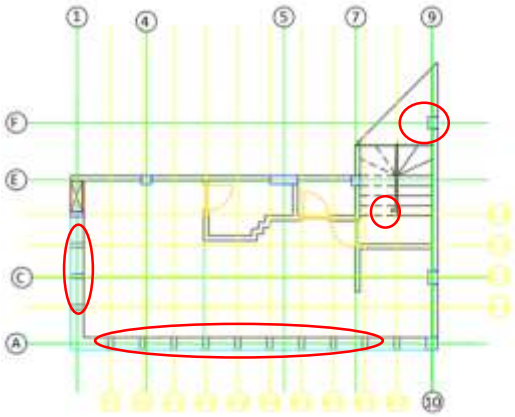


Figura 15 Ubicación del esclerómetro en el piso 2
Fuente: Autores

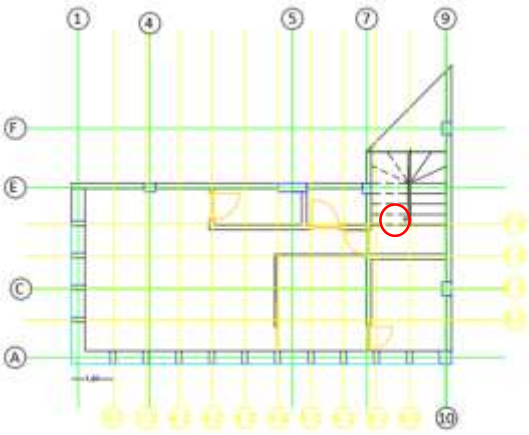


Figura 16 Ubicación del esclerómetro en el piso 3
Fuente: Autores

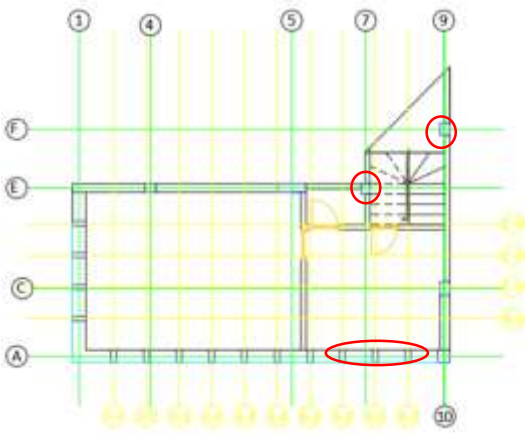


Figura 17 Ubicación del esclerómetro en el piso 4
Fuente: Autores

Luego de tener los datos una vez discriminados se debe hacer un promedio de los datos y se debe calcular el valor en Mpa de la resistencia de cada elemento. El esclerómetro en su costado lleva una gráfica con la cual dependiendo del número de golpe de esclerómetro permite calcular el valor en Mpa.

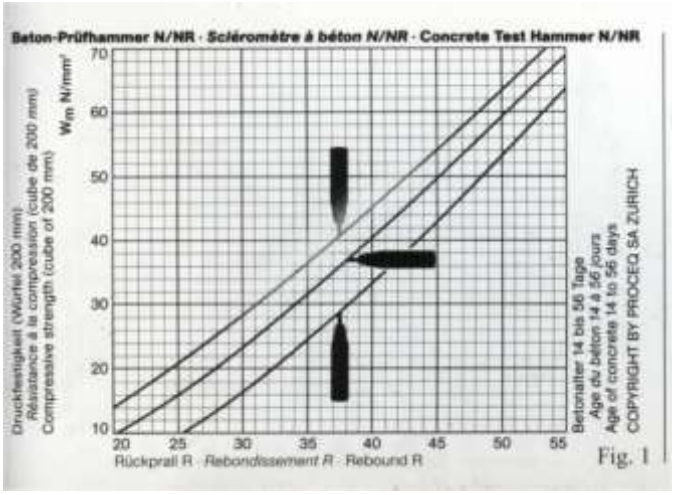


Figura 18. Curva de conversión de numero de golpe a MPa

Basándose en la gráfica y con la ayuda de Excel se hizo una fórmula que reflejara el comportamiento de cada una de las gráficas para así calcular el valor en Mpa de cada elemento.

En los casos donde la toma de datos de esclerómetro se hiciera de manera vertical hacia abajo la formula corresponde a:

$$y = 0.01165122 * x^2 + 0.84235818 * x - 7.49406271$$

Donde x es el número de golpe de esclerómetro.

Para el caso donde el golpe sea tomado de forma vertical hacia arriba la fórmula es:

$$y = 0.01553395 * x^2 + 0.56755445 * x - 14.29022003$$

Y por último los datos que sean tomados de forma horizontal la ecuación utilizada fue:

$$y = 0.01249019 * x^2 + 0.76826461 * x - 10.79996173$$

Tabla 8. Valores en MPa de los datos de esclérometro.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	DOCUMENTO		CÓDIGO DEL FORMATO
	ENSAYO DE CAMPO DE PATOLOGÍA		
	FECHA DEL ENSAYO	VERSIÓN	CÓDIGO DEL ENSAYO
NOMBRE DEL PROYECTO		Edificio *La Voz Del Llano*	
ENSAYO:		Ensayo esclerómetro	

Planta 1		
ELEMENTO	**Promedio**	**Valor en Mpa**
C1	34.10	29.9
C2	32.56	27.4
C3	28.00	20.5
C4	27.50	19.7
C6	33.40	28.7
C7	30.50	24.2
C8	36.83	34.4
C9	29.40	22.5
Mezzanine	27.67	13.3
Planta 2 y mezzanine		
C7	28.70	21.5
CL-2	31.00	25.1
CL-3	36.50	33.8
CL-4	36.20	33.3
CL-5	31.64	26.1
CL-6	31.80	26.2
CL-7	35.60	32.3
CL-8	39.00	38.1
CL-9	35.40	32.1
CL-10	34.60	30.7
CL-11	31.45	25.7
CL-12	33.50	28.9
CL-13	31.70	26.1
CL-14	33.40	28.7
CL-15	22.55	12.8
Placa piso 3	26.70	18.6
Placa piso 2	30.00	16.71696847
Planta 3 y 4		
Placa piso 4	32.00	26.5
VG1-4	32.40	27.2
C5	32.80	27.8
CL-2	33.30	28.6
CL-3	35.55	32.2
CL-4	34.80	31.1
CL-5	35.90	32.8
Terraza	31.09	25.1

Fuente: Autores

Todos los datos se tomaron de forma horizontal salvo por los datos de la placa de piso 2 y la placa del mezzaninne.

Figura 19 Toma de datos placa 2 piso.
Fuente: Autores

Figura 20 Toma de datos CL-15.
Fuente: Autores

Figura 21 Toma de datos CL 5.
Fuente: Autores

12.2. FERRO SCAN

Luego de hacer las pruebas de golpe de esclerómetro, se identificaron los elementos a los cuales se les realizaría la prueba de ferro scan, los mismos que posteriormente se les haría una extracción de núcleos y pruebas de carbonatación. Los elementos a los cuales se les realizó la prueba de ferro scan se representan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Datos obtenidos del ferro scan.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		DOCUMENTO		CÓDIGO DEL FORMATO		
		ENSAYO DE CAMPO DE PATOLOGÍA				
		FECHA DEL ENSAYO	VERSIÓN	CÓDIGO DEL ENSAYO		
NOMBRE DEL PROYECTO		Edificio *La Voz Del Llano*				
ENSAYO:		Ensayo de ferro scan				
TIPO DE ELEMENTO	**DATOS DE ELEMENTO**	**a (m)**	**b (m)**	**Acero longitudinal**	**Acero transversal**	**Recubrimiento**
COLUMNA	C7 PISO 1	0.30	0.30	8#4	#3 C/10 - #3C/17	30 mm
COLUMNA	C5 PISO 4	0.25	0.35	8#4	#3 C/10 - #3C/17	30 mm
VIGA	EJE 9 PISO 3	0.30	0.50	4#4	#3 C/10 - #3C/17	50 mm
VIGA	EJE 9 PISO 4	0.30	0.50	4#4	#3 C/10 - #3C/17	50 mm

Fuente: Autores

Con la ayuda del ensayo ferro scan también fue posible determinar el sitio donde se realizó la extracción de núcleos y de la detección de refuerzo regata.

Figura 22. Ferro scan viga 1 piso 4
Fuente: Autores

Figura 23. Ferro scan viga 1 piso 3.
Fuente: Autores

Figura 24. Ferro scan C5
Fuente: Autores

Figura 25. Ferro scan C7
Fuente: Autores

12.3. DETECCIÓN DE ACERO DE REFUERZO - REGATAS

Para localizar el refuerzo y saber su diámetro se utilizó un ferro scan que es un escáner electromagnético que detecta la localización del acero de refuerzo en elementos de concreto. Sin embargo, sus resultados pueden no ser completamente concluyentes, de manera que, se elaboran regatas para validar las lecturas. Se realizaron 4 lecturas y 4 regatas las cuales se pueden ver resumidas en la siguiente tabla como sigue.

Tabla 10. Datos de las regatas.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA	DOCUMENTO		CÓDIGO DEL FORMATO	
	ENSAYO DE CAMPO DE PATOLOGÍA			
	FECHA DEL ENSAYO	VERSIÓN	CÓDIGO DEL ENSAYO	
NOMBRE DEL PROYECTO		Edificio la Voz del Llano		
ENSAYO:		Ensayo de detención de refuerzo-regatas		
TIPO DE ELEMENTO	**DATOS DE ELEMENTO**	**a (m)**	**b (m)**	**Acero transversal**	**Recubrimiento**
COLUMNA	C7 PISO 1	0.30	0.30	#3- 9.5 mm	32 mm
COLUMNA	C5 PISO 4	0.25	0.35	#3- 9.5 mm	22 mm
VIGA	EJE 9 PISO 3	0.30	0.50	#3- 9.5 mm	41 mm
VIGA	EJE 9 PISO 4	0.30	0.50	#3- 9.5 mm	21 mm

Fuente: Autores

Figura 26. Regata viga piso 4
Fuente: Autores

Figura 27. Regata C5
Fuente: Autores

Figura 28. Regata viga piso 3
Fuente: Autores

Figura 29. Regata C7
Fuente: Autores

Luego de identificar la ubicación del acero de refuerzo en los elementos estructurales se procedió a realizar una rotura para encontrar el acero y realizar una medición con un pie de rey, para conocer el diámetro real.

Se realizó una inspección visual del estado del acero. Después de localizar las armaduras de los elementos estructurales se pudo tener la siguiente tabla de armados.

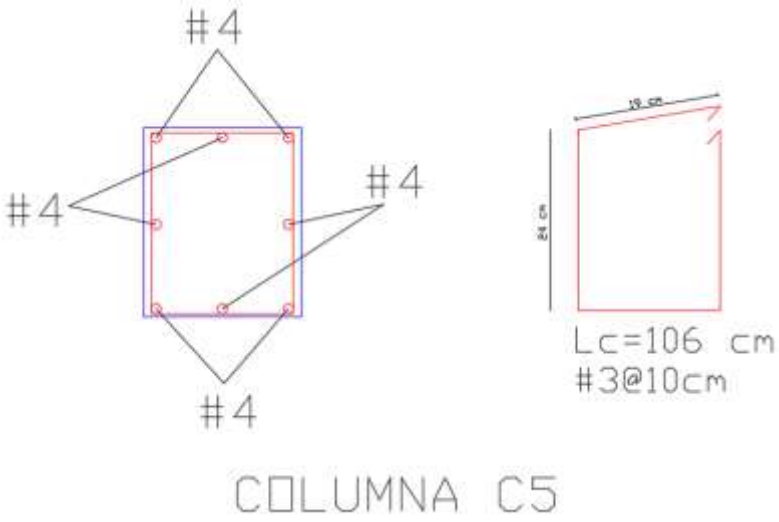


Figura 30. Armados de elementos estructurales C5
Fuente: Autores

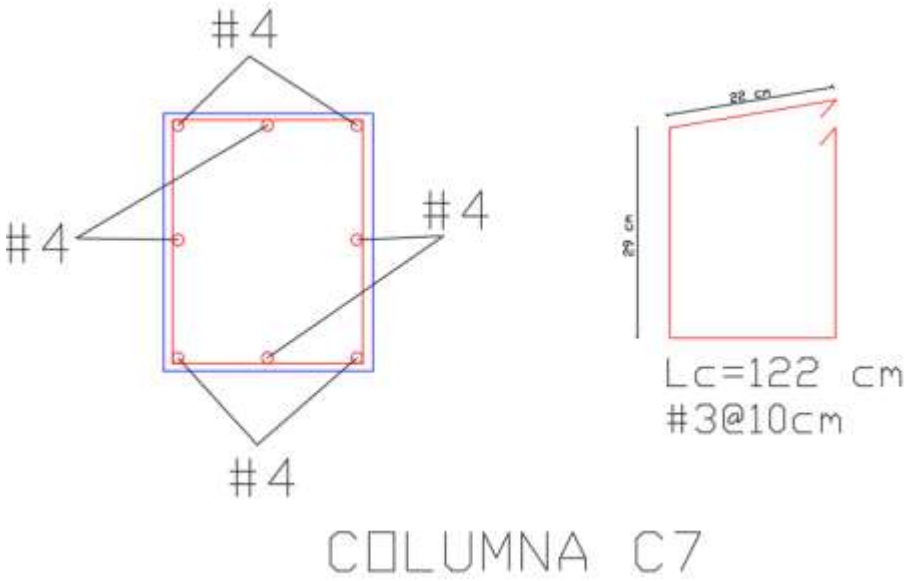


Figura 31. Armados de elementos estructurales C7
Fuente: Autores

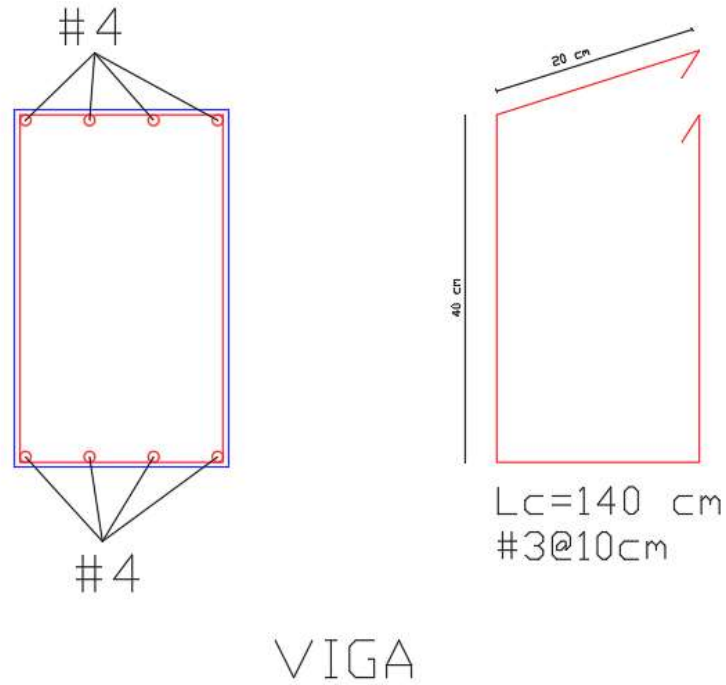


Figura 32. Armados de elementos estructurales Viga
Fuente: Autores

La inspección visual después de realizar las regatas de inspección nos ayudó a poder calificar el estado de la estructura y observar la afectación de los elementos estructurales y sus posibles causas.

Este punto visual es muy importante para el apoyo de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio realizado en el edificio *La Voz Del Llano*.

Esta calificación de la estructura y la apreciación del estado de la misma se anexan más adelante por discriminación de cada uno de los elementos.

12.4. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS Y PRUEBAS DE CARBONATACIÓN

Es el desarrollo de pruebas de compresión a probetas extraídas de elementos específicos de la estructura, por su estado o rol en el sistema de soporte de cargas verticales y/o horizontales. Generalmente, se espera que el valor obtenido sea superior al 85% de la resistencia real del elemento debido a la descompresión de la muestra, y al deterioro de la misma durante su remoción.

Se realizaron un total de 4 extracciones con un diámetro de 7 cm, las extracciones de núcleos de los diferentes elementos estructurales se repartieron en la edificación según las figuras 34, 35, 36 y 37. Posteriormente se llevaron al laboratorio para su preparación y ensayo en la maquina universal MTS. El laboratorio CIVINCON elaboró los ensayos siguiendo la norma NTC 673 (2010).

Con la ayuda de un taladro se realizó la extracción de núcleos en los sitios donde no había presencia de aceros, una vez realizada la extracción de cada núcleo se esperaba un pequeño periodo de tiempo a que se secara un poco la muestra para poder realizar la aplicación de fenolftaleína para conocer la carbonatación de cada muestra.

Una vez extraído el núcleo de concreto fue llevada al laboratorio para realizar pruebas de carga axial en la maquina universal MTS según la NTC 673, En seguida se muestran los resultados obtenidos del presente ensayo, suministrados por el laboratorio CIVINCON.

De acuerdo a la siguiente tabla el laboratorio CIVINCON extrajo núcleos de un diámetro de 7 cm y se rigió bajo las normas NTC 673 y NTC 3658. Una vez revisada la norma NTC 3658, se encuentra que hay un parámetro respecto al diámetro de extracción y dice que el diámetro mínimo debe ser de 100 mm y no se recomienda diámetros menores a 75 mm. En los resultados se evidencia que el parámetro antes mencionado no se efectúa, por lo que es necesario complementar los resultados obtenidos, mediante otro laboratorio, en este caso el ensayo de esclerometría con el fin de que los resultados sobre la resistencia del concreto sean más confiables.

Los elementos donde se realizaron extracción de núcleo fueron:

Columna: C7 piso 1 y C5 piso 4
Vigas: Eje 9 piso 3 y eje 9 Piso 4

Tabla 11. Resistencia por ensayo de carga axial de los cilindros

SHJ CIVINCON	SHJ CIVINCON S.A.S NIT. 900,577,231-6 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEOS SISTEMA INTEGRAL DE GESTION	Código	SIG-OPS-F056
		Versión	1
		Fecha	01/10/2018
		Página	1 de 1

OBRA:	EDIFICIO RADIO UNO	NORMA:	NTC 673-3658
CLIENTE:	ING. EMIRO LOZANO	ORDEN No.	8959
LOCALIZACION:	VILLAVICENCIO-META		
DESCRIPCION:	NUCLEOS	N° DE INFORME	N.L 3195-19
FECHA TOMA:	21 de septiembre de 2019		
OBSERVACIONES:	NO CUMPLEN CON LA RESISTENCIA ESPERADA.	FECHA INFORME:	27 de septiembre de 2019

CONTRATO/ELEMENTO / No. MUESTRA	FECHA DE TOMA	No. NUCLEO	DIAS DE CURADO	FECHAS DE ROTURA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm²)	VOLUMEN (cm³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm³)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA FECHA		PORCENTAJE CON RESPECTO A f'c de 210	TIPO DE FALLA				
												(Kg/cm²)	P.S.I.						
COLUMNA C-5	21/09/2019	1	N.A	24/09/2019	7.00	9.0	38.5	346.4	635.3	1.83	1263.6	32.8	469.0	15.63%			X		
VIGA PISO 5	21/09/2019	2	N.A	24/09/2019	7.00	14.0	38.5	538.8	1192.7	2.21	7825.9	203.4	2905.0	96.83%			X		
VIGA PISO 4	21/09/2019	3	N.A	24/09/2019	7.00	14.0	38.5	538.8	1219.9	2.26	6572.6	170.8	2439.8	81.33%	X				
COLUMNA PISO 1	21/09/2019	4	N.A	24/09/2019	7.00	14.0	38.5	538.8	1205.4	2.24	5737.0	149.1	2129.6	70.99%		X			

La información aquí reportada pertenece unicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita del Ingeniero de SHJ CIVINCON SAS

LINA GOMEZ
Coordinador tecnico/Operativo

OSCAR FIGUEREDO
Laboratorista y/o Auxiliar

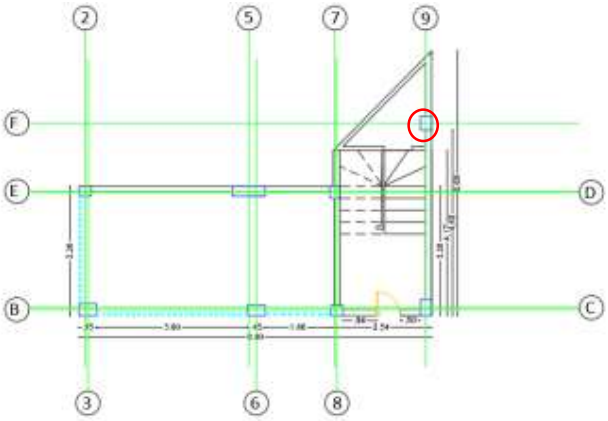


Figura 33 Ubicación extracción de núcleo columna C7 piso 1
Fuente: Autores

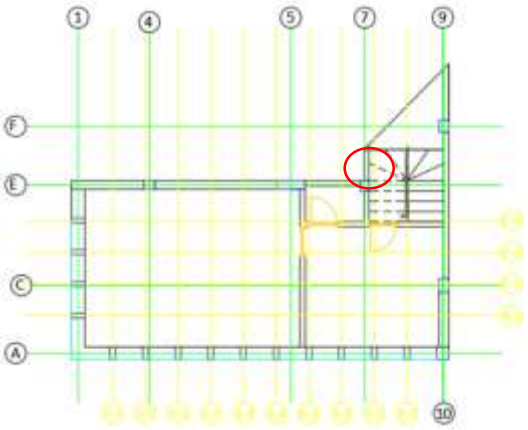


Figura 34 Ubicación extracción de núcleo columna C5 piso 4
Fuente: Autores

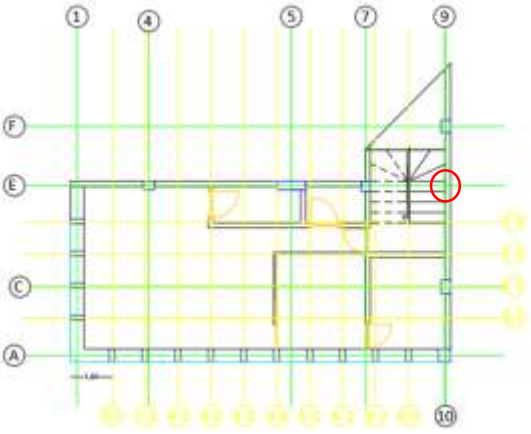


Figura 35 Ubicación extracción de núcleo Eje 9 piso 3.
Fuente: Autores

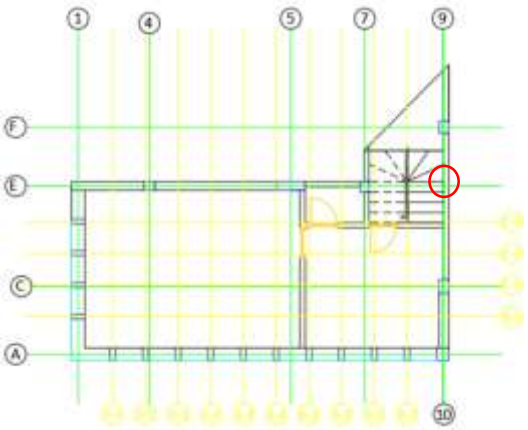


Figura 36 Ubicación extracción de núcleo Eje 9 piso 4.
Fuente: Autores

Posteriormente, se realizó la aplicación de fenolftaleína en los elementos estructurales para verificar la posible carbonatación de los elementos estructurales de la edificación.

Según el indicador de pH de fenolftaleína permite diferenciar tres zonas de pH, inferior a 8, donde la disolución se torna incolora, entre 8 y 9.5, donde adquiere una tonalidad rosa suave, y mayor de 9.5, donde adquiere un color rojo púrpura intenso, En la prevención de la corrosión del concreto reforzado la coloración por fenolftaleína es una técnica muy utilizada ya que a pH por debajo de 8 el acero se puede corroer, mientras que a pH muy alcalinos se encuentra pasivo. A la profundidad que alcanza la zona de pH inferior a 8, zona incolora, se le suele llamar “profundidad de carbonatación”

Figura 37. Carbonatación C7
Fuente: Autores

Figura 39. Carbonatación viga piso 4
Fuente: Autores

Figura 38. Carbonatación C5
Fuente: Autores

Figura 40. Carbonatación viga piso 3
Fuente: Autores

Se aclara que el concreto endurecido tiene un pH medio igual o superior a 12,5 (la reserva alcalina está entre 12,6 y 14), es decir, extremadamente básico. En el proceso de carbonatación el Ph puede caer hasta valores inferiores a 9. Pero estaríamos todavía en la parte básica de la escala.

12.5. RESUMEN RESULTADOS

Esclerometría: Se realizaron los ensayos necesarios exigido por la norma en los elementos estructurales como vigas y columnas, después de tener todos estos datos correlacionar y entrar en la tabla tenemos que por el ensayo de esclerometría nos dio una resistencia aproximada de:

Columna:

Valor máximo 34,13 MPa o 4950,10 Psi

Valor mínimo 17,17 MPa o 2568,36 Psi

Columnetas:

Valor máximo 37,27 MPa o 5405,66 Psi

Valor mínimo 21,78 MPa o 3158,26 Psi

Viga:

Valor máximo 36,24 MPa o 5283,72 Psi

Valor mínimo 20,50 MPa o 2973,82 Psi

Placa:

Valor máximo 29,83 MPa o 4327,16 Psi

Valor mínimo 19,09 MPa o 2769,10 Psi

Núcleos de Concretos: Se tomaron unos núcleos de concreto como prueba física para comparar con los resultados obtenidos con los otros ensayos, estos núcleos fueron ensayados en un laboratorio cumpliendo la NTC 3658 (ASTM C42M) aplicándole una carga a comprensión llevándolo a la falla, con esto podemos tener la resistencia del elemento.

Columna: 1299,3 Psi

Viga: 2672,4 Psi

Fenolftaleína: Después de realizar las regatas de inspección se aplicó la fenolftaleína, esta nos arrojó un resultado visual del porcentaje de carbonatación del elemento estructural.

Columna: no se presentan señales de carbonatación

Viga: no se presentan señales de carbonatación

13. MAPEO DE DAÑOS.

Se realizó un plano en el software AUTOCAD donde se puede ver donde se encuentran ubicadas las principales patologías en el edificio, para conocer donde se encontraba la concentración de la mayoría de las patologías.

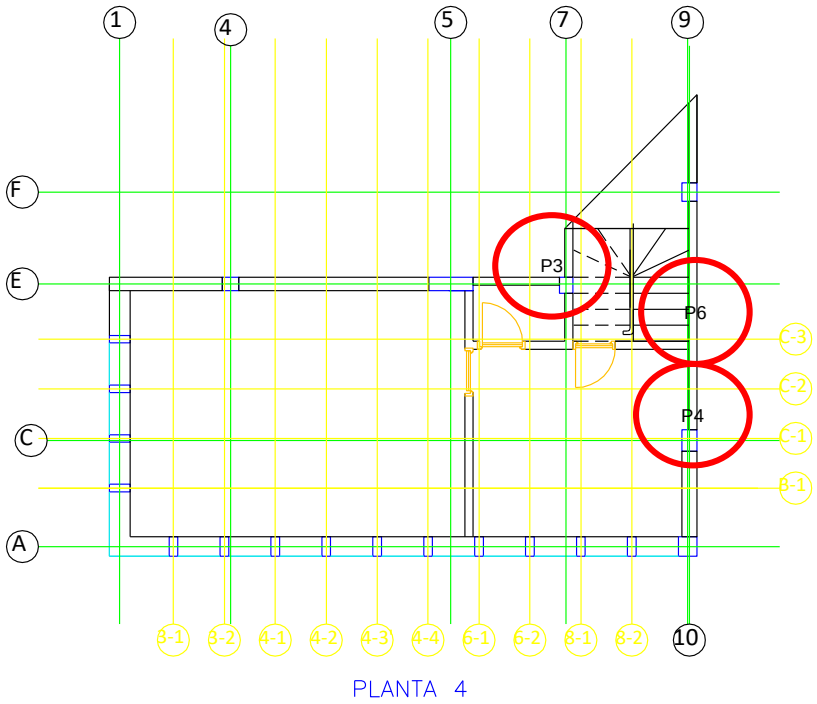


Figura 41. Planta 4
Fuente: autores

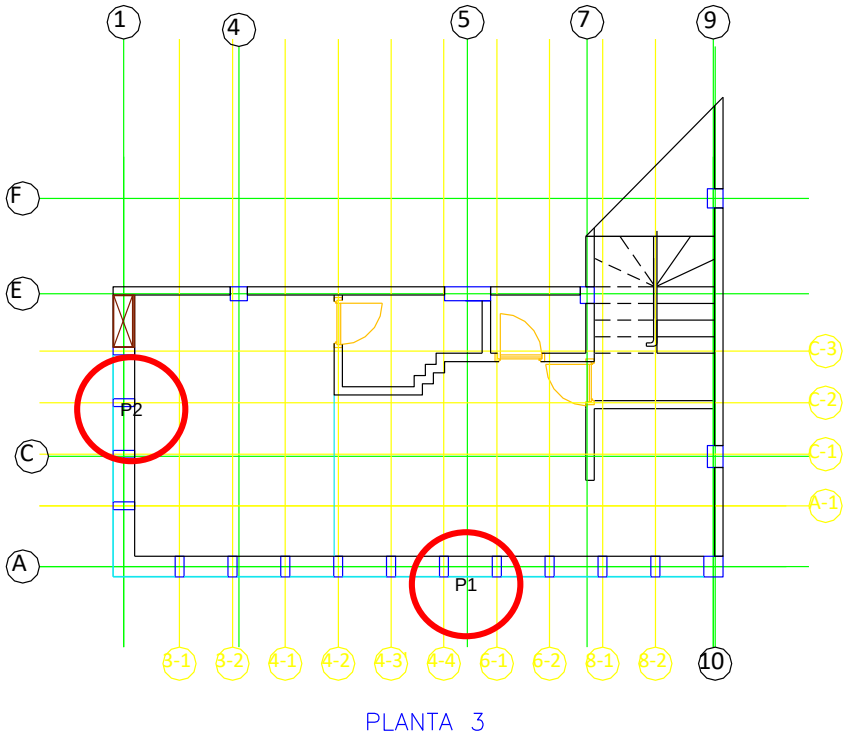


Figura 42. Planta 3
Fuente: autores

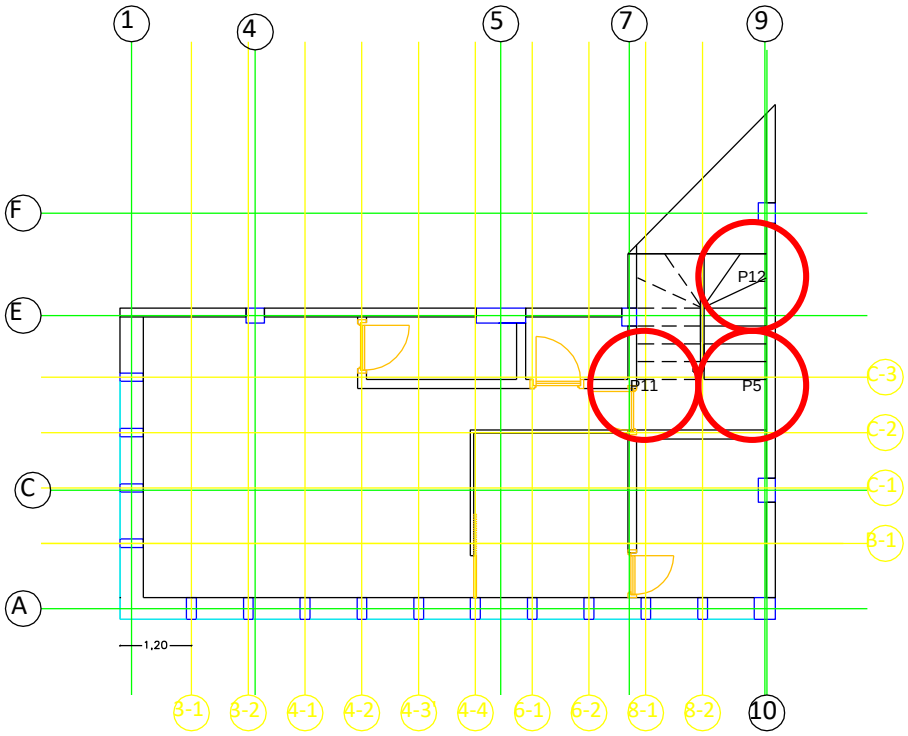


Figura 43. Planta 2
Fuente: autores

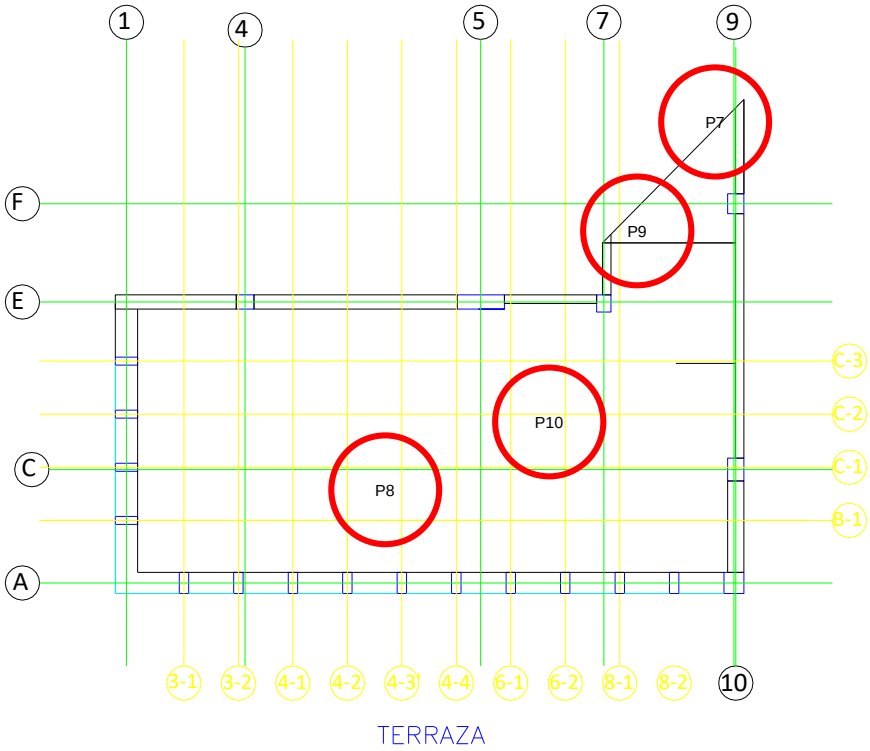


Figura 44. Terraza o azotea
Fuente: autores

14. MODELADO EN ETABS

14.1. VULNERABILIDAD SÍSMICA

Con los datos obtenidos en la visita de campo y las medidas reales la edificación, se realizó el plano en AUTOCAD donde se ubicaron los ejes de cada elemento, identificando todos los elementos de la estructura para posterior a ello, generar el modelo y complementarlo mediante el ingreso de datos como las secciones de columnas, materiales de los elementos, espectro sísmico, cargas vivas y cargas muertas.

14.1.1 Descripción de la estructura

El tipo de estructura para resistir cargas verticales y laterales (sísmicas y viento) es un sistema combinado; en la Figura 46 se evidencia los muros en ambas direcciones representados en color rojo, cuyo uso está definido en el decreto 926 de 2010, Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente para zonas de amenaza sísmica alta. Mediante las siguientes figuras se evidencia resultados del análisis estructural inicial que se debe hacer para poder hacer el modelo, los soportes de dichos resultados están en los anexos.

Sistema estructural utilizado: combinado
Método utilizado: resistencia última
Peso del edificio: 362,335 Ton
Cortante en la base: en X = 364,6 Ton
En Y = 364,6 Ton

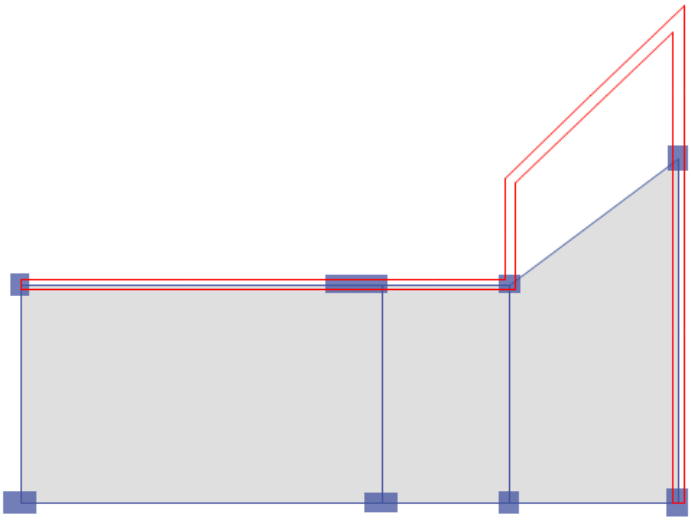


Figura 45. Planta piso 2
Fuente: autores

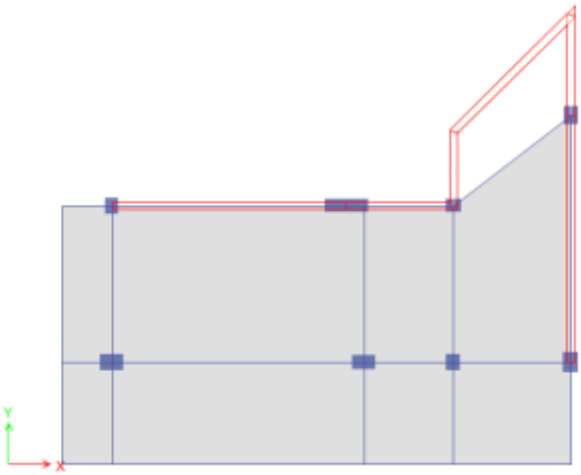


Figura 46. Planta piso 3
Fuente: autores

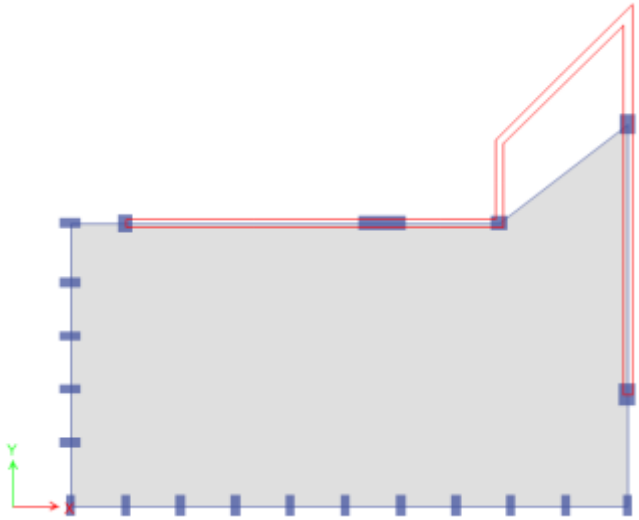


Figura 47. Planta piso 3 a la azotea
Fuente: autores

14.1.2 Evaluación sobre la resistencia de los materiales de la estructura

Para caracterizar las propiedades mecánicas de elementos estructurales de la edificación, se realizaron una serie de ensayos en cilindros extraídos con base a los requerimientos exigidos en la norma para la determinación de la resistencia a compresión. (NSR - 10, 2010) D.3.7.2.

Los valores obtenidos en los ensayos de resistencias de los materiales que componen la edificación, arrojan las siguientes especificaciones:

Tabla 12 Resistencia a compresión f'c de los elementos.

Resistencia a la compresión f'c (Mpa)		
Elementos	**Resistencia Máxima**	**Resistencia Efectiva**
Columnas y Columnetas	14,68	9,36
Vigas y Placa	20,03	12,77

Fuente: autores

De acuerdo a los datos anteriores, se aclara que la resistencia mínima requerida a la compresión para un concreto estructural DES no se cumple, debido al deterioro y el uso de la estructura a través de los años, aproximadamente 29 años de construida.

14.1.3 Secciones de los elementos

Para las dimensiones de los elementos estructurales se realizó la inspección visual de éstos, midiéndolo y reflejándolo en un plano. Por su parte para el armado se realizaron ensayos con un scanner el cual nos da la ubicación, recubrimiento y dimensión del acero de refuerzo, para tener certeza de este procedimiento se realizaron unas regatas en elementos ya ensayados y se realizó la comparación de lo visto en las regatas con los ensayos realizados, obteniendo como resultado la certeza del acero de refuerzo en los elementos estructurales, como se detalla a continuación:

- Columnas

La separación especificada en el detalle varía según las zonas de confinamiento del elemento.

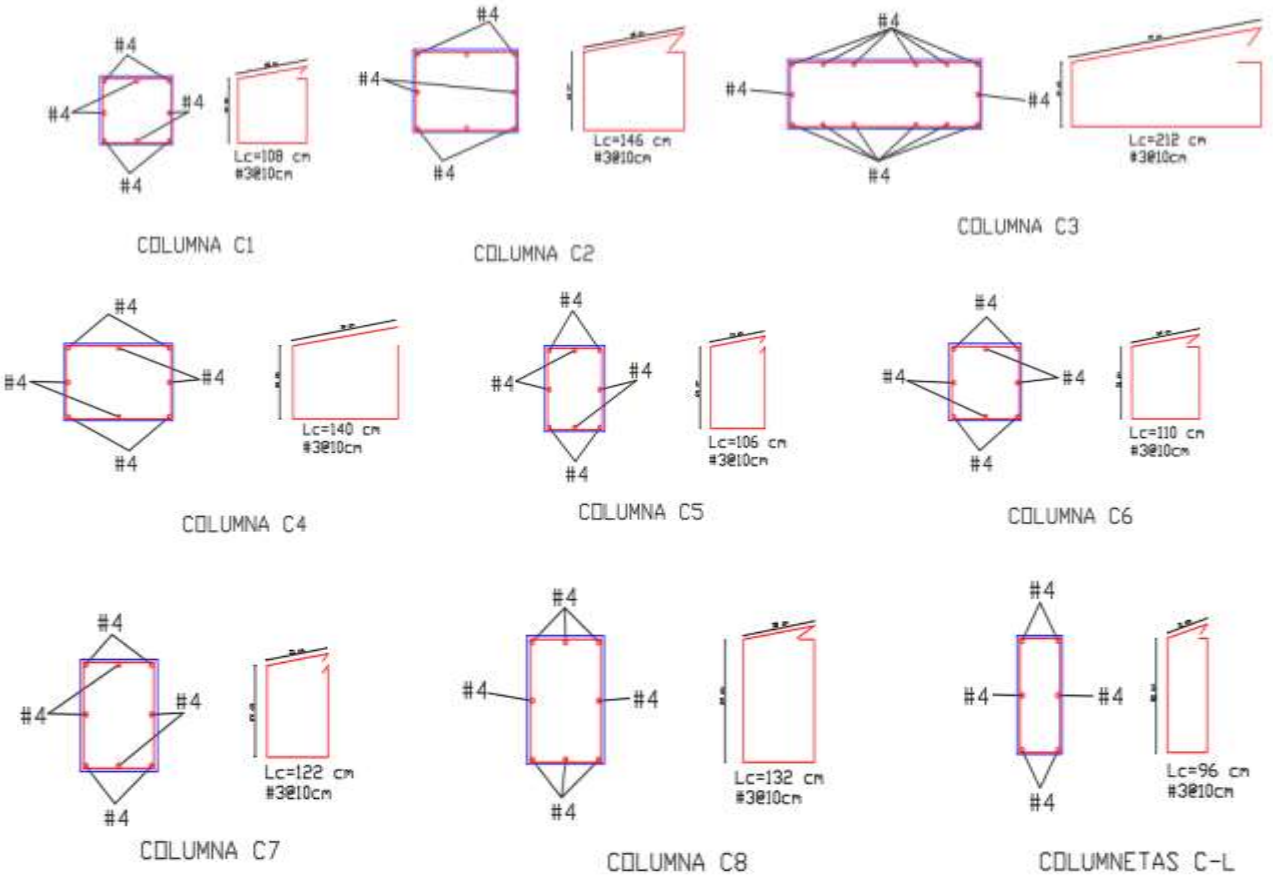


Figura 48 Esquema de configuración de columnas

Secciones de Columnas		
Pisos	**Dimensiones**	**Área de Acero**
Del piso 1 a la Azotea	0,31 m x 0,40 m	10,32 cm^2
Del piso 1 al 2	0,45 m x 0,30 m	10,32 cm^2
Del piso 1 a la Azotea	0,83 m x 0,25 m	18,06 cm^2
Del piso 1 al 2	0,45 m x 0,27 m	10,32 cm^2
Del piso 1 a la Azotea	0,25 m x 0,30 m	10,32 cm^2
Del piso 1 al 2	0,30 m x 0,27 m	10,32 cm^2
Del piso 1 a la Azotea	0,28 m x 0,35 m	10,32 cm^2
Del piso 1 a la Azotea	0,29 m x 0,40 m	10,32 cm^2
Del piso 2 a la Azotea	0,16 m x 0,37 m	10,32 cm^2

Fuente: autores

En correspondencia con las áreas de acero que presentan las columnas, las que presenten la sección de 0,31 m X 0,40 m, 0,45 m X 0,30 m, 0,83 m X 0,25 m, 0,45 m X 0,27 m, 0,29 m X 0,40 m no están cumpliendo con el refuerzo mínimo establecido en el Reglamento NSR-10.

De acuerdo con el Reglamento NSR-10 C.7.10.5 "*Estribos - Los estribos para elementos sometidos a la compresión deben cumplir con lo siguiente: C.7.10.5.1 - Todas las barras no preesforzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos No. 3 (3/B'J, para barras longitudinales No. 10 (1-1/4'J o menores; y diámetro No. 4 (1!2'J como mínimo para barras longitudinales No. 11, No. 14 y No.18 y paquetes de barras"*

- Vigas principales

Las vigas principales presentan áreas de refuerzo iguales en la zona inferior y superior, para el control de los momentos en los centros de luces. Las dimensiones especificadas corresponden a 0,3 m X 0,5 m.

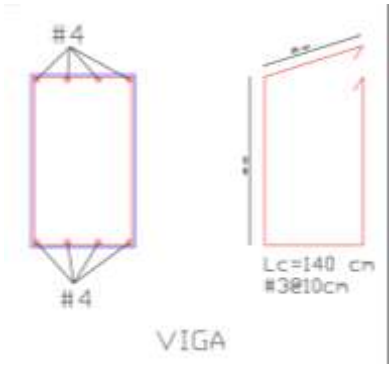


Figura 49 Esquema de vigas
Fuente: Autores

Tabla. Secciones vigas principales

Secciones de Vigas Principales	
Pisos	**Dimensiones**
Del piso 2 a la Azotea	0,30 m X 0,50 m

Fuente: autores

- Muros Estructurales

Los muros estructurales cuentan con espesores aproximados de 15 cm, tienen aceros #4 espaciado cada 20 cm en ambos sentidos. Lo anterior se determinó mediante el equipo de scanner mencionado anteriormente, arrojando datos suficientes para determinar los aceros. Para la medida del espesor del muro se tomó en zonas que eran posibles su medición.

14.1.4 Sistema de placa entrepiso

Tabla 13. Tabla de placas entrepiso.

Nivel	**Tipo**	**Altura (m)**
Planta 2	Maciza	0,32
Planta 3	Maciza	0,55
Planta 4	Maciza	0,35
Planta 5	Maciza	0,32
Azotea	Maciza	0,43
Placa bodega tipo	Maciza	0,10

Fuente: Autores

14.1.5 Cargas típicas

Tabla 14. Asignación de cargas vivas y muertas.

Nivel	**CARGAS (Ton/m^2)**		
	Muerta	**Viva**	**Ultima**
Piso 2	0,18	0,2	0,536
Piso 3 al 5	0,18	0,2	0,536
Azotea	0,15	0,5	0,98

Fuente: Autores

Según el Reglamento NSR-10 8.3.4.3 - *"**VALORES MINIMOS ALTERNATIVOS PARA CARGAS MUERTAS DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES:** En edificaciones con alturas de entrepisos terminados menores a 3m, se pueden utilizar los valores mínimos de carga muerta en kN/m2 de área horizontal en planta, datados en la tabla B.3.4.3-1 según el tipo de ocupación, en vez de aquellos obtenidos del análisis detallado de las cargas muertas causadas por los elementos no estructurales".*

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/m²) m² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m²) m² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m²) m² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m²) m² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones moviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mamposteria	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 mamposteria.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacena-miento	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

Según el Reglamento NSR-1 O 8.4.2.1 - *"**CARGAS VIVAS REQUERIDAS** - Las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la edificación debido al uso que ésta va a tener. En ningún caso estas cargas vivas pueden ser menores que las cargas vivas establecidas en las tablas B.4.2.1-1 y B.4.2.1-2."*

Tabla B.4.2.1-1
Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m²) m² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m²) m² 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
	Vestíbulos	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
	Estanterías	7.0	700
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

14.1.6 Parámetros sísmicos

Tabla 15. Parámetros sísmicos

Parámetros sísmicos	
Perfil del suelo	D
Aa (Ae)	0,20
Av (Ae)	0,20
I	1,00
Fa	1,40
Fv	2,00
To	0,143
Tc	0,686
TL	4,800

Fuente: Autores.

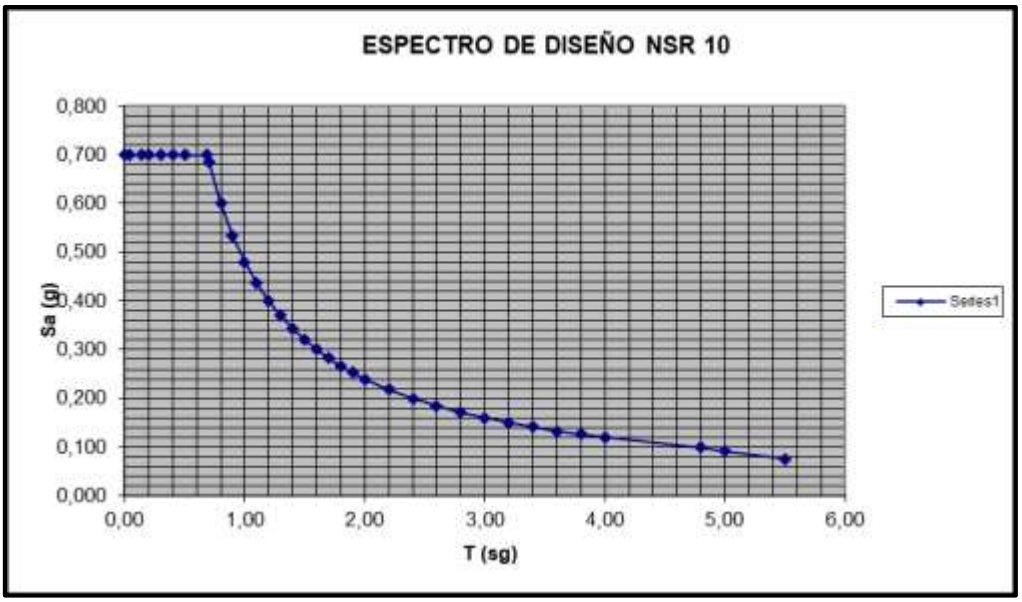


Figura 50. Espectro de diseño NSR10.
Fuente: Autores.

14.2. ANÁLISIS ESTÁTICO

Tabla 16. Coeficiente Ct y α.

SISTEMA ESTRUCTURAL	Ct	α
Pórticos Concreto	0.047	0.90
Pórticos Acero	0.072	0.80
Pórticos Acero Arriostrados	0.073	0.75
Muros rigidez	0.049	0.75
Otro	0.00	1.00

Fuente: Autores.

Tabla 17. Datos para el cálculo del periodo natural

Para esta estructura	**Sistema estructural**	**Ct**	**α**
En el sentido X	**Combinado DES**	0.049	0.75
En el sentido Y	**Combinado DES**	0.049	0.75
Otros datos			
Altura total de la estructura H			11.32 m
Peso de la estructura (W)			369.35 Ton
Coeficiente (Cu)			1.27

Fuente: Autores.

Análisis	**Ta**	**Cu*Ta**	**Sa**
En el sentido X	0.30	0.381	0.70
En el sentido Y	0.30	0.381	0.70

14.3. ANÁLISIS DINÁMICO

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, se realizó un análisis dinámico espectral, según lo establecido el capítulo A.5 MÉTODO DEL ANALISIS DINÁMICO. Teniendo en cuenta esto, se elaboró el análisis dinámico mediante un modelo matemático tridimensional en el programa ETABS versión 2018.

Cumpliendo con lo establecido en el numeral A.5.2 se realizó un modelo el cuál tuviera en cuenta la distribución de masas y rigideces existentes en la estructura.

14.3.1 Porcentaje de participación de masas

Número de modos de vibración: Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, p, se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales de análisis, j, por lo menos el 90% de la masa participante de la estructura.

Tabla 18. Proporciones de masa participantes modales

Modal Participating Mass Ratios					
Mode	**Period**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**
1	**0.69**	0.13	0.28	0.13	0.28
2	0.21	0.02	0.04	0.16	0.32
3	0.20	0.14	0.45	0.29	0.77
4	**0.17**	0.51	0.03	0.80	0.80
5	0.10	0.00	0.01	0.80	0.81
6	0.08	0.02	0.00	0.82	0.81
7	0.07	0.01	0.00	0.83	0.81
8	0.07	0.00	0.00	0.83	0.82
9	0.07	0.01	0.00	0.84	0.82

10	0.06	0.00	0.02	0.84	0.84
11	0.05	0.07	0.07	0.91	0.91

Fuente: Autores.

14.3.2 Periodo de la estructura

Periodo y cortante basal de la estructura del modelo en ETABS

Tabla 19. Periodo de la estructura

Dirección	Periodo
Sentido X	0.17
Sentido Y	0.69

Fuente: Autores.

14.3.3 Ajuste de resultados

El valor del cortante dinámico total en la base, Vtj, obtenido para cualquiera de las dos direcciones principales, j no puede ser menor que los siguientes valores:

- Para edificios clasificados como irregulares de acuerdo con los requisitos del capítulo A.3, no puede ser menor que el 90 por ciento del valor del cortante sísmico en la base, Vs, calculado de acuerdo con los requisitos del capítulo A.4.
- Para edificios clasificados como regulares de acuerdo con los requisitos del capítulo A.3 no puede ser menor que el 80 por ciento del valor del cortante sísmico en la base, Vs, calculado de acuerdo con los requisitos del capítulo A.4 utilizando el periodo de vibración aproximado Ta dado en A.4.2.2

El ajuste debe realizarse proporcionalmente a todos los parámetros de la respuesta dinámica tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes en la base y fuerzas en los elementos.

AJUSTE DE RESULTADOS

Tabla 20.Parametros para ajustar resultados

Código	Estructura	Factor	Para esta estructura	
1	Regular	0.80	Código	2
2	Irregular	0.90	Factor	0.90

Fuente: Autores.

Los valores del cortante dinámico no pueden ser inferiores al 90% de los cortantes estáticos es decir los valores de la siguiente tabla.

Tabla 21. Valores de cortante basal dinámico.

Dirección	Periodo de diseño	Aceleración de diseño	Cortante Basal Estático	Cortante Basal Dinámico	Factor de Ajuste
Sentido X	0.17	0.70	258.55 Ton	244.117 Ton	1
Sentido Y	0.381	0.70	258.55 Ton	227.441 Ton	1.024

Fuente: Autores.

Tabla 22. Cortante basal mayorado

Sentido	V mayorado
X	244.117 Ton
Y	232,89 Ton

Fuente: Autores.

14.3.4 Combinaciones de carga

Cuando se trate de análisis dinámico elástico, se dividen por el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R, del sistema de resistencia sísmica, modificado de acuerdo con la irregularidad según los requisitos A.3.3.3, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño E, y se combinan con las otras cargas prescritas por este reglamento, de acuerdo con los requisitos del título B.

Capacidad de disipación de energía	**X**	**Y**
	DES	DES

Sentido	Ro	Φa	Φp	Φr	R
X	5,25	0,8	0,8	0,75	2,52
Y	5,25	0,8	0,8	0,75	2,52

Combinaciones de carga para revisión de derivas

Combo	Muerta	Viva	Viva cubierta	ESP X	ESP Y	Ec. NSR-10. B
Deri 1	1,00			1,00		B.2.3-6
Deri 2	1,00				1,00	B.2.3-6
Deri 3	1,00	0,75	0.75	0.75		B.2.3-8
Deri 4	1,00	0,75	0.75		0.75	B.2.3-8
Deri 5	0.6			1		B.2.3-10
Deri 6	0.6				1	B.2.3-10

Combinaciones de carga para revisión de columnas

Combo	Muerta	Viva	Viva cubierta	ESP X	ESP Y
Dise 1	1,40	-	-	-	-

Dise 2	1,20	1,60	0,5	-	-
Dise 3	1,20	1,00	1,60	-	-
Dise 4	1,20	1,00	-	1,00	0,30
Dise 5	1,20	1,00	-	0,30	1,00
Dise 6	0,90	-	-	1,00	0,30
Dise 7	0,90	-	-	0,30	1,00

14.4. CÁLCULO DE LA DERIVA

La evaluación de la flexibilidad de la estructura es un parámetro descrito en el reglamento colombiano de diseño sismo resistente.

Tabla 23. Derivas por piso.

TABLE: Story Drifts				
Story	**Output Case**	**Direction**	**DERIVA**	**DERIVA**
				%
AZOTEA	DERIVA1	X	0.002518	0.2518
AZOTEA	DERIVA1	Y	0.003537	0.3537
AZOTEA	DERIVA2	X	0.002478	0.2478
AZOTEA	DERIVA2	Y	0.004088	0.4088
AZOTEA	DERIVA3	X	0.001969	0.1969
AZOTEA	DERIVA3	Y	0.002866	0.2866
AZOTEA	DERIVA4	X	0.001778	0.1778
AZOTEA	DERIVA4	Y	0.002853	0.2853
AZOTEA	DERIVA5	X	0.00244	0.244
AZOTEA	DERIVA5	Y	0.003327	0.3327
AZOTEA	DERIVA6	X	0.002557	0.2557
AZOTEA	DERIVA6	Y	0.004298	0.4298
P5	DERIVA1	X	0.002167	0.2167
P5	DERIVA1	Y	0.00365	0.365
P5	DERIVA2	X	0.002561	0.2561
P5	DERIVA2	Y	0.003974	0.3974
P5	DERIVA3	X	0.001912	0.1912
P5	DERIVA3	Y	0.003043	0.3043
P5	DERIVA4	X	0.002246	0.2246
P5	DERIVA4	Y	0.002791	0.2791
P5	DERIVA5	X	0.002092	0.2092
P5	DERIVA5	Y	0.003344	0.3344
P5	DERIVA6	X	0.002244	0.2244
P5	DERIVA6	Y	0.004211	0.4211
M4	DERIVA1	X	0.004594	0.4594

M4	DERIVA1	Y	0.004605	0.4605
M4	DERIVA2	X	0.004599	0.4599
M4	DERIVA2	Y	0.006784	0.6784
M4	DERIVA3	X	0.003798	0.3798
M4	DERIVA3	Y	0.003543	0.3543
M4	DERIVA4	X	0.003517	0.3517
M4	DERIVA4	Y	0.005012	0.5012
M4	DERIVA5	X	0.00425	0.425
M4	DERIVA5	Y	0.004519	0.4519
M4	DERIVA6	X	0.00454	0.454
M4	DERIVA6	Y	0.006857	0.6857
P4	DERIVA1	X	0.002802	0.2802
P4	DERIVA1	Y	0.003998	0.3998
P4	DERIVA2	X	0.00259	0.259
P4	DERIVA2	Y	0.005255	0.5255
P4	DERIVA3	X	0.0023	0.23
P4	DERIVA3	Y	0.003257	0.3257
P4	DERIVA4	X	0.002285	0.2285
P4	DERIVA4	Y	0.003923	0.3923
P4	DERIVA5	X	0.002604	0.2604
P4	DERIVA5	Y	0.003742	0.3742
P4	DERIVA6	X	0.002438	0.2438
P4	DERIVA6	Y	0.005275	0.5275
M3	DERIVA1	X	0.004735	0.4735
M3	DERIVA1	Y	0.004959	0.4959
M3	DERIVA2	X	0.004667	0.4667
M3	DERIVA2	Y	0.006902	0.6902
M3	DERIVA3	X	0.003919	0.3919
M3	DERIVA3	Y	0.00387	0.387
M3	DERIVA4	X	0.003531	0.3531
M3	DERIVA4	Y	0.005035	0.5035
M3	DERIVA5	X	0.004375	0.4375
M3	DERIVA5	Y	0.004809	0.4809
M3	DERIVA6	X	0.004644	0.4644
M3	**DERIVA6**	**Y**	**0.007042**	**0.7042**
P3	DERIVA1	X	0.001275	0.1275
P3	DERIVA1	Y	0.003429	0.3429
P3	DERIVA2	X	0.001846	0.1846
P3	DERIVA2	Y	0.003466	0.3466
P3	DERIVA3	X	0.000936	0.0936
P3	DERIVA3	Y	0.003046	0.3046

P3	DERIVA4	X	0.001632	0.1632
P3	DERIVA4	Y	0.002521	0.2521
P3	DERIVA5	X	0.001298	0.1298
P3	DERIVA5	Y	0.002955	0.2955
P3	DERIVA6	Y	0.00355	0.355
M2	DERIVA1	X	0.002759	0.2759
M2	DERIVA1	Y	0.003755	0.3755
M2	DERIVA2	X	0.002673	0.2673
M2	DERIVA2	Y	0.006113	0.6113
M2	DERIVA3	X	0.002289	0.2289
M2	DERIVA3	Y	0.002932	0.2932
M2	DERIVA4	X	0.001952	0.1952
M2	DERIVA4	Y	0.004752	0.4752
M2	DERIVA5	X	0.002647	0.2647
M2	DERIVA5	Y	0.003642	0.3642
M2	DERIVA6	X	0.002724	0.2724
M2	DERIVA6	Y	0.005946	0.5946
P2	DERIVA1	X	0.001853	0.1853
P2	DERIVA1	Y	0.002309	0.2309
P2	DERIVA2	Y	0.003212	0.3212
P2	DERIVA3	X	0.001493	0.1493
P2	DERIVA3	Y	0.001845	0.1845
P2	DERIVA4	Y	0.002415	0.2415
P2	DERIVA5	X	0.001747	0.1747
P2	DERIVA5	Y	0.002192	0.2192
P2	DERIVA6	X	0.001747	0.1747
P2	DERIVA6	Y	0.003206	0.3206
M1	DERIVA1	X	0.002018	0.2018
M1	DERIVA1	Y	0.002666	0.2666
M1	DERIVA2	X	0.002205	0.2205
M1	DERIVA2	Y	0.00437	0.437
M1	DERIVA3	X	0.001533	0.1533
M1	DERIVA3	Y	0.002057	0.2057
M1	DERIVA4	X	0.001634	0.1634
M1	DERIVA4	Y	0.003286	0.3286
M1	DERIVA5	X	0.001997	0.1997
M1	DERIVA5	Y	0.002608	0.2608
M1	DERIVA6	X	0.002225	0.2225
M1	DERIVA6	Y	0.00436	0.436
DERIVA MÁXIMA				**0.7042**

Fuente: Autores

15. ETIOLOGÍA

En mayor parte de las patologías que se evidenciaron en el edificio se puede apreciar que son causadas por humedad como lo son la patología P3, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P11 y P12, la presencia de esta humedad debido a las fotografías se puede inferir que lleva presente durante un periodo de tiempo largo, la mayor concentración de humedad o la fuente de esta está ubicada en el último piso, en la terraza o azotea, donde las lluvias o fugas de los tanques de almacenamiento no son correctamente drenadas, el piso de la terraza no tiene desniveles que permitan el drenaje del agua y por consecuencia se forman charcos de agua, la cual posteriormente desciende por bajantes a pisos inferiores o por filtración al piso inferior y empieza a afectar los elementos estructurales, otra de las patologías que se pudieron evidenciar en segundo piso de la edificación fue la presencia de Liquen en elementos estructurales, posiblemente por filtraciones de agua por la fachada de la estructura, la que es en cristales, la continua exposición a cambios de temperatura en dicha humedad producen el liquen que se puede observar en las patologías P1 y P2.

La edificación presenta humedad en la parte interior exactamente en la columna que baja desde la azotea al primer piso que es donde están las cargas de los tanques de almacenamiento de agua, se aprecia el deterioro de sus acabados y la baja resistencia presente en los elementos de esa zona. También se evidencia problemas de deterioro en los acabados de la fachada principal, estos son causados por presencia de humedad lo que indica un mal sellado de impermeabilización o posible movimiento en la fachada, lo que ocasiona la presencia de agua en esta zona.

16. EVALUACIÓN

16.1. ÍNDICES DE SOBREESFUERZO DE COLUMNAS PARA CORTANTE Y FLEXO COMPRESIÓN (POR EL MÉTODO DE CURVAS DE INTERACCIÓN)

Se analizaron los esfuerzos causados por la combinación para cargas verticales sin mayorar, cargas verticales mayoradas y todas las combinaciones de diseño, para determinar los índices de sobreesfuerzo individual de las columnas, identificando la incidencia de la falla progresiva de estos elementos.

Para esto se escoge una serie de columnas sobre las cuales se presentan los mayores esfuerzos y comprobamos con los diagramas de interacción si puede soportar las cargas sobre las que ellas actúan.

Se evaluaron dos columnas ubicadas una a nivel central y otra en el extremo de la edificación tanto en el piso 2 como en el piso 4.

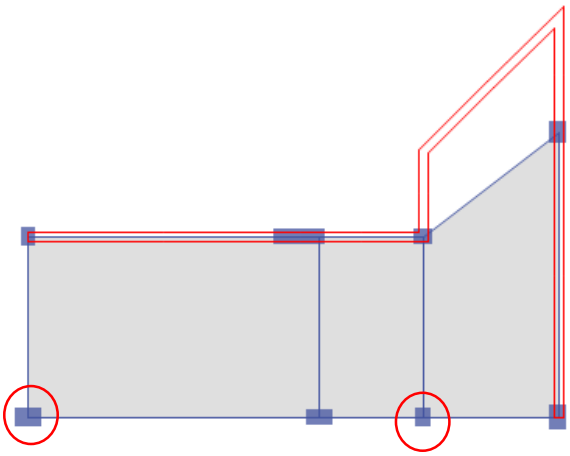
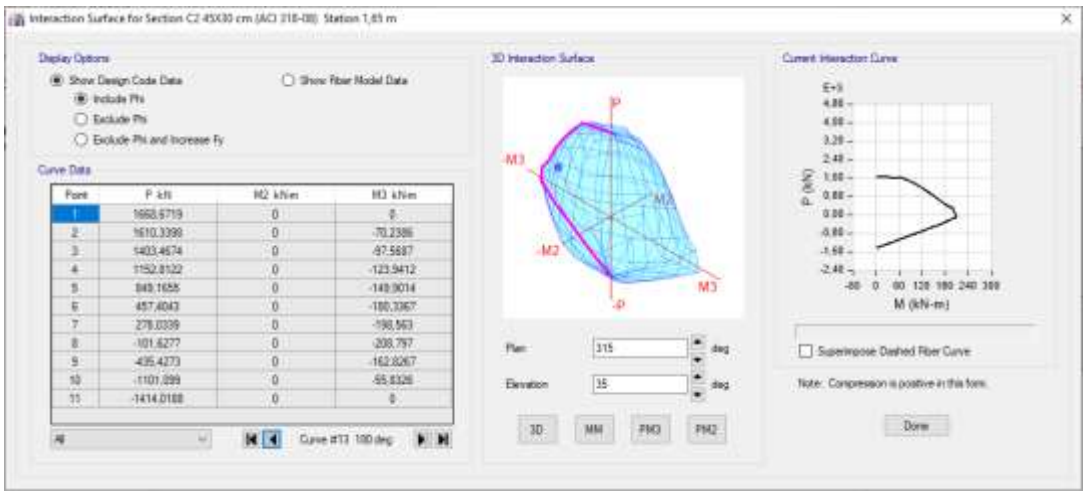
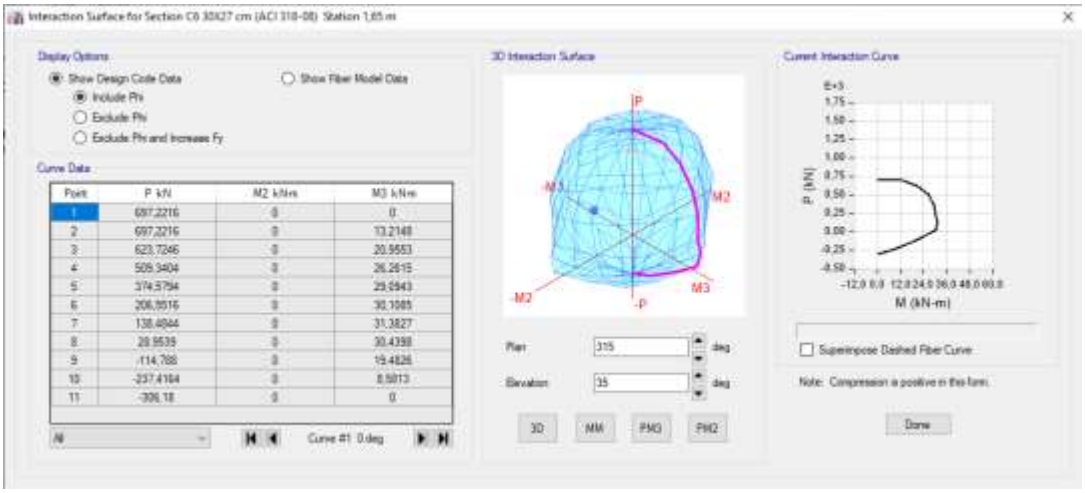


Figura 51**.** Ubicación de las columnas evaluadas en el análisis de índices de sobre esfuerzos
Fuente: autores

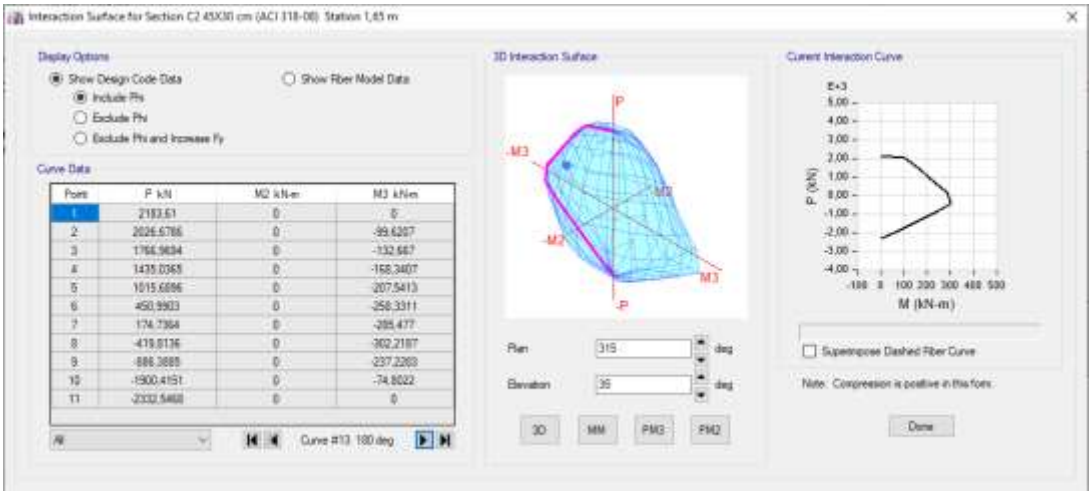
16.1.1 Columna C2 y C6 del segundo piso

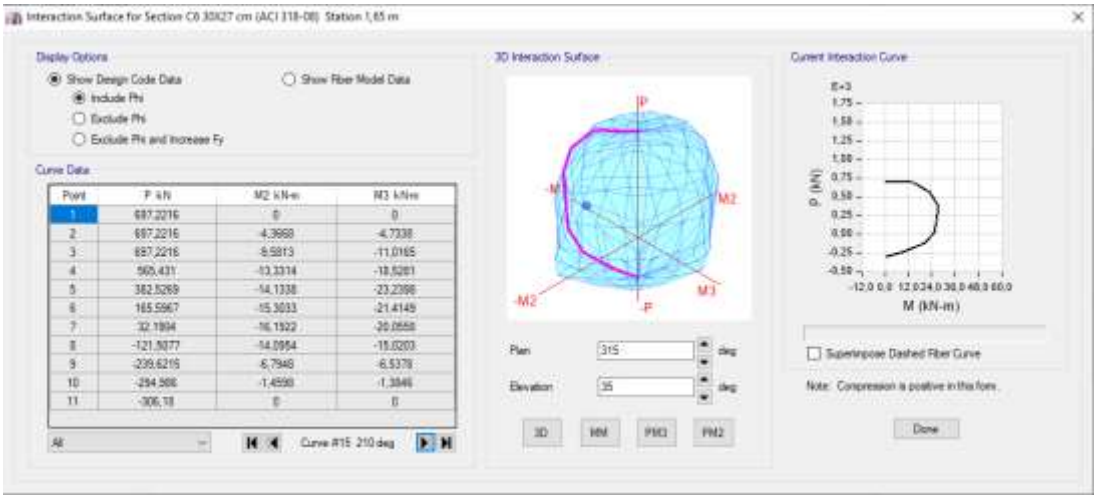
- Análisis de sobreesfuerzo para cargas verticales sin mayorar.



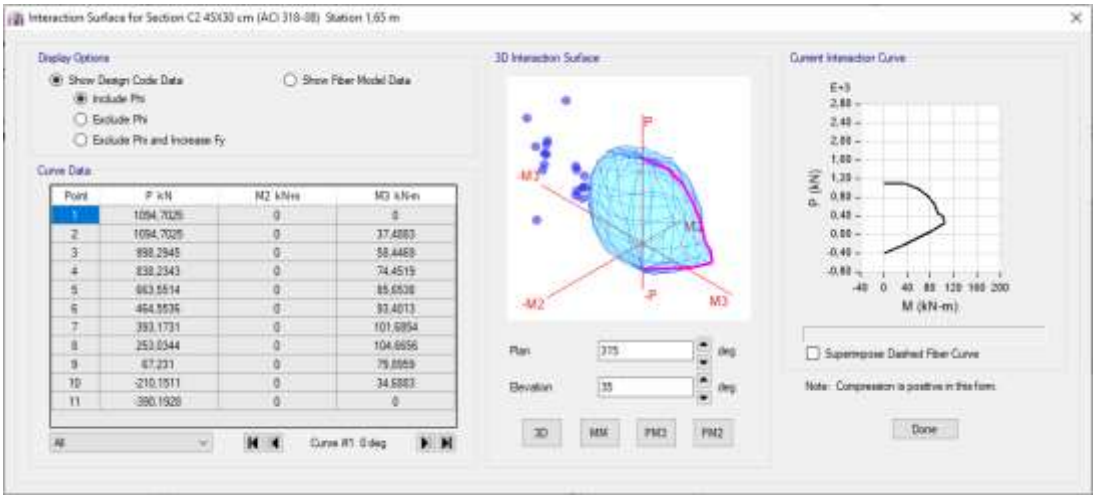


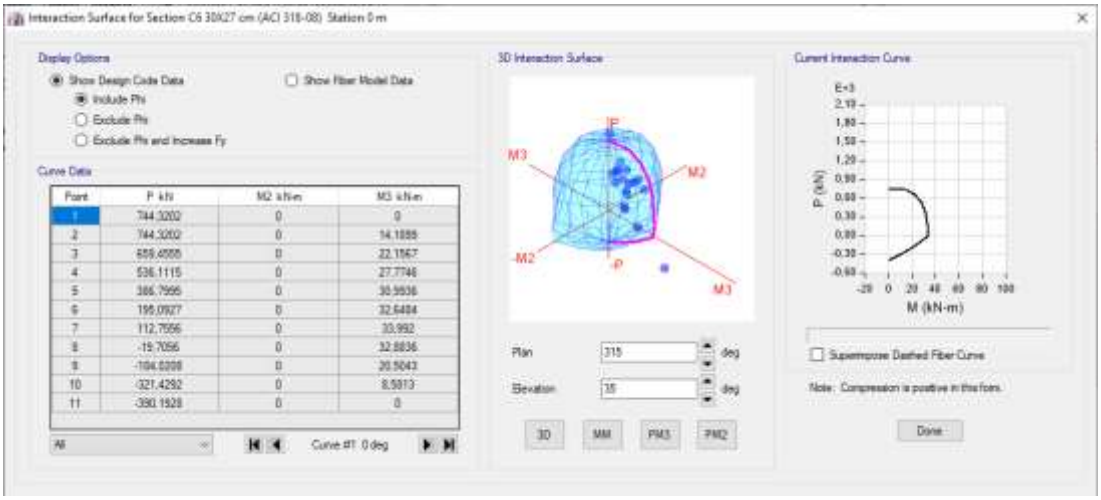
- Análisis de sobreesfuerzo para cargas verticales mayoradas





- Análisis de sobreesfuerzo para para todas las combinaciones de diseño





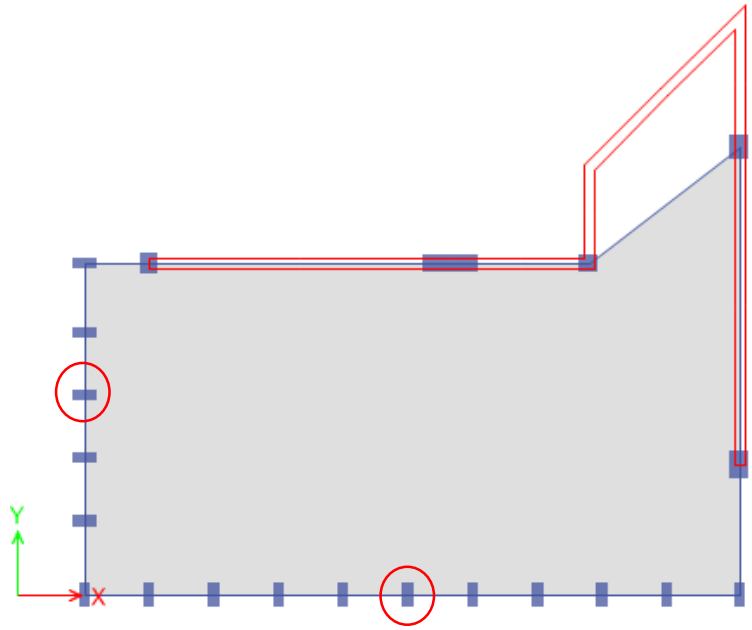
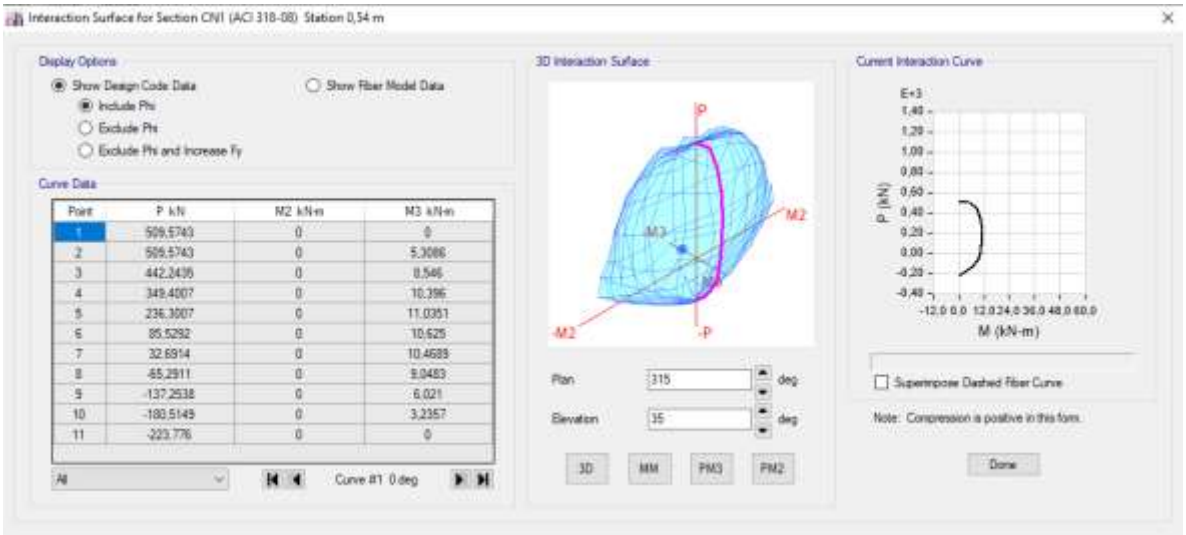
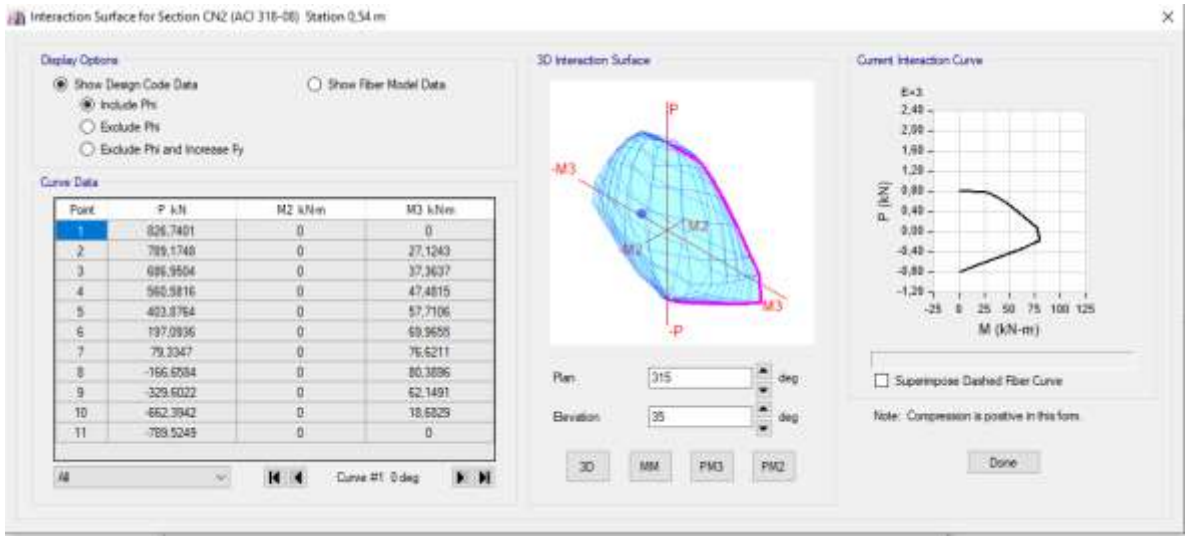


Figura 52. Ubicación de las columnetas evaluadas en el análisis de índices de sobreesfuerzos
Fuente: Autores

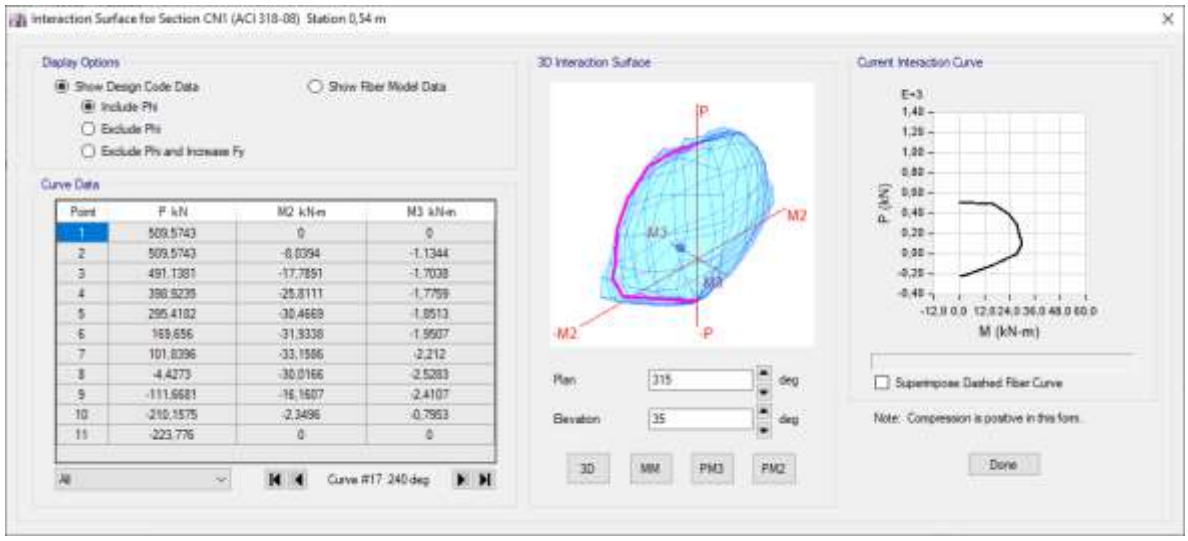
16.1.2 Columnetas CN6 y CN14 del cuarto piso

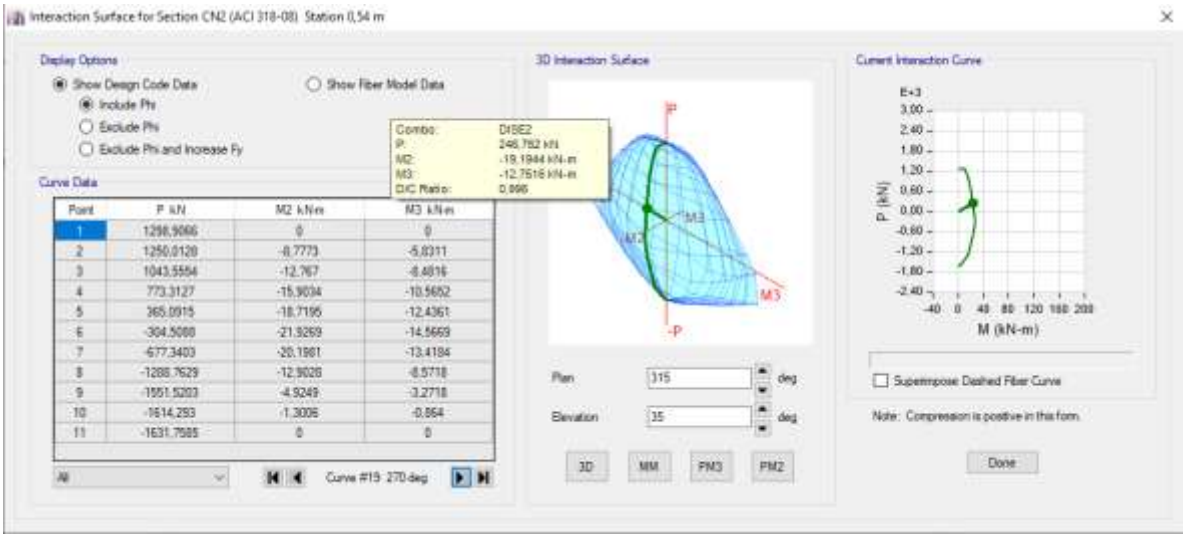
- Análisis de sobreesfuerzo para cargas verticales sin mayorar



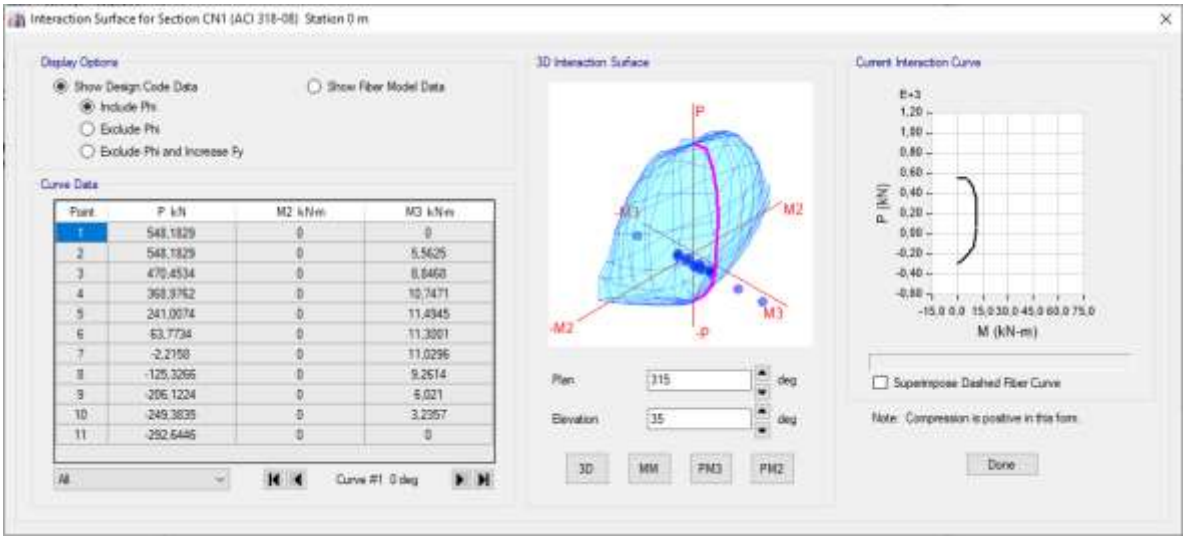


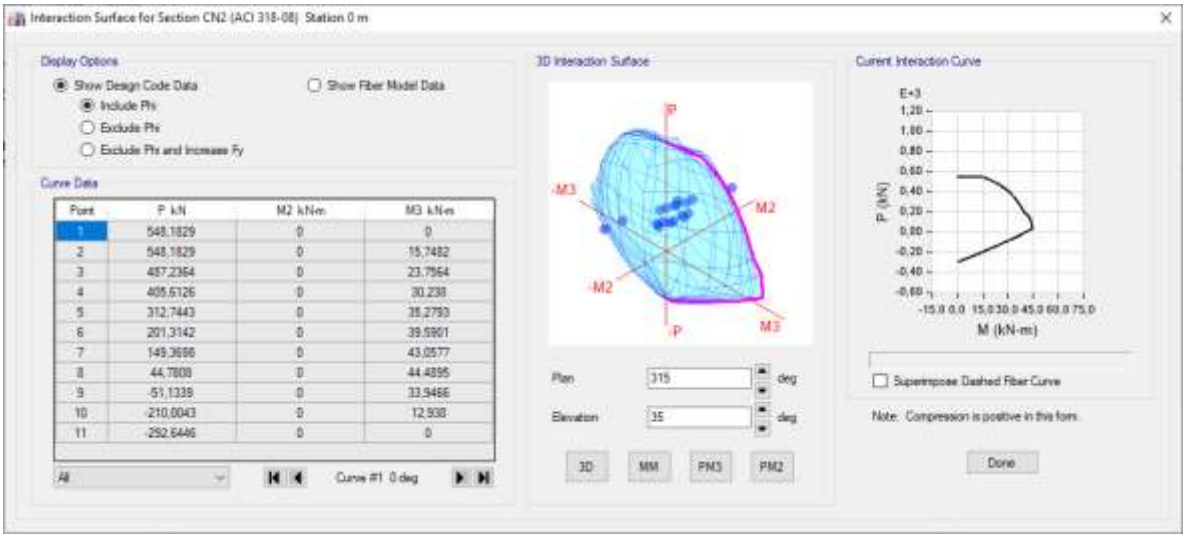
- Análisis de sobreesfuerzo para cargas verticales mayoradas





- Análisis de sobreesfuerzo para para todas las combinaciones de diseño

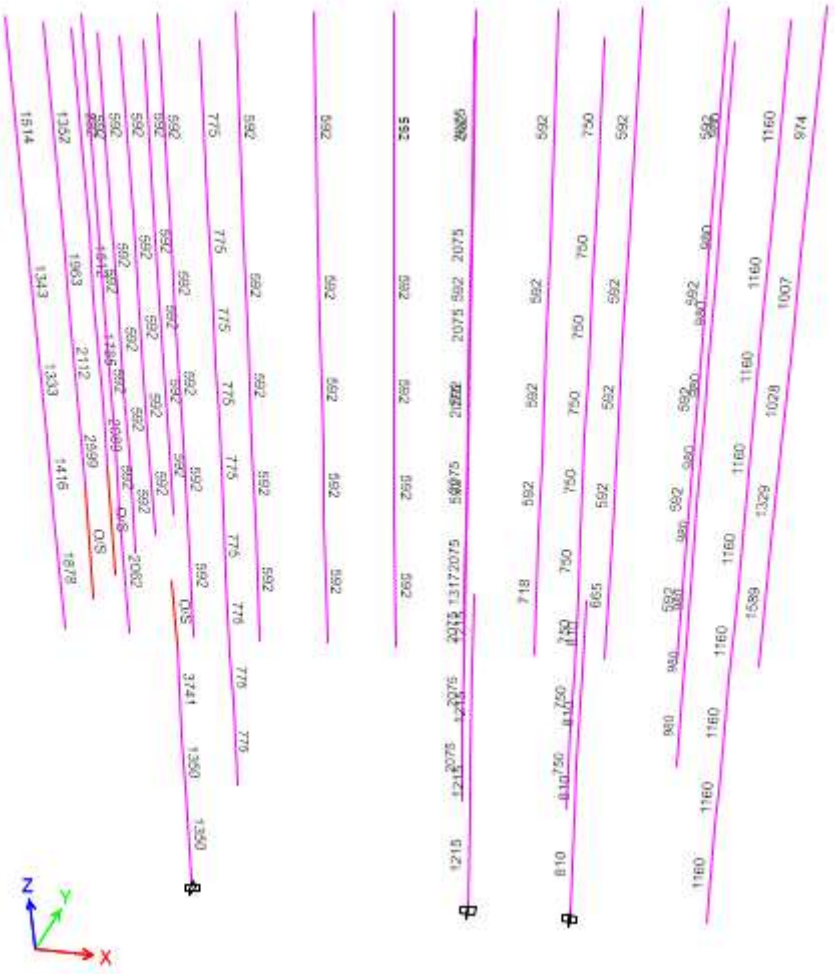




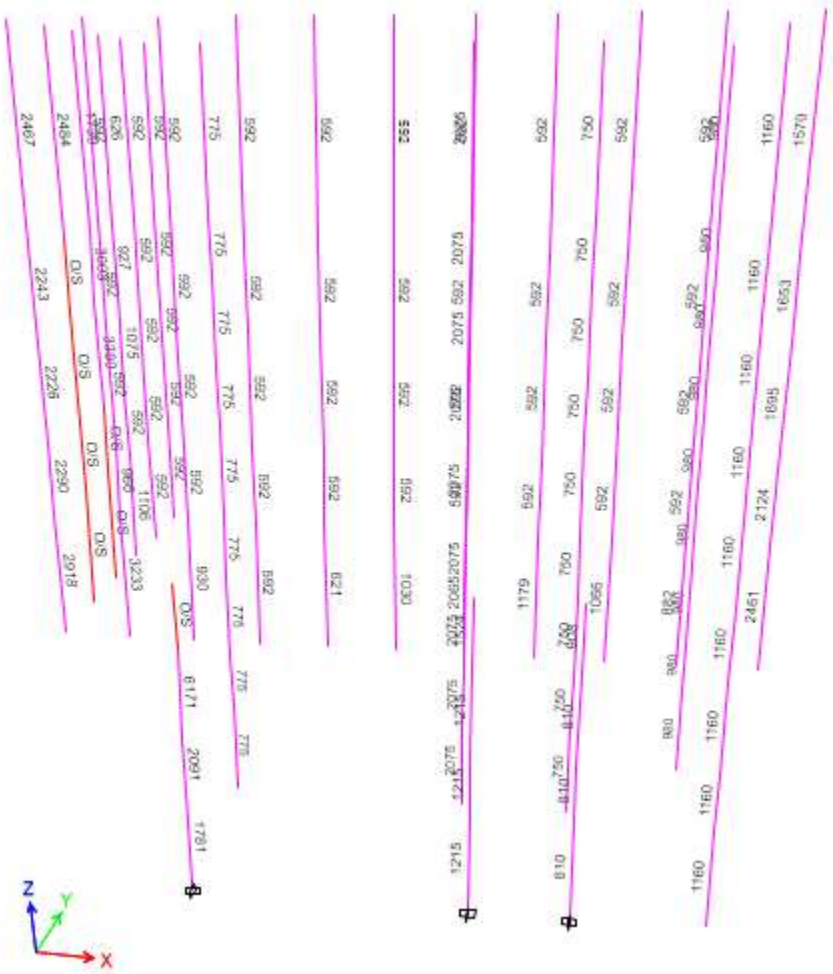
16.1.3 Índices de sobreesfuerzo de columnas para flexo compresión (por el método de acero de refuerzo)

Analizamos los esfuerzos causados por la combinación para cargas verticales sin mayorar, cargas verticales mayoradas y todas las combinaciones de diseño, para determinar los índices de sobreesfuerzo individual de las columnas, identificando la incidencia de la falla progresiva de estos elementos.
Para esto se evalúa toda la edificación y se realiza un diseño donde los elementos columnas nos muestra el área de acero que necesita para las diferentes combinaciones aplicadas por la NSR-10 y las comparamos con el área de acero real que tienen, donde nos indica si necesita más acero o cumple con el que tienen suministrado.

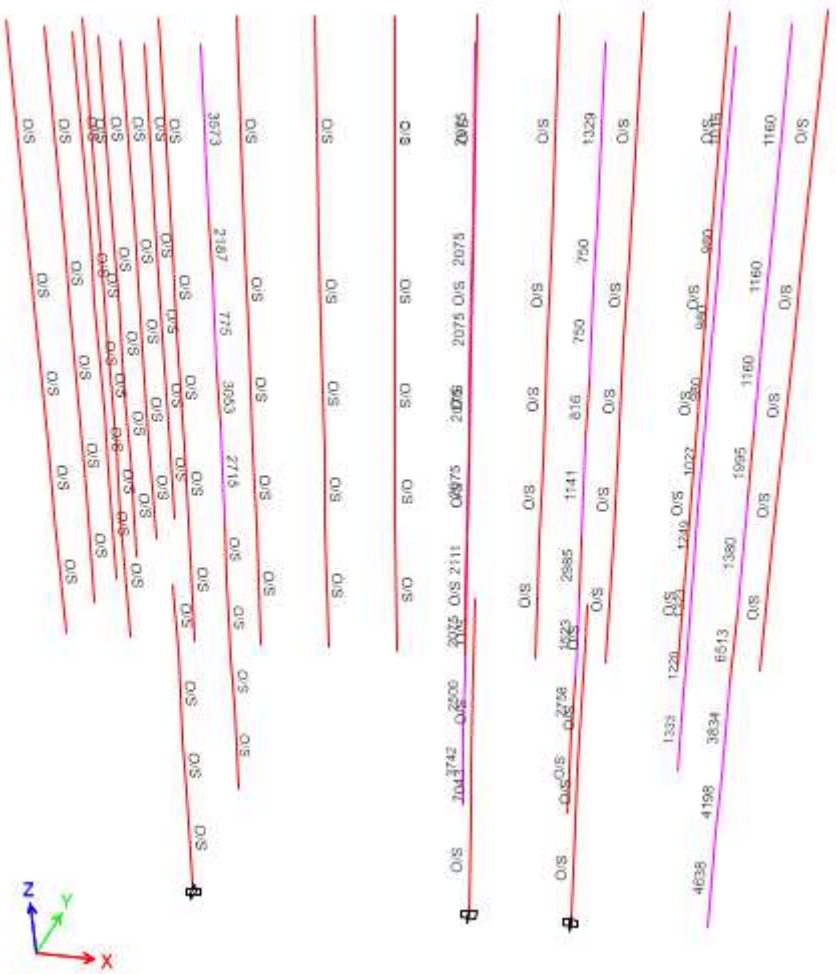
- Índices de sobreesfuerzo en columnas considerando cargas verticales sin mayorar.



- Índices de sobreesfuerzo en columnas considerando cargas verticales mayoradas.



- Índices de sobreesfuerzo en columnas considerando todas las combinaciones de diseño



16.2. REVISIÓN DE VIGAS

Para el cálculo de los índices de sobreesfuerzo de las vigas de la estructura se evaluaron los elementos a carga vertical, es decir sin considerar el sismo, de cada uno de los elementos estructurales presentes en la estructura evaluada.

En general todas las vigas cumplen con cuantía mínima, presentan 4 y 3 centímetros de recubrimiento, empleando una sección típica en el diseño general del proyecto, para viga principal (30x50 cm), debido a esta sección tomada y el gran parte del aporte que da losa maciza las vigas principales cumplen en su totalidad con el acero suministrado y las dimensiones que tienen.

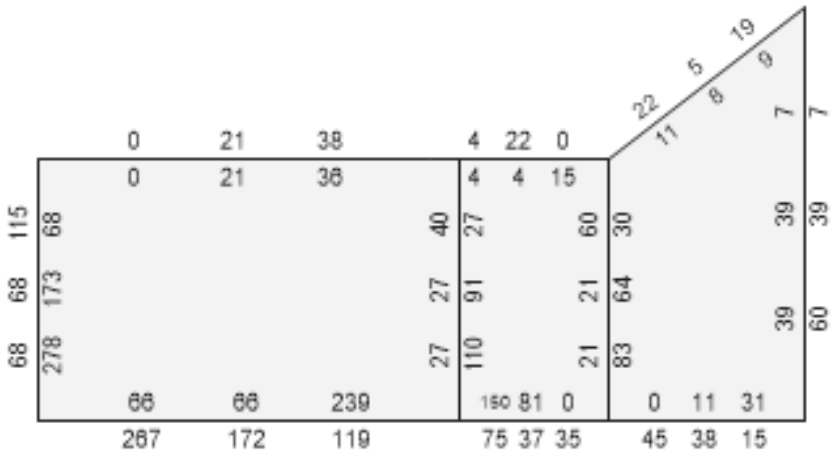


Figura 53. Esquema de vigas planta del segundo piso
Fuente: Autores

De acuerdo con la gráfica anterior, las vigas no estarían presentando sobreesfuerzo ante cargas verticales. No obstante, el área de acero requerida en varias zonas; no supera el que las vigas tienen suministrado de 516 mm^2 tanto en su parte inferior como superior.

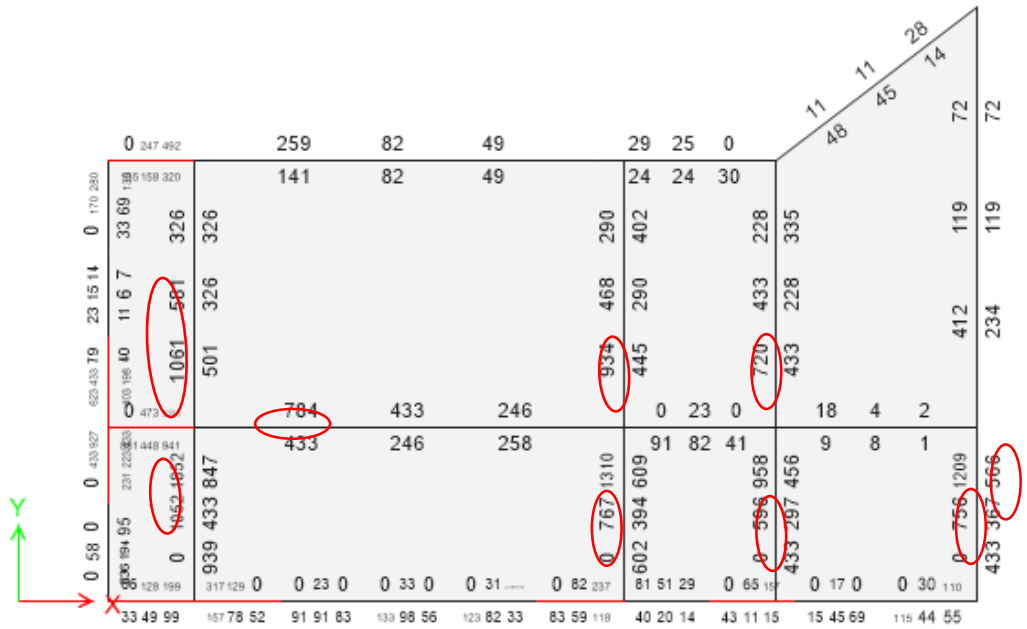


Figura 54. Esquema de vigas planta del tercer piso
Fuente: Autores

De acuerdo con la anterior figura de la planta del piso 3, encontramos zonas demarcadas con rojo, que nos indica que elementos no cumplen con las fuerzas

aplicadas, las cuales está requiriendo, esfuerzos que superan los permitidos y, además, requieren áreas de acero tanto superior como inferior, mayores a 516 mm^2 que es el área colocada.

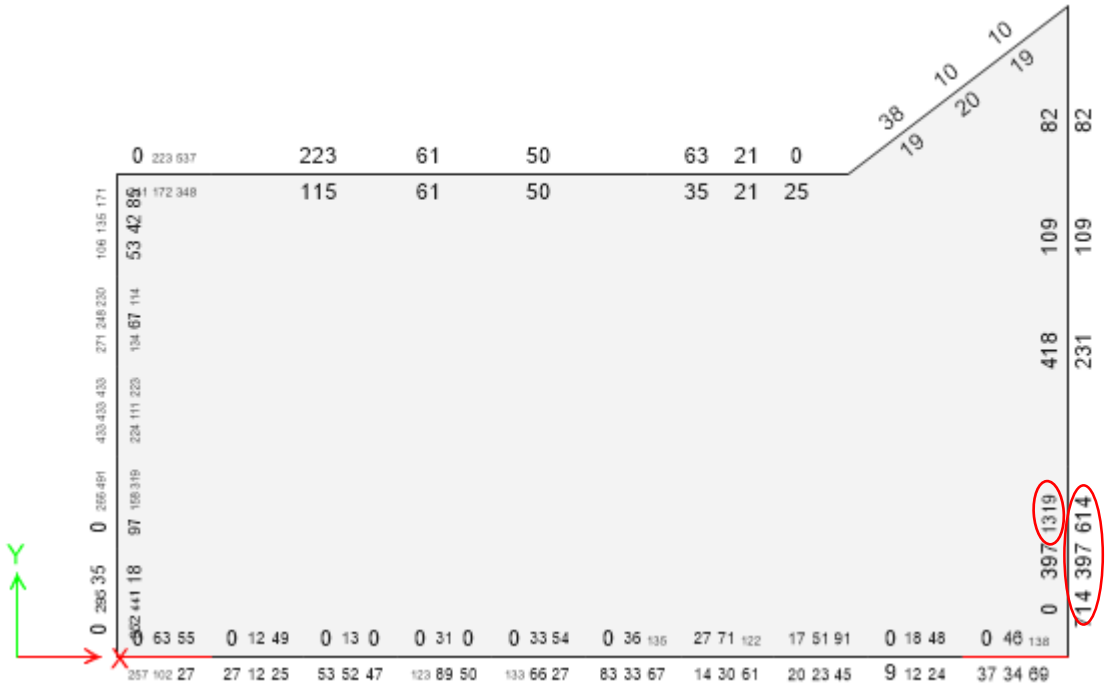


Figura 55**.** Esquema de vigas planta del cuarto piso
Fuente: Autores

De acuerdo con la gráfica anterior, las vigas principales a carga vertical, no estarían presentando sobreesfuerzos, ni a esfuerzos de flexión, ni a esfuerzos de corte; no obstante, existe una de las vigas que en su voladizo estaría solicitando mayor área de acero superior e inferior a la que posee la viga.

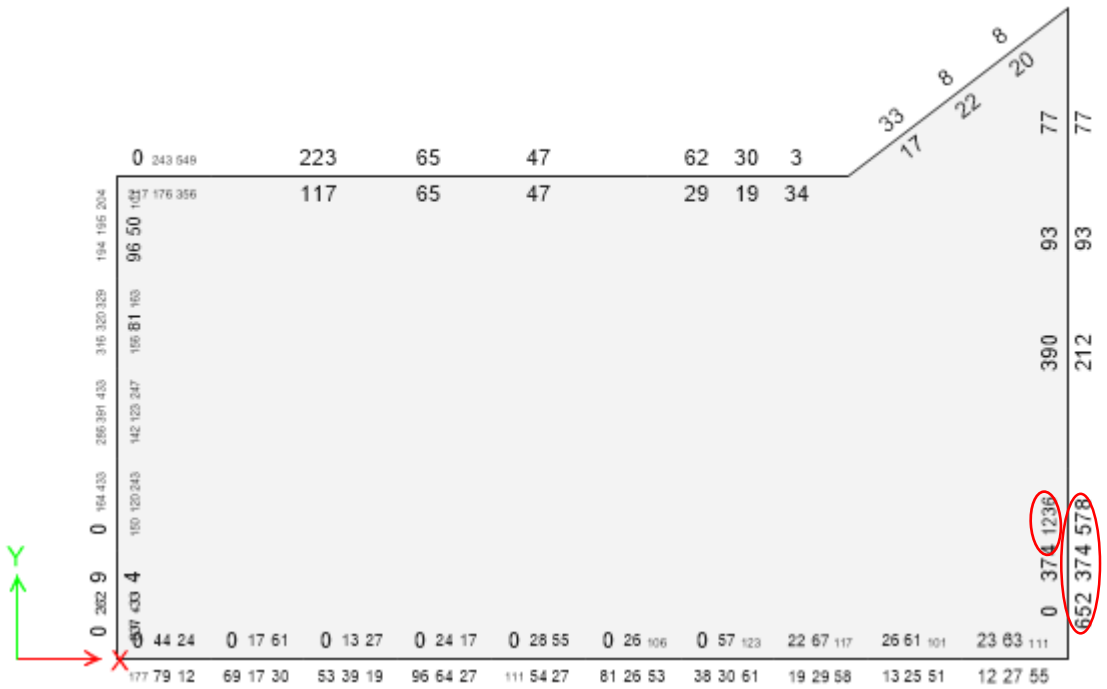


Figura 56. Esquema de vigas planta del quinto piso
Fuente: Autores

De acuerdo con la figura anterior, podemos notar que se nos presenta la mismas condiciones que en el cuarto piso donde las vigas principales a carga vertical, no estarían presentando sobreesfuerzos, ni a esfuerzos de flexión, ni a esfuerzos de corte; no obstante, existe una de las vigas que en su voladizo estaría solicitando mayor área de acero superior e inferior a la que posee la viga.

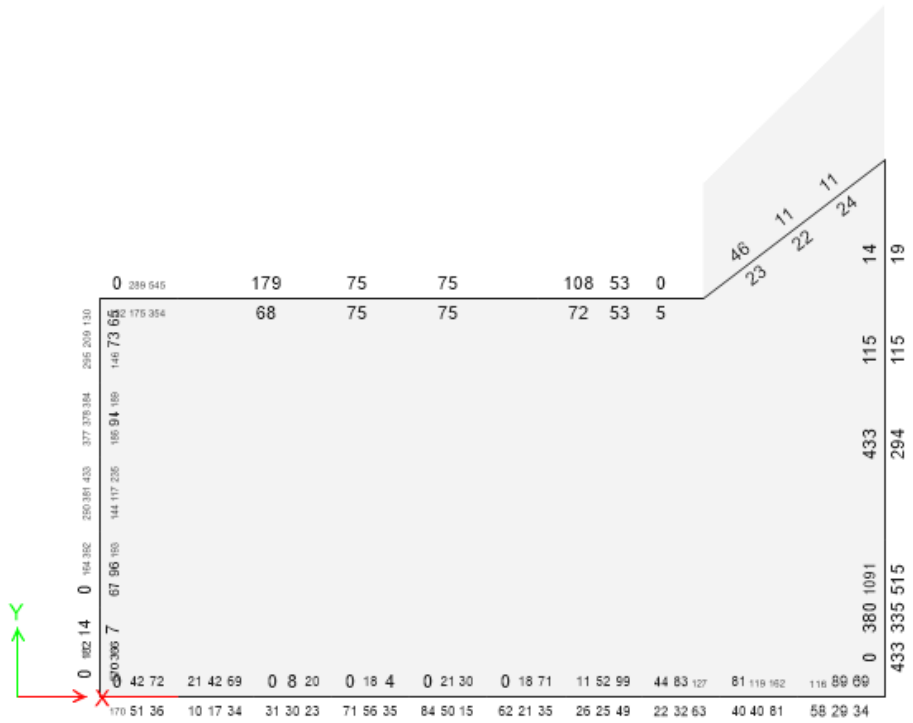


Figura 57**.** Esquema de vigas planta de la azotea
Fuente: Autores

Finalmente, en la gráfica anterior indica las vigas principales que se encontrarían sobre esforzadas ante solicitaciones de fuerza gravitacionales. Donde notamos que están solicitando áreas menores a las que tienen suministradas.

16.3. INDICES DE SOBREESFUERZO GENERAL E INDICES DE FLEXIBILIDAD GENERAL

16.3.1 Índice de sobreesfuerzo general e índice de vulnerabilidad general

El cálculo de los índices de sobreesfuerzo de los elementos de la estructura nos permite encontrar el índice de sobreesfuerzo de la estructura general, el cual corresponde al mayor de los índices de cada elemento, en este caso 6,87, el índice de vulnerabilidad según la NSR-10 título A.10.5.1-b se calculó haciendo la inversa del índice general estructura dando como resultado un valor de 15%.

Tabla 24. Índice de sobreesfuerzo y vulnerabilidad general

I.S. DE LA ESTRUCTURA NSR10 A.10.4.3.1	INDICE DE VULNERABILIDAD GENERAL
6,869	0,145

Fuente: Autores

Es decir, cuenta con una resistencia del 14.5% con respecto a una edificación nueva construida con los lineamientos de la norma actual.

16.3.2 Índice de flexibilidad general e índice de vulnerabilidad.

El índice de flexibilidad se calculó haciendo la división entre las derivas de la edificación y las máximas permitidas por la NSR-10 correspondiente al 10% de la altura de entrepiso.

Tabla 25. Índices horizontales de columnas

TABLE: Story Drifts								
Story	**Output Case**	**Direction**	**Deriva**	**Deriva**	**Deriva Lim**	**IFL**	**IFL**	**Índice de Vulnerabilidad**
				%	%		%	%
AZOTEA	DERIVA1	X	0.002518	0.2518	1	0.2518	25.18	397.140588
AZOTEA	DERIVA1	Y	0.003537	0.3537	1	0.3537	35.37	282.725474
AZOTEA	DERIVA2	X	0.002478	0.2478	1	0.2478	24.78	403.551251
AZOTEA	DERIVA2	Y	0.004088	0.4088	1	0.4088	40.88	244.618395
AZOTEA	DERIVA3	X	0.001969	0.1969	1	0.1969	19.69	507.872016
AZOTEA	DERIVA3	Y	0.002866	0.2866	1	0.2866	28.66	348.918353
AZOTEA	DERIVA4	X	0.001778	0.1778	1	0.1778	17.78	562.429696
AZOTEA	DERIVA4	Y	0.002853	0.2853	1	0.2853	28.53	350.508237
AZOTEA	DERIVA5	X	0.00244	0.244	1	0.244	24.4	409.836066
AZOTEA	DERIVA5	Y	0.003327	0.3327	1	0.3327	33.27	300.571085
AZOTEA	DERIVA6	X	0.002557	0.2557	1	0.2557	25.57	391.083301
AZOTEA	DERIVA6	Y	0.004298	0.4298	1	0.4298	42.98	232.666356
P5	DERIVA1	X	0.002167	0.2167	1	0.2167	21.67	461.467467
P5	DERIVA1	Y	0.00365	0.365	1	0.365	36.5	273.972603
P5	DERIVA2	X	0.002561	0.2561	1	0.2561	25.61	390.472472
P5	DERIVA2	Y	0.003974	0.3974	1	0.3974	39.74	251.635632
P5	DERIVA3	X	0.001912	0.1912	1	0.1912	19.12	523.012552
P5	DERIVA3	Y	0.003043	0.3043	1	0.3043	30.43	328.623069
P5	DERIVA4	X	0.002246	0.2246	1	0.2246	22.46	445.235975
P5	DERIVA4	Y	0.002791	0.2791	1	0.2791	27.91	358.294518
P5	DERIVA5	X	0.002092	0.2092	1	0.2092	20.92	478.011472
P5	DERIVA5	Y	0.003344	0.3344	1	0.3344	33.44	299.043062
P5	DERIVA6	X	0.002244	0.2244	1	0.2244	22.44	445.632799
P5	DERIVA6	Y	0.004211	0.4211	1	0.4211	42.11	237.473284
M4	DERIVA1	X	0.004594	0.4594	1	0.4594	45.94	217.675229
M4	DERIVA1	Y	0.004605	0.4605	1	0.4605	46.05	217.155266
M4	DERIVA2	X	0.004599	0.4599	1	0.4599	45.99	217.438574
M4	DERIVA2	Y	0.006784	0.6784	1	0.6784	67.84	147.40566
M4	DERIVA3	X	0.003798	0.3798	1	0.3798	37.98	263.296472
M4	DERIVA3	Y	0.003543	0.3543	1	0.3543	35.43	282.246684

M4	DERIVA4	X	0.003517	0.3517	1	0.3517	35.17	284.333239
M4	DERIVA4	Y	0.005012	0.5012	1	0.5012	50.12	199.521149
M4	DERIVA5	X	0.00425	0.425	1	0.425	42.5	235.294118
M4	DERIVA5	Y	0.004519	0.4519	1	0.4519	45.19	221.287896
M4	DERIVA6	X	0.00454	0.454	1	0.454	45.4	220.264317
M4	DERIVA6	Y	0.006857	0.6857	1	0.6857	68.57	145.836372
P4	DERIVA1	X	0.002802	0.2802	1	0.2802	28.02	356.887937
P4	DERIVA1	Y	0.003998	0.3998	1	0.3998	39.98	250.125063
P4	DERIVA2	X	0.00259	0.259	1	0.259	25.9	386.100386
P4	DERIVA2	Y	0.005255	0.5255	1	0.5255	52.55	190.294957
P4	DERIVA3	X	0.0023	0.23	1	0.23	23	434.782609
P4	DERIVA3	Y	0.003257	0.3257	1	0.3257	32.57	307.03101
P4	DERIVA4	X	0.002285	0.2285	1	0.2285	22.85	437.636761
P4	DERIVA4	Y	0.003923	0.3923	1	0.3923	39.23	254.906959
P4	DERIVA5	X	0.002604	0.2604	1	0.2604	26.04	384.024578
P4	DERIVA5	Y	0.003742	0.3742	1	0.3742	37.42	267.236772
P4	DERIVA6	X	0.002438	0.2438	1	0.2438	24.38	410.172272
P4	DERIVA6	Y	0.005275	0.5275	1	0.5275	52.75	189.57346
M3	DERIVA1	X	0.004735	0.4735	1	0.4735	47.35	211.193242
M3	DERIVA1	Y	0.004959	0.4959	1	0.4959	49.59	201.653559
M3	DERIVA2	X	0.004667	0.4667	1	0.4667	46.67	214.270409
M3	DERIVA2	Y	0.006902	0.6902	1	0.6902	69.02	144.88554
M3	DERIVA3	X	0.003919	0.3919	1	0.3919	39.19	255.167134
M3	DERIVA3	Y	0.00387	0.387	1	0.387	38.7	258.397933
M3	DERIVA4	X	0.003531	0.3531	1	0.3531	35.31	283.205891
M3	DERIVA4	Y	0.005035	0.5035	1	0.5035	50.35	198.609732
M3	DERIVA5	X	0.004375	0.4375	1	0.4375	43.75	228.571429
M3	DERIVA5	Y	0.004809	0.4809	1	0.4809	48.09	207.943439
M3	DERIVA6	X	0.004644	0.4644	1	0.4644	46.44	215.331611
M3	DERIVA6	Y	0.007042	0.7042	1	0.7042	70.42	142.005112
P3	DERIVA1	X	0.001275	0.1275	1	0.1275	12.75	784.313725
P3	DERIVA1	Y	0.003429	0.3429	1	0.3429	34.29	291.630213
P3	DERIVA2	X	0.001846	0.1846	1	0.1846	18.46	541.711809
P3	DERIVA2	Y	0.003466	0.3466	1	0.3466	34.66	288.517023
P3	DERIVA3	X	0.000936	0.0936	1	0.0936	9.36	1068.37607
P3	DERIVA3	Y	0.003046	0.3046	1	0.3046	30.46	328.299409
P3	DERIVA4	X	0.001632	0.1632	1	0.1632	16.32	612.745098
P3	DERIVA4	Y	0.002521	0.2521	1	0.2521	25.21	396.667989
P3	DERIVA5	X	0.001298	0.1298	1	0.1298	12.98	770.416025
P3	DERIVA5	Y	0.002955	0.2955	1	0.2955	29.55	338.409475
P3	DERIVA6	Y	0.00355	0.355	1	0.355	35.5	281.690141
M2	DERIVA1	X	0.002759	0.2759	1	0.2759	27.59	362.450163
M2	DERIVA1	Y	0.003755	0.3755	1	0.3755	37.55	266.311585
M2	DERIVA2	X	0.002673	0.2673	1	0.2673	26.73	374.111485
M2	DERIVA2	Y	0.006113	0.6113	1	0.6113	61.13	163.585801

M2	DERIVA3	X	0.002289	0.2289	1	0.2289	22.89	436.871997
M2	DERIVA3	Y	0.002932	0.2932	1	0.2932	29.32	341.06412
M2	DERIVA4	X	0.001952	0.1952	1	0.1952	19.52	512.295082
M2	DERIVA4	Y	0.004752	0.4752	1	0.4752	47.52	210.43771
M2	DERIVA5	X	0.002647	0.2647	1	0.2647	26.47	377.786173
M2	DERIVA5	Y	0.003642	0.3642	1	0.3642	36.42	274.57441
M2	DERIVA6	X	0.002724	0.2724	1	0.2724	27.24	367.107195
M2	DERIVA6	Y	0.005946	0.5946	1	0.5946	59.46	168.180289
P2	DERIVA1	X	0.001853	0.1853	1	0.1853	18.53	539.665407
P2	DERIVA1	Y	0.002309	0.2309	1	0.2309	23.09	433.087917
P2	DERIVA2	Y	0.003212	0.3212	1	0.3212	32.12	311.332503
P2	DERIVA3	X	0.001493	0.1493	1	0.1493	14.93	669.792364
P2	DERIVA3	Y	0.001845	0.1845	1	0.1845	18.45	542.00542
P2	DERIVA4	Y	0.002415	0.2415	1	0.2415	24.15	414.078675
P2	DERIVA5	X	0.001747	0.1747	1	0.1747	17.47	572.409845
P2	DERIVA5	Y	0.002192	0.2192	1	0.2192	21.92	456.20438
P2	DERIVA6	X	0.001747	0.1747	1	0.1747	17.47	572.409845
P2	DERIVA6	Y	0.003206	0.3206	1	0.3206	32.06	311.915159
M1	DERIVA1	X	0.002018	0.2018	1	0.2018	20.18	495.540139
M1	DERIVA1	Y	0.002666	0.2666	1	0.2666	26.66	375.093773
M1	DERIVA2	X	0.002205	0.2205	1	0.2205	22.05	453.514739
M1	DERIVA2	Y	0.00437	0.437	1	0.437	43.7	228.832952
M1	DERIVA3	X	0.001533	0.1533	1	0.1533	15.33	652.315721
M1	DERIVA3	Y	0.002057	0.2057	1	0.2057	20.57	486.144871
M1	DERIVA4	X	0.001634	0.1634	1	0.1634	16.34	611.995104
M1	DERIVA4	Y	0.003286	0.3286	1	0.3286	32.86	304.321363
M1	DERIVA5	X	0.001997	0.1997	1	0.1997	19.97	500.751127
M1	DERIVA5	Y	0.002608	0.2608	1	0.2608	26.08	383.435583
M1	DERIVA6	X	0.002225	0.2225	1	0.2225	22.25	449.438202
M1	DERIVA6	Y	0.00436	0.436	1	0.436	43.6	229.357798
INDICE DE FLEXIBILIDAD MAXIMO HORIZONTAL						**0.7042**	**70.42**	**142.005112**

Fuente: Autores

Para el cálculo del índice de flexibilidad de las vigas, la deflexión límite de acuerdo a la tabla C.9.5(b) de la NSR-10, es "*la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional"* para "*un sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grande".*

De acuerdo a lo anterior con la ecuación C.9-11, utilizando una cuantía (ρ') mínima de 0.0033 y el factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas (ζ) de 2.0, la deflexión adicional a largo plazo (λ_Δ) nos da un valor de 1.72. Así que, para el cálculo de la deflexión de los elementos se tuvo en cuenta 1.72 veces la deflexión por carga muerta más la deflexión por carga viva. La deflexión límite será L/240.

Tabla 26. Índices verticales de Vigas

Viga-piso	Deflexión	Longitud	Deflexión limite	Índice de flexibilidad	Índice de vulnerabilidad
B9-2	**0.001805**	**2.99**	**0.012458333**	**14.488%**	**690.212%**
B31-2	0.001015	1.94	0.008083333	12.557%	796.388%
B11-2	0.001239	2.99	0.012458333	9.945%	1005.515%
B32-2	0.000779	1.94	0.008083333	9.637%	1037.655%
B30-2	0.000772	1.94	0.008083333	9.551%	1047.064%
B7-2	0.001149	2.99	0.012458333	9.223%	1084.276%
B12-2	0.000463	1.94	0.008083333	5.728%	1745.860%
B8-2	0.000472	2.04	0.0085	5.553%	1800.847%
B2-1	0.0010001	4.81	0.020041667	4.990%	2003.966%
B29-2	0.000189	0.96	0.004	4.725%	2116.402%
B22-3	0.000179	0.96	0.004	4.475%	2234.637%
B2-2	0.000887	4.81	0.020041667	4.426%	2259.489%
B22-2	0.000175	0.96	0.004	4.375%	2285.714%
B23-2	0.000172	0.96	0.004	4.300%	2325.581%
B23-3	0.00017	0.96	0.004	4.250%	2352.941%
B22-4	0.000165	0.96	0.004	4.125%	2424.242%
B23-4	0.00016	0.96	0.004	4.000%	2500.000%
B9-1	0.000459	2.99	0.012458333	3.684%	2714.234%
B12-3	0.000282	1.94	0.008083333	3.489%	2866.430%
B17-2	0.000128	0.97	0.004041667	3.167%	3157.552%
B12-4	0.000255	1.94	0.008083333	3.155%	3169.935%
B21-3	0.000125	0.96	0.004	3.125%	3200.000%
B21-2	0.000125	0.96	0.004	3.125%	3200.000%
B24-4	0.000126	0.97	0.004041667	3.118%	3207.672%
B8-1	0.000262	2.04	0.0085	3.082%	3244.275%
B11-1	0.000384	2.99	0.012458333	3.082%	3244.358%
B21-4	0.000123	0.96	0.004	3.075%	3252.033%
B18-3	0.000134	1.1	0.004583333	2.924%	3420.398%
B24-3	0.000116	0.97	0.004041667	2.870%	3484.195%
B18-4	0.000109	1.1	0.004583333	2.378%	4204.893%
B7-1	0.000291	2.99	0.012458333	2.336%	4281.214%
B25-4	0.000086	0.96	0.004	2.150%	4651.163%
B16-2	0.000078	0.93	0.003875	2.013%	4967.949%
B19-2	0.000079	0.96	0.004	1.975%	5063.291%
B26-3	0.000074	0.95	0.003958333	1.869%	5349.099%
B25-3	0.000071	0.96	0.004	1.775%	5633.803%
B24-2	0.000066	0.97	0.004041667	1.633%	6123.737%
B28-4	0.000067	1.08	0.0045	1.489%	6716.418%
B26-4	0.000058	0.95	0.003958333	1.465%	6824.713%
B16-3	0.000053	0.93	0.003875	1.368%	7311.321%
B25-2	0.000053	0.96	0.004	1.325%	7547.170%
B28-3	0.000059	1.08	0.0045	1.311%	7627.119%
B20-4	0.000044	0.96	0.004	1.100%	9090.909%
B19-4	0.00004	0.96	0.004	1.000%	10000.000%
B27-2	0.00004	0.96	0.004	1.000%	10000.000%
B13-2	0.000039	0.96	0.004	0.975%	10256.410%
B17-3	0.000039	0.97	0.004041667	0.965%	10363.248%
B19-3	0.000038	0.96	0.004	0.950%	10526.316%
B8-3	0.00008	2.04	0.0085	0.941%	10625.000%
B6-2	0.000109	2.8242	0.0117675	0.926%	10795.872%
B14-4	0.00004	1.04	0.004333333	0.923%	10833.333%

B20-2	0.000035	0.96	0.004	0.875%	11428.571%
B20-3	0.000031	0.96	0.004	0.775%	12903.226%
B26-2	0.00003	0.95	0.003958333	0.758%	13194.444%
B16-4	0.000029	0.93	0.003875	0.748%	13362.069%
B15-2	0.000028	0.93	0.003875	0.723%	13839.286%
B28-2	0.000032	1.08	0.0045	0.711%	14062.500%
B27-3	0.000028	0.96	0.004	0.700%	14285.714%
B27-4	0.000024	0.96	0.004	0.600%	16666.667%
B8-4	0.00005	2.04	0.0085	0.588%	17000.000%
B4-2	0.000054	2.24	0.009333333	0.579%	17283.951%
B15-4	0.000021	0.93	0.003875	0.542%	18452.381%
B14-2	0.000023	1.04	0.004333333	0.531%	18840.580%
B14-3	0.00002	1.04	0.004333333	0.462%	21666.667%
B3-1	0.000032	1.71	0.007125	0.449%	22265.625%
B5-2	0.000087	4.71	0.019625	0.443%	22557.471%
B5-3	0.000082	4.71	0.019625	0.418%	23932.927%
B18-2	0.000017	1.1	0.004583333	0.371%	26960.784%
B5-4	0.000069	4.71	0.019625	0.352%	28442.029%
B6-4	0.000041	2.8242	0.0117675	0.348%	28701.220%
B13-4	0.000012	0.96	0.004	0.300%	33333.333%
B13-3	0.000012	0.96	0.004	0.300%	33333.333%
B4-1	0.000027	2.24	0.009333333	0.289%	34567.901%
B6-3	0.000034	2.8242	0.0117675	0.289%	34610.294%
B15-3	0.000011	0.93	0.003875	0.284%	35227.273%
B3-2	0.000013	1.71	0.007125	0.182%	54807.692%
B17-4	0.000007	0.97	0.004041667	0.173%	57738.095%
B10-2	0.000031	4.48	0.018666667	0.166%	60215.054%
B10-3	0.000019	4.48	0.018666667	0.102%	98245.614%
B6-1	0.00001	2.8242	0.0117675	0.085%	117675.000%
B10-4	0.000011	4.48	0.018666667	0.059%	169696.970%
B5-1	0.00001	4.71	0.019625	0.051%	196250.000%
B10-1	0.000005	4.48	0.018666667	0.027%	373333.333%
INDICE DE FLEXIBILIDAD MAXIMO VERTICAL				14.488%	690.21%

Fuente: Autores

Ya con los índices de flexibilidad de cada piso el índice general de la edificación corresponde al mayor de estos índices, para el edificio *La Voz del Llano* el índice de flexibilidad general de la edificación es de 0.7042.

Tabla 27. Índice de flexibilidad general.

I.F. DE LA ESTRUCTURA NSR10 A.10.4.3.5	INDICE DE VULNERABILIDAD GENERAL
0.7042	1.42

Fuente: Autores

El índice de vulnerabilidad general es la inversa del índice de flexibilidad general de la estructura, para este caso da un valor de 142%, por ende la estructura es un 42% más rígida que una edificación construida bajo el reglamento actual.

16.4. SECUENCIA DE FALLA.

La secuencia de falla hace referencia al orden en que según su índice de sobreesfuerzo puede llegar a la falla una estructura, los índices de sobreesfuerzo para la estructura fueron basados en una envolvente de falla donde se tienen en cuenta diferentes combinaciones y solicitaciones que no se tenían en cuenta en la época de la construcción de la edificación.

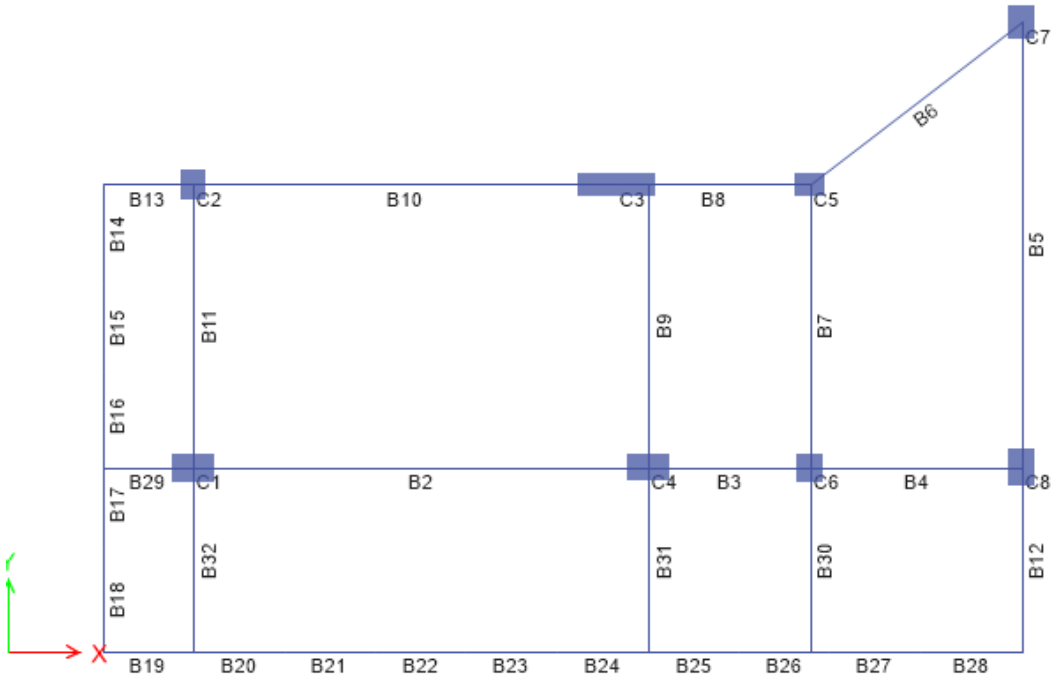


Figura 58. Esquema de vigas
Fuente: Autores

Tabla 28 Indices De Sobreesfuerzo

NOMBRE DEL ELMENTO - PISO	INDICE DE SOBREESFUERZO	NOMBRE DEL ELMENTO - PISO	INDICE DE SOBREESFUERZO	NOMBRE DEL ELMENTO - PISO	INDICE DE SOBREESFUERZO
B31-2	6.869	C2-3	3.940	B17-3	1.838
B9-2	6.743	C18-3	3.920	B23-4	1.804
B11-2	6.021	B2-2	3.823	C2-2	1.760
C23-4	5.960	C5-1	3.680	B22-4	1.732
C1-2	5.810	C8-1	3.620	C8-3	1.720
C4-1	5.800	C17-4	3.480	B3-2	1.716

C10-3	5.670	B9-1	3.462	B23-2	1.615
C8-2	5.610	B18-4	3.405	B24-3	1.571
B7-2	5.608	B12-2	3.313	B21-3	1.543
C13-3	5.540	C18-4	3.160	B24-4	1.540
C16-3	5.360	C6-2	3.020	B13-3	1.521
B30-2	5.304	B2-1	2.954	B22-2	1.506
B29-2	5.270	B12-3	2.947	B21-4	1.422
C24-4	5.200	B7-1	2.920	B16-4	1.421
C9-3	5.190	C2-4	2.820	B6-1	1.394
C11-3	5.180	B16-2	2.814	B19-2	1.374
C9-4	5.170	C4-2	2.710	B24-2	1.343
C12-3	5.110	B4-1	2.494	B14-2	1.315
B11-1	4.914	B14-3	2.478	B21-2	1.288
B32-2	4.880	B23-3	2.446	C7-2	1.270
C14-4	4.870	B3-1	2.416	B20-3	1.264
C15-4	4.750	B6-4	2.327	C7-1	1.250
C13-4	4.680	B12-4	2.297	C3-1	1.200
C1-2	4.670	B6-3	2.225	B28-2	1.153
C2-1	4.530	B14-4	2.200	B15-4	1.141
C17-3	4.430	B6-2	2.192	B25-4	1.139
C12-4	4.420	B4-2	2.172	B13-4	1.132
C19-4	4.350	B28-3	2.125	B27-4	1.125
C11-4	4.300	B13-2	2.084	B10-3	1.103
B18-3	4.252	B19-4	2.051	B20-4	1.099
C16-4	4.120	B19-3	2.040	C5-3	1.090
B17-2	4.020	B28-4	2.008	B18-2	1.056
C6-1	4.000	B16-3	1.950	B27-3	1.045
C10-4	3.990	B17-4	1.877	B25-3	1.038
C5-2	3.980	B22-3	1.841	C3-2	1.020

Fuente: Autores.

Para presentar la secuencia de falla se dividió el esquema de la estructura en cuatro partes, con el fin de facilitar su representación y obtener un mejor análisis. Lo anterior debido a la gran cantidad de elementos estructurales.

Inicialmente, el mayor índice de sobreesfuerzo es de la viga B31-2, es decir que es el primer elemento en fallar, de allí comienza la línea de secuencia de falla y se extiende de manera versátil, es decir que varía mucho a través de los diferentes pisos. Su trayecto más sustancial se describe obviando algunos elementos, pero

teniendo en cuenta el mayor número de índices por cada piso. Ahora bien, la secuencia de falla desde su principio se prolonga por algunas vigas y columnas del segundo y cuarto piso, después procede por algunas vigas del primer piso, luego por algunas columnas del tercer piso y continúa por algunas columnas del cuarto piso. Acto seguido, la secuencia de falla prosigue por algunas columnas del tercer piso y luego se dirige a las columnas del cuarto piso, en seguida se destina por algunas vigas y columnas en el primer piso, posteriormente continúa por algunas vigas del cuarto piso. Y finalmente, la secuencia de falla se extiende en secuencia por las vigas del cuarto, tercero y segundo piso; concluyendo en la columna C3-2. La mayoría de posibles fallas corresponden a los elementos estructurales del cuarto piso.

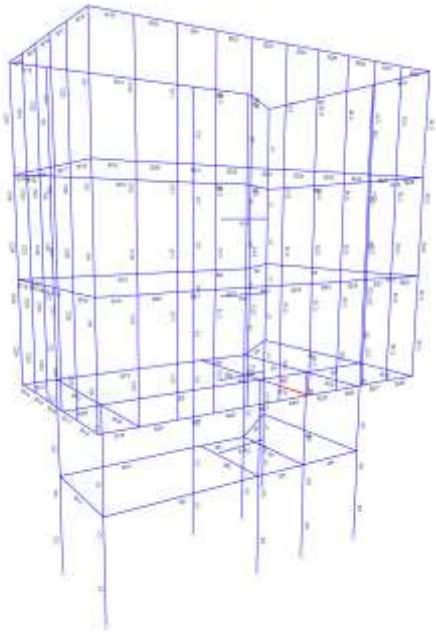


Figura 59. Esquema secuencia de falla (a)

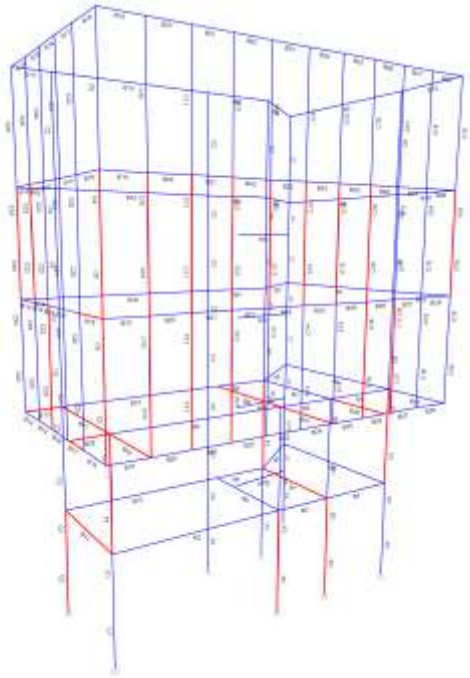


Figura 60. Esquema de secuencia de falla (b)
Fuente: Autores.

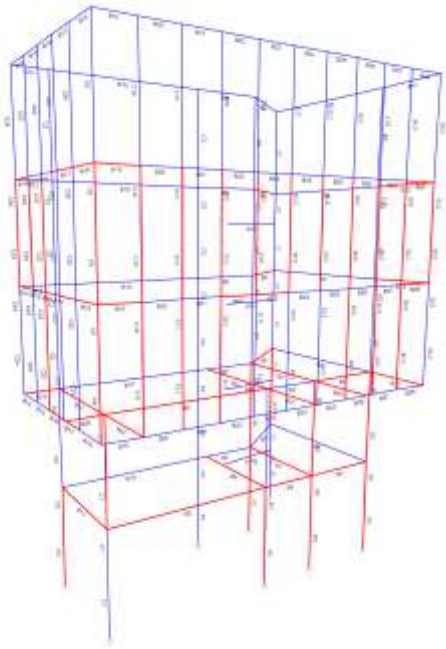


Figura 61. Esquema de secuencia de falla (c)
Fuente: Autores.

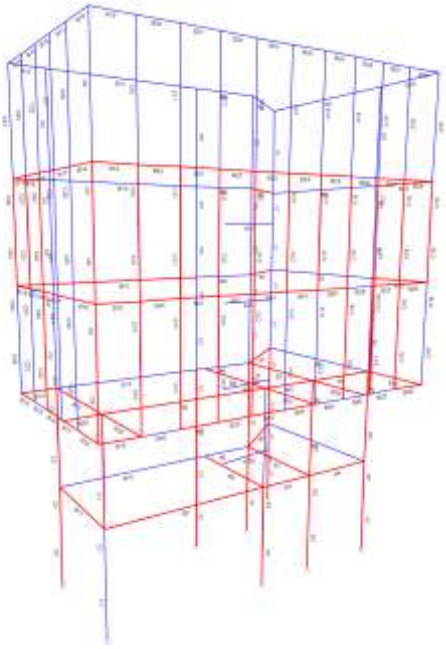


Figura 62. Esquema de secuencia de falla (d)
Fuente: Autores.

17. INFORME DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

17.1. RECOMENDACIONES GENERALES

En consideración con el Reglamento NSR-10, cuyo objetivo fundamental es reducir a un mínimo el riesgo de pérdidas de vida humana, indicando que la estructura debe resistir, además de las fuerzas que le impone su uso y la naturaleza del mismo, temblores fuertes sin colapsar aunque se presenten daños a elementos estructurales, y consecuentemente con la revisión de la estructura, sus materiales y el análisis de su comportamiento, se ha obtenido que la estructura para sus condiciones de uso actual en correspondencia con sus cargas verticales (cargas muertas y cargas vivas), presenta sobreesfuerzos considerables; situación que es mucho más desfavorable si se tienen en cuenta las solicitaciones sísmicas; además, los materiales constitutivos no cumplen con las especificaciones mínimas de resistencia, y los diámetros mínimos y distribución de refuerzo en las columnas; tampoco cumplen lo establecido, por lo que se ha recomendado reforzar inmediatamente la estructura o como medida preventiva, el desalojo de la misma. Si se lleva a cabo esta última, esta acción deberá tomarse hasta que se pongan en obra las medidas de reforzamiento pertinentes del edificio objeto de estudio, si así lo dispone la autoridad competente.

17.2. RECOMENDACIONES PARA LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS EXISTENTES EN LA ESTRUCTURA

De acuerdo con el análisis realizado a la estructura, y considerando que se debe realizar una intervención, en el tiempo más próximo posible, donde se procure mantener la integridad de la estructura y sus habitantes, se proponen, de manera preliminar y general, soluciones para mitigar los problemas presentes en la edificación. Cabe resaltar, que de tomarse la decisión de reforzar la estructura, se deberá hacer el respectivo análisis detallado, que permita la obtención de planos estructurales y memorias de cálculo según sea el caso.

Es importante identificar que la estructura sea completamente viable para el proceso de reforzamiento, tomando como parámetros decisivos, los sobreesfuerzos presentados sobre los elementos estructurales.

La intervención recomendada según la NSR-10, Titulo A.10.9.2.3 es que una vez se disponga de un diseño de intervención, los cálculos del índice de sobreesfuerzo y el índice de flexibilidad deben ser menores a uno. Además de ello debe quedar por escrito la aceptación del propietario y del diseñador estructural, un memorial donde se declare que se utilizó un nivel de seguridad limitada.

17.2.1 Solución de la problemática de las columnas ante cargas verticales.

En primera instancia, se deberá identificar las secciones y el refuerzo que deben ser necesarios para que las columnas funcionen completamente ante solicitaciones de carga vertical.

17.2.2 Acción del sismo

Siendo consecuentes con los resultados obtenidos, y si se toma como acción inmediata el reforzamiento de la estructura, el parámetro de mayor impacto que se debe contrarrestar corresponde a la acción del sismo sobre la estructura, de tal manera que se dispongan elementos que alivien el trabajo sobre esforzado al que se encuentran expuesto las columnas y vigas.

Se ha propuesto, encamisar las columnas perimetrales de los pisos uno y dos con perfiles metálicos o aumentar sus secciones en concreto reforzado, para así darles continuidad hasta el 4 piso sin afectar la cabina de la emisora, aumentando sus dimensiones para que den mayor rigidez a los pisos uno y dos, y también ayuden a soportar las cargas de los pisos superiores, de la siguiente manera:

- Opción

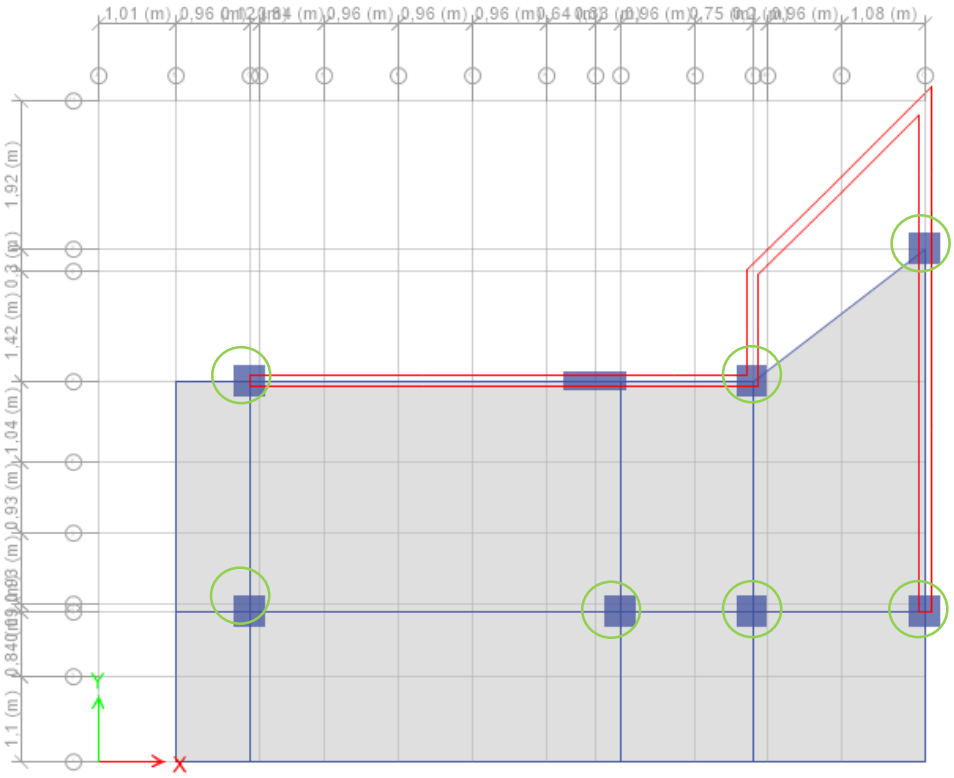


Figura 63. Configuración de columnas con nuevas dimensiones sobre la estructura
Fuente: autores

Esta opción establece también el cumplimiento con las dimensiones mínimas de columnas que establece la NSR-10 en el titulo 21, ya que, la mayorías de las columnas no cumplen con sus dimensiones actuales, y considerando que se debe dar a la estructura una capacidad de disipación de energía, en este caso DES (disipación especial), las columnas deben ser diseñados de acuerdo con las solicitaciones pertinentes y cumplir, al menos, con la cuantía mínima establecida en el reglamento NSR-10, C.21, sin perjudicar los espacios disponibles para oficina de la edificación.

17.2.3 Refuerzo en Columna

Dado que con la inclusión de columnas en los pisos superiores se pretende solucionar el problema ante la acción del sismo, se espera que el refuerzo en las columnas sea el menor posible y corresponda al mismo establecido en primera instancia ante la acción de las cargas verticales a las cuales se encuentra sujeta la estructura.

Cualquiera que sea la opción que se tome como solución de la problemática de la acción del sismo, las columnas deberán por lo menos cumplir con las siguientes secciones y el siguiente refuerzo:

Tabla 29 Refuerzo en columnas

REFUERZO EN COLUMNAS		
Sección	**Refuerzo Longitudinal**	**Estribos**
35x35 cm mínima	6 Φ 8	Φ 3/8" que cumplan con la distribución según la capacidad de disipación de energía, DES
40x40 cm sugerida	6 Φ 8	Φ 3/8" que cumplan con la distribución según la capacidad de disipación de energía, DES

Fuente: autores

Todas las columnas deben poseer estribos suplementarios Φ 3/8" donde se requiera (al menos intermedios entre cada barra), los cuales al igual que a los requeridos por diseño, deben ser adosados a la columna existente mediante anclaje epóxico. El concreto utilizado para el encamisado de las columnas debe ser al menos 4000 Psi o 28Mpa.

17.2.4 Refuerzo en vigas.

Dado que con la inclusión de nuevas columnas en los pisos superiores se pretende solucionar el problema ante la acción del sismo, éstas deberán ser amarradas en los pisos superiores, se puede sugerir para este caso, que se amarre las columnas con vigas metálicas precalificadas a cortante, instalándola bajo la viga actual de concreto y realizando una perforación en la columna para

confinar los núcleos, luego hacer la unión por medio de una platina que se asegurará mediante pernos con epóxido.

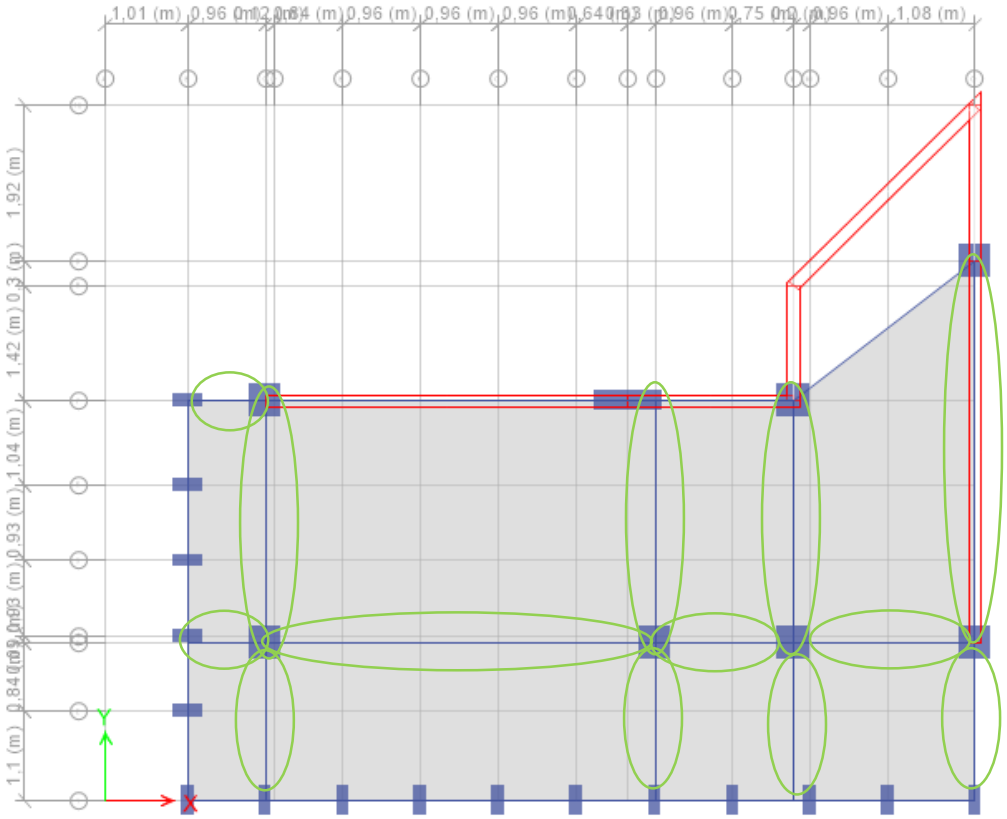


Figura 64. Configuración de vigas en los pisos superiores
Fuente: autores

Se espera que el refuerzo en las vigas sea el menor posible y solo corresponda a la acción de las cargas verticales a las cuales se encuentra sujeta la estructura.
Las vigas señaladas, deberán por lo menos tener una sección igual a 30x50 cm. Sea cual sea la sección final de la viga, estas deben ser diseñadas para las solicitaciones establecidas en el reglamento NSR-10, y deben, por lo menos, poseer el área de refuerzo correspondiente a la cuantía mínima establecida en el reglamento NSR-10, con estribos Φ 3/8" que cumplan con la distribución según la capacidad de disipación de energía, DES.

El concreto utilizado para el encamisado de las vigas debe ser al menos 4000 psi o 28 Mpa. De esta manera las vigas ayudarán en las cargas que trasmiten los voladizos en las columnetas perimetrales, y así no estarán en su límite de falla, ya que, todas las cargas se busca transmitirlas a las columnas principales.

17.3. ACCIONES INMEDIATAS PARA LOS PROBLEMAS DE HUMEDAD

Como consecuencia del estudio realizado, las acciones que se proponen para mejorar la situación de la construcción serían las siguientes:

1. Realizar limpieza en general a través de hidrolavado con chorro de agua caliente, procurando mantener una presión suficiente para remover las partículas sueltas, preferiblemente mover en círculo la boquilla para una adecuada y eficaz limpieza de superficie. El chorro se aplicara perpendicular a la superficie distribuida en círculos para conseguir una distribución uniforme y permitir la remoción de todos los residuos que puedan perjudicar la adherencia.
2. Impermeabilizar la estructura de la azotea a fin de evitar la progresión de la entrada de agua en el interior de la misma con el consiguiente deterioro visual y resistente del concreto y el refuerzo
3. Ventilar y secar la atmósfera interior del edificio antes de cualquier tarea de reparación.
4. Dar nivelación al piso de la azotea, para poder así dar salida al agua antes de aplicar el impermeabilizante.
5. Recubrir los muros que colinda con las edificaciones vecinas para así no tener problemas de humedad en ellos
6. Realizar mantenimiento y limpieza en la zona de los tanques de almacenamiento, como reparar la cubierta que se encuentra debajo de ellos.
7. Demolición de las áreas circundantes donde se encuentre el acero de refuerzo comprometido y que sea necesario reparar espesores de más de un centímetro. Para esto deberán utilizarse taladros o martillos neumáticos de máximo 20 kg, de tal manera que la roto percusión no fisure el concreto no afectado. En zonas donde no es necesario profundizar demasiado, se recomienda utilizar una escarificación mecánica con una máquina escarificadora o un taladro roto percutor.
8. Limpieza del acero de refuerzo, a través de medios mecánicos, para el caso particular es de gran utilidad utilizar gratas mecánicas, instaladas en pulidoras o máquinas similares.
9. Colocación de inhibidor de corrosión en el acero de refuerzo que ha estado expuesto. Una referencia utilizada por este consultor es el sikatop – armatec 108.
10. Reparación de las zonas afectadas a través de mortero de reparación estructural del tipo sika top 122 en capas sucesivas no mayores de 2cm.

18. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a la inspección visual que se realizó, la edificación presenta principalmente humedad en la parte interior exactamente en la columna que baja desde la azotea al primer piso que es donde están las cargas los tanques de almacenamiento de agua, se aprecia el deterioro de sus acabados y la baja resistencia que está presentando los elementos en esa zona. También se puede notar problemas de deterioro en los acabados de la fachada principal, ya que, son causados por presencia de humedad lo que puede indicar un mal sellado o movimiento de su fachada lo que ocasiona la presencia de agua en esta zona.

Después de realizar una inspección visual de toda la edificación y realizar los ensayos se observaron únicamente unas pequeñas fisuras en una viga descubierta para realizar la extracción de núcleo.

Esta fisura es categorizada como fisura fina y no es considerada de alta peligrosidad para la falla del elemento estructural, igual se recomienda realizar una reparación de esta misma para que no siga avanzando. Al no encontrar ni grietas ni fisuras, no se quiere decir que estos daños no se puedan presentar más adelante o que cuando cambien sus condiciones de cargas puedan reflejarse daños considerables.

Para examinar la calidad de los concretos se utilizaron varias formas de inspección para determinar el estado de este material en los diferentes elementos estructurales. Los métodos utilizados en este caso fueron la inspección visual para determinar la calidad de los materiales utilizados en la mezcla, la extracción de núcleos de hormigón para determinar la resistencia mecánica del mismo cuando es sometido a compresión y el ensayo con martillo de rebote o esclerómetro para determinar la resistencia y dureza del concreto sin tener la necesidad de extraer muestras para ser analizadas en el laboratorio. De acuerdo a lo anterior se tiene que, sobre la inspección visual se aprecia que la calidad del concreto es pobre producto a los organismos, agentes físicos y químicos, materia orgánica y la humedad existente, es decir que se está comprometiendo los elementos estructurales denotando la vulnerabilidad a la que está expuesta la estructura.

Respecto a la extracción de núcleos de hormigón, se tiene que la resistencia de las columnas y vigas es pobre, respecto a lo exigido por la NSR-10, los resultados varían considerablemente lo que valida que la resistencia de los elementos ha sido afectada por las patologías antes mencionada, además de la antigüedad de la estructura. Por lo que es necesario mitigar rápidamente las causas y afectaciones que provocan estos resultados, igualmente tomar medidas sobre los elementos que requieren reforzamiento para evitar una falla estructural.

En cuanto al diseño actual de la edificación, se obtiene que los pórticos en concreto, los muros de carga y las placas de transición son una combinación sobre diseñada, partiendo de que el espesor de las placas tienen un valor muy

alto, incrementando consideradamente el peso propio de la estructura, además que geométricamente tiene irregularidades en planta, altura y por ausencia de redundancia; y además de ello, agregándole las afectaciones patológicas, aumentan las probabilidades de ser más vulnerable sísmicamente. Por consiguiente el edificio tiene un exiguo diseño que no obedece a los lineamientos de la NSR-10, siendo no apta para soportar la ocurrencia de un evento sísmico.

19. RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 30. Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Plano de elementos estructurales de la edificación	Dibujo a través de software AUTOCAD	Objetivo específico 1
Recomendaciones de mejora de elementos estructurales	Diseño de elementos estructurales en ETABS	Objetivo específico 5
Evaluación de desplazamiento del edificio	Calculo de derivas del edificio	Objetivo específico 3
Mapeo de daños	Dibujo a través de software AUTOCAD, con listado de descripción y fotografía	Objetivo específico 4
Evaluación de la estructura	Resistencia de los elementos estructurales frente a las solicitaciones de carga	Objetivo específico 3
Diagnóstico de la estructura	Historia clínica del paciente	Objetivo específico 1
Propuesta de rehabilitación	Alternativas de rehabilitación	Objetivo específico 6
Comportamiento de cargas en elementos estructurales	Cálculo de aceros de elementos estructurales	Objetivo específico 2

Fuente: autores

Tabla 31. Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Político	Aportar información y resultados a entes gubernamentales	Registro del estado de edificaciones para controlar la seguridad del municipio	Corto
Social	Mejoramiento de la seguridad de las estructuras	Estructuras con mayor ocupación ciudadana	Corto
Económico	Optimización del uso de los recursos	Alternativas de mayor aprovechamiento y viales para el mejoramiento del municipio.	Corto
Académico	Promulgación y avances en temas	Compilación de información técnica	Mediano

estructurales en el municipio, para la comunidad estudiantil de la USTA	del tema ingenieril, que sirve como herramienta para promover la investigación.

Fuente: autores

20. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

20.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio realizado en el edificio *La Voz del Llano*, cumpliendo con los criterios y requisitos mínimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) para determinar las condiciones de geometría de la estructura y sus elementos, propiedades mecánicas de los materiales, cargas y reforzamiento, se concluye que:

De acuerdo con los ensayos sobre los elementos estructurales, el promedio de la resistencia del concreto de la estructura, cumple con la resistencia mínima especificada en el Reglamento NSR-10, donde se especifica que el concreto debe presentar una resistencia f'c mínima de 17MPa. Algunas columnas no cumplen con la resistencia mínima requerida, ya que obtuvieron un valor de 14 Mpa.

De acuerdo con el reglamento NSR-10, las columnas presentan estribos de refuerzo con el diámetro mínimo estipulado.

Según la NSR-10 el periodo natural esperado es Ta=0.3seg. Por lo tanto, la estructura es rígida en el sentido X, ya que presenta un periodo natural de 0.17seg. Mientras que con respecto al sentido Y, la estructura es flexible debido a que su periodo natural es 0,69seg.

Los índices de flexibilidad de las columnas con respecto a las derivas obtenidas por piso no superan los límites establecidos en el reglamento NSR-10 en A.6.4, que corresponde al 100%. Lo anterior demuestra que la estructura es rígida lateralmente. El primer piso muestra una mayor flexibilidad con respecto a los pisos superiores, debido a que los mayores índices de flexibilidad se obtienen en el primer piso, lo que daría incumplimiento a lo que estable el reglamento NSR-10, ***"Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez",*** lo cual considera como una solución no aceptable para el diseño estructural de una edificación.

Los índices de flexibilidad de las vigas presentan resultados muy bajos, lo que demuestra que la estructura es rígida verticalmente probablemente debido a que las losas son macizas y presentan grandes espesores.

La mayoría de las columnas de la estructura se encuentran sobreesforzadas ante solicitaciones sísmicas, ya que presentan un ISE máximo de 6.57, lo que se traduce con un porcentaje de falla de 100%. De igual manera sucede cuando son analizadas ante cargas verticales mayoradas, presentan un índice de 5.96; lo que se traduce a un porcentaje de falla del 17%. Finalmente, sometidas a cargas verticales sin mayorar, el mayor índice es de 3.63, lo que también indica un sobreesfuerzo sobre algunas columnas. Además, de todas las columnas

analizadas, la que corresponde a la sección de 45x30 cm, no estaría cumpliendo con la cuantía mínima establecida en el reglamento NSR-10.

Considerando los esfuerzos de flexión ante cargas verticales, las vigas principales fallan en un porcentaje igual al 32% del tercer piso, a un 20% en el cuarto y quinto piso, mientras que a corte, no presentan problemas. Por su parte cuando se han evaluado las vigas principales bajo solicitaciones sísmicas, poseen un porcentaje de falla, para esfuerzos de flexión y corte, igual a 55% y 33%.

A pesar de que la estructura no presenta un colapso, el cálculo del índice de sobreesfuerzo de vigas y columnas presentan cifras muy elevadas según el análisis realizado bajo los lineamientos de la NSR-10, ya que esta metodología garantiza la seguridad de los ocupantes durante la ocurrencia del sismo de diseño.

20.2. TRABAJOS FUTUROS

El presente estudio realizado al edificio *La Voz Del Llano* permitió identificar que los edificios antiguos presentan sistemas constructivos que no son utilizados en la actualidad, así como tampoco se tiene información básica como planos y diseños estructurales, por ende, se debe complementar mediante más ensayos de laboratorio a la totalidad de los elementos estructurales, para así obtener un mayor número de variables que permita realizar un modelo más cercano al comportamiento real de la estructura.

Se evidenció que la mayoría de los edificios aledaños al edificio de estudio son del mismo tipo y presentan bastantes semejanzas entre sí, lo cual permite a que en un futuro se puedan realizar tanto levantamiento y elaboración de planos de todos los edificios que debido a su edad es recomendable que se les haga un estudio de vulnerabilidad y patología.

BIBLIOGRAFÍA

[1] R. Bogotá, «Patología estructural: la propuesta para mitigar riesgos de más de 2.000 edificios en Bogotá,» *EL TIEMPO,* 05 Noviembre 2018.

[2] E. Tiempo, «CONSTRUCCIONES DEBEN SER ANTISÍSMICAS,» *El tiempo,* 22 enero 1995.

[3] I. J. L. A. G., Vulnerabilidad sismica de edificaciones, Caracas: Marketing soluciones C.A., 2014.

[4] J. L. P. M. R. J. S. D. T. Eber Nilson Heredia, «Ensayos no destructibles en el concreto,» UCSS, Nueva cajamarca, 2018.

[5] F. Lopez Rodriguez , V. Rodriguez Rodriguez, J. S. Cruz Astorqui y P. Ubeda de mingo, Manual de patologia de la edificacion, Madrid: Universidad politecnica de Madrid, 2004.

[6] C. Broto, Patologias de la construccion, inks International, 2005.

[7] A. n. d. ingenieros, *Norma sismo resistente NSR-10,* Bogota: Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010.

[8] academic, «Academic,» Wikimedia foundation, 2010. [En línea]. [Último acceso: 11 2019].Available: https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1208145#.

[9] t. villavicencio, «villavo turismo,» [En línea]. [Último acceso: 15 septiembre 2018]. Available: http://www.turismovillavicencio.gov.co/site/index.php?option=com_k2&view=item&id=24:catedral-nuestra-se%C3%B1ora-del-carmen&Itemid=826.

[10] I. d. T. d. Villavicencio, «Colombia turismo web,» Colombia turismo web, [En línea]. Available: http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/META/MUNICIPIOS/VILLAVICENCIO/VILLAVICENCIO.htm. [Último acceso: 8 11 2019].

[11] I. G. U. Javeriana, «Microzonificacion sismica preliminar de villavicencio,» colsultotria colombiana S.A, 2000.

[12] G. Maldonado, *Formato inspeccion,* Villavicencio, 2018.

[13] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.,* vol. 134, pp. A635-A646, 2005.

[14] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.

[15] L. L. a. H. Miao, «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.

[16] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.

[17] «TenSTEP,» [En línea]. Available: Cuando ha terminado de crear los objetivos y alcance, regrese y asegúrese de que todos están alineados. No debe tener objetivos que hagan referencia a entregables no definidos en los

postulados del alcance. Si no está construyendo lo suficiente para satis. [Último acceso: 14 12 2015].

ANEXOS

ANEXO A: PESO DE LA ESTRUCTURA
ANEXO B: INDICE DE SOBREESFUERZO A FLEXION - VIGA
ANEXO C: INDICE DE SOBREESFUERZO CORTANTE - VIGA
ANEXO D: INDICE DE SOBREESFUERZO A FLEXOCOMPRESION - COLUMNA