

**VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS APORTICADOS
DE USO RESIDENCIAL**

CASO DE ESTUDIO: BARRIO EL POBLADO PARTE BAJA, MEDELLÍN

JULIANA CHAVARRÍA ARIAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería civil

MARÍA DEL PILAR DUQUE URIBE

Maestría en ingeniería civil, énfasis en estructuras



UNIVERSIDAD EIA

INGENIERÍA CIVIL

ENVIGADO

2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1 PRELIMINARES	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Objetivos del proyecto.....	20
1.2.1 Objetivo General	20
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
1.3 Marco de referencia	20
1.3.1 Antecedentes	20
1.3.2 Marco teórico	23
1.3.2.1 Evaluación de vulnerabilidad	25
1.3.2.1.1 Estado de la estructura	28
1.3.2.1.2 Estado de los elementos no estructurales.....	40
1.3.2.2 Rehabilitación estructural.....	42
1.3.2.2.1 Rehabilitación según FEMA-547-2006.....	43
1.3.2.2.2 Especificaciones técnicas de las metodologías de rehabilitación	46
1.3.2.3 Marco normativo	51
2 METODOLOGÍA.....	53
2.1 Planteamiento.....	53

2.1.1	Identificación de costos actuales de viviendas usadas, con las características especificadas.....	54
2.1.1.1	Recopilación de información por medio de una consulta inmobiliaria....	54
2.1.1.2	Presentación de resultados en forma de inventario.....	54
2.1.2	Identificación de los principales métodos de rehabilitación	55
2.1.2.1	Selección de la guía técnica de evaluación del estado de la edificación y las variables a considerar	55
2.1.2.2	Identificación del estado de las edificaciones donde se ubican los inmuebles de la muestra seleccionada	55
2.1.3	Diseño del sistema de rehabilitación	56
2.1.3.1	Análisis de vulnerabilidad de la edificación seleccionada para el estudio	56
2.1.3.2	Selección de un método de rehabilitación que supla las necesidades específicas	56
2.1.3.3	Diseño de la rehabilitación para la edificación seleccionada.....	56
2.1.3.4	Análisis de respuesta de la estructura con la intervención propuesta....	56
2.1.4	Comparación de costos para cada una de las propuestas.....	57
2.1.4.1	Determinación de costos de la intervención.....	57
2.1.4.2	Identificación de costos para la construcción de un nuevo proyecto.....	57
2.1.4.3	Evaluación de viabilidad económica del desarrollo de cada una de las propuestas.....	57

3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
3.1	Costos actuales de vivienda	59
3.2	DEFICIENCIAS PRINCIPALES EN EDIFICACIONES ACTUALES	61
3.2.1	Análisis cualitativo y selección de edificación	67
3.3	DISEÑO DE LA ACTUALIZACIÓN	93
3.3.1	Información Recopilada	93
3.3.2	Vulnerabilidad	98
3.3.2.1	Análisis estructural.....	99
3.3.2.2	Resistencia efectiva	104
3.3.2.3	Índice de sobreesfuerzo.....	104
3.3.2.4	Índice de flexibilidad.....	112
3.3.3	Actualización a la nueva Norma	113
3.3.3.1	Vulnerabilidad del nuevo sistema.....	117
3.3.3.2	Diseño de la intervención.....	121
3.4	Evaluación económica	123
3.4.1	Prefactibilidad de construcción de un proyecto nuevo.....	123
3.4.2	Presupuesto de rehabilitar	129
3.4.3	Análisis económico	137
4	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	139

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 4

5	REFERENCIAS	142
6	ANEXOS	149

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de reducción de resistencia. Tomada de Título A, NSR-10.	26
Tabla 2. Base de datos recolectada de edificaciones a evaluar.....	61
Tabla 3. Resultados promedio del análisis inmobiliario realizado.	61
Tabla 4. Ponderación de factores para la elección del inmueble a evaluar.	92
Tabla 5. Secciones y refuerzos de columnas Bloque 3 según planos estructurales.	96
Tabla 6. Secciones y refuerzo de vigas en placa 3, bloque 3.	98
Tabla 7. Coeficientes de aceleración y amplificación para zona sísmica intermedia Medellín.....	100
Tabla 8. Coeficiente de reducción de fuerza sísmica.	101
Tabla 9. Cargas no sísmicas aplicadas al sistema.	102
Tabla 10. Análisis de cargas verticales.	103
Tabla 11. Índices de sobreesfuerzo en vigas de tercer nivel, Bloque 3.	105
Tabla 12. Índice de sobreesfuerzo a cortante en columnas.	112
Tabla 13. Coeficiente de reducción de fuerza sísmica nuevo.	116
Tabla 14. Índice de sobreesfuerzos en vigas del sistema intervenido.	117
Tabla 15. Índice de sobreesfuerzo a cortante en columnas.	118
Tabla 16. Diseño sísmico de los muros.....	123

Tabla 17. Bolsa del proyecto (valores en miles).	127
Tabla 18. Utilidad del proyecto (valores en miles).	127
Tabla 19. Tabla de sensibilidad precio del lote vs precio de m ² (valores en miles).	128
Tabla 20. Bolsa del proyecto, prefactibilidad #2 (valores en miles).....	128
Tabla 21. Utilidad del proyecto, prefactibilidad #2 (valores en miles).	128
Tabla 22. Área de apartamentos y puntos fijos.....	129
Tabla 23. Resultados del presupuesto para rehabilitar la unidad residencial TB 2.	130
Tabla 24. Cantidades para muros de Bloque 3.....	131

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Efecto de la columna corta. Tomado de Beauperthuy & Urich (s/f).....	32
Ilustración 2. Patología por corrosión. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).	34
Ilustración 3. Patología por cambio de volumen por flujo plástico. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).	35
Ilustración 4. Patologías por deformaciones bajo cargas de servicio. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).	36
Ilustración 5. Posibles patologías en ménsulas. Tomada de Catálogo de Patologías de las estructuras de hormigón armado (2005).	37
Ilustración 6. Tipo de configuración de riostras de acero. Tomada de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).	48
Ilustración 7. Conexión para continuidad de muros. Tomada de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).	49
Ilustración 8. Ubicación en columnas del compuesto de fibra de carbono. Tomado de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).	51
Ilustración 9. Esquema de actividades para cada objetivo específico.	54
Ilustración 10. Búsqueda inmobiliaria en campo.	59
Ilustración 11. Ubicación general de las 9 edificaciones seleccionadas. Tomado de Google Maps.	62
Ilustración 12. Ficha de estado de conservación de la estructura.	66

Ilustración 13. Planta del conjunto residencial TB 2, especifica la distribución de los bloques.....	68
Ilustración 14. Análisis de irregularidad en planta.....	68
Ilustración 15. Columnas cortas en parqueaderos TB 2.....	69
Ilustración 16. Fachada TB 2.....	70
Ilustración 17. Apoyo de cubierta en terraza TB 2.....	71
Ilustración 18. Fachada Posterior VS.....	72
Ilustración 19. Levantamiento Patológico VS.....	73
Ilustración 20. Losa parqueadero CV.....	74
Ilustración 21. Ménsula CV.....	75
Ilustración 22. Levantamiento patológico sótano 2 CV.....	75
Ilustración 23. Losa B.....	77
Ilustración 24. Fachada B.....	78
Ilustración 25. Levantamiento patológico B.....	78
Ilustración 26. Humedades en losa SMO.....	80
Ilustración 27. Humedades en losa SMO.....	80
Ilustración 28. Hormigqueo en losa SMO.....	80
Ilustración 29. Humedades en losa SMO.....	80
Ilustración 30. Humedades en losa SMO.....	80

Ilustración 31. Humedades en losa SMO.....	81
Ilustración 32. Acabados de ménsula SMO.	81
Ilustración 33. Humedades en fachada SMO.....	81
Ilustración 34. Acabados de ménsula SMO.	81
Ilustración 35. Fachada en buen estado SMO.....	82
Ilustración 36. Fachada interior edificio A.	83
Ilustración 37. Levantamiento patológico edificio A.	83
Ilustración 38. Humedades en losa VR.	84
Ilustración 39. Fisura en ménsula VR.....	85
Ilustración 40. Fachada VR.	85
Ilustración 41. Fachada BC.	87
Ilustración 42. Losa BC.....	88
Ilustración 43. Fisura en ménsula BC.....	88
Ilustración 44. Evaluación de irregularidad geométrica de BC.	89
Ilustración 45. Sistema pórticos VC.....	90
Ilustración 46. Columnas cortas VC.	90
Ilustración 47. VC.....	90
Ilustración 48. Tercera Placa - Plano estructural TB 2.	95
Ilustración 49. Tercera Placa - Plano estructural TB 2, Bloque 3.....	95

Ilustración 50. Secciones de columnas en Bloque 3 TB 2.....	97
Ilustración 51. Refuerzo de Vigas y Nervios TB 2.....	97
Ilustración 52. Espectro de diseño.	100
Ilustración 53. Modelo en SAP2000 de Bloque 3 existente.....	103
Ilustración 54. Diagrama de interacción columnas L (8, 10, 12) y N (10, 12).	106
Ilustración 55. Diagrama de interacción columnas O (10, 12).....	107
Ilustración 56. Diagrama de interacción columnas L 13 y N (8, 13).....	108
Ilustración 57. Diagrama de interacción columnas J (7, 9).....	109
Ilustración 58. Diagrama de interacción columnas I9.	110
Ilustración 59. Diagrama de interacción columnas I7.	111
Ilustración 60. Zona de separación entre bloques.	114
Ilustración 61. Ubicación de muros como propuesta de actualización.....	115
Ilustración 62. Modelo en SAP2000 de la intervención propuesta.	116
Ilustración 63. Diagrama de interacción de columnas L8.	118
Ilustración 64. Diagrama de interacción de columnas L13.	119
Ilustración 65. Diagrama de interacción de columnas O10 y O12.....	120
Ilustración 66. Diagrama de interacción de muros.....	122
Ilustración 67. Ubicación del lote. Tomada de GEO Medellín.	125
Ilustración 68. Secciones viales TB 2. Tomado de GEO Medellín.	125

Ilustración 69. Áreas del proyecto por bloque. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	130
Ilustración 70. Áreas de fachada exterior para un nivel, las cantidades totales pueden verse en el Anexo 11. Ver Anexo 12 para mayor detalle.....	132
Ilustración 71. Áreas de divisiones en mampostería interior y lagrimales en cada apartamento. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	133
Ilustración 72. Metros lineales de lagrimales. Ver Anexo 12 para mayor detalle.....	133
Ilustración 73. Cantidades de pañete, enchape y pintura. Ver Anexo 12 para mayor detalle.....	134
Ilustración 74. Cantidades de pisos. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	134
Ilustración 75. Cantidades de cubierta. Ver Anexo 12 para mayor detalle.....	135
Ilustración 76. Elementos no estructurales. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	136
Ilustración 77. Estimación de cantidades de equipo. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	136
Ilustración 78. Cantidades de carpintería. Ver Anexo 12 para mayor detalle.	137
Ilustración 79. Diagrama de interacción con encamisado de columnas.....	140

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Deficiencias y posibles métodos de rehabilitación (Lizundia et al., 2006).....	149
Anexo 2. Lista de apartamentos. Ver Excel.	150
Anexo 3. Ficha Estado de Conservación construida. Ver carpeta.	150
Anexo 4. Cartas de solicitud de visita y análisis. Ver carpeta.	150
Anexo 5. Fichas de visita y análisis. Ver carpeta.	150
Anexo 6. Información de Inmuebles Evaluados. Ver carpeta.	150
Anexo 7. Cálculos Estructurales. Ver Carpeta.	150
Anexo 8. Modelo TB 2 en SAP2000.....	150
Anexo 9. Modelo B3 TB 2 actualizado en SAP2000.....	151
Anexo 10. Prefactibilidad de Nuevo Proyecto en TB 2. Ver Excel.	151
Anexo 11. Presupuesto de Intervención TB 2. Ver Excel.	151
Anexo 12. Cantidades Estimadas en On-Screen Takeoff. Ver carpeta.	151
Anexo 13. Encamisado. Ver Excel.	151

RESUMEN

La construcción de vivienda en altura en la parte baja de El Poblado (Medellín, Colombia) comenzó desde 1980. Para el año 1998, en el cual se promulgó la NSR-98, ya se habían construido muchas edificaciones en esta zona, las cuales contaban con restricciones menores a las impuestas por dicha normativa, que buscaba mitigar repercusiones económicas y sociales de las edificaciones en caso de un sismo. Estudios en otras ciudades ya se han realizado y se han encontrado edificaciones de más de 20 años vulnerables.

Debido a la escasez y alta demanda de lotes disponibles en la zona baja del barrio El Poblado junto al gran atractivo de edificaciones antiguas por sus amplias áreas, se considera importante analizar el futuro de dichas estructuras estudiando la posibilidad de conservar, demoler o rehabilitar. Identificando la rentabilidad de la última opción, que no solo podría mejorar la seguridad estructural y el valor económico, sino también disminuir el impacto medioambiental con respecto a las demás alternativas.

Este proyecto pretende determinar la viabilidad económica de rehabilitar las edificaciones de uso residencial, de 5 a 10 pisos, con sistema estructural de pórticos, que fueron construidas en la zona baja del barrio El Poblado antes de que se promulgara la norma de construcción sismorresistente de 1998, mediante la evaluación de vulnerabilidad de una edificación que cumpla con dichas características. Si bien la alternativa de rehabilitación estudiada en el presente trabajo no resulte atractiva económicamente, otras opciones pueden ser evaluadas en cuanto la rehabilitación se constituye como una opción importante, toda vez que con ella se salvaguarda un activo fijo en el que fueron invertidos una gran cantidad de recursos naturales y monetarios.

Palabras clave: rehabilitación, vulnerabilidad, amenaza, pórticos, desempeño sísmico, costos, viabilidad económica.

ABSTRACT

The construction of high-rise residence buildings in the lower part of El Poblado (Medellín, Colombia) began since 1980. By 1998, when NSR-98 was promulgated, many buildings had already been built in this area, having fewer restrictions than those imposed by NSR-98, which sought to mitigate economic and social repercussions of buildings in case of an earthquake. Studies in other cities have already been carried out and buildings 20 year and older have been found vulnerable.

Due to the shortage and high demand of lots in this area, as well as the great appeal of these buildings for their large areas, it is considered important to analyze the future of these structures, studying the possibility of conserving, demolishing or rehabilitating; identifying the profitability of the last option, which could not only enhance the structural safety and economic value, but also reduce the environmental impact with regard to the other alternatives.

This project aims to determine the economic viability of rehabilitating residential buildings of 5 to 10 floors, with a reinforced concrete moment frame system, built in the lower part of the El Poblado commune before the seismic building design code of 1998 was promulgated, by assessing the vulnerability of a structure with these characteristics. Although the alternative studied in this project is not economically attractive, other options can be evaluated as rehabilitation is an important option, since it would safeguard fixed assets in which a large amount of natural and monetary resources were invested.

Keywords: rehabilitation, vulnerability, threat, reinforced concrete moment frame, seismic performance, expenditures, economic viability.

INTRODUCCIÓN

La construcción de vivienda en altura en la parte baja de El Poblado (Medellín, Colombia) comenzó desde 1980. Para el año 98, en el cual se promulgó la NSR-98, ya se habían construido muchas edificaciones en esta zona, las cuales contaban con restricciones menores a las impuestas por dicha normativa, que buscaba mitigar repercusiones económicas y sociales de las edificaciones en caso de un sismo. Entre el 65% a 70% de las edificaciones mencionadas son de 5 a 10 pisos con sistema de pórticos, el cual no presenta la rigidez necesaria para cumplir con las derivas máximas permisibles en esta norma. Según la normativa actual, la NSR-10, la rehabilitación solo es obligatoria para edificaciones indispensables, por lo que no suele tenerse en cuenta para la remodelación de las edificaciones de vivienda que no cumplen con la normativa NSR-10. Si bien estas edificaciones poseen ventajas como áreas sumamente amplias y un valor por metro cuadrado considerablemente bajo, son menos atractivas y demandadas que las edificaciones más contemporáneas, específicamente por sus acabados y el estado actual de estos, más que por sus condiciones estructurales. Sumado a la escasez de lotes disponibles para la construcción en la zona de El Poblado, ambos factores obligan a considerar una solución que satisfaga tanto los intereses económicos como la seguridad de las estructuras y el cuidado del medio ambiente. Este proyecto plantea la posibilidad de rehabilitar estas viviendas como solución potencialmente óptima, por lo que se analizará la viabilidad económica y el impacto que esta medida tendría en la práctica. La hipótesis que se desarrollará a continuación está estructurada de manera que se siguen los pasos necesarios para poder determinar la conveniencia de la solución planteada. Esta secuencia consiste en identificar los costos actuales de las viviendas antiguas por medio de una consulta inmobiliaria; construir una guía técnica para identificar el estado actual de estas edificaciones y así diseñar un sistema de rehabilitación que cumpla con las necesidades, el deterioro y elimine la vulnerabilidad de la estructura; por último analizar la respuesta de la estructura ante esta intervención y evaluar la viabilidad económica de esta a comparación de otras propuestas - como la construcción de un

nuevo proyecto - para así resolver la cuestión que puede ser mejor para el inmueble existente tanto en términos económicos como técnicos.

1 PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre los años 1985 y 2017 en Medellín, según datos y proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, la población ha pasando de 1,535,955 a 2,508,452 habitantes (DANE, s/f), debido a este crecimiento poblacional se ha presentado un incremento en la construcción de vivienda en altura causada por la escasez de terrenos disponibles para este uso, como es mencionado por Luis Fernando González en El Colombiano (Álvarez, 2018). Algunas de estas construcciones fueron diseñadas y ejecutadas antes de la expedición de la Norma Sismo Resistente, que en el caso específico colombiano tuvo su primera versión en el año 1984, con actualizaciones en los años 1998 y 2010 (García, 2015). Lo anterior permite inferir que construcciones de más de 30 años pueden estar subdimensionadas en relación con los requerimientos normativos vigentes, además, de estar próximas al fin de su expectativa de vida, entre 50 y 70 años (González, 2005).

La norma actual NSR-10 consagra el estudio y evaluación previa que debe llevarse a cabo para rehabilitar una edificación y el proceso que debe seguirse; sin embargo, solo impone la obligación para edificaciones indispensables como lo son hospitales, clínicas, centros de salud, edificaciones de sistemas masivos de transporte, edificaciones designadas como refugios, edificaciones de centrales de operación de energía y aquellas edificaciones que contengan agentes dañinos para el público como dice la Ley 400 de 1997, en tanto a otras solo establece un beneficio tributario para incentivar su adecuación (Ley 400, 1997). Por este motivo, en Bogotá se desarrolló un proyecto, en el barrio Ciudad Jardín, para mostrar a sus residentes la importancia de contar con una estructura acorde con la norma vigente. Pese al riesgo, algunas personas no ven la necesidad de prevenir un desastre frente a un sismo (Oviedo & Duque, 2009) o no realizan la rehabilitación por los altos costos que esta implica (A. Arias, comunicación personal, 11 agosto, 2018).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 18

Citando algunos ejemplos, hospitales como La Victoria (Valle), San Juan de Dios (Armenia), Universitario del Valle (Valle) (Ingestructuras de Occidente, 2014) y el Instituto Nacional de Cancerología (Bogotá) han sido sometidos a este tipo de intervenciones; en este último, tras evidenciar dificultades en el método tradicional, encontraron solución en el uso de muros compuestos de bloques de concreto, confinados exteriormente con fibras de carbono (Argüelles & Taylor, 2010).

Específicamente, el proceso urbanístico en la parte baja de El Poblado comenzó desde 1980 (Álvarez, 2016), época en la que comienza a implementarse la construcción en pórticos por la reglamentación del Código de 1984 que tenía como fin disminuir el peligro de la falla por punzonamiento en los edificios de este sistema (M.P. Duque, comunicación personal, 20 agosto, 2018). Hoy por hoy las edificaciones con este sistema constructivo constituyen un 65 a 70 % de los edificios de 5 a 10 niveles en estratos 5 y 6 correspondientes a la comuna 14 (Osorio, 2015). Los apartamentos de esa época son llamativos en el sector inmobiliario por sus áreas construidas y por el valor del metro cuadrado, disminuido hasta en un 50% frente al precio de una vivienda nueva (Cubillos, 2018); a lo que se le suma el alto costo de los suelos, en ocasiones mayor que la misma edificación (La Lonja, 2016), y la falta de disponibilidad de estos para la construcción de nuevos proyectos, que llevan a la remodelación de los mismos, sin considerar el estado de la estructura frente a la normativa sismorresistente actual, imponiendo en algunos casos cargas superiores a las que puede resistir.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el riesgo sísmico en la ciudad es intermedio, específicamente en la comuna 14, donde en su parte baja los valores del sismo de diseño son altos comparado con el resto de la ciudad (Alcaldía Medellín, 2011). Según el estudio realizado por Osorio (2015) se evidencia que, de presentarse un sismo en la ciudad de Medellín, la parte baja del barrio de El Poblado sería la más afectada económicamente mirado desde el punto de vista del valor que representa la reposición de las edificaciones (Osorio, 2015), que afecta a propietarios e inversionistas. Considerando lo anterior, surge la posibilidad de conservar, demoler y construir o rehabilitar, debiéndose abordar el estudio de los beneficios que cada una traería y su impacto económico. Se plantea,

entonces, la pregunta: ¿Sería viable económicamente la rehabilitación estructural en lugar de la demolición y el desarrollo de un nuevo proyecto para las edificaciones construidas antes de la vigencia de la norma sismo resistente (NSR-98) en el sector El Poblado en Medellín?

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Determinar la viabilidad económica de la rehabilitación de edificaciones de 5 a 10 pisos, de uso residencial, con sistema estructural de pórticos, construidas antes de la vigencia de la NSR-98 en la parte baja de la comuna El Poblado, Medellín.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los costos actuales de viviendas usadas, pertenecientes a edificaciones entre 5 y 10 pisos, construidas antes de la NSR-98 en el sector de El Poblado parte baja.
- Identificar los principales métodos de rehabilitación de edificaciones que puedan ser implementados para la actualización de las existentes, con sistema de pórticos.
- Diseñar el sistema de rehabilitación, con base en los sistemas existentes, que cumpla con los requisitos que demanda el entorno y el sistema estructural.
- Comparar el valor final del inmueble rehabilitado frente a los costos de demolición y desarrollo de un nuevo proyecto en la ubicación de la existente.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

Varios pueden ser los factores por los que se presenten daños estructurales que conlleven a la rehabilitación de una edificación; entre ellos están el deterioro por exposición a las condiciones naturales (vientos, movimientos sísmicos, exposición al

medio), su uso, el diseño por fuera de los actuales requerimientos normativos e incluso procedimientos incorrectos a la hora del diseño o construcción.

La rehabilitación puede implementarse tanto en casos particulares, como en barrios enteros cuando comparten el mismo sistema constructivo. España es uno de los países en los que se han adelantado trabajos de esta índole, el primero caso en Sevilla, en el barrio del Parque Alcosa de viviendas construidas entre los años 1969 y 1972, debido al hallazgo de daños estructurales, causados por el embalsamiento de agua en la cámara bajo el forjado sanitario que produjo a su vez asentamientos diferenciales, generando grietas en escalas y humedad en muros cargueros. Luego de realizar el estudio e implementar la propuesta de intervención, se evidenció la estabilización de la estructura, con un bajo costo en contraste con los posibles perjuicios que se hubieran podido causar (Cano-Marín, Jaramillo-Morilla, Bernal-Serrano, & Moreno-Rangel, 2014).

Un segundo caso, es el del barrio de La Mina construido durante los años 1968 a 1974, en Barcelona, donde se reflejan todo tipo de errores en que puede incurrirse en el urbanismo; por lo que se realizó el Plan Especial de Transformación Urbana de este, que exigió estudios técnicos sobre aspectos funcionales y condiciones de seguridad estructural para la rehabilitación y renovación de las viviendas. En él se incluye el estudio del tipo de estructura y su relación con los daños presentes, buscando las principales problemáticas a ser corregidas, como fisuras en paneles tanto interiores, por flexión, como exteriores debido a la exposición a la intemperie; para el cual se recomendó el uso de un recubrimiento con chapa metálica en todos los paneles. En este se concluye que el mantenimiento preventivo continuo resulta mucho más económico que una demolición a largo plazo (Díaz, Cornadó, Llorens, Pardo, & Hormías, 2012).

Se evidencia una necesidad mayor de estudios estructurales para la rehabilitación, cuando se presentan fallas en la estructura, como se aprecian luego de un terremoto ocurrido en Lorca, Murcia, en 2011; esto llamó la atención de la población a buscar soluciones tanto para aquellas estructuras afectadas por el mismo como para estructuras existentes con el fin de prevenir desastres en un futuro, debido al alto grado de peligrosidad sísmica que presenta el sur de España. Por lo cual se realizó un Protocolo de

Actuación para edificios e infraestructuras existentes, en el que se evaluaron estructuras actuales como la Iglesia del Salvador de Sevilla, que anteriormente había sido intervenida, pudiendo establecer la eficacia de los trabajos de repotenciación realizados y la importancia de aplicarlos en estructuras existentes que vayan de acuerdo a la normativa vigente (Jaramillo-Morilla et al., 2015).

En Colombia algunos de los edificios también han sido repotenciados por daños visibles, como es el caso del edificio Bernavento, que han llevado al estudio de patología estructural de los mismos, además, se menciona que algunas de las dieciocho licencias que han sido otorgadas, para repotenciación, en los últimos tres años en el Valle de Aburrá, buscan adaptarse a la normativa sismo resistente vigente (“En Medellín hay 18 licencias otorgadas para la repotenciación de estructuras”, 2018). Lo anterior, porque no existe una norma donde se obligue a la rehabilitación de viviendas restando interés en su implementación, llevando al desarrollo de proyectos como uno en: Bogotá, específicamente en el barrio Ciudad Jardín, en el cual se realizó una inspección de viviendas multifamiliares que busca verificar y recomendar a los habitantes la importancia de contar con viviendas que cumplan la NSR-10. Lo anterior se debe al incremento de la población, que ha ocasionado un surgimiento en la construcción informal y las malas prácticas de la ingeniería, lo cual tiene como consecuencia: la evidencia de daños, pérdidas humanas y materiales. Al realizar la inspección, con metodologías visuales, y teniendo en cuenta el riesgo sísmico de la zona, se concluyó que las estructuras no cumplían con las recomendaciones mencionadas en la norma, viendo la necesidad de fortalecer muros de carga, columnas y vigas, que otorguen mayor rigidez a la estructura, sugiriendo la implementación por ejemplo, de alambre recocido y castillo electrosoldado, como también de guías para la rehabilitación como el Manual para la reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería confinada dañadas por sismos (Rodríguez & Castro, 2015).

A pesar de que se tenga un conjunto de estudios que exponen la importancia de la rehabilitación de edificaciones, cabe preguntarse si la implementación de dichos métodos se justifica frente a la construcción de nuevos proyectos. En la ciudad de Lisboa, Portugal,

se realizó un estudio en el que se evalúa ambiental y económicamente la rentabilidad de rehabilitar la mayoría de las construcciones antiguas existentes, frente a la construcción de una nueva con iguales especificaciones. Para ello, tomaron una edificación específica y evidenciaron que ambientalmente brindaba mayor beneficio que la construcción de una nueva, a pesar de que este se veía reducido por los trabajos intrusivos que eran necesarios para el reforzamiento sísmico. Por el contrario, económicamente, no se encontró rentabilidad dado que era necesario una gran cantidad de acero que en el país es de alto costo, en tal magnitud, que aun si aumentara el costo de la demolición no representaría mayor ventaja frente a una nueva edificación (Ferreira, Duarte, & de Brito, 2015).

En varios artículos se defienden los beneficios de rehabilitar en cuanto a la mejora que representa en la estructura para resistir cargas sísmicas aportando a la reutilización de edificaciones, que según los británicos debe ser el 75% del total de los proyectos arquitectónicos antes del 2050 ya que implican la búsqueda de renovaciones de energía de estos (Hewitt, 2019).

A pesar de que el estudio realizado en Portugal no haya arrojado buenos resultados económicos, en la comuna El Poblado cabe evaluar su viabilidad económica; pues depende de muchos factores como el precio de materiales en la zona, el tipo de estructura evaluada y su sistema constructivo, ya que por ejemplo en Portugal la estructura era del siglo 17 y debía ser sometida a diferentes actualizaciones de la norma para soportar el alto riesgo sísmico presente allí. Además, es necesario analizar los beneficios económicos que traería la construcción nueva, en cuanto a que permitiría desarrollarse proyectos a mayor escala, lo cual no es evaluado en el caso de Portugal.

1.3.2 Marco teórico

La zona en estudio es la parte baja del barrio El Poblado en la ciudad de Medellín, Colombia; por lo tanto, deben seguirse los lineamientos propuestos en la norma actual, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). El capítulo 10 del título A, estipula los requisitos para evaluar el comportamiento sísmico y el diseño de la

intervención al actualizar, adicionar, modificar, reparar o remodelar edificaciones diseñadas antes de la entrada en vigencia de la misma. Para el caso en estudio se analizarán principalmente los requisitos para el reforzamiento estructural descrito en la sección A.10.9 *Rehabilitación sísmica* (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010), donde se indican documentos que presentan las alternativas de rehabilitación permitidas, entre las cuales se encuentra el realizado por la Federal Emergency Management Agency (FEMA-547-2006).

A continuación, se exponen los pasos que establece la Norma Sismorresistente en el capítulo 10 para evaluar la vulnerabilidad de una edificación tanto existente como intervenida; cabe aclarar que los resultados entregados por la primera evaluación limitan el diseño de la intervención y los requisitos constructivos.

Como base para realizar la intervención se debe contar con **información previa** (A.10.2), como planos del proyecto original, tanto del diseño estructural como del sistema de cimentaciones; un **análisis cualitativo de la calidad de la estructura original** teniendo en cuenta la tecnología implementada y factores de comportamiento que garanticen el adecuado funcionamiento de la edificación y un **análisis del estado de conservación de la estructura**, estudiado por medio de la observación de fallas locales - como la corrosión - estableciendo una calificación de buena, regular o mala. De igual manera, deben ser incluidos estudios donde se evalúen los efectos del asentamiento en las estructuras y posibles afectaciones de esta por eventos extraordinarios como explosiones, incendios, sismos y demás situaciones que alteren la carga para la que estaba diseñada originalmente la edificación.

Cuantitativamente deben **estimarse las solicitaciones equivalentes**, entre las solicitaciones establecidas en la Norma y aquellas que puede resistir la estructura en su estado actual, calculada con las diferentes combinaciones de cargas descritas en el título B de la NSR-10, donde la carga sísmica estará dada por $E = F_s / R'$. Para llegar a dicho resultado es necesario determinar el movimiento sísmico, sistema estructural, el coeficiente de capacidad de energía (R'), fuerza sísmica (F_s , según el título A) y cargas diferentes a la sísmica (descritas en el título B). Además, es necesario valorar la

correspondencia entre las propiedades de la estructura existente y la demanda que esta presenta, por medio de la **resistencia efectiva, del índice de sobreesfuerzo**, entendido como la porción de solicitaciones atendida por la resistencia actual estructura, y el **índice de flexibilidad**, que indica la susceptibilidad de la estructura a presentar derivas mayores a las permitidas por el reglamento.

1.3.2.1 Evaluación de vulnerabilidad

La vulnerabilidad de la edificación existente estará dada por el inverso tanto del índice de sobreesfuerzo como del índice de flexibilidad, siendo el primero una porción de la resistencia que tendría una edificación diseñada con la NSR-10 y el segundo la fracción de la rigidez de una edificación diseñada con esta misma norma. Específicamente estos se definen como se muestra a continuación:

- **Índice de sobreesfuerzo:** Se expresa como la división entre la resistencia requerida y la efectiva, de todos los elementos de la estructura ante los diferentes efectos (cortantes, axiales, flexión y torsión). La resistencia requerida es aquella exigida por la norma al evaluar la estructura con las cargas y solicitaciones mencionadas por el Título B de la presente Norma y diseñar todos los elementos de acuerdo con lo mencionado en el Título C de esta misma según el desempeño sísmico requerido para una zona de amenaza sísmica intermedia como lo es Medellín, área de estudio.

La resistencia efectiva (Ecuación 1) de la estructura está dada por la resistencia existente (N_{ex}) y los coeficientes de reducción de resistencia (ϕ_c y ϕ_e). El primero, es determinado por el ingeniero de acuerdo con la información recopilada, de no tener suficiente información para inferirla, también se entiende como el nivel de fuerza en la que el material deja de responder en el rango elástico, igual a la resistencia obtenida al aplicar los modelos descritos en la Norma para los diferentes materiales. Mientras que los coeficientes de reducción varían de

acuerdo con la calificación otorgada sobre la calidad de diseño o el estado de la edificación como se muestra en la Tabla A.10.4-1 de la NSR-10.

Ecuación 1. Resistencia efectiva. Tomada de Título A, NSR-10.

$$N_{ef} = N_{ex} \phi_c \phi_e$$

Tabla 1. Coeficientes de reducción de resistencia. Tomada de Título A, NSR-10.

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Se debe obtener este índice para todos los elementos de la estructura, analizando una secuencia de falla de la edificación, teniendo en cuenta que este índice no puede ser mayor a 1. Como último debe especificarse el índice de sobreesfuerzo general de la edificación, representado por el mayor valor; cabe aclarar que debe verificarse en la realidad a qué elemento pertenece este, pues si es uno que no es primordial para la seguridad de la edificación, podría incurrir en ideas erróneas y soluciones sobredimensionadas.

- **Índice de flexibilidad:** Este indica que tan propenso es la edificación a presentar deflexiones o derivas excesivas (mayores al 1%). El índice de flexibilidad de la estructura es el mayor de cada piso, el cual está dado por la división entre la deriva resultante del análisis estructural (con los requerimientos actuales de la norma) y la permitida por la norma de acuerdo con sistema estructural (1% de la altura, en este caso).

El mismo procedimiento debe ser realizado al evaluar la intervención propuesta y su factibilidad, sin embargo, debe cumplirse con los índices de sobreesfuerzos y flexibilidad especificados en la norma, considerando: El carácter de vivienda de la edificación, la respuesta de seguridad - que debe ser equivalente al de una estructura nueva - y la fecha del diseño de la estructura. Por ejemplo, para las edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984 exige que al intervenirlas estas puedan

presentar índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad menores a uno (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010).

1.3.2.1.1 Estado de la estructura

Evaluación del diseño original

El sistema estructural es uno de los componentes de una edificación y se conoce como el conjunto de elementos unidos que tiene como función transformar un conjunto de fuerzas y desplazamientos, debido a cargas aplicadas, en reacciones, alargamientos, acortamientos que eviten deformaciones excesivas o roturas de miembros (Blandón, 2017). Lo anterior es posible por medio de sus propiedades: rigidez, ductilidad, resistencia y estabilidad. La rigidez se conoce como la fuerza necesaria que debe aplicarse para generar un desplazamiento unitario y es necesario para controlar deflexiones o comportamientos indeseados que afecten el correcto funcionamiento de la estructura. La ductilidad es la capacidad que tiene la estructura de sostener su resistencia para deformaciones mayores a las que se inició la fluencia y depende de la propia ductilidad de los materiales, las secciones, la redundancia y los elementos que componen la misma estructura (Vásquez & Contreras, s/f). La resistencia es la capacidad para soportar los esfuerzos sin causar fisuramiento y para ello deben conocerse los límites de cada material implementado y la estabilidad, está dado por los enlaces de la estructura los cuales deben ser suficientes para generar reacciones que equilibren las fuerzas externas que actúan sobre la estructura (De Justo, Delgado, Bascón, Lozano, & Fernández, s.f).

Por otro lado, la estructura debe ser capaz de disipar energía y esto es posible por su ductilidad. Este puede controlarse por medio del diseño de secciones que logren reacomodar daños, la unión entre elementos, los materiales implementados y el control de calidad en la construcción (Rodríguez & Castro, 2015).

Las anteriores son características fundamentales que deben considerarse a la hora de elaborar un diseño de actualización ya que al acoplarse a la estructura debe garantizar el cumplimiento de ellas a una estructura que posiblemente había perdido dichas propiedades.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 28 no compromete a la EIA.

A continuación, se definen algunos conceptos y características que también se deben tener en cuenta.

- Requisitos sísmicos del sistema de pórticos en concreto reforzado: A partir del Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes de 1984 se reguló el diseño y construcción de sistemas estructurales en pórticos espaciales resistentes a momentos, sin embargo, es posible encontrar estructuras anteriores a 1985 que están configurados por pórticos planos. Es importante resaltar que muchas de estas edificaciones de mediana altura en El Poblado fueron diseñadas con este sistema, pero ante cargas gravitacionales y no sísmicas o laterales.
- Peso de la estructura: La fuerza sísmica en una estructura se considera una fuerza inercial, donde, a mayor masa mayor fuerza. Si se tienen pesos diferentes en cada piso de una edificación se generan fuerzas relativas, las cuales pueden ser causantes de colapsos totales o parciales (Farbiarz, Campos, Arango, & Cardona, 2011). En las edificaciones antiguas que han sufrido remodelaciones se pueden haber añadido cargas para las cuales esta no fue diseñada.
- Dimensionamiento de elementos: Para el caso de vigas puede hacerse un predimensionamiento de los elementos para controlar deflexiones, la tabla CR.9.5 del Título C de la NSR-10, menciona la altura mínima de la viga en función de su luz según sea el caso de la estructura; losas macizas o nervadas y el tipo de apoyo en las vigas (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010). Para el caso de columnas, puede estimarse su área (A_g) por medio de la siguiente fórmula, donde P es la carga total que baja por la columna al nivel del sótano y f' la resistencia a compresión del concreto:

$$A_g = \frac{P_u}{f'_c 0.3}$$

- Refuerzo y detallado de elementos: El Título C de la NSR-10 especifica el mínimo refuerzo y detallado que debe tenerse de acuerdo con las solicitaciones de la edificación y el grado de ductilidad que se requiera. Estas deben ser revisadas, pues permite conocer las deficiencias del elemento desde su diseño.
- Redundancia: Esta afecta la capacidad de disipación de energía de la estructura cuando a la hora de presentarse un evento, a pesar que algunos elementos fallen no se genera un mecanismo de colapso (Panamericana De La Salud, 2000). Lo anterior en una edificación ya construida puede verificarse observando la continuidad de los elementos que permitan una efectiva distribución de las cargas, la regularidad de la estructura, el comportamiento de las fundaciones y la presencia de todos los elementos estructurales diseñados por el ingeniero, pues estos pudieron ser removidos en remodelaciones.
- Irregularidades del sistema estructural: La disipación de energía se ve reducida por la irregularidad que presente una estructura (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010), razón por la que debe ser entendida para reconocer cuando una estructura es más vulnerable que otra.
Existen dos tipos de irregularidades: en planta y en altura. En las tablas A.3-6 y A.3-7 de la NSR-10 se describen los tipos de irregularidad y se dan las recomendaciones a tener en cuenta en el diseño, en el caso de que se presenten en un edificio (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010).
Las irregularidades en planta afectan la rigidez del diafragma. Se dice que hay mayores flexibilidades cuando la relación largo/ancho es mayor o cuando existen aberturas de gran tamaño que generan áreas flexibles dentro del diafragma (Panamericana De La Salud, 2000).
La torsión es una irregularidad en planta, que se produce por la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez y puede llevar a que una estructura pierda su seguridad y estética, por lo que debe verificarse la composición de las estructuras.

Sucede principalmente cuando se ubican elementos rígidos asimétricamente respecto al centro de gravedad del piso, se ubican masas de gran tamaño asimétricamente con el centro de rigidez o ambas (Panamericana De La Salud, 2000).

- Columnas ante cargas sísmicas: Los siguientes son los factores que deben tenerse en cuenta en el diseño de columnas o deben ser revisados en estructuras existentes ya que pueden incrementar su vulnerabilidad.

Efecto de la columna corta: Se habla de este cuando la columna se encuentra restringida parcialmente al desplazamiento lateral, por ejemplo, cuando los muros en mampostería están unidos a la columna y además no cubren toda la altura de la columna o existen vigas que se conectan en la mitad del elemento. Lo anterior afecta las propiedades de la estructura cuando está sometida a cualquier tipo carga que genere una deriva en la columna. Localmente, se aumenta la cortante, disminuye la ductilidad y aumenta en gran cantidad la rigidez de la columna (falsamente), impidiéndole alcanzar su deformación máxima, lo que implica que, en la estructura como un todo, las columnas que no son cortas no podrán trabajar hasta que aquellas que sí lo son fallen por absorber toda la cortante, generando mecanismos de reacción en cadena. (Beauperthuy & Urich, s/f). La Ilustración 1 muestra al lado izquierdo la condición para que se dé el efecto y al lado derecho cómo debería diseñarse para evitarlo.

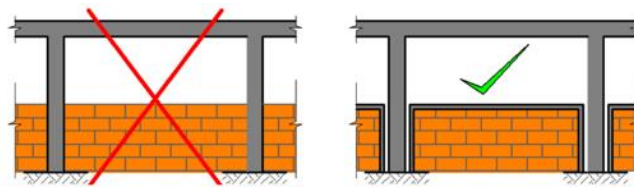


Figura – Separación de las paredes



Figura – Integración del muro a la estructura

Ilustración 1. Efecto de la columna corta. Tomado de Beauperthuy & Urich (s/f).

Columna fuerte, viga débil: Ante un sismo se espera que los elementos soporten hasta tal punto que redistribuyan los esfuerzos a elementos cercanos, de manera progresiva. Con el diseño sísmico se pretende que las vigas sean la primera defensa de la estructura y sean estas las que primero pierdan su rigidez (Gallego-Silva, s/f). Esto puede garantizarse al cumplir con la resistencia mínima a flexión de columnas que se especifica en el apartado C.21.6.2.2 de la NSR-10, donde se menciona que la sumatoria de momentos nominales en la columna debe ser mayor o igual a 1.2 veces los momentos nominales de las vigas, que llegan a cada uno de los nudos (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010). Este fenómeno también sucede cuando hay presencia de columnas cortas, pisos esbeltos o discontinuidad en muros en altura (Rodríguez & Castro, 2015).

- Fuerza sísmica de diseño: La fuerza sísmica de diseño aplicada en la estructura depende de la aceleración que está dada por diferentes factores como lo son la amenaza sísmica, el tipo de suelo, el grupo de importancia al que pertenece la edificación, la masa de la estructura y el sistema estructural; fuerza que debe considerarse al evaluar la respuesta de la estructura diseñada.

La aceleración se evalúa por medio del espectro de aceleraciones, con los valores mencionados por la Norma, esta además menciona coeficientes de aceleración con un nivel de seguridad limitada para el análisis de edificaciones diseñadas con anterioridad a la normativa vigente.

Evaluación del estado actual de la estructura

Se deben identificar deficiencias de la estructura causadas por deterioro, por las condiciones iniciales de la edificación como lo son los diseños, materiales implementados y el proceso de construcción (Farbiarz et al., 2011). Entre los daños o patologías que pueden encontrarse en la estructura están las humedades y filtraciones en paredes, losas y otros elementos, agrietamientos, descascaramientos, desconchamientos, delaminaciones, hasta desintegración de elementos cuando están sometidos a la intemperie, desintegración de elementos metálicos por corrosión, agrietamiento causado por variaciones en la temperatura o por asentamientos producto de la consolidación del terreno (Astorga & Rivero, 2009).

Los anteriores daños son llamados manifestaciones patológicas, los cuales pueden provocar que los materiales pierdan la capacidad de trabajar en el intervalo elástico debido a su defecto, es decir pierden sus propiedades mecánicas. Específicamente estas manifestaciones aparecen por exposición al ambiente o acciones físico-mecánicas, de diferentes formas según lo menciona la Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales.

Las manifestaciones por exposición al ambiente se dan principalmente por la corrosión galvánica, ciclos de humedad y variaciones de humedad y temperatura. A continuación, se expone cada uno.

- Los metales, como el acero de refuerzo pueden corroerse, si hay fisuras existentes que los exponga a la intemperie, generando fisuras mayores gracias a la presión que ejerce el óxido sobre el recubrimiento. Este generalmente aparece cuando no se

colocó suficiente recubrimiento. La manifestación crece con los años y se podría encontrar como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 2. Patología por corrosión. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).

- Los ciclos de mojado y secado hacen que se desarrollen grietas, descascaramiento o incluso desintegración de los materiales frágiles. El agua puede ser reactivo y contener agentes agresivos generando reacciones como la alcalí-agregados, que aparece en concretos de más de 5 años, reconociéndose por fisuraciones en malla y posibles exudaciones blancas de gel. También, sulfatos presentes en el agua pueden reaccionar desintegran la matriz del cemento, lo que puede identificarse por fisuras dispersas en un área con posibles segregaciones blancas.
- Las variaciones de temperatura y humedad cambian el volumen de un material que a su vez generan tensiones que fisuran el material. Estas fisuras aparecen semanas o meses luego del endurecimiento del concreto con tamaños entre 0.05 a 0.2 mm.

Las manifestaciones mecánicas pueden ser varias, entre ellas las siguientes:

- El cambio de volumen por flujo plástico es resultado de la relajación del material bajo carga por un largo periodo de tiempo, haciendo que las deformaciones elásticas aumenten progresivamente. Aparecen patologías como fisuras en las cabezas de columnas como las de la Ilustración 3, de ancho entre 0,15 a 0,3 mm, causadas principalmente por altas relaciones agua/cemento, exceso de finos en la arena, armadura con poco recubrimiento, cementos y retardantes inadecuados.

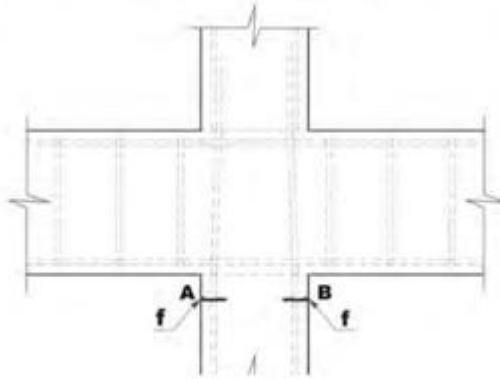


Ilustración 3. Patología por cambio de volumen por flujo plástico. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).

- Los asentamientos diferenciales generan daños tanto en elementos estructurales como no estructurales. Las fisuras son verticales de diferentes dimensiones y se ubican cerca de la columna en la parte inferior de las vigas.
- Las deformaciones bajo carga estática, carga de servicio, generan fisuras pequeñas que no son dañinas necesariamente a no ser que se hayan presentado daños en el diseño o construcción. Las fisuras pueden ser verticales en columnas por pérdida de resistencia del concreto, baja resistencia local o ausencia de estribos; verticales en nudos cuando la resistencia del concreto en columnas es mayor que la de losas y vigas; y diagonales en vigas por esfuerzo a cortante por tracción (Ilustración 4, izquierda) o flexión (Ilustración 4, derecha).

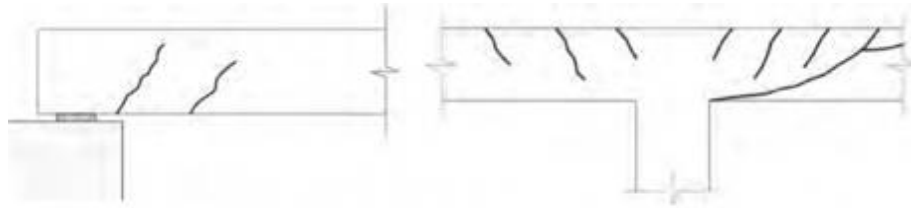


Ilustración 4. Patologías por deformaciones bajo cargas de servicio. Tomada de Guía de patologías constructivas (2011).

- Las deformaciones bajo carga sísmica tienen como causa el mecanismo de respuesta de una edificación, el cual es diseñado para que disipe energía por medio de deformaciones. Estos daños deben ser no solo identificados sino también clasificados de acuerdo con un nivel de daño. En la Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales pueden observarse las diferentes lesiones en vigas y en columnas con su respectivo nivel de daño, que también podrán tenerse en cuenta para deformaciones bajo carga estática.
- Las ménsulas, elementos estructurales de concreto reforzado en voladizo, padecen de ciertos defectos específicos que han sido catalogados y analizados a profundidad. Algunas de estas deficiencias pueden ser: Roturas por tracción, cortante y flexión; aplastamiento del hormigón, entre otros. Las causas pueden atribuirse usualmente a excesos de carga y armadura longitudes de anclaje insuficientes; las soluciones, consecuentemente, consisten en apuntalar, reducir cargas y modificar las longitudes y las armaduras según sea necesario y específicamente cuando se presentan roturas por tracción se propone formar una junta que permita que la viga retraiga libremente (Quintian & Manuel, 2005). Para mayor detalle de cada patología dirigirse al Capítulo III. Catálogo de patologías de estructuras de hormigón armado.

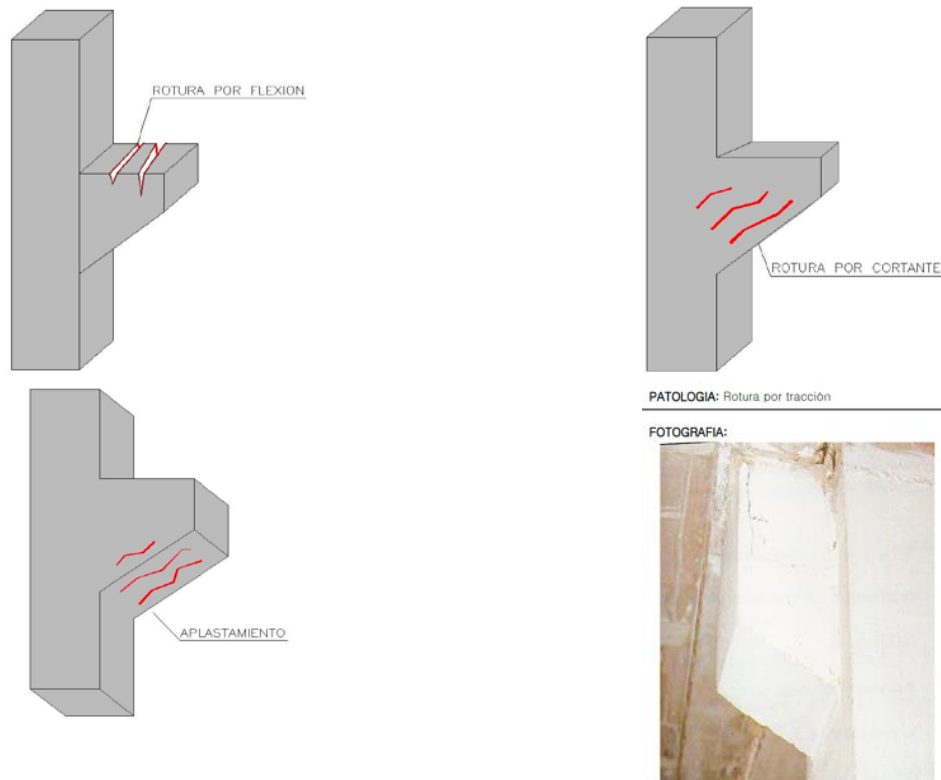


Ilustración 5. Posibles patologías en ménsulas. Tomada de Catálogo de Patologías de las estructuras de hormigón armado (2005).

Los defectos ya mencionados pueden ser abarcados por la patología desde diferentes puntos de vista, según la necesidad de cada caso. Para este proyecto resulta pertinente abordar las edificaciones con una perspectiva fundamentada en la patología curativa, ya que esta tiene como fin identificar lesiones, sus causas y realizar las recomendaciones de intervención.

La patología curativa puede ser implementada en dos casos: cuando se evidencian patologías por fenómenos de ocurrencia súbita o por fenómenos de evolución lenta y progresiva. Para el análisis de las edificaciones en el barrio El Poblado se daría la segunda condición. En este se requiere determinar las características de la edificación, así como de los fenómenos patológicos presentados, siendo necesario una inspección preliminar de carácter general que permitirá: identificar las zonas afectadas, identificar el

tipo de las lesiones, realizar un acopio de la información y determinar un proceso de diagnóstico.

Como mínimo debe ser inspeccionado el suelo, la estructura y los cerramientos. En cada uno se verificarán y evaluarán las siguientes características:

Suelo: Revisión de presencia y dirección de agrietamientos cerca de la base de la estructura que evidencien posibles movimientos del suelo o asentamientos en la edificación. También se evaluará la presencia de hundimientos concentrados que puedan indicar aguas subterráneas.

Estructura: Esta se conforma por elementos verticales, horizontales y escaleras; elementos a los cuales se buscarán posibles fisuras, grietas. Describiendo su dirección, tamaño y zona que permitan identificar su importancia de estudio.

Cerramientos de fachada: Se debe verificar su buen funcionamiento, es decir que estén sujetos y dispuestos como lo pide la norma, ya que pueden presentar un riesgo si no están de esta manera.

El proceso de diagnóstico permite tener un orden en el estudio ya que este es complejo y demanda compromiso. Este debe tener un sistema de recorrido definido y para que este sea eficiente y completo es necesario una secuencia, un nivel de detalle y un orden en la toma de datos. Los recorridos pueden realizarse de la siguiente manera y deberá ser especificado el recorrido realizado; en espiral recorriendo de lo más externo a lo interno, por franjas recorriendo el lugar transversalmente, por cuadrículas o subdivisiones del lugar o radial (Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, s/f).

Un buen proceso de diagnóstico deberá contar con los siguientes pasos: levantamiento patológico, medición de lesiones, nivelación, registro fotográfico, registro de fichas, pruebas, ensayos y equipos de inspección de suelos y cimentaciones; sin embargo, para el caso de estudio al realizar una inspección general los últimos dos pasos no se realizarán.

El levantamiento patológico consiste en realizar un registro gráfico del estado de la edificación, este se realiza sobre planos (corte, fachada, planta) y de no contar con esta información sobre un levantamiento arquitectónico. Algunos equipos requeridos en esta etapa serán: lienza, metro, papel cuadriculado, nivel de burbuja, plomada y linterna.

La medición de lesiones permite conocer la evolución de estas y así lograr determinar el mejor procedimiento para la rehabilitación, sin embargo, para el caso en estudio solo se hará una medición que permitirá definir la magnitud de la patología. De presentarse fisuras y/o grietas se deben tomar sus longitudes, ancho, profundidad y localización. Mientras que, al encontrar superficies con desprendimientos, humedades o meteorización será necesario tomar las medidas del área afectada. Es recomendable verificar la verticalidad de los muros, pues es una irregularidad que el ojo humano no alcanza a percibir.

La nivelación es una característica que posiblemente a simple vista no pueda identificarse, pero es fundamental para determinar si existen deflexiones en las losas, hundimientos o elevaciones del suelo. El registro en planos de este fenómeno se realizará con circunferencias con un signo positivo o negativo indicando embombamiento o hundimiento respectivamente. En esta etapa serán de gran ayuda una regla y un nivel de burbuja.

El registro fotográfico permitirá tener pruebas de las anotaciones realizadas, este deberá contar con imágenes que pasen de lo general a lo particular y de ser necesario podrán agruparse en un informe con el siguiente contenido: nombre de la obra, localización, dirección, fecha de registro, número de hojas, número de cada fotografía, número del espacio al que pertenece y punto de toma.

Para el estudio realizado en este trabajo será de gran ayuda contar con una ficha general de lesiones, esta permite consignar la información que ayudará a determinar el estado de la estructura y las zonas con afectaciones que deban ser reparadas. Como mínimo esta deberá incluir lo siguiente, como es mencionado por la Universidad Nacional de Medellín:

- *Identificación general de la obra. Se registrará el nombre de la obra, del propietario, ubicación, uso, etc.*
- *Identificación específica del elemento afectado. Nombre del elemento afectado, documentación existente de este, etc.*
- *Tipo de lesiones encontradas. Hace referencia a un listado general de las posibles lesiones a encontrar.*
- *Clasificación de la posible causa. Si es directa o indirecta y a que grupo pertenece.*
- *Características generales del fenómeno. Fecha de aparición, periodicidad, etc.*
- *Condiciones especiales. Hace referencia a modificaciones realizadas a la obra o intervenciones constructivas identificables.*
- *Descripción del elemento. Se relacionará información como localización de la lesión, orientación del elemento, nivel de exposición, nivel de contaminación, función, apoyos, armadura y dimensiones.*
- *Espacios para gráficos y/o fotografías.*

(Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, s/f)

Hasta este punto se especifica el procedimiento para la inspección visual; las pruebas y ensayos se realizarán únicamente de ser necesario más información sobre el estado de la edificación y deberán desarrollarse de acuerdo con lo mencionado en el Módulo 1: Introducción a la Patología de la Construcción de la especialización en patología de la edificación y técnicas de intervención y prevención por la Universidad Nacional de Colombia.

1.3.2.1.2 Estado de los elementos no estructurales

Es solo a partir de la NSR-98 que comienzan a regularse los diseños de los elementos no estructurales. Los anterior, implica una actualización de estos elementos a la hora de rehabilitar la edificación; estos deben ser diseñados de acuerdo con lo mencionado en el

Título A.1.3.6 de la NSR-10, que permite evitar la caída de elementos como muros o fachadas de niveles superiores o respuestas como el de la columna corta. Aunque estos sean los de mayor importancia ante un sismo, no puede olvidarse que también están: Las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, de gas, fachadas, muros no estructurales, cielos rasos, ventanas, puertas y otros que deben contar con el requerido anclaje.

Las fachadas de las edificaciones están en constante exposición al medio ambiente lo que hace necesario su reparación y mantenimiento cada cierta cantidad de tiempo. Las fachadas de ladrillos en edificaciones de más de 20 años tienden a estar deterioradas, tanto los ladrillos como las juntas de mortero llevando incluso al desprendimiento de los materiales; una rehabilitación de este elemento puede hacerse pieza a pieza, sin embargo, este representa un alto costo por lo que otras soluciones son revestimientos impermeables o aislamientos externos (Acuatroarquitectos, 2012). A pesar del mantenimiento que deben tener las fachadas con este material, este se ha implementado por sus positivas especificaciones como su bajo costo, resistencia mecánica, aislamiento acústico, confort higr-térmico y resistencia al fuego; entre las patologías que deben ser corregidas se encuentran: humedades, manchas, lama y hongos y fisuras y grietas (*Problemas patológicos presentados en fachadas de ladrillo a la vista tipo catalán en la ciudad de Medellín, s/f*).

Por otro lado, se conoce que las instalaciones hidráulicas anteriores a 1970 se realizaban en cobre galvanizado y previamente en barro o cemento para las aguas negras; sistemas que generaban sedimentación y corrosión. Por lo que desde 1967 se comenzaron a instalar redes en PVC por Pavco las cuales cuentan con una alta durabilidad logrando una vida útil de hasta 50 años ya que: son resistentes a la mayoría de los ácidos, álcalis, soluciones salinas y productos químicos, como también son inmunes a gases y líquidos corrosivos de los sistemas de desagüe (W. López, Pavco, comunicación personal, 9 abril, 2019).

Mientras que de las instalaciones eléctricas se podría estar hablando de duraciones del sistema en la edificación de unos 20 años; a lo que se le suma que luego de esta edad podría estar incurriéndose en peligros y amenazas de tener la misma red. Además,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 41 no compromete a la EIA.

renovar el mismo permite disminuir el riesgo, costos de mantenimiento y al mismo tiempo el consumo de energía eléctrica (Energy Management, 2015).

1.3.2.2 Rehabilitación estructural

En Colombia tradicionalmente se han implementado estrategias como el reforzamiento de elementos estructurales existentes y/o adición de elementos estructurales nuevos, donde el primero puede resultar insuficiente y el segundo en reducción de espacio. Por esta razón, en el mundo se ha optado por estrategias complementarias a las anteriores como la reducción del peso que permite que “la energía de vibración impuesta por el sismo disminuya”, como es mencionado por Oviedo. Otra estrategia es la reducción de energía sobre la estructura, donde se introducen elementos o sistemas que absorben y disipan la energía de vibración impuesta por el terremoto localizando los daños estructurales en estos (Oviedo, 2018).

La elección de los métodos debe realizarse dependiendo de las cargas que no pueden ser resistidas por la estructura existente, el estado y tipo de daños presentes en la estructura. Y al implementarse cualquiera de ellos debe evaluarse la estructura como se mencionó en la sección anterior, teniendo en cuenta que cuando se realiza por voluntad y no normatividad una actualización a la norma debe analizarse el costo beneficio de los diferentes desempeños ya que este va a ser un papel fundamental para el diseño (Lizundia, Holmes, Cobeen, Malley, & Lew, 2006).

1.3.2.2.1 Rehabilitación según FEMA-547-2006

Al seleccionar los métodos a implementar podría pensarse que la parte técnica guía esta decisión, sin embargo, esta se elige teniendo en cuenta parámetros dictados tanto por el usuario como el constructor; el costo, el desempeño sísmico, ocupación de la edificación, vida útil esperada, estética.

- Los costos de una intervención no solo dependen del método seleccionado sino también del costo que implica ubicar a los usuarios del mismo durante la construcción o del valor de los contenidos de la edificación, pues pueden representar gran parte de los costos.
- La ocupación de la edificación juega un papel de gran importancia, pues ésta controla el diseño de la actualización. Anteriormente se han realizado estas actividades en edificaciones ocupadas, donde no se han presentado problemas, mientras se asegure un buen diseño de los procesos constructivos.
- La vida útil y estética aunque no siempre jueguen un papel fundamental en la selección del método deben ser analizadas cuando un espacio no puede cambiar de funcionalidad, como sería el caso de un parqueadero, donde construir nuevos elementos impediría el paso. Por lo que el diseño también debe pensar el uso de la edificación a largo plazo y la aceptación del cambio de los espacios por los usuarios, que normalmente son admitidos ya que reducen costos.

Consideraciones Técnicas

Para comenzar a elaborar un diseño se propone que el punto de partida sea conocer las deficiencias a partir de una evaluación previamente realizada. De acuerdo con éstas, existen potenciales soluciones para repotenciar como puede verse en el Anexo 1 donde se enuncian las posibles fallas estructurales que puede padecer una edificación en pórticos de concreto reforzado. Algunas de las deficiencias que allí se encuentran son: pórticos débiles, baja rigidez, pisos débiles, retroceso en esquinas o irregularidad

torsional, refiriéndose a las irregularidades en planta y en altura - las cuales pueden conocerse una vez calificado cualitativamente la estructura.

Determinadas las deficiencias, debe seleccionarse la solución que más defectos corrija. Es imperativo no olvidar la revisión de la transmisión de cargas, pues esta es una cuestión que debe ser analizada mediante una metodología diferente.

De esta manera, la solución deberá contar con las siguientes consideraciones: Una completa transmisión de cargas, suficiente resistencia y rigidez para cumplir con el estándar de diseño, y un buen sistema de cimentación que garantice firmeza, se adecúe y proteja el sistema resistente a cargas gravitacionales y laterales.

Otras consideraciones

A la hora de intervenir una edificación deben estudiarse otros factores como es el espacio para construir que puede llegar a hacer inviable el proyecto, por lo que debe plantearse un esquema de trabajo pues de ser necesario eliminar elementos se requiere contar con el equipo para realizar los procedimientos sin incurrir en riesgos; además, es recomendable contar con información de materiales, ya que antes de realizar ensayos destructivos deben ser estudiados porque pueden ser nocivos y costosos; de igual manera, este esquema de trabajo debe garantizar la menor intervención en las redes eléctricas e hidráulicas por si la edificación se encuentra habitada. Estas intervenciones pueden volverse muy vulnerables durante la construcción por lo que el ingeniero debe estar en capacidad de reconocer las debilidades formadas tanto ante cargas gravitacionales como laterales que pueden presentarse durante el proceso. Esto con anterioridad al inicio de las actividades de construcción y deberá ser especificado en los diseños y en el contrato. Lo anterior, pues las márgenes de error son muy estrechas, exigiendo múltiples revisiones.

Métodos

En el momento de realizar el diseño se cuentan con tres formas tradicionales: adicionar elementos, reforzar y mejorar el desempeño de elementos existentes y mejorar las conexiones con el fin de garantizar que la distribución de las cargas permita la estabilidad

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 44 no compromete a la EIA.

diseñada desde un comienzo. Otros métodos implican la demolición de niveles superiores, adición de elementos amortiguadores o eliminación de elementos débiles o que causan irregularidades en la edificación. A continuación, se describen las metodologías.

- Adición de elementos

Esta metodología tiene como fin mitigar las deficiencias en la resistencia y rigidez global, así como mejorar la configuración del mismo y, consigo, la distribución de las cargas. Al implementarlo es de gran importancia que se garanticen buenas conexiones que permitan una adecuada distribución y principalmente, debe verificarse que los elementos existentes puedan recibir estas nuevas cargas y distribuirlas. Adicionalmente, en caso de añadirse elementos resistentes a fuerzas laterales como muros estructurales, pórticos resistentes a momento o pórticos arriostrados, deben considerarse las siguientes preguntas:

¿Será compatible la deformación con el sistema de resistencia ante fuerzas laterales o gravitacionales existente? ¿El nuevo sistema aliviará suficientemente la estructura de carga existente o la deformación en todos los niveles? ¿El nuevo sistema agregará masa significativamente a la estructura? ¿Invalidará esta masa la evaluación previa? ¿Se necesitarán nuevas y extensas fundaciones para el nuevo sistema?

- Reforzamiento de elementos existentes

El propósito de este método es aumentar la resistencia a cortante y a momento de un elemento existente o brindarle la posibilidad al mismo de presentar mayores deformaciones, sin que pierda su capacidad. Este método también es comúnmente usado para mitigar los detalles inadecuados en los elementos. Lo anterior, sin olvidar que debe existir una secuencia de falla: vigas antes que columnas, riostras antes que conexiones y fallas por flexión antes que fallas por cortes en muros y columnas. Esto puede realizarse envolviendo columnas de concreto en acero o materiales que le brinden mayor

confinamiento para soportar las fuerzas a cortante, materiales nuevos se han comenzado a usar también como son los compuestos de fibra de vidrio o carbono y epoxi.

- Mejoramiento de conexiones

Este método está diseñado específicamente para el mejoramiento de la transmisión de cargas, en algunos casos conexiones entre columnas y vigas que no son un camino principal deben ser arreglados para garantizar la estabilidad de la edificación ante cargas en un sismo.

- Reducción en la demanda

Eliminar pisos superiores es una solución económica y práctica cuando se cuenta con una edificación que presenta baja resistencia ante cargas laterales, que además cuenta con espacio suficiente para construir adecuaciones complementarias. Al realizar este procedimiento no se veía la necesidad de reforzar los pisos inferiores, sin embargo, es una opción donde la ocupación de la edificación limita los trabajos a realizar.

Otra solución para la reducción de la demanda, pero de mayor costo, es la implementación de aisladores sísmicos.

- Eliminación de elementos existentes

La capacidad de deformación se puede mejorar localmente al desacoplar o eliminar completamente elementos frágiles de la estructura. Se puede lograr generando ranuras entre las vigas altas y las columnas, evitando que la columna sea una "columna corta" propensa a fallas de corte.

1.3.2.2 Especificaciones técnicas de las metodologías de rehabilitación

Al analizar una muestra de edificaciones construidas antes de la NSR-98, se evidenció que las deficiencias más comunes en estas pueden ser: pórtico débil, irregularidades en altura, como en planta, baja rigidez y poca resistencia ante fuerzas laterales. Entre las metodologías recomendadas por el FEMA-547-2006, para reducir o eliminar estas deficiencias se encuentra la adición de muros de concreto o de mampostería, el arriostramiento con acero, adición de pórticos en concreto o acero y el refuerzo de elementos por medio de fibra de carbono; metodologías que son descritas a continuación:

⇒ **Arriostramiento con acero**

Esta metodología de rehabilitación es implementada cuando una edificación no tiene la rigidez o capacidad a cortante necesaria, no es tan invasiva como repotenciar con muros de concreto reforzado y permite un trabajo más limpio.

Las riostras de acero pueden ubicarse, sin aumentar en gran parte el peso de la estructura, de diferentes maneras concéntricamente con el pórtico como puede verse en la Ilustración 6, formas que deben definirse de acuerdo con las necesidades de la edificación, la resistencia y rigidez de los elementos y el diseño de la edificación. Estos elementos pueden ser ubicados tanto en el exterior como en el interior de la edificación; localizarlos en el exterior facilita la construcción, pero el diseño de la fachada existente puede verse afectada, al igual que ubicarlos en el interior ya que obliga a un alojamiento de la edificación para hacer los trabajos y puede llegar a cambiar el diseño arquitectónico y la funcionalidad de los espacios.

Debido a la dificultad en transferir una fuerza axial concentrada de las columnas o vigas a los nuevos elementos, al implementar esta estrategia es recomendable adicionar también vigas y columnas; las primeras permiten la conexión de las riostras y la transmisión de cargas de cada piso al pórtico existente y las segundas se ubican continuas desde la zapata hasta el último nivel evitando la transferencia de cargas de los elementos de acero al concreto de cada piso (Lizundia et al., 2006).

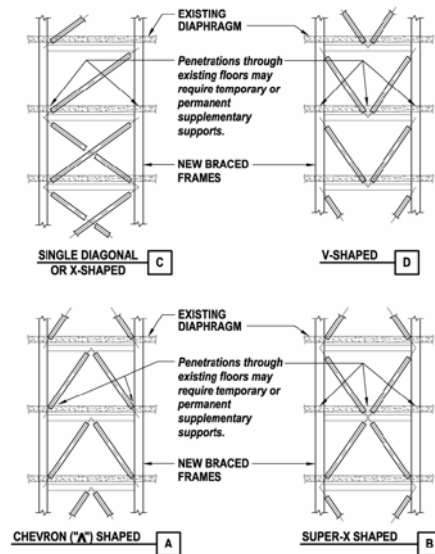


Figure 12.4.1-1: Typical Braced Frame Configurations

Ilustración 6. Tipo de configuración de riostras de acero. Tomada de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).

⇒ Adición de muros en concreto o mampostería

Con el mismo fin de las riostras, añadir muros de concreto vaciado en sitio o de mampostería permiten mejorar la rigidez y capacidad a cortante global de una edificación, deben mantenerse siempre las deformaciones de los elementos existentes dentro del rango aceptado. Además, similar al método anterior los nuevos elementos pueden ser ubicados en el exterior o interior de la edificación, prevaleciendo la implementación exterior en cuanto evita invadir en gran medida la edificación actual; estos no solo pueden disponerse en el exterior de la edificación sino también en el exterior de la cara de los pórticos, uniéndose con nuevos elementos como vigas o nervios, siendo esta una solución cuando además se adicionarán áreas nuevas.

El diseño de la intervención depende en gran parte de la resistencia que presentan los pórticos existentes, pues estos limitan las opciones de ubicación que pueden ser: dentro de los pórticos existentes, muros continuos al lado de los pórticos o muros independientes de los pórticos unidos por nuevos conectores a este. A pesar de ser

una buena opción para darle rigidez al sistema, en ocasiones es necesario el mejoramiento de la capacidad de deformación de los pórticos (vigas y columnas). Debe buscarse que las juntas y nudos queden de tal manera que no haya separaciones o espacios que impidan la transferencia de cargas a cortante; la conexión siendo delicada debe tener una construcción y diseño adecuado que tenga en cuenta una buena cantidad de dovelas, con longitudes suficientes para transferir las cargas y superficies que permiten la adherencia del concreto nuevo. Estas conexiones pueden verse a continuación:

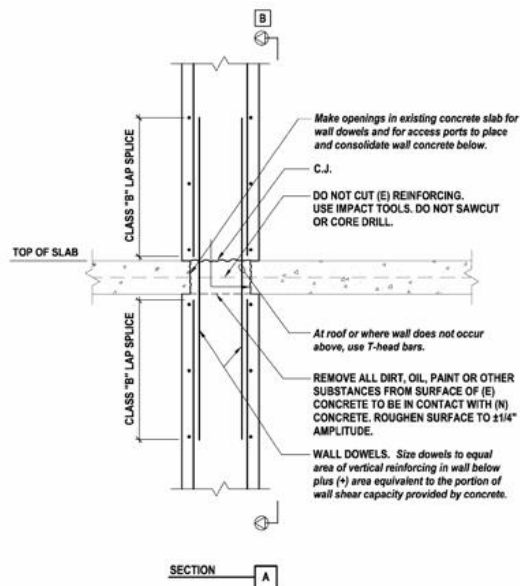


Figure 12.4.2-1A: Concrete Wall Connection to Concrete Slab

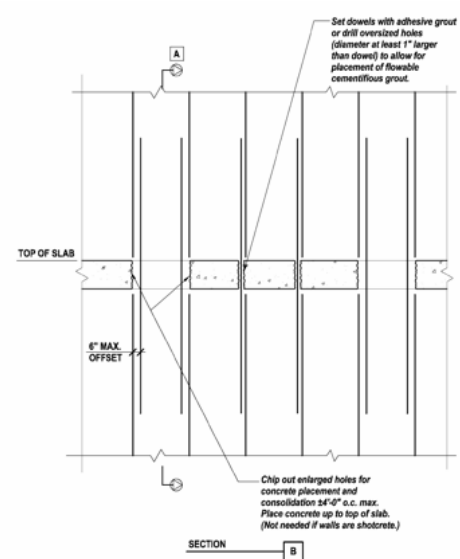


Figure 12.4.2-1B: Concrete Wall Connection to Concrete Slab - Partial Elevation View

Ilustración 7. Conexión para continuidad de muros. Tomada de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).

Estos muros también pueden hacerse con hormigón proyectado, el FEMA-547-2006 menciona que estos pueden ser de menor costo que los muros vaciados o de mampostería, pero en Colombia es comúnmente implementado el vaciado en sitio con formaletas, por lo que podría ser una solución menos costosa; por otro lado, la mampostería, aunque pueda ser implementada no cuenta con la misma resistencia del concreto reforzado.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 49

⇒ **Modificación de secciones de pórticos en concreto**

Es una alternativa que permite mejorar la rigidez como la capacidad global a cortante, al igual que permite corregir situaciones como columna débil/viga fuerte y bajo confinamiento. Esta propone aumentar el tamaño de vigas y columnas con nuevo concreto estructural vaciado en sitio, considerando en todo caso que las vigas fallen antes que las columnas y que los nudos no sean frágiles. Entre las consideraciones que deben hacerse está que a mayor rigidez mayor carga se atrae y que al modelar la intervención tanto el nuevo como viejo sistema aportan. A pesar de ser una alternativa que corrige múltiples deficiencias, es muy invasiva por los trabajos de preparación de superficie, los anclajes requeridos, el vaciado de material y el proceso necesario para que este alcance sus propiedades mecánicas (Lizundia et al., 2006).

⇒ **Refuerzo de elementos con fibra de carbono**

Este tipo de refuerzo ha demostrado ser muy eficiente al rehabilitar edificaciones como puentes, mejorando la capacidad a cortante y las deficiencias generadas tanto por diseño de traslapo inadecuado como falta de confinamiento del concreto. Garantizar el confinamiento necesario permite mejorar la resistencia a flexión, la rigidez de una columna y funciona como amarre de los empalmes por traslapo del refuerzo longitudinal las columnas. Sin embargo, debe tener en cuenta que es una opción que no puede ser usada cuando se evidencia la presencia de viga fuerte columna débil al no conocer la compatibilidad de las deformaciones de los diferentes materiales y sabiendo que puede impedir las deformaciones verticales.

La fibra de carbono como material puede llegar a tener un alto precio a lo que debe sumarse el nivel de especialización de la mano de obra para poder desarrollar estas actividades garantizando calidad. A pesar de lo anterior, puede ser una opción buena de no contar con suficiente espacio de trabajo y/o desear no afectar la edificación existente.

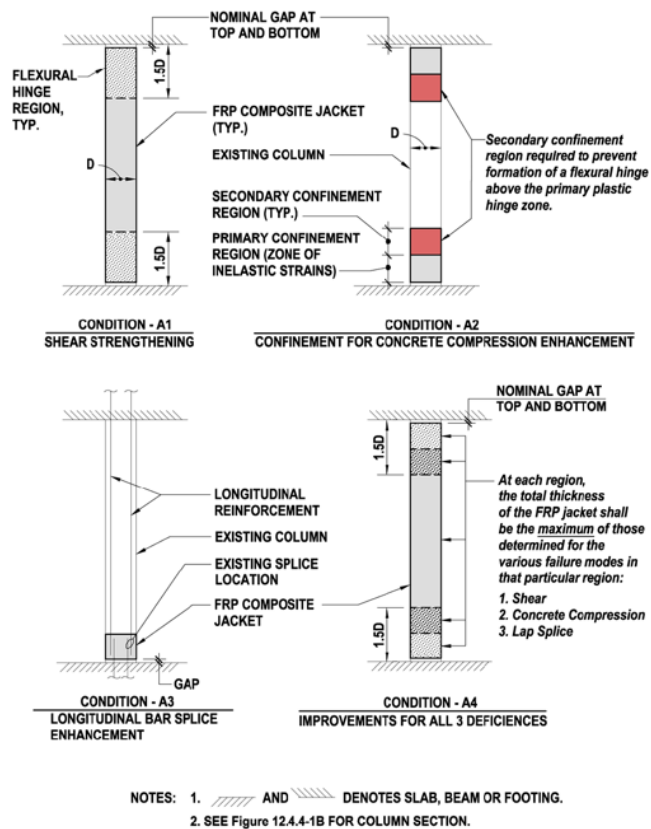


Figure 12.4.4-1A: Seismic Retrofit of Columns Using FRP Composites

Ilustración 8. Ubicación en columnas del compuesto de fibra de carbono. Tomado de Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings (2006).

1.3.2.3 Marco normativo

A pesar que desde 1976 exista la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y que desde un comienzo se preocuparon por el desarrollo de un reglamento nacional de diseño y construcción sismo resistente (AIS, s/f), fue a partir de los temblores ocurridos en Popayán, Cúcuta y el eje cafetero que causaron tragedias, que se crea el Código de construcciones Sismo Resistentes en 1984, el cual posteriormente es sustituido por los Reglamentos de Construcción Sismo Resistente en 1998 y luego por el de 2010 (NSR-10).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 51 no compromete a la EIA.

La Ley 400 de 1997 es aquella que rige de forma obligatoria los criterios de sismo resistencia en el país, la NSR-10 es uno de los componentes que permiten el cumplimiento de la ley, donde se especifica lo jurídicamente obligatorio. Por otro lado, están las normas técnicas de materiales, las cuales sustentan la NSR y describen su evaluación y fabricación. Por último, se tienen las especificaciones de los planos, donde se aclara la forma de construcción, los cumplimientos durante la misma y qué puede y no realizarse (García, 2015). Estos factores han de tenerse en cuenta para el proyecto en estudio por su importancia en el diseño estructural, pues son ellos los que permiten la conformación de una edificación menos vulnerable ante la amenaza presente en la zona.

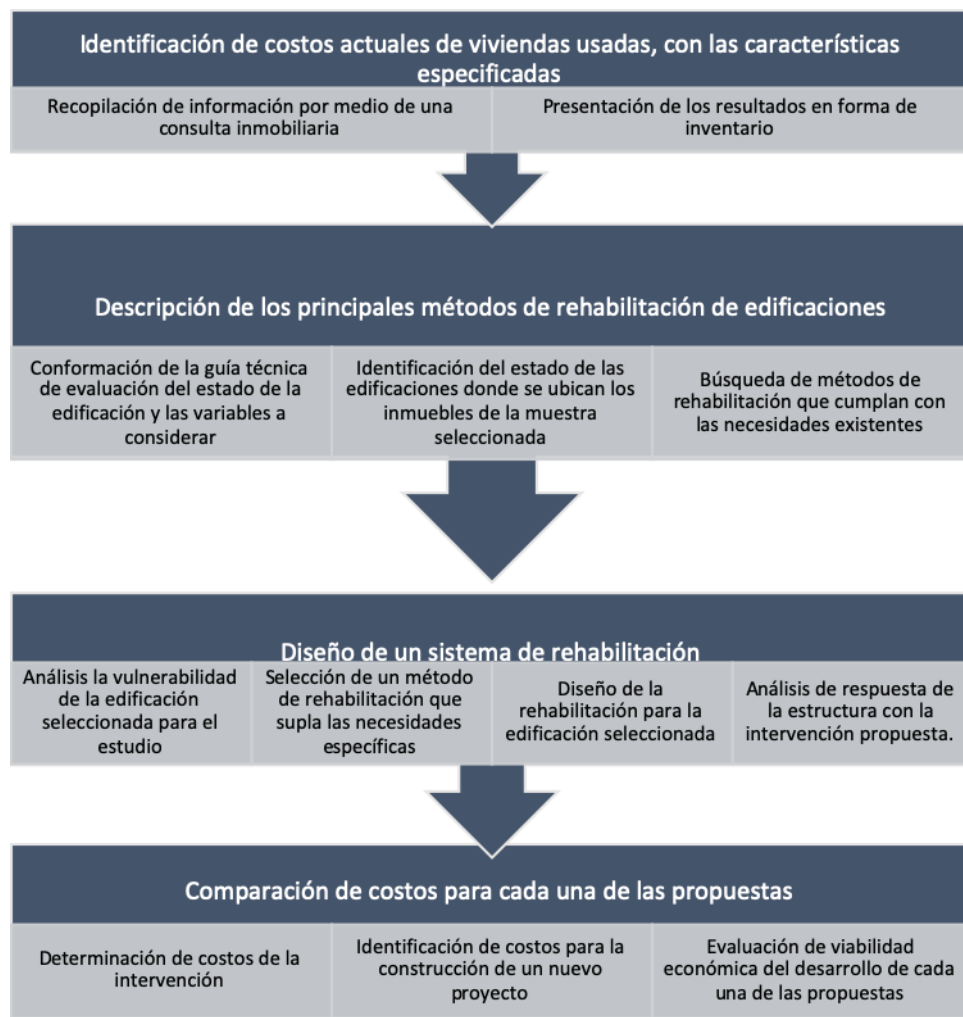
La NSR-10 especifica los factores que deben ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar la vulnerabilidad de una estructura existente, sin embargo, se permite el uso de metodologías alternas como los siguientes documentos, siempre y cuando cumplan los requisitos últimos para el diseño de rehabilitación (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010):

- “Seismic Rehabilitation of Existing Buildings” ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2006.
- “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, American Society of Civil Engineers for Federal Emergency Management Agency, FEMA356, Whashington, D.C., USA, 2000.
- “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, ATC-40, Vol 1, Appendices, Vol 2, Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA, 1996.

2 METODOLOGÍA

2.1 PLANTEAMIENTO

Con el fin de lograr el objetivo del presente trabajo, se define una secuencia de actividades para cada uno de los objetivos específicos, observados en la Ilustración 9 y se explica más adelante como fueron realizadas.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 53 no compromete a la EIA.

2.1.1 Identificación de costos actuales de viviendas usadas, con las características especificadas

Este objetivo tiene como fin conocer los costos de los apartamentos en los cuales se realizaron las evaluaciones, ya que estos afectan el costo final de la rehabilitación y, además, permite conocer las mejoras económicas que traería consigo la rehabilitación. Para alcanzar el objetivo se realizaron las siguientes actividades:

2.1.1.1 Recopilación de información por medio de una consulta inmobiliaria

Se realizó una búsqueda en sitios web, revistas y periódicos donde empresas dedicadas al área inmobiliaria, como lo son La Lonja Propiedad Raíz, Fincaraíz y Metro Cuadrado publiquen la oferta. En primer lugar, se seleccionó la muestra a estudiar, verificando que cumpliera con las características especificadas en el objetivo, por medio de salidas de campo; en segundo lugar, se reunió información sobre los siguientes factores para la muestra seleccionada:

- **Costo por metro cuadrado:** los costos se recopilan por metro cuadrado con el fin que puedan ser comparados en actividades posteriores.
- **Deterioro del valor comercial:** este brinda una idea sobre la diferencia del valor actual respecto al de uno en condiciones nuevas, permitiendo conocer si luego de la intervención podrá, económicamente, considerarse como nuevo. Los costos se determinan de igual manera por metro cuadrado.

2.1.1.2 Presentación de resultados en forma de inventario

Se presentó la información recopilada para la muestra seleccionada en forma de inventario, de forma que se facilitara la lectura de datos para las demás actividades que lo necesiten. Esta actividad se desarrolló en hojas de cálculo de Excel.

2.1.2 Identificación de los principales métodos de rehabilitación

Teniendo en cuenta que existen diferentes métodos para la rehabilitación, se partió del tipo de daños y el estado de la estructura para encontrar información útil y específica para el caso en estudio. Para lograr el objetivo se realizaron las siguientes actividades:

2.1.2.1 Selección de la guía técnica de evaluación del estado de la edificación y las variables a considerar

Actualmente existen guías técnicas de evaluación del estado de las edificaciones, como la presentada por el gobierno vasco, la alcaldía de Bogotá, el centro de gestión del riesgo de Manizales o el FEMA-547-2006. Estos califican cualitativamente el daño de variables como la estructura, fachada, elementos arquitectónicos y demás. Se determinaron las variables con mayor importancia para este proyecto y a partir de diferentes guías técnicas se construyó una propia, para lo cual se requirió leer sobre las variables y entender el tema.

2.1.2.2 Identificación del estado de las edificaciones donde se ubican los inmuebles de la muestra seleccionada

A partir de la guía y las variables a evaluar seleccionadas, en hojas de cálculo de Excel se ingresaron los resultados de la evaluación para cada inmueble de la muestra en estudio; dichas evaluaciones se realizaron en diferentes salidas de campo.

Se seleccionó de la base de datos uno de los inmuebles para realizarle un estudio más profundo y que sirva como edificio representativo para cumplir el objetivo de este trabajo de grado. A partir de la información analizada se buscó en bases de datos, libros y sitios web las metodologías que fueran de acuerdo con las necesidades encontradas. Los métodos se estudiaron y fueron entendidos, de manera que se conocieran las diferencias entre ellos, sus beneficios y dificultades.

2.1.3 Diseño del sistema de rehabilitación

Se realizaron las siguientes actividades:

2.1.3.1 Análisis de vulnerabilidad de la edificación seleccionada para el estudio

Las etapas descritas por el capítulo A.10 de la NSR-10 se siguieron para encontrar la vulnerabilidad, como paso intermedio fue necesario modelar la estructura en el programa SAP 2000 de acuerdo con los planos de diseño.

2.1.3.2 Selección de un método de rehabilitación que supla las necesidades específicas

Partiendo de la vulnerabilidad y el estado de la edificación, se seleccionó el método que permitía corregir las necesidades de la estructura teniendo en cuenta, además, factores económicos y técnicos, y que este fuera permitido según lo especificado en la sección A.10.9 de la NSR-10.

2.1.3.3 Diseño de la rehabilitación para la edificación seleccionada

El diseño se realizó implementando el método con mejores propiedades para la estructura; los elementos implementados fueron diseñados (sección y refuerzo) y se mostraron los resultados, teniendo en cuenta que estos debían cumplir con la Norma actual de diseño sismorresistente.

2.1.3.4 Análisis de respuesta de la estructura con la intervención propuesta

Se evaluó que la intervención cumpliera con los requisitos mencionados en la NSR-10 y para esto deben seguirse los mismos pasos que en el numeral 2.1.3.1, donde el modelo debe ser modificado con la propuesta de diseño. En un primer análisis se evidenció que la propuesta no era suficiente por lo que se debió hacer un proceso iterativo hasta alcanzar lo requerido.

2.1.4 Comparación de costos para cada una de las propuestas

Se realizaron las siguientes actividades para alcanzar tanto el objetivo en estudio como el general de la investigación:

2.1.4.1 Determinación de costos de la intervención

El costo total de ejecutar el proyecto, rehabilitándolo, está compuesto por diferentes ítems, como son: la evaluación, la mano de obra, los materiales y los permisos necesarios. Se realizó en hojas de cálculo de Excel un presupuesto estimado, partiendo de precios generales en Medellín y de cantidades estimadas con el programa On-Screen Takeoff.

2.1.4.2 Identificación de costos para la construcción de un nuevo proyecto

Se realizó una prefactibilidad de un nuevo proyecto, de acuerdo con valores aproximados que se conocen del mercado, dando como resultado un precio de costos y utilidades que permitan evaluar de mejor manera la alternativa. Para esto fue necesario considerar los costos de demolición y modificar los costos del terreno, las características de la edificación y principalmente los de permisos y licencias necesarios tanto para la demolición como para la construcción en el sitio, de acuerdo con lo requerido por el POT de Medellín y la Ley 99 de 1993 por la cual se regula la gestión y conservación del medio ambiente.

2.1.4.3 Evaluación de viabilidad económica del desarrollo de cada una de las propuestas

A partir de los costos e información encontrada para cada una de las propuestas, se procedió a identificar el costo beneficio de cada una, evaluando los costos de la intervención, la viabilidad técnica, los recursos disponibles y los beneficios en cuanto a seguridad sismorresistente de cada una. Para complementar, se compararon los valores de los inmuebles finalizados, analizando si la rehabilitación del mismo permite recuperar

la inversión. Por último, se da respuesta a la pregunta inicial planteada, concluyendo sobre cada alternativa y lo encontrado durante el desarrollo del trabajo.

3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 COSTOS ACTUALES DE VIVIENDA

Se cuenta con tres bases de datos:

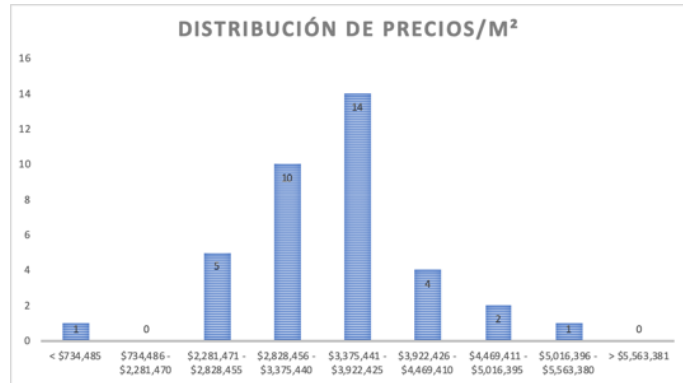
La primera es una lista de 9 apartamentos cuyos datos fueron dados por los propietarios. La segunda cuenta con información de 37 inmuebles. Esta información fue recopilada por medio de una búsqueda inmobiliaria tanto por internet como con visitas en campo. Fue de mayor apoyo la inmobiliaria Metro Cuadrado, pues permitía buscar las edificaciones que más se acercaran a las características requeridas - El Poblado parte baja y mayor a 20 años - así como fotos que permitían verificar la información. Adicionalmente se incluyeron algunos de Fincaraíz y Rescom Propiedades. En las visitas en campo se visitaron los diferentes sectores que comprende la zona: Alejandría, Castropol, Patio Bonito, Astorga, entre otros. Algunas fotos pueden apreciarse en la Ilustración 10. La tercera base de datos fue obtenida del Estudio de Competencia de Galería Inmobiliaria, donde se expone el valor de venta promedio de un metro cuadrado en un proyecto nuevo de El Poblado.



Ilustración 10. Búsqueda inmobiliaria en campo.

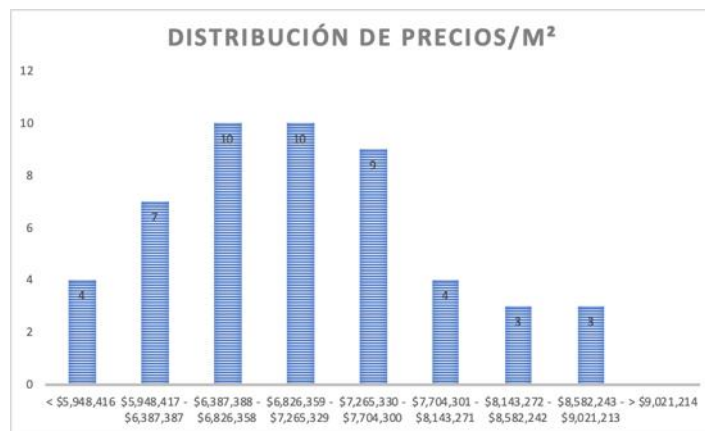
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 59 no compromete a la EIA.

La información recolectada puede ser revisada en el Anexo 2. Al analizar la segunda base de datos se encuentra que el 65% de los inmuebles tienen un precio por metro cuadrado entre \$2,828,456 y \$3,992,425 con áreas promedio de 177 m², como puede observarse en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Precio por metro cuadrado de inmuebles antiguos residenciales en El Poblado.

Principalmente, se evidencia la correspondencia con lo mencionado desde el planteamiento del trabajo, ya que estos apartamentos tienen grandes áreas y su precio por metro cuadrado es mucho menor al de apartamentos nuevos, que van de \$6,000,000 a \$7,000,000 por metro cuadrado con áreas promedio de 138 m², lo cual puede verificarse en la Gráfica 2 donde el 58% de los datos se encuentran \$6,387,388 y \$7,265,329 por metro cuadrado.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 60

Gráfica 2. Precio por metro cuadrado de inmuebles nuevos residenciales en El Poblado. Tomada de Estudio de competencia de Galería Inmobiliaria.

Además, permite verificar que la información dada por los propietarios no se aleja de la realidad ya que en promedio el precio es de \$3,456,549.83/m² con un área en promedio de 204 m², por lo que estos pueden ser tomados para el estudio económico. La información recopilada se expone a continuación:

Tabla 2. Base de datos recolectada de edificaciones a evaluar.

Unidad Residencial	Año de construcción	Niveles	Área Construida m ²	Precio/m ²
TB 2	1978	8	256	\$ 3,710,937.50
VS	1993	6	290	\$ 2,931,034.48
CV	1993	9	133	\$ 2,631,578.95
B	1988	11	317	\$ 2,996,845.43
SMO	1988	9	156	\$ 4,166,666.67
A	1995	7	235	\$ 3,957,446.81
VR	1987	8	135	\$ 3,703,703.70
BC	1989	8	140	\$ 3,571,428.57
VC	1986	5	173	\$ 3,439,306.36
Promedio			204	\$ 3,456,549.83

Se exponen a continuación resultados promedio de los datos analizados anteriormente:

Tabla 3. Resultados promedio del análisis inmobiliario realizado.

Datos	m ² Promedio	Promedio \$/m ²
En estudio	204	\$ 3,456,549.83
Antiguos Recopilados	172	\$ 3,481,188.28
Promedio Antiguos	188	\$ 3,468,869.05
Estudio de Competencia Nuevos	138	\$ 7,080,359.36
Diferencia Nuevos Vs. Antiguos	-50	\$ 3,611,490.30

3.2 DEFICIENCIAS PRINCIPALES EN EDIFICACIONES ACTUALES

Se toma una muestra de 9 inmuebles (Tabla 2): Este último, a pesar de no estar ubicado en la parte baja de El Poblado, será considerado en el estudio, pues cumple con los demás requisitos establecidos en el trabajo: Sistema estructural en pórticos, construido con el Código de 1984, de 5 a 10 niveles de altura y estar ubicado en El Poblado. Lo anterior también sucede con el edificio CV que, a pesar de tener pantallas de concreto reforzado, fue analizado por cumplir los demás parámetros y analizar la metodología implementada en la época.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 61 no compromete a la EIA.


A continuación, se ilustra la ubicación de los inmuebles de la muestra:

Nota: Las edificaciones se encuentran señaladas con una estrella de color amarillo.



Ilustración 11. Ubicación general de las 9 edificaciones seleccionadas. Tomado de Google Maps.

Con el fin de identificar las deficiencias comunes de este tipo de edificaciones y seleccionar el inmueble a evaluar, se construye una ficha para conocer el estado de la edificación, la cual permite analizar tanto cualitativamente la calidad del diseño de la estructura como el estado de conservación de esta (Ilustración 12). Esta ficha pretende simular un levantamiento patológico de las edificaciones, plantea el mismo procedimiento recomendado por la Universidad Nacional de Medellín, pero de menor alcance, pues no se contaba con todos los planos estructurales, informes de la construcción, materiales y procedimientos implementados.


Estado de conservación de la estructura
Edificaciones residenciales de 5 a 10 niveles

INFORMACIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El Poblado, Medellín, Colombia
 Dirección _____
 Nombre inmueble _____
 Año de la construcción _____
 Constructora _____
 Hay información sobre planos? SI NO
 Rehabilitaciones/Reparaciones/Remodelaciones? (Estructurales y no) SI NO
 Descripción

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

N. de niveles Niveles sobre terreno Sótanos
SUELO
 Tipo suelo (A-B-C-D-E-F)
 Tipo y características de la cimentación _____
SISTEMA DE PÓRTICOS
 Plano Espaciales (Recto/Desviado)
SISTEMA DE LOSAS
 Unidireccional Bidireccional
DIMENSIONES GENERALES DE LA EDIFICACIÓN
 Frente _____ m
 Fondo _____ m
 Altura _____ m
 Altura entrepiso _____ m
DIMENSIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

	b	h
Vigas (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Columna _{Central} (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Columna _{Esquina} (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Luces	_____ m	


 Estado de conservación de la estructura
 Edificaciones residenciales de 5 a 10 niveles

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

IRREGULARIDADES

En planta	
Torsional	_____
Retroceso esquinas	_____
Irregularidad del diafragma	_____
Desplazamiento de planos de acción	_____
Sistemas no paralelos	_____

En Altura	
Piso flexible	_____
Distribución de masa	_____
Geométrica	_____
Desplazamiento dentro de plano de acción	_____
Piso débil	_____

VULNERABILIDADES ESTRUCTURALES

Columna Corta por vigas	_____
Columnas débil - viga fuerte	_____
Continuidad trayectoria cargas	_____
Continuidad de elementos estructurales	_____
Presencia de todos los elementos diseñados	_____

CONFIGURACIONES ARQUITECTÓNICAS

Tipo y características de la unión con cubierta	_____
Columna Corta por muros	_____
Actualización de desempeño de elementos no estructurales	_____

PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Nota: Se realiza de acuerdo con la información del Anexo 1.

SUELO

Elemento afectado	_____
Tipo de lesión encontrada	_____
Clasificación posible causa	_____
Características generales	Fecha aparición _____ Periodicidad _____
Identificación en levantamiento patológico	_____
Identificación en registro fotográfica	_____

PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Nota: Se realiza de acuerdo con la información del Anexo 1.

SUELO

Elemento afectado _____
 Tipo de lesión encontrada _____
 Clasificación posible causa _____
 Características generales Fecha aparición _____ Periodicidad _____
 Identificación en levantamiento patológico _____
 Identificación en registro fotográfica _____

ESTRUCTURA

Elemento afectado _____
 Tipo de lesión encontrada _____
 Clasificación posible causa _____
 Características generales Fecha aparición _____ Periodicidad _____
 Identificación en levantamiento patológico _____
 Identificación en registro fotográfica _____

Elemento afectado _____
 Tipo de lesión encontrada _____
 Clasificación posible causa _____
 Características generales Fecha aparición _____ Periodicidad _____
 Identificación en levantamiento patológico _____
 Identificación en registro fotográfica _____

CERRAMIENTOS

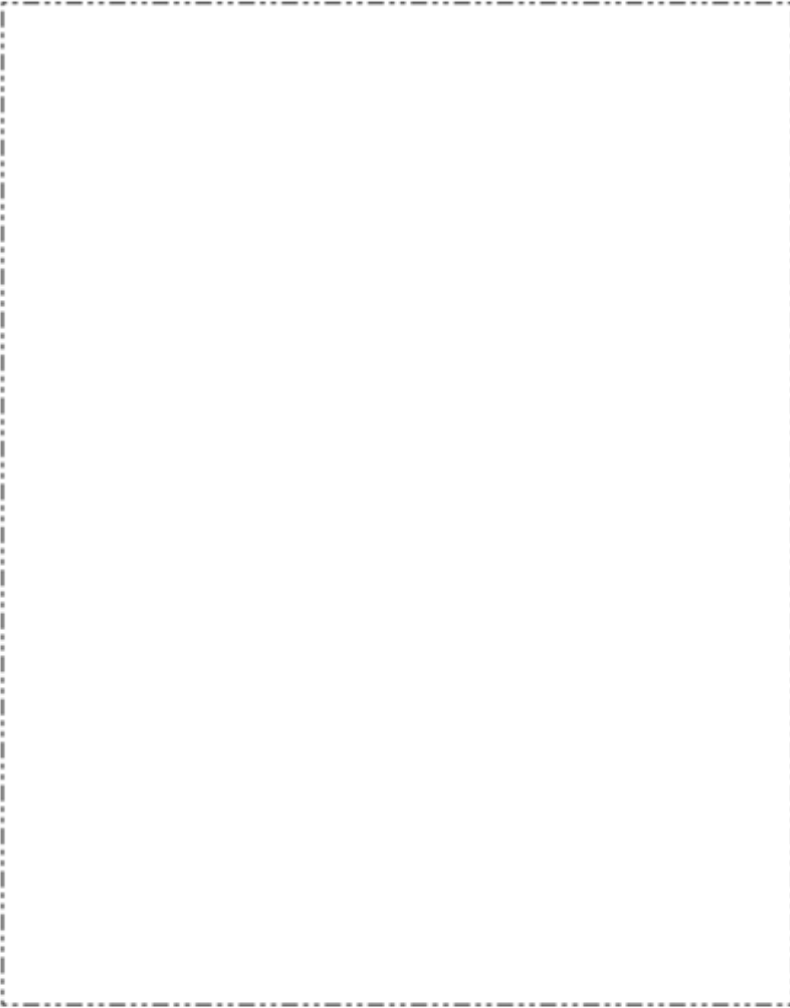
Elemento afectado _____
 Tipo de lesión encontrada _____
 Clasificación posible causa _____
 Características generales Fecha aparición _____ Periodicidad _____
 Identificación en levantamiento patológico _____
 Identificación en registro fotográfica _____

Elemento afectado _____
 Tipo de lesión encontrada _____
 Clasificación posible causa _____
 Características generales Fecha aparición _____ Periodicidad _____
 Identificación en levantamiento patológico _____
 Identificación en registro fotográfica _____

UNIVERSIDAD EIA
Escuela de Ingeniería

Estado de conservación de la estructura
Edificaciones residenciales de 5 a 10 niveles

LEVANTAMIENTO PATOLÓGICO Y REGISTRO FOTOGRÁFICA



Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Civil Universidad EIA

Ilustración 12. Ficha de estado de conservación de la estructura.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 66

Como lo pide la Norma se brindará una calificación de buena, regular o mala al estado de conservación, a la calidad del diseño y a la calidad de la construcción original, evaluando el estado arquitectónico y estructural, el cual incluirá algunos aspectos de diseño básicos al no contar con planos estructurales, bitácoras de construcción ni con la posibilidad de desarrollar ensayos que brinden más información; por lo que la calificación estará basada en: Irregularidades, deficiencias, arreglos arquitectónicos, estado de fachada, humedades, fisuras en la losa o elementos estructurales o no estructurales, patologías, cantidad de información recolectada y otros.

3.2.1 Análisis cualitativo y selección de edificación

Se evalúa cada inmueble de la muestra. Con el fin de prevenir inconvenientes con el conjunto residencial, para realizar las visitas se enviaron cartas a las administraciones solicitando permiso, las cuales se pueden encontrar en el Anexo 6. Los informes sobre cada visita pueden encontrarse en el Anexo 5, las visitas se realizaron en diferentes ocasiones, haciendo recorridos por secciones en las zonas de ingreso permitido.

Nota: En el Anexo 6 se adjuntan más imágenes de las visitas realizadas y planos de los inmuebles, de contar con ellos.

Edificio TB 2

La unidad residencial TB 2 fue diseñada en 1978, cuenta con seis torres de diferentes alturas (Ilustración 13), se encuentra ubicada en la y fue visitada el 21 de mayo de 2019. La edificación no ha sido modificada estructuralmente, solo se han realizado mantenimientos y algunos propietarios de apartamentos han decidido renovar arquitectónicamente las unidades; en uno de los casos se cortó un área de losa para ubicar unas escaleras, aunque esto no elimine elementos estructurales puede afectar la rigidez del diafragma horizontal. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones rectangulares de 60x40cm y un sistema de losa aligerada. Aunque no todos los bloques son iguales, los bloques que en el parqueadero cuentan con doble altura presentan un piso flexible (irregularidad en altura), mientras que en planta específicamente el Bloque 3

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 67 no compromete a la EIA.

que presenta una irregularidad torsional en planta pues el bloque de escaleras se encuentra por fuera del perímetro de la edificación, pero unida a la losa principal por medio de dos nervios, ver Ilustración 14. Como se mencionó desde un comienzo los muros, elementos no estructurales, en esta época no eran separados de las columnas y esto se traduce en falsas rigideces para las columnas, además se evidencian en parqueaderos columnas cortas (Ilustración 15).



Ilustración 13. Planta del conjunto residencial TB 2, especifica la distribución de los bloques.



Ilustración 14. Análisis de irregularidad en planta.

La única patología observada es el deterioro en la fachada, evidenciando desprendimientos del enchape, humedades, fisuras y descascascamientos en la pintura, como puede verse en la Ilustración 36, las cuales no representan una amenaza para la estructura pues son manifestaciones por la exposición al ambiente a las que está sometidas, la naturaleza alrededor que no permite la entrada del sol y en algunos casos falta de infraestructura (lagrimales) que corten el movimiento de las goteras de agua y estas caigan. Por otro lado, cubiertas en terrazas -elementos no estructurales- pueden verse simplemente apoyado sobre la edificación, como puede verse en la Ilustración 17, elemento que debe ser revisado para cumplir con las especificaciones de la norma actual. Durante la construcción de un edificio vecino, la estructura comenzó a presentar fisuras, que luego de una evaluación se determinó que no ponían en riesgo la estructura.

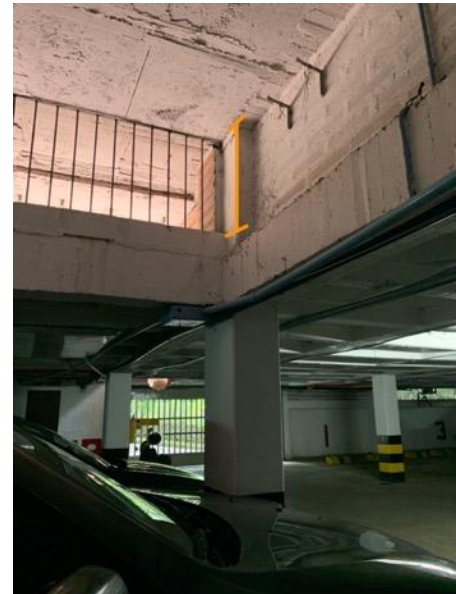


Ilustración 15. Columnas cortas en parqueaderos TB 2.

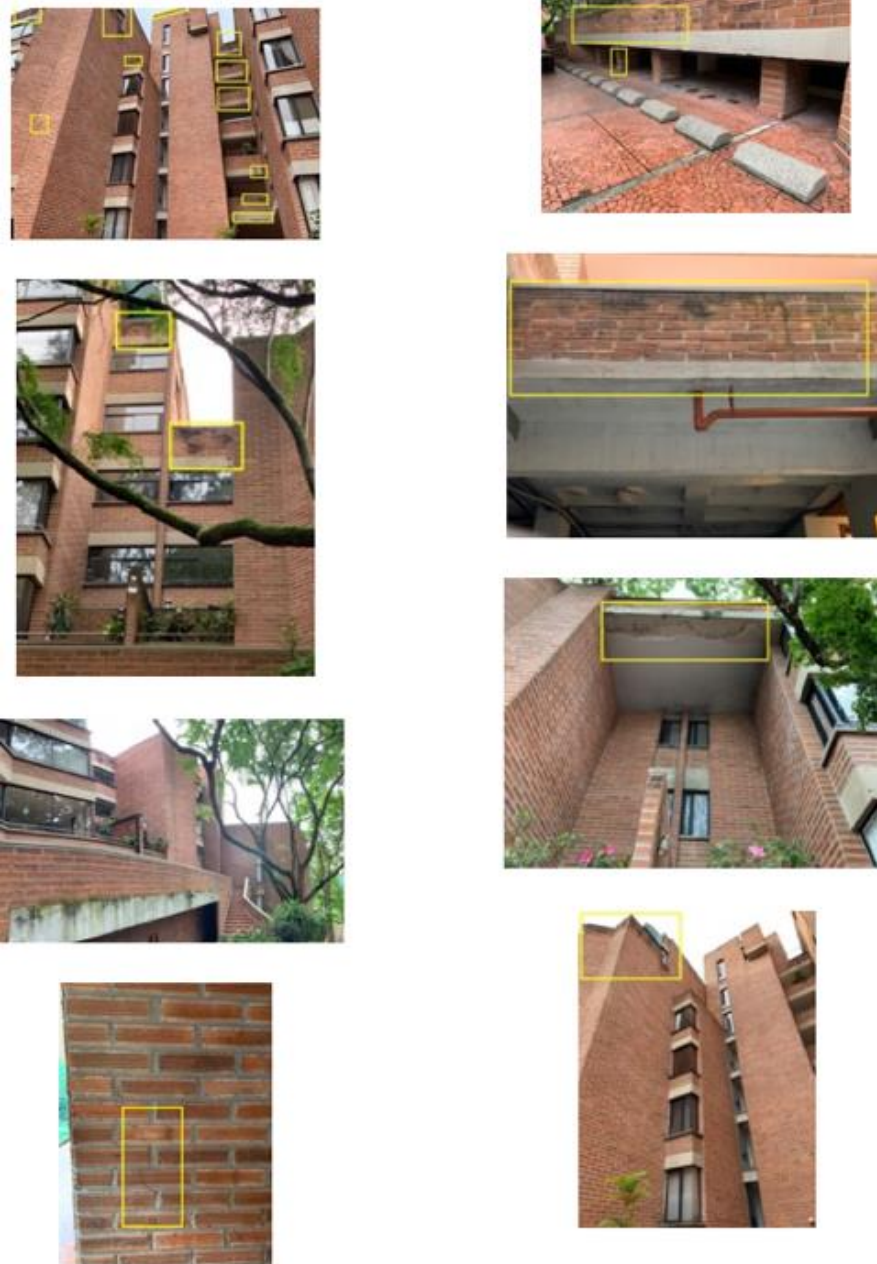


Ilustración 16. Fachada TB 2.

Nota: Las columnas que pueden verse en la imagen superior derecha son falsas columnas que no aportan al sistema estructural.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 70 no compromete a la EIA.



Ilustración 17. Apoyo de cubierta en terraza TB 2.

De acuerdo con la información recolectada y el análisis realizado, la edificación se puede clasificar en un estado **regular**, tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar esta edificación se destacan: actualizar elementos no estructurales, remodelar fachada y apartamentos. Al no contar con la bitácora o información sobre la construcción del edificio, la calificación se hace, como ya se había mencionado, de acuerdo con lo visto en campo y en planos. Esta edificación cuenta con un sistema estructural de pórticos planos que trabajan unidireccionalmente, el cual en gran parte no se encuentra diseñado para soportar fuerzas laterales como las mencionadas en la norma actual.

Edificio VS

La unidad residencial VS fue diseñada en 1993, cuenta con una torre de 7 pisos, se encuentra ubicado y fue visitado el 17 de junio de 2019. La edificación no ha sido modificada estructuralmente, solo se le han realizado mantenimientos y algunos propietarios de apartamentos han decidido renovar arquitectónicamente las unidades. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones robustas (60 cm x 40 cm), un sistema de losa aligerada con casetones de madera permanentes con mortero de base en buen estado y no presenta irregularidades, sin embargo, al no contar con juntas los muros

de mampostería podrían estar brindándole una falsa rigidez a las columnas. La única patología vista es el deterioro en la fachada en la parte superior de la edificación, donde se ven principalmente humedades en la parte superior e inferior como puede verse en la Ilustración 18, las cuales no representan una amenaza para la estructura pues son manifestaciones por la exposición al ambiente a las que está sometida.



Ilustración 18. Fachada Posterior VS.

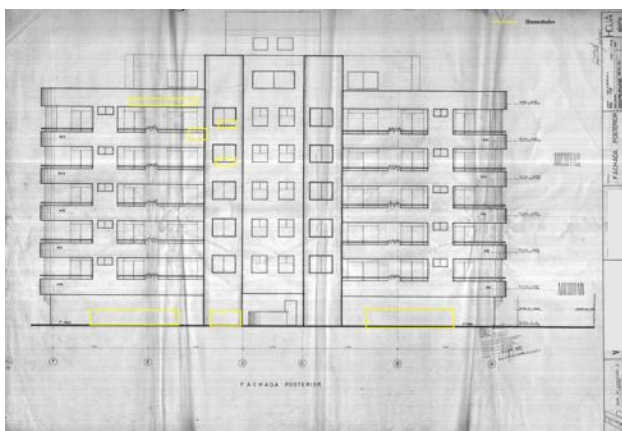


Ilustración 19. Levantamiento Patológico VS.

Al contar únicamente con planos arquitectónicos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero de la información ya expuesta el inmueble está en **buen** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar se destacan: actualizar elementos no estructurales, realizar mantenimiento a la fachada y remodelar los apartamentos.

Edificio CV

La unidad CV fue diseñada aproximadamente en 1993, está conformada por dos torres de 9 pisos, 2 de parqueadero, se encuentra ubicada en la y fue visitada el 4 de mayo de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos – espacial - con pantallas cuenta con elementos de secciones de 150 cm x15 cm a 250 cm x 15 cm, con luces de máximo 7.7 m; esto brinda mejor resistencia ante fuerzas laterales. Tiene un sistema de losa aligerada bidireccional, con casetones de madera permanentes con mortero de base (torta) en mal estado; la calificación de "mala" corresponde a la evidencia humedades y fisuras como puede verse en la Ilustración 20, sin embargo las humedades podría pensarse son causadas principalmente por redes hidrosanitarias que se encuentran en el interior y esto debe revisarse pues no puede permitirse que al paso de los años esto afecte los elementos estructurales (Ilustración 20). La edificación también cuenta con ménsulas y se evidenció que una de estas presenta una posible rotura por

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 73 no compromete a la EIA.

cortante (Ilustración 21), patología que debe ser solucionada pues resalta la falta de refuerzo transversal que esta tiene para soportar las cargas a las que está sometida. El sótano de la edificación une las torres, estas de no contar con juntas presentarían una irregularidad del diafragma, pero en altura al no contar con otras juntas presenta una irregularidad geométrica por las terrazas en el tercer nivel que generando que $a > 1.3b$. La ubicación en el sótano 2 de las patologías mencionadas puede ver en la Ilustración 22.

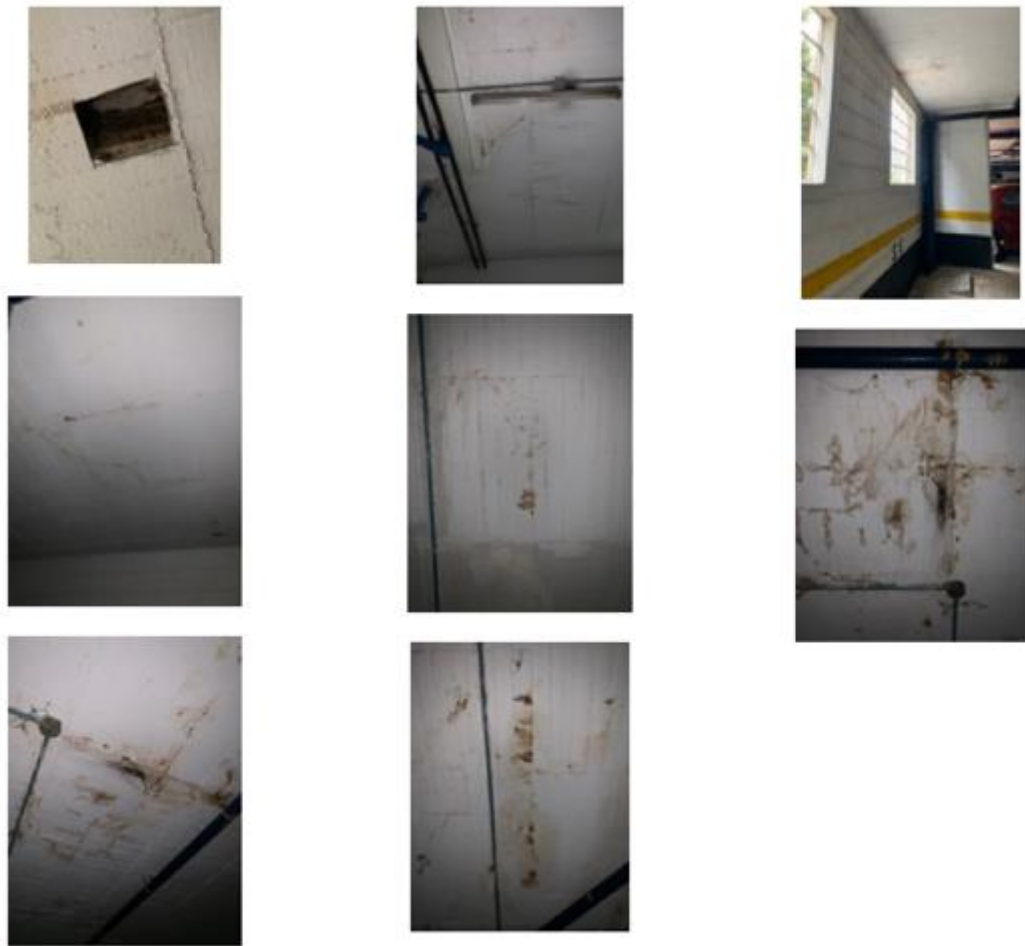


Ilustración 20. Losa parqueadero CV.



Ilustración 21. Ménsula CV.

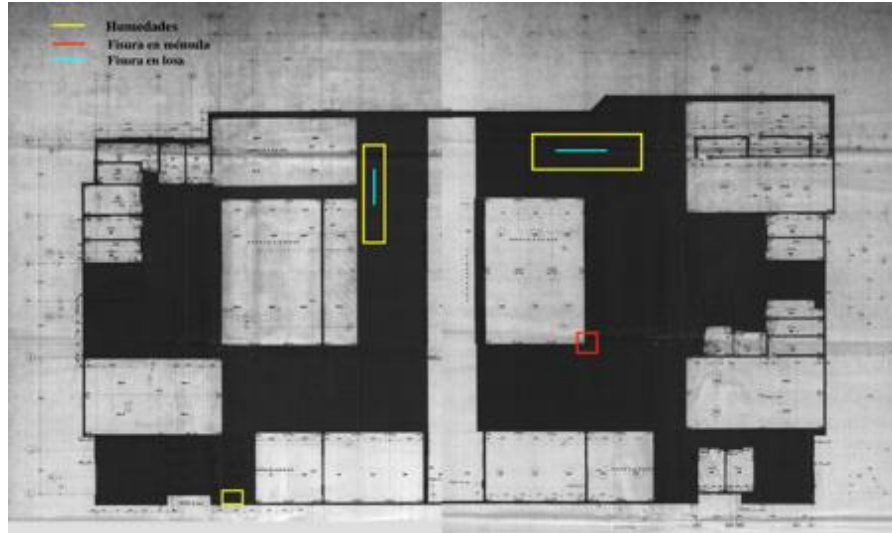


Ilustración 22. Levantamiento patológico sótano 2 CV.

Al no contar con planos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero de lo expuesto se determina que la edificación está en **regular** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades que se deberían realizar rehabilitar se destacan: crear juntas entre ménsulas y vigas, actualizar elementos no estructurales, eliminar zonas de humedad y remodelar los apartamentos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 75 no compromete a la EIA.

Edificio B

El conjunto residencial B fue diseñado en 1987, está conformado por tres torres de 11 pisos - de los cuales 2 son de parqueadero y 1 corresponde al sótano - se encuentra ubicado en la y fue visitado el 20 de junio de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones robustas (100 cm x 30 cm y pocas de 60 cm x 80 cm) con luces de máximo 8 m y tiene un sistema de losa aligerada, con casetones de madera permanentes y torta en regular estado. La calificación de "regular" corresponde a la evidencia de fisuras, agujeros y humedades; tal como puede verse en las ilustraciones de la losa. Aunque estos defectos no presentan un riesgo para la edificación, deben aún así ser revisados, pues las fisuras pueden estarse presentando debido a los movimientos de la estructura. En este caso se pensaría que tiene mayor influencia la carga viva a la que está sometida, es decir, el tránsito de los carros. Adicionalmente, en algunos elementos, como vigas, se observan hormigueos (Ilustración 23).

Se estudiaron las posibles irregularidades que podría presentar esta edificación. En planta se pensaría tiene un retroceso en esquinas, pero este es tan pequeño que no alcanza a serlo. Por otra parte, a pesar de que cuenta con juntas, el coeficiente de disipación de energía se puede ver disminuido dado su configuración (irregular) en forma de "Y", como puede observarse en la Ilustración 25. Como deficiencia a destacar se observan columnas cortas en los parqueaderos (Ilustración 23). Por último, pueden verse algunas zonas con humedad en la fachada, las cuales no afectan la seguridad de la edificación (Ilustración 24).

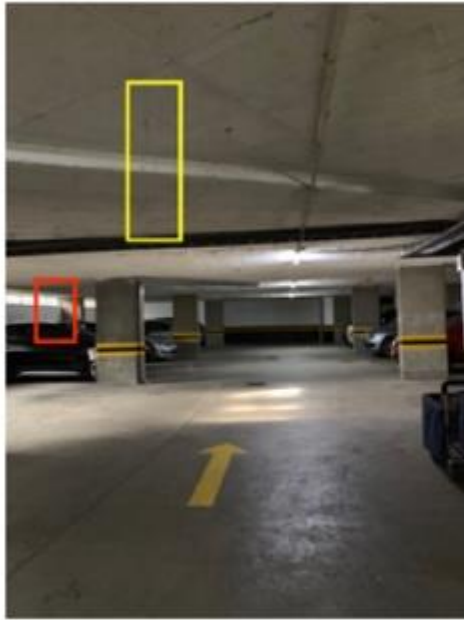


Ilustración 23. Losa B.



Ilustración 24. Fachada B.

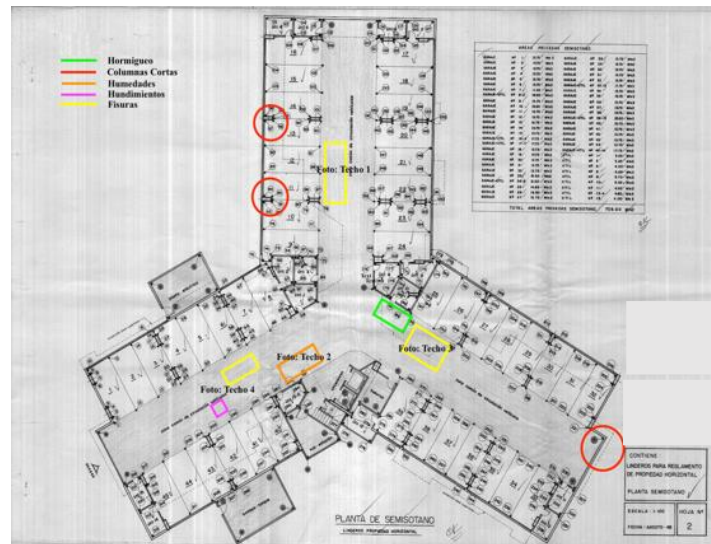


Ilustración 25. Levantamiento patológico B

Al contar únicamente con planos arquitectónicos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero con la información ya expuesta se califica la edificación en **buen** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades para rehabilitar esta edificación para considerarla como nueva se destacan: actualizar elementos no estructurales, realizar mantenimiento a la fachada y remodelar los apartamentos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 78 no compromete a la EIA.

Edificio SMO

La unidad residencial SMO tiene aproximadamente 31 años, está conformada por dos torres de 9 pisos, 1 corresponde al sótano, se encuentra ubicada en la Calle 6 Sur 43^a-140 y fue visitada el 17 de junio de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones tanto circulares (50 cm de diámetro) como cuadradas (lado 40 cm) y rectangulares de (80 cm x30 cm), con luces de máximo 7 m y tiene un sistema de losa aligerada, con casetones de madera permanentes con mortero (torta) en regular estado. La calificación de "regular" corresponde a la evidencia humedades y hormigueos como puede verse desde la Ilustración 26, sin embargo las humedades son causadas principalmente por redes hidrosanitarias y zonas que permiten el ingreso del agua, inclusive se pueden ver fisuras superficiales en una de las ménsulas (Ilustración 34), por otra parte el hormigueo brinda información sobre la construcción de la edificación.

El sótano de la edificación une las dos torres con configuración regular, pero estas se encuentran separadas al igual que las zonas de doble altura que no carga el bloque de 8 pisos, eliminando posibles irregularidades del conjunto. La fachada se encuentra en buen estado, presenta algunas humedades cerca del suelo los cuales se deben a la cercanía con este (Ilustración 33) sin embargo, los residentes evidencian filtraciones de agua cerca de las ventanas por las que se generan humedades dentro de los apartamentos.



Ilustración 26. Humedades en losa SMO.



Ilustración 27. Humedades en losa SMO.



Ilustración 28. Hormiguo en losa SMO.



Ilustración 29. Humedades en losa SMO.



Ilustración 30. Humedades en losa SMO.



Ilustración 31. Humedades en losa SMO.



Ilustración 33. Humedades en fachada SMO.



Ilustración 32. Acabados de ménsula SMO.



Ilustración 34. Acabados de ménsula SMO.



Ilustración 35. Fachada en buen estado SMO.

Al no contar con planos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero de la información ya analizada el estado tanto estructural como arquitectónicamente es **bueno**. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar la misma se destacan: actualizar elementos no estructurales, limpiar fachada, eliminar zonas de humedad y remodelar los apartamentos.

Edificio A

La unidad residencial A fue diseñada en 1995, cuenta con dos torres de 8 pisos - donde 2 de estos son sótanos - se encuentra ubicada en la Calle 15 #35-61 y fue visitada el 15 de junio de 2019. La edificación no ha sido modificada estructuralmente, solo se han realizado mantenimientos y algunos propietarios de apartamentos han decidido renovar arquitectónicamente las unidades. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones robustas (60 cm x 30 cm) comparadas con otras implementadas en la época (40 cm x 40 cm), un sistema de losa aligerada, con casetones de madera permanentes con torta en buen estado y no presenta irregularidades o deficiencias que deban ser

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 82 no compromete a la EIA.

analizadas. La única patología observada es el deterioro en la fachada en la parte superior de la edificación, donde se ven desprendimientos del enchape, humedades y descascascamientos en la pintura, como puede verse en la Ilustración 36, las cuales no representan una amenaza para la estructura pues son manifestaciones por la exposición al ambiente a las que está sometidas.



Ilustración 36. Fachada exterior edificio A.



Ilustración 37. Levantamiento patológico edificio A.

Al contar únicamente con planos arquitectónicos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero de la información obtenida y ya expuesta se considera que la edificación está en **buen** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades para rehabilitar esta edificación se destacan: actualizar elementos no estructurales, realizar mantenimiento a la fachada y remodelar los apartamentos.

Edificio VR

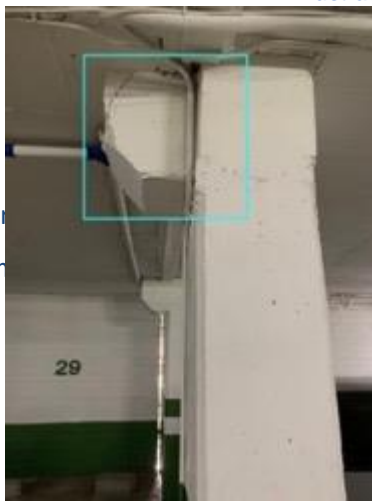
La urbanización VR fue construida aproximadamente en 1987, está conformada por cinco torres de 8 pisos, 1 corresponde al sótano, se encuentra ubicada en la Carrera 32B #10-30 y fue visitada el 28 de abril de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos cuenta con columnas de secciones cuadradas de lado 40 cm y rectangulares de 60 cm x 40 cm, con luces máximas de 6 m y tiene un

sistema de losa aligerada, con casetones de madera permanentes con mortero de base (torta) en regular estado en contadas zonas. La calificación de "regular" está dada por la evidencia de humedades y fisuras (ver Ilustración 38), sin embargo, las humedades pueden ser causadas principalmente por redes hidrosanitarias que se encuentran en el interior. La edificación también cuenta con ménsulas, algunas de estas presentan roturas por tracción (Ilustración 39), que no evidencian un riesgo y tienen como posibles causas: la falta del refuerzo en el extremo, retracción de la viga o apoyo incorrecto de la viga en el elemento como se mencionó anteriormente.

El sótano de la edificación une las torres, pero estas se encuentran separadas por medio de juntas, eliminando posibles irregularidades del conjunto en este sentido; pero al no contar con planos se opta por tomar una decisión conservadora, otorgándole una irregularidad geométrica en altura causada por las terrazas en el segundo nivel. Se observa, además el deterioro en la fachada principalmente en la parte superior de la edificación, donde se ven humedades causadas por la exposición a la intemperie como se muestra en la Ilustración 40.



Ilustración 38. Humedades en losa VR.



La información
no com

documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 84

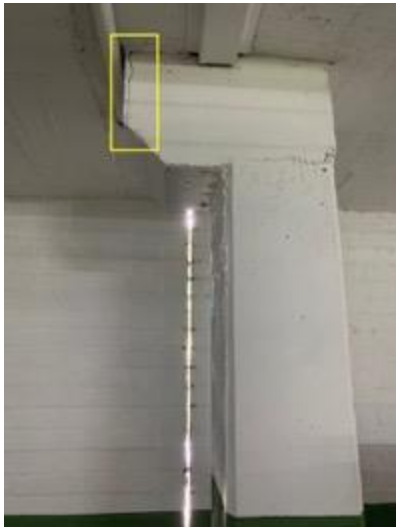


Ilustración 39. Fisura en ménsula VR.



Ilustración 40. Fachada VR.

Al no contar con planos no fue posible llenar en su totalidad la ficha técnica, pero de la información ya expuesta se determina que la edificación está en **regular** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar esta edificación se destacan: crear juntas entre ménsulas y vigas, actualizar elementos no estructurales, limpiar fachada, eliminar zonas de humedad y remodelar los apartamentos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 85 no compromete a la EIA.

Edificio BC

El inmueble BC fue construido aproximadamente en 1984, está conformado por ocho torres de 8 pisos, 1 corresponde al sótano. Se encuentra ubicada en la Carrera 43ª #12 S Sur 190 y fue visitada el 14 de junio de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos espacial cuenta con columnas de secciones cuadradas de lado 40 cm y rectangulares de 60 cm x 40 cm, con luces máximas de 6.5 m, vigas 30 cm x 40 cm y tiene una losa nervada que trabaja unidireccionalmente, la cual presenta hormigueos – que muestran la calidad de la construcción- y una que otra humedad (Ilustración 42), por otro lado, se evidencian algunos pases dentro de los nervios, práctica que no es bien vista al reducir las secciones de elementos estructurales. La edificación también cuenta con ménsulas, una de estas presenta fisura posiblemente por tracción (Ilustración 43).

El sótano de la edificación une las torres, pero estas se encuentran separadas por medio de juntas, eliminando posibles irregularidades del conjunto en este sentido; pero al revisar los planos se evidencia una irregularidad geométrica en altura causada por las terrazas en el segundo nivel, que se ve en algunos de los bloques donde $a > 1.3b$ como lo menciona la Norma y esto puede verse en la Ilustración 44. Además, se observaron columnas cortas en los parqueaderos, columnas que únicamente cargan las terrazas y están rigidizadas hasta cierta altura con los muros del parqueadero como puede ver en la Ilustración 41 y la Ilustración 42; estas no cuentan con juntas en ninguna unión columna/muro, por lo que deben ser corregidas en una posible actualización. Se evidencia, el deterioro en la fachada tanto al nivel del suelo como en otras zonas, donde se ven humedades causadas principalmente por la exposición a la intemperie y desprendimiento de la pintura en otras zonas como se muestra en la Ilustración 41.



Ilustración 41. Fachada BC.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 87 no compromete a la EIA.

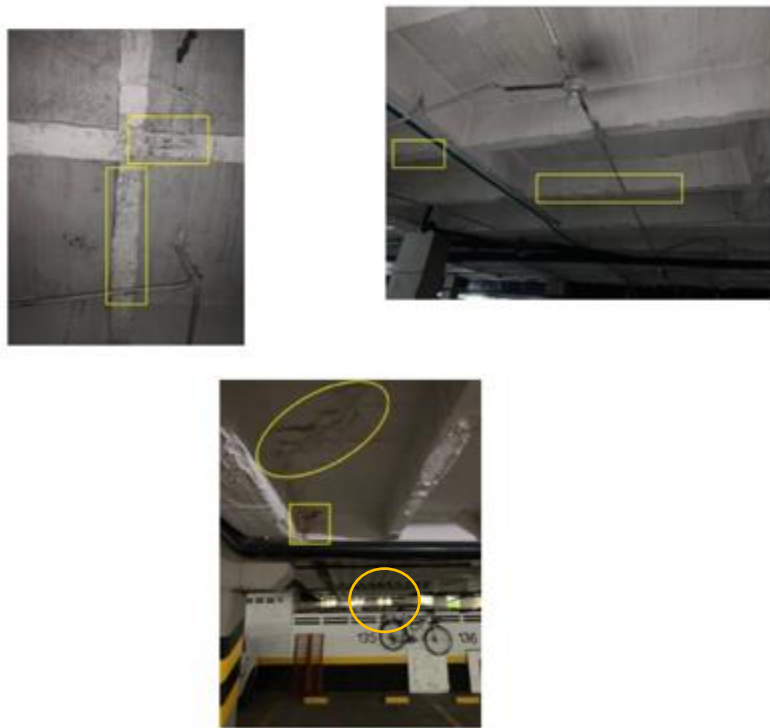


Ilustración 42. Losa BC.

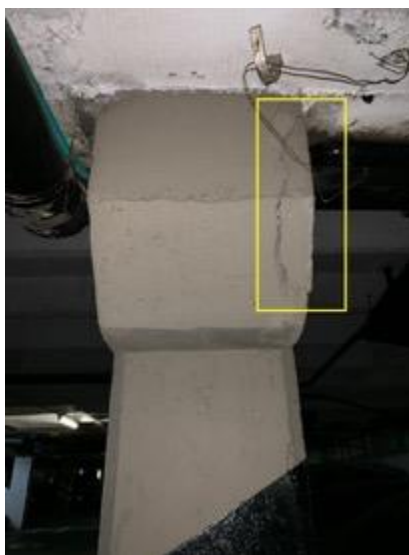


Ilustración 43. Fisura en ménsula BC.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 88 no compromete a la EIA.

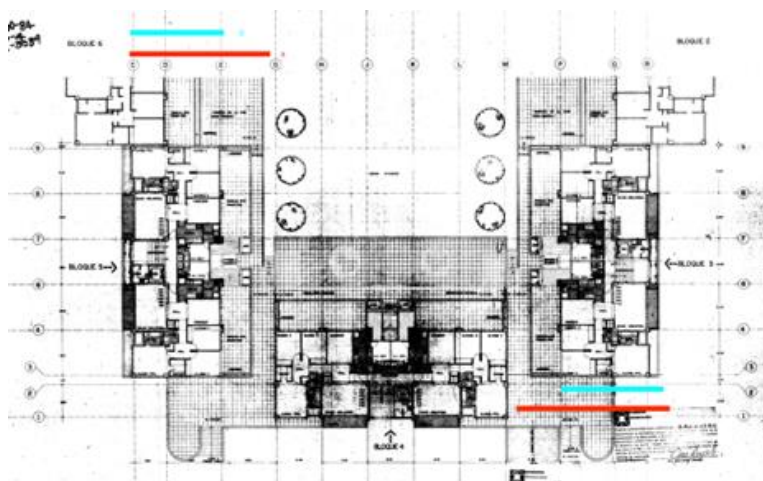


Ilustración 44. Evaluación de irregularidad geométrica de BC.

De la información inicial y la visita se expusieron las deficiencias encontrarse determinando que la edificación se encuentra en **regular** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar esta edificación se destacan: crear juntas entre ménsulas y vigas, actualizar elementos no estructurales, realizar mantenimiento de fachada, eliminar zonas de humedad en parqueadero y remodelar los apartamentos.

Edificio VC

El conjunto residencial fue construido aproximadamente en 1986, está conformada por dos torres de 5 pisos, se encuentra ubicado en la Carrera 35 #16 a Sur 250 y fue visitado el 19 de junio de 2019. Estructuralmente la edificación no ha sido modificada, pero la adición de balcones a la que fue sometida tiene implicaciones estructurales, se han realizado mantenimientos y remodelaciones en algunos apartamentos. El sistema de pórticos es plano, cuenta con columnas de secciones cuadradas de lado 20 cm y 30 cm y vigas de 20 cm x 40 cm con luces de máximo 7 m y tiene un sistema de losa aligerada unidireccional en buen estado (Ilustración 45). De lo visto tendría que analizarse

Se estudiaron las posibles irregularidades que podría presentar esta edificación, en altura se evidencia una irregularidad geométrica, pues el segundo piso cuenta con terraza (Ilustración 47), pero al no contar con planos se optó por tomar una decisión conservadora ya que el coeficiente de disipación de energía se puede ver disminuido por esta configuración; mientras que en planta no se presentan irregularidades ya que ambos bloques están separados por una junta. Además, se observaron columnas cortas por los muros de mampostería como puede ver en la Ilustración 46 y no cuenta con juntas en ninguna unión columna/muro; estas deficiencias deben ser corregidas en una posible actualización.



Ilustración 45. Sistema pórticos VC.



Ilustración 46. Columnas cortas VC.



Ilustración 47. VC.

De lo expuesto se concluye que la edificación está en **regular** estado tanto estructural como arquitectónicamente. Sin embargo, cabe resaltar que esta es una edificación que, desde su diseño, a simple vista, no parece contar con suficiente rigidez ante fuerzas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 90 no compromete a la EIA.

laterales. Entre las actividades que se deberían realizar para rehabilitar esta edificación se destacan: actualizar elementos no estructurales, limpieza de fachada y remodelar los apartamentos.

Al no contar con suficientes planos estructurales, planos arquitectónicos e información complementaria que ayudara a ver parámetros como la distribución de las cargas, las dimensiones de elementos estructurales, los tipos de cimentaciones y otras, la **SELECCIÓN** de la edificación se realiza de acuerdo con lo observado en las visitas, lo analizado y la percepción que cada uno dejó con la información que se tenía.

Se observó principalmente que ninguno tiene patologías críticas que deban ser abordadas inmediatamente, sí presentan fisuras tanto en elementos estructurales como en acabados pero no son evidencias de una falla que ponga en riesgo la vida de los habitantes; son evidencia del deterioro que presentan por la exposición al ambiente y por las cargas continuas a las que están sometidas; este último tuvo una alta valoración en la elección pues las cargas gravitacionales están el 100% del tiempo actuando y si no se evidencian fallas estructurales, es un buen indicio. Lo visto confirma lo mencionado por el ingeniero Mario Villada Ríos (M. Villada, comunicación personal, 30 septiembre, 2018), anteriormente las edificaciones se construían para tener una vida útil de 50 años, pero al no contar con dosis exactas en algunos casos los elementos estructurales eran diseñados con mayor resistencia que durabilidad. Igualmente, el no presentar fallas estructurales no significa que no deba ser evaluado ante cargas sísmicas -para las cuales sí fue diseñada- sin embargo, la norma ha ido exigiendo capacidades mayores a las que tal vez el sistema de pórticos únicamente no pueda soportar, al estar ubicados en la ciudad de Medellín con un nivel intermedio de amenaza sísmica, para lo que se requieren detallados que brinden ductilidad requerida.

Para permitir una comparación objetiva de cada inmueble, se realiza una tabla de puntajes donde 11 es el puntaje más alto, considerando la existencia y detalle de planos

al igual que cada deficiencia inspeccionada durante la visita. Se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Ponderación de factores para la elección del inmueble a evaluar.

Deficiencia	TB 2	VS	CV	B	SMO	A	VR	BC	VC
Información de planos (1)	1	0.25	1	0	0	0.25	0	0.25	0
Irregularidades (0 a 1)	1	0	1	0	0	0	1	1	1
Columna corta (0 a 2)	2	1	0	1	0	0	0	1	1
Columna débil/viga fuerte (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Continuidad de trayectoria de cargas (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Continuidad de elementos estructurales (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Presencia de todos los elementos (1)	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Patologías (0 a 2)	1	1	1	1	1	1	2	2	0
Rehabilitación Arquitectónica (0 a 1)	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	1	1
Sumatoria de puntos (0 a 11)	6.10	2.75	4.00	2.50	2.00	1.75	4.00	5.25	3.00

A pesar que en inmuebles como CV, VR o BC puedan verse más fisuras y deterioro, se evaluará el conjunto residencial TB 2 por las razones expuestas a continuación, además del resultado obtenido mediante la ponderación de factores:

- CV tiene un sistema estructural con paneles, sistema para el cual la repotenciación no es la misma que la de un sistema de pórticos; además, que el inmueble por deterioro ambiental solo tiene algunas patologías en el casetón de madera.
- VR y BC por su tamaño pueden presentar muchos aspectos que actualizar, pero al ser proyectos de más de 100 apartamentos una comparación económica entre las dos intervenciones propuestas en el trabajo no tendría sentido, pues al evaluar la construcción de un nuevo proyecto el valor del terreno haría que el resultado de una prefactibilidad no tenga utilidad y no puedan ser equiparables las propuestas.
- TB 2 es una edificación que tiene tantos aspectos estructurales como arquitectónicos que hacen necesario buscar una alternativa que permita un mejor comportamiento, algunas de las deficiencias son: Su irregularidad en altura, su compleja configuración en planta, deterioro en fachada y al ser de los más antiguos, con 41 años, se supone tiene acabados que pueden ser modificados. Económicamente este se encuentra ubicado en una zona donde tanto el índice de construcción como la densidad son altos, lo que permite hacer una evaluación económica de las alternativas propuestas desde un comienzo.

Para evaluar este proyecto se propone seleccionar el Bloque 3 del conjunto, pues este tiene un sótano de doble altura y es una de las torres de mayor altura. El contar con

planos permite tanto realizar un modelo estructural, como encontrar cantidades, actividades necesarias para el desarrollo del trabajo.

3.3 DISEÑO DE LA ACTUALIZACIÓN

3.3.1 Información Recopilada

Complementando la información recopilada durante la visita (3.2.1) se presenta una descripción de los planos consultados, los cuales serán comparados con la normativa actual para evaluar su diseño como un proyecto nuevo.

Se cuenta con información estructural de las placas del piso 2 al 7 con la configuración en planta y elementos estructurales pertenecientes a cada una y detalles de refuerzo en vigas y columnas; planos arquitectónicos: planta del conjunto residencial y planta arquitectónica de los bloques 1, 2 y 3 del segundo nivel, adicionalmente en el Anexo 6 se incluyen fotos tomadas en campo sobre la edificación.

Como se mencionó anteriormente el bloque que será evaluado es el 3 en el cual se encuentra un apartamento de 4 alcobas y el punto fijo número 2 (escaleras, ascensor, shut de basuras y corredor). Su sistema estructural es en pórticos de concreto reforzado con una distribución como se muestra en la Ilustración 48; tiene alrededor de la edificación 6 muros de mampostería cargueros que nacen en la última losa y sirven para soportar las vigas de amarre de la cubierta (Ilustración 49); y cuenta con una losa unidireccional, aligerada, con nervios de diferentes secciones como puede verse en los planos estructurales para cada tipo de placa.

De lo poco que puede conocerse sobre el diseño geotécnico de la unidad residencial, se sabe que cuenta con muros de contención, pilas y vigas de amarre, se cuentan con secciones y refuerzo. Por lo anterior y al no poder inspeccionar o conocer el estado de estos elementos, estos no serán analizados en el presente trabajo.

Las columnas de este bloque son la 18, 19, 20, 21, 22 y 23, en el primer piso todas tienen secciones de 40x60cm, mientras que en pisos superiores son de 30x60cm, la resistencia f_c es de 3000 psi menos en los pisos 1, 2 y 3 donde las columnas 23 y 20 tienen resistencias de 4000 psi. Estas secciones y refuerzos se pueden ver en la Ilustración 50 y la información resumida puede verse en la Tabla 5 y en la hoja de cálculo Columnas B3 del Anexo 7. El diseño a cortante es regular tanto por el acero liso implementado en estribos como por las separaciones entre estos (mayor a 180mm para las columnas de sección menor), según lo especificado por la Norma para garantizar una capacidad de disipación de energía moderada.

Las vigas EI, 7, 8, 9, 10 y 11 son las correspondientes a este bloque, tienen secciones de 30x40cm, resistencia del concreto de 3000 psi y detalle de refuerzo como se muestra en la Ilustración 51 y en la Tabla 6 para la tercera placa, información adicional se encuentra en la hoja de cálculo *Vigas B3* del Anexo 7; tanto los refuerzos a flexión como a cortante de estos elementos son verificados con los requerimientos de la norma actual descritos en el Título C, específicamente el capítulo C.21.3 (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010) y se encuentra que: El diseño a cortante no se encuentra de acuerdo con lo especificado para una estructura DMO, se evidencia que: el acero es liso, el acero es de 260 MPa, la separación máxima entre estribos es de $d/2$ (180mm) y en todas las vigas internas la separación es de 300mm (ver C.21.3.4.8) y por último la Norma especifica que dentro de los primeros 200mm, zona confinada, debe haber estribos cerrados de confinamiento con 3/8" espaciados a 90mm, característica con la que no cuenta el diseño. Lo anterior implica que los pórticos existentes no tienen una capacidad de disipación de energía moderado, factor que debe tenerse en cuenta a la hora hacer un análisis estructural.

Esto fue evaluado en un piso bajo (placa número 3) e incluso en esta situación se evidencia baja correspondencia con los lineamientos de la NSR-10, y se puede esperar que en pisos los niveles 1 y 2 donde también se encuentren estas deficiencias, ya que estos tienen mayores solicitaciones verticales al soportar el peso de la estructura.

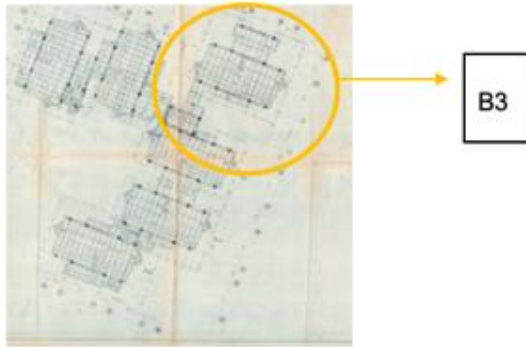


Ilustración 48. Tercera Placa - Plano estructural TB 2.

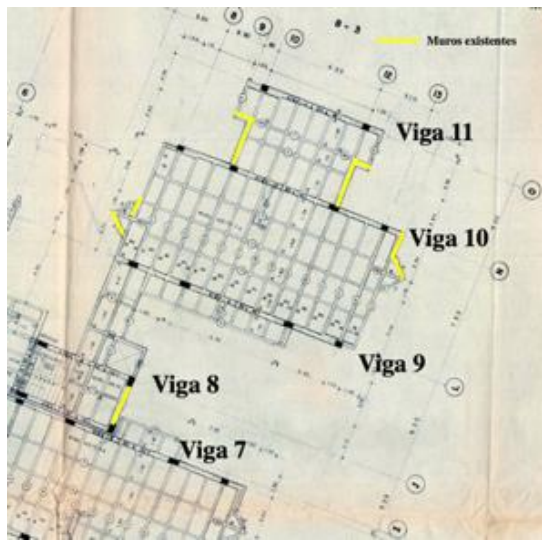


Ilustración 49. Tercera Placa - Plano estructural TB 2, Bloque 3.

Tabla 5. Secciones y refuerzos de columnas Bloque 3 según planos estructurales.

Ubicación	Piso	Nombre	F _c (psi)	Dimensión		A _c (mm ²)	A _c b (mm ²)	A _c h (mm ²)	S (mm)
				b (m)	h (m)				
L 8	Fun. a 2	23	4000	0.4	0.6	4116	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.4	0.6	3060	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.4	0.6	3060	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	4000	0.4	0.6	4116	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.4	0.6	3060	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.4	0.6	4116	213	142	200	
I 7									
L 8	2 a 3	23	4000	0.3	0.6	4116	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	4000	0.3	0.6	4116	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	4116	213	142	200	
I 7									
L 8	3 a 4	23	4000	0.3	0.6	4116	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	4116	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	4116	213	142	200	
I 7									
L 8	4 a 5	23	3000	0.3	0.6	4116	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	2438	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200	
I 7									
L 8	5 a 6	23	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	2438	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200	
I 7									
L 8	6 a 7	23	3000	0.3	0.6	3060	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	2438	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200	
I 7									
L 8	7 a 8	23	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000				213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	2438	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200	
I 7									
L 8	8 a T	23	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
L 10									
L 12									
N 10									
N 12									
O 10		22	3000				213	142	200
O 12									
L 13		21	3000	0.3	0.6	2322	213	142	200
N 8									
N 13									
J 7		20	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200
J 9									
I 9	19	3000	0.3	0.6	2438	213	142	200	
I 7									
I 8	18	3000	0.3	0.6	3494	213	142	200	
I 7									

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. 96



Ilustración 50. Secciones de columnas en Bloque 3 TB 2.

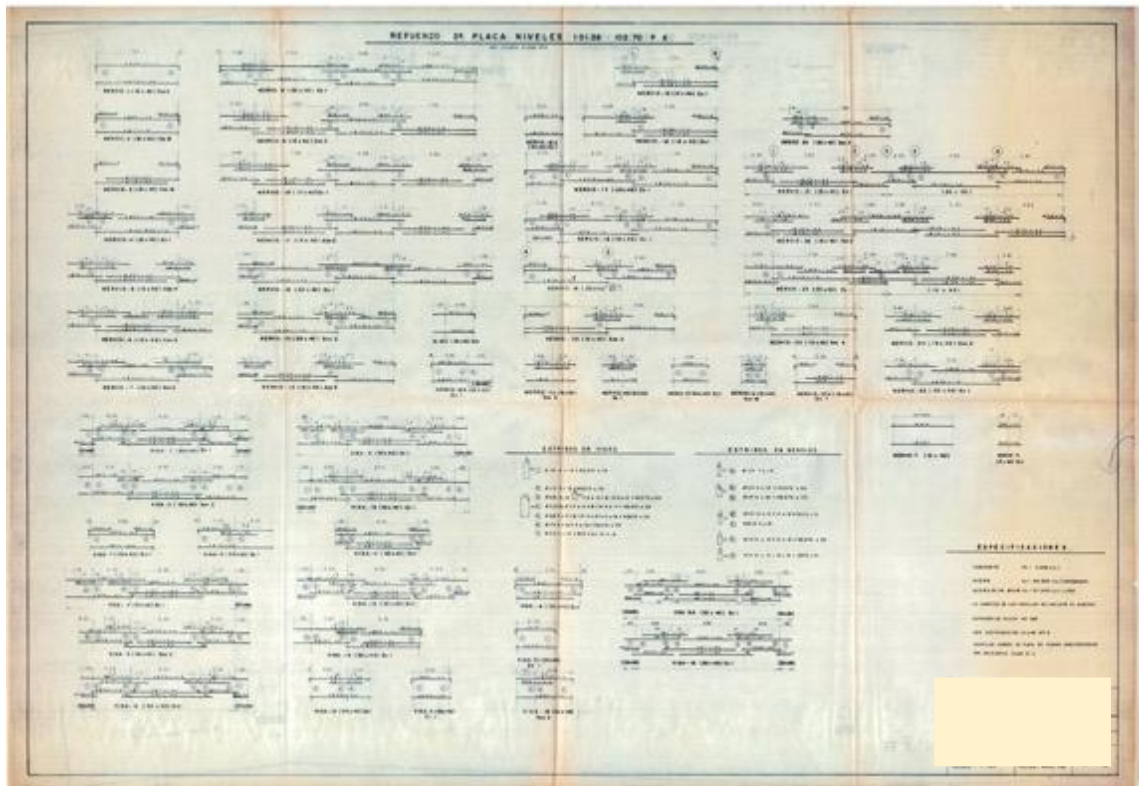


Ilustración 51. Refuerzo de Vigas y Nervios TB 2.

Tabla 6. Secciones y refuerzo de vigas en placa 3, bloque 3.

VIGAS									
Ubicación	Piso	Nombre Planos	f'c (psi)	Dimensión		A _{st} actual (mm ²)	A _{st} - actual (mm ²)	A _{sh} (mm ²)	S (mm)
				b (m)	h (m)				
EN LAS CARAS									
I 7 Derecha	3	7	3000	0.3	0.4	527	1530	64	180
I 7 Arriba	3	EI	3000	0.3	0.4	398	398	64	180
I 9	3	7	3000	0.3	0.4	527	1530	64	180
J 7 Derecha	3	8	3000	0.3	0.4	527	1020	142	170
J 7 Arriba	3	EI	3000	0.3	0.4	398	398	64	180
J 9	3	8	3000	0.3	0.4	527	1020	142	170
L 8	3	9	3000	0.3	0.4	2040	774	64	180
L 10 Izquierda	3	9	3000	0.3	0.4	2550	1794	142	170
L 10 Derecha	3	9	3000	0.3	0.4	2550	1794	142	80
L 12 Izquierda	3	9	3000	0.3	0.4	2304	1418	142	80
L 12 Derecha	3	9	3000	0.3	0.4	2304	1418	142	170
L 13	3	9	3000	0.3	0.4	774	398	64	180
N 8	3	10	3000	0.3	0.4	1638	774	64	180
N 10 Izquierda	3	10	3000	0.3	0.4	3168	2304	142	170
N 10 Derecha	3	10	3000	0.3	0.4	3168	2304	213	90
N 12 Izquierda	3	10	3000	0.3	0.4	3168	2304	213	90
N 12 Derecha	3	10	3000	0.3	0.4	3168	2304	142	170
N 13	3	10	3000	0.3	0.4	1638	774	64	180
O 10	3	11	3000	0.3	0.4	597	1278	64	140
O 12	3	11	3000	0.3	0.4	597	1278	64	140
INTERNOS									
I7 - I 9	3	7	3000	0.3	0.4	398	1530	64	300
I7 - J7	3	EI	3000	0.3	0.4	398	398	64	300
J7 - J9	3	8	3000	0.3	0.4	398	2040	64	300
L8 - L10	3	9	3000	0.3	0.4	1020	774	64	300
L10 - L12	3	9	3000	0.3	0.4	398	2040	64	300
L12 - L13	3	9	3000	0.3	0.4	2304	398	64	300
N8 - N10	3	10	3000	0.3	0.4	3168	774	64	300
N10 - N12	3	10	3000	0.3	0.4	774	2550	64	300
N12 - N13	3	10	3000	0.3	0.4	3168	774	64	300
O10 - O12	3	11	3000	0.3	0.4	398	1530	64	300

Teniendo en cuenta lo mencionado, la información recopilada durante la visita y que debe tomarse una decisión conservadora al no contar con toda la información necesaria, la calidad del diseño de la edificación tiene una calificación de **regular**, al igual que el estado de conservación de la estructura es **regular** al no evidenciar patologías que representen una situación de riesgo.

3.3.2 Vulnerabilidad

Conocer la vulnerabilidad permite reconocer las deficiencias de una edificación y así buscar una solución, de ser necesario, para estas por medio de la rehabilitación sísmica. Primero debe conocerse si la edificación actual, diseñada hace 41 años, es capaz de resistir las fuerzas causadas por las cargas, tanto muertas como vivas y gravitacionales como sísmicas estipuladas por el presente reglamento, para lo cual se realizará un

análisis estructural lineal con la información que se muestra a continuación y teniendo en cuenta que: La estructura se clasifica en el grupo de uso I y fue diseñada hace 41 años antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984. A pesar de ser diseñada para un periodo de 50 años y poder entonces evaluar la edificación para un nivel de seguridad limitada, que es lo que propone la norma para evaluar edificaciones diseñadas con anterioridad a la normativa actual, en el presente trabajo se desea analizar la estructura como una nueva, es decir bajo los criterios de diseño de una nueva.

3.3.2.1 Análisis estructural

Con los criterios expuestos a continuación se modela el Bloque 3 de TB 2 en el programa SAP 2000, el cual permitirá conocer las solicitaciones equivalentes y la vulnerabilidad.

Clasificación del sistema estructural

La edificación de 7 niveles cuenta con un sistema estructural compuesto por pórticos de concreto reforzado, al estar este en Medellín, ubicada en una zona intermedia de amenaza sísmica estos requieren de una capacidad moderada de disipación de energía (DMO).

Coefficientes de aceleración y amplificación para un nivel de seguridad equivalente al de una estructura nueva

El proyecto se encuentra ubicado en Medellín, Antioquia; zona que presenta amenaza sísmica intermedia, de acuerdo con la Figura A.2.3-1 del Título A de la NSR-10.

Teniendo en cuenta la ubicación se procede a buscar en la NSR-10 los coeficientes de aceleración (A_a) y de velocidad (A_v), que son expuestos en la Tabla 7. En la misma tabla se muestran los coeficientes de amplificación tanto el F_a para la zona de periodos cortos del espectro y F_v para la zona de periodos intermedios del espectro, tomando, con criterio conservador, un suelo de apoyo Tipo C pues solo contar la resistencia del suelo (40 ton/m²). Como ya se había mencionado en el trabajo se decide evaluar la edificación bajo

los parámetros de la normativa vigente, por lo que no se expusieron los valores A_e y A_d , coeficientes de aceleración y velocidad con nivel de seguridad limitada.

Tabla 7. Coeficientes de aceleración y amplificación para zona sísmica intermedia Medellín.

A_a	0.15
A_v	0.15
F_a	1.20
F_v	1.60
I	1.00

Los valores de F_a y F_v fueron hallados a partir de la interpolación de los datos expuestos en las Figuras A.2.4-1 y A.2.4-2 del Título A de la NSR-10, dicha interpolación puede encontrarse en el Anexo 7.

Espectro de diseño

Con el fin de realizar un análisis dinámico se construyó el espectro de diseño de acuerdo con lo especificado en la NSR-10, vigente para el momento de desarrollo de trabajo. Este es implementado de acuerdo con el requisito estipulado en A.3.4.2.2 (b).

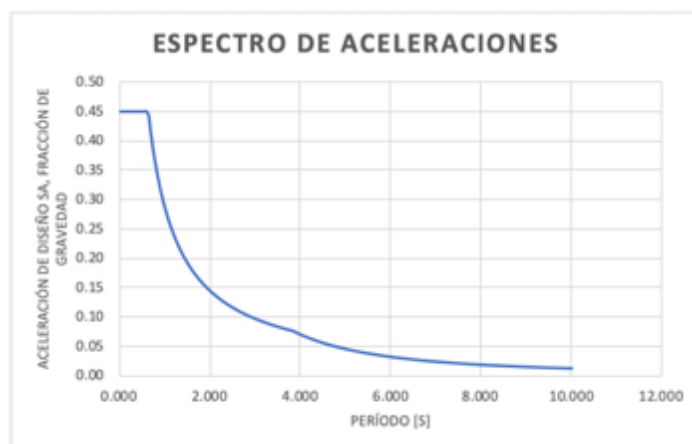


Ilustración 52. Espectro de diseño.

Coefficiente de capacidad de disipación de energía

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 100 no compromete a la EIA.

Al no contar con suficiente información sobre el diseño inicial, la norma sugiere el ingeniero defina un valor de R' con su mejor criterio, impidiéndole ser mayor al de la Norma en el Capítulo A.3. En este caso se tomará dicho valor como lo establece la NSR-10, dado por la Ecuación 2, donde R_0 está dado por el sistema estructural, ϕ_r la redundancia, ϕ_a y ϕ_p las irregularidades en planta y en altura, torsional y piso flexible específicamente. La Tabla 8 muestra los valores implementados para el análisis, el R_0 se toma menor que 5 que es lo especificado por la Norma cuando son pórticos de concreto reforzado con capacidad moderada de disipación de energía, pero como se mencionó actualmente estos pórticos no tienen el refuerzo exigido por el capítulo C para DMO, lo que quiere decir que la ductilidad es menor, seleccionando una de 2.5 la cual especifica la norma es la de una estructura en pórticos de concreto reforzado con capacidad mínima de disipación de energía (Ver Tabla A.3-3 Título A de la NSR-10).

Ecuación 2. Coeficiente de capacidad de disipación de energía.

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$$

Tabla 8. Coeficiente de reducción de fuerza sísmica.

R_0	2.5
ϕ_p	0.9
ϕ_a	0.9
ϕ_r	1
R	2.025

Cargas de diseño

Esta información debe ser medidas en campo para tener mayor nivel de detalle, sin embargo, al no contar con esta posibilidad serán implementadas las especificadas en la Norma en el Título B para un análisis no detallado ya que la altura entre pisos es menor a 3 m; a pesar de conocer las divisiones en muro esto se realiza por la falta de conocimiento de los acabados actuales y cambios en los apartamentos. Entre ellas se destacan las siguientes:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 101 no compromete a la EIA.

Tabla 9. Cargas no sísmicas aplicadas al sistema.

Tipo	Carga (kN/m ²)
Garaje	
Muerta	1.2
Viva	2.5
Residencial	
Muerta Fachada	3
Muerta Particiones y Cubierta	1.6
Viva Apartamentos	1.8
Vivas Escaleras	3
Vivas Balcones	5

Las combinaciones de cargas aplicadas al modelo deben ir de acuerdo con la NSR-10. Estas se muestran a continuación:

Ecuación 3. B.2.4-1 Tomada de Título B, NSR-10.

$$1.4D$$

Ecuación 5. B.2.4-4. Tomada de Título B, NSR-10.

$$1.2D + 1.0L$$

Ecuación 4. B.2.4-3 Tomada de Título B, NSR-10.

$$1.2D + 1.6L$$

Ecuación 6. B.2.4-5 Tomada de Título B, NSR-10.

$$1.2D + 1.0L + 1.0E$$

Ecuación 7. B.2.4-7 Tomada de Título B, NSR-10.

$$0.9D + 1.0E$$

A pesar de que al realizar el modelo se tenga en cuenta la carga muerta de la estructura, a continuación, se realiza una estimación de cargas verticales totales para las columnas L8 y L10, teniendo en cuenta la combinación de cargas más crítica (Ecuación 6):

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 102 no compromete a la EIA.

Tabla 10. Análisis de cargas verticales.

Análisis de cargas verticales Columna L8	
Área aferente	20.3
Área de Balcón	2
Longitud de nervios en área	32.6
Longitud de viga en área	2.6
Cargo Loseta (kN/m ²)	1.3
Cargo Nervios (kN/m)	1.5
Cargo Vigas (kN/m)	3
Carga Muerta Estructural (kN)	82.1
Carga Total/Piso (kN)	285.09
Carga Total (kN)	1995.63

Análisis de cargas verticales Columna L10	
Área aferente	27.9
Longitud de nervios en área	39.1
Longitud de viga en área	5.4
Cargo Loseta (kN/m ²)	1.3
Cargo Nervios (kN/m)	1.5
Cargo Vigas (kN/m)	3
Carga Muerta Estructural (kN)	109.8
Carga Total/Piso (kN)	366.38
Carga Total (kN)	2564.69

Solicitaciones equivalentes

Se analiza el modelo desarrollado de acuerdo con la información recolectada, de acuerdo con los planos, medidas y el sistema de pórticos unidireccional, los resultados se encuentran en el Anexo 7 y el modelo puede verse en el Anexo 8. Se ilustra a continuación el modelo del Bloque 3 existente.

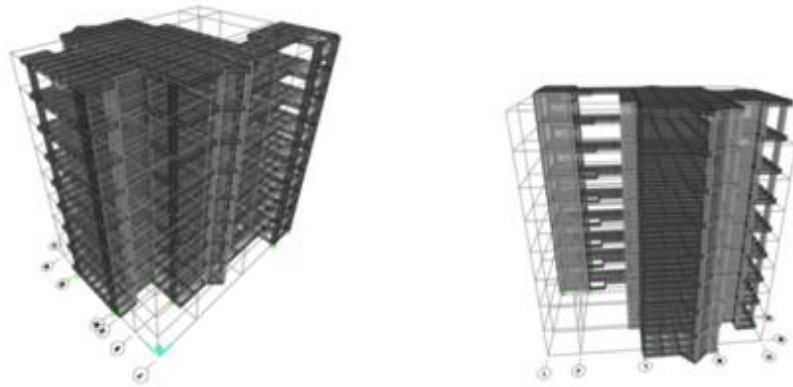


Ilustración 53. Modelo en SAP2000 de Bloque 3 existente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 103 no compromete a la EIA.

3.3.2.2 Resistencia efectiva

La resistencia efectiva se calcula para cada elemento como se menciona anteriormente (1.3.2.1), con ϕ_c 0.8 y ϕ_e igual a 0.8 y N_{ex} la entregada por las secciones actuales. Los resultados de resistencia efectiva para las vigas se exponen en Tabla 11 y la resistencia efectiva de columnas es expuesta desde la Ilustración 54 a la Ilustración 59 con los diagramas de interacción y en la Tabla 12.

3.3.2.3 Índice de sobreesfuerzo

Siguiendo los lineamientos expuestos anteriormente (1.3.2.1) se procede a evaluar la estructura con los resultados entregados por el análisis estructural y se realizan todas las verificaciones establecidas en el Capítulo C, como puede verse en las hojas de cálculos Anexo 7. Los resultados indican que el índice de sobreesfuerzo de las vigas es 4.13, hay varios elementos vulnerables y estos son importantes para la edificación.

Teniendo en cuenta las resistencias efectivas calculadas, la Tabla 11 muestra el índice de sobreesfuerzo de las vigas tanto a cortante como para momentos positivos y negativos; como ya se había mencionado esta se hizo para las vigas del nivel 3, donde se evidencian índices mayores a 1, por lo que se esperaría que en los niveles 1 y 2 se evidenciara un mayor índice al soportar mayores cargas. Se observa que a cortante es donde más vigas sobre pasan lo límites, pero ante momentos negativos se encuentran los índices de mayor valor - principalmente en los extremos de los elementos - como es la viga número 8 con un índice de 4.13, a lo que le sigue la viga 7 con un índice de 3.24 y luego la viga número 11; las dos primeras son del área de escaleras, donde se pensaría necesitan soportar mayores cargas pues no pueden colapsar en caso de un evento sísmico y la 11 se encuentra en el eje O, en un extremo. Por otro lado, la vulnerabilidad presentada a cortante se debe principalmente al diseño del refuerzo actual, sin embargo, puede buscarse una solución que disminuya las solicitaciones y solo quede analizar la necesidad de cumplir con un diseño para DMO, pues igual se está teniendo en cuenta que no se tiene esta capacidad.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 104 no compromete a la EIA.

Tabla 11. Índices de sobreesfuerzo en vigas de tercer nivel, Bloque 3.

VIGAS											
Piso	Nombre Planos	Mu máx (kNm)	Mu mín (kNm)	M _{uf} negativo (kNm)	M _{uf} positivo (kNm)	φV _n Efectivo (kN)	φV _U Modelo (kN)	V _U (kN)	Índice de sobreesfuerzo, cortante	Índice de sobreesfuerzo, momentos positivos	Índice de sobreesfuerzo, momentos negativos
EN LOS EXTREMOS											
3	7	13.57	-2.96	48.07	123.38	56.36	22.36	52.704	0.94	0.11	0.06
3	EI	45.13	-27.27	36.84	36.84	56.36	25.7	34.58	0.61	1.22	0.74
3	7	98.66	-155.91	48.07	123.38	56.36	107.85	52.704	1.91	0.80	3.24
3	8	-4.75	-34.43	48.07	87.74	77.91	36	50.18	0.64		0.72
3	EI	21.42	-54.50	36.84	36.84	56.36	36.6	34.6	0.65	0.58	1.48
3	8	84.67	-198.38	48.07	87.74	77.91	143.2	50.2	1.84	0.97	4.13
3	9	52.22	-148.54	153.54	68.58	56.36	132.2	125.30	2.34	0.76	0.97
3	9	46.63	-167.62	178.21	139.68	77.91	151.39	125.30	1.94	0.33	0.94
3	9	-51.46	-206.94	178.21	139.68	120.13	167.38	76.43	1.39		1.16
3	9	-90.78	-226.70	167.00	116.02	120.13	166.31	76.43	1.38		1.36
3	9	89.88	127.13	167.00	116.02	77.91	100.85	88.95	1.29	0.77	
3	9	76.85	-140.56	68.58	36.84	56.36	108.42	88.95	1.92	2.09	2.05
3	10	119.84	-151.04	130.22	68.58	56.36	115.41	118.76	2.11	1.75	1.16
3	10	98.82	-180.39	200.77	167.00	77.91	138.26	118.76	1.77	0.59	0.90
3	10	-91.23	-274.22	200.77	167.00	146.71	212.19	89.57	1.45		1.37
3	10	-114.23	-275.60	200.77	167.00	146.71	200.01	89.57	1.36		1.37
3	10	129.73	-162.26	200.77	167.00	77.91	121.4	118.76	1.56	0.78	0.81
3	10	101.66	-181.16	130.22	68.58	56.36	133.36	118.76	2.37	1.48	1.39
3	11	47.68	-145.88	54.01	106.45	60.92	78.54	44.29	1.29	0.45	2.70
3	11	18.27	-149.36	54.01	106.45	60.92	70.27	44.29	1.15	0.17	2.77
INTERNOS											
3	7	77.61	-63.69	36.84	123.38	49.97	70.98	22.46	1.42	0.63	1.73
3	EI	5.84	-4.94	36.84	36.84	49.97	31.1	21.14	0.62	0.16	0.13
3	8	91.20	-60.45	36.84	153.54	49.97	101.1	19.94	2.02	0.59	1.64
3	9	28.01	6.70	87.74	68.58	49.97	67.16	111.86	2.24	0.41	
3	9	74.51	64.43	36.84	153.54	49.97	29.9	49.97	1.00	0.49	
3	9	20.60	-2.29	167.00	36.84	49.97	72.38	75.51	1.51	0.56	0.01
3	10	25.23	-4.82	200.77	68.58	49.97	93.23	105.32	2.11	0.37	0.02
3	10	90.52	42.12	68.58	178.21	49.97	108.88	63.11	2.18	0.51	
3	10	22.02	-8.52	200.77	68.58	49.97	97.72	105.32	2.11	0.32	0.04
3	11	34.60	28.72	36.84	123.38	49.97	40.05	17.83	0.80	0.28	

El índice de sobreesfuerzo de columnas fue evaluado en los elementos con mayores solicitaciones, es decir los ubicados en el primer nivel; mediante diagramas de interacción se evalúan las secciones actuales de cada columna con la resistencia efectiva calculada contra las solicitaciones actuales de acuerdo con los requerimientos de la Norma; en este la cuantía mínima representa un índice de 1, al interior de la gráfica menor a 1 y fuera mayor a 1. Se evidencia que los sobreesfuerzos son principalmente por la carga axial a la que están sometidas, lo que se verifica desde que se estimaron las cargas en la losa donde para la columna L10 la carga solicitada (2565kN) es mayor a la carga axial aceptada (2290kN); la edificación actualmente no muestra fallas ante estas solicitaciones gravitacionales a las que puede estar sometida por largos momentos, sin embargo, debe buscarse una solución que absorba un poco las solicitaciones. Los siguientes son los resultados:

Nota: Se realiza un diagrama en ambas direcciones (M2 y M3) pues los elementos tienen dimensiones diferentes y al analizar el modelo como dice la Norma, 100% del espectro en una

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 105 no compromete a la EIA.

dirección y 30% en la otra y viceversa, los resultados que se obtienen son diferentes en ambas direcciones. A pesar de que se está revisando el trabajo de manera uniaxial, se podría decir que si se verifica en una dirección y no cumple, cuando esté actuando de forma bidireccional los resultados serían más críticos.

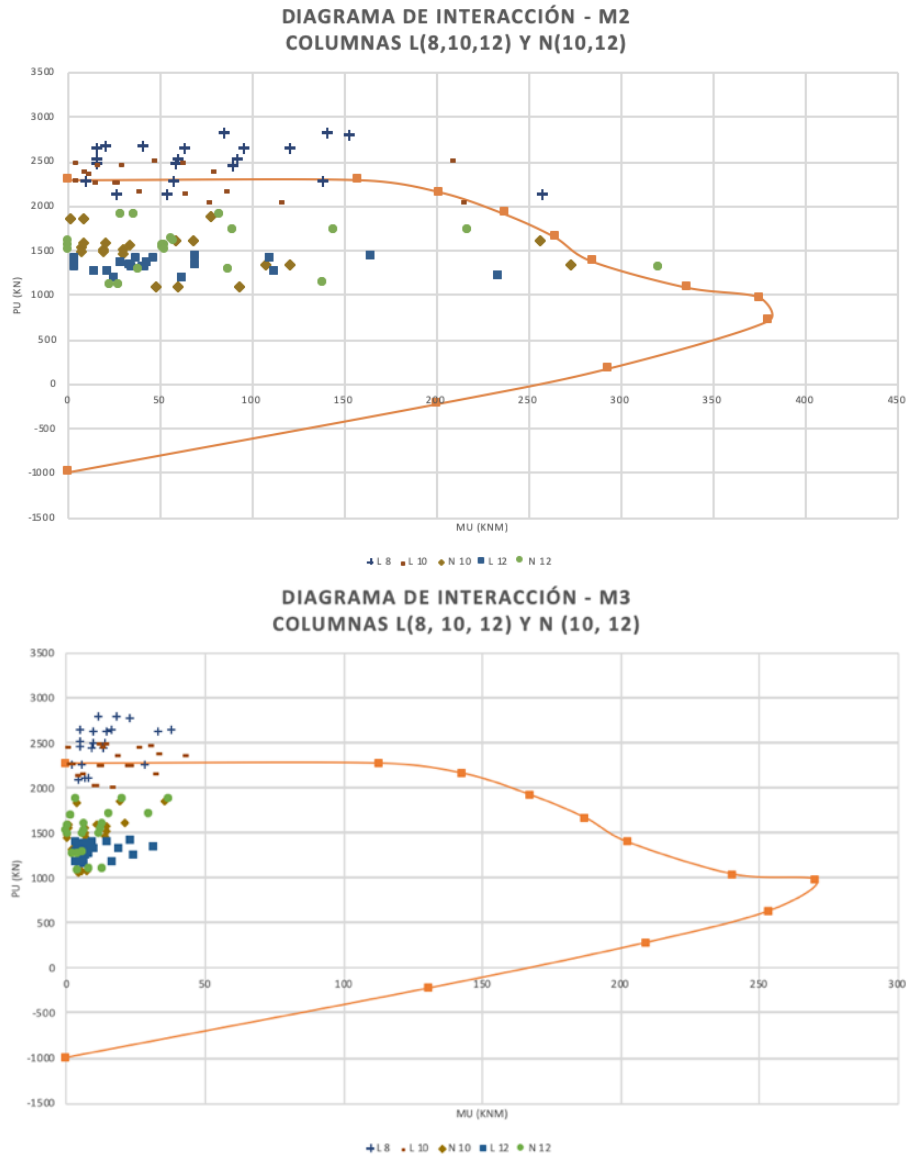
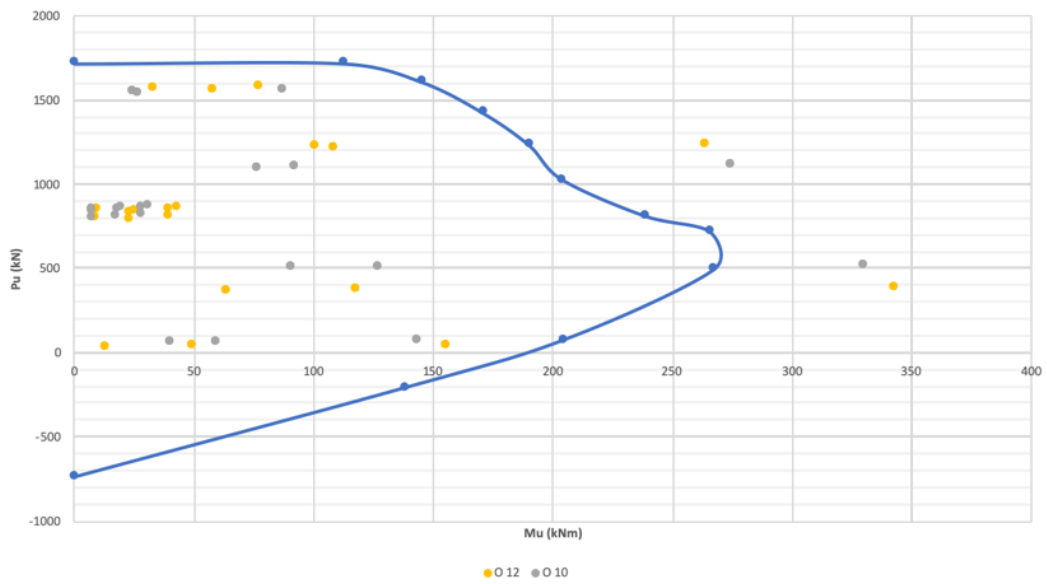


Ilustración 54. Diagrama de interacción columnas L (8, 10, 12) y N (10, 12).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 106 no compromete a la EIA.

**DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M2
COLUMNAS O(10,12)**



**DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M3
COLUMNAS O (10,12)**

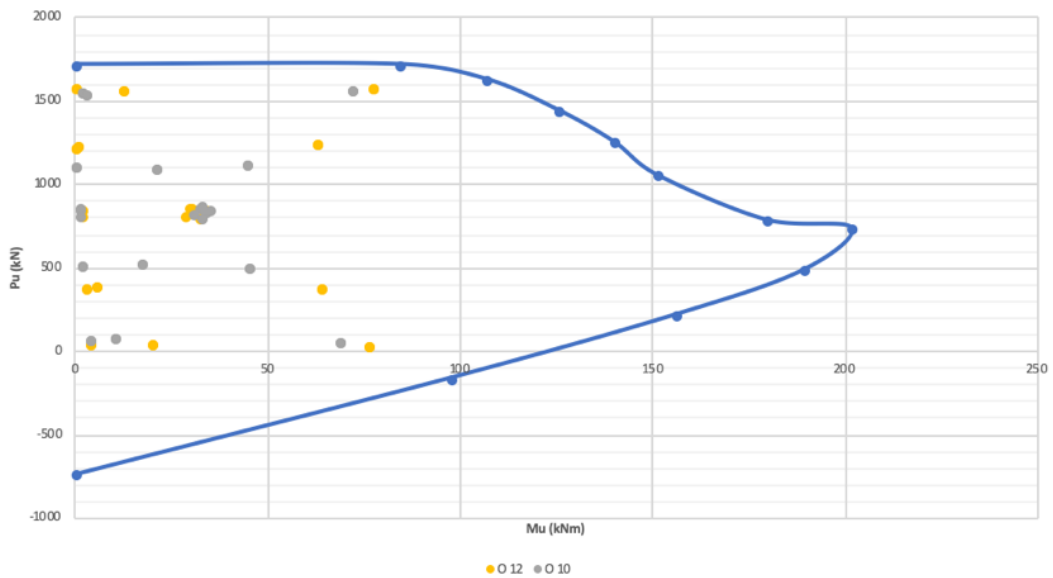


Ilustración 55. Diagrama de interacción columnas O (10, 12).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 107 no compromete a la EIA.

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M2 COLUMNAS L13 Y N(8, 13)

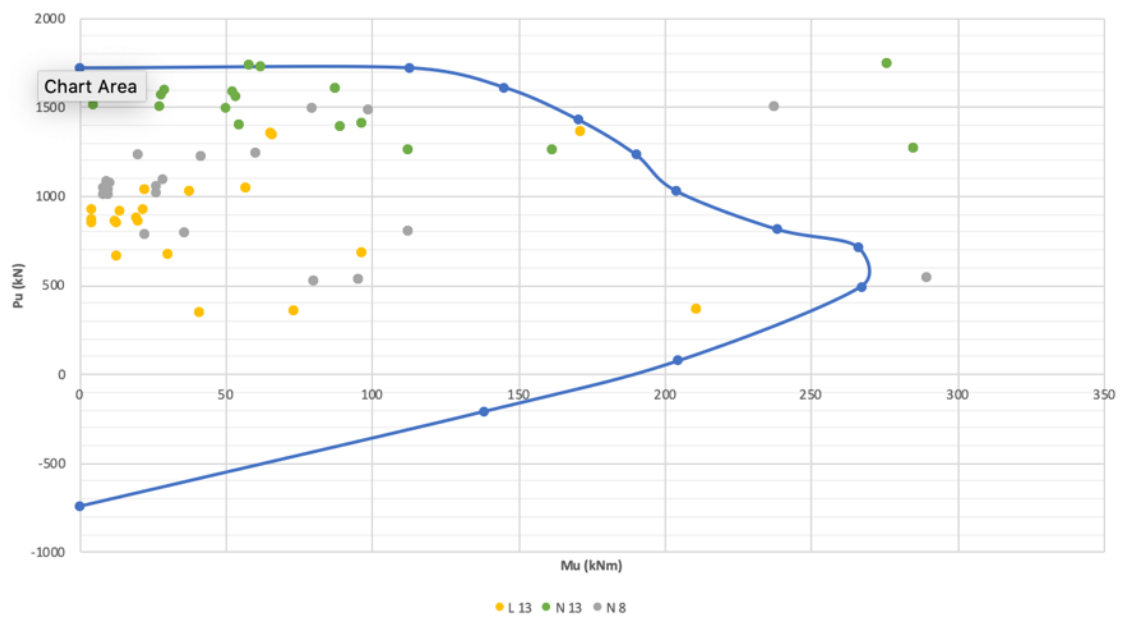


DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M3 COLUMNAS L13 Y N (8, 13)

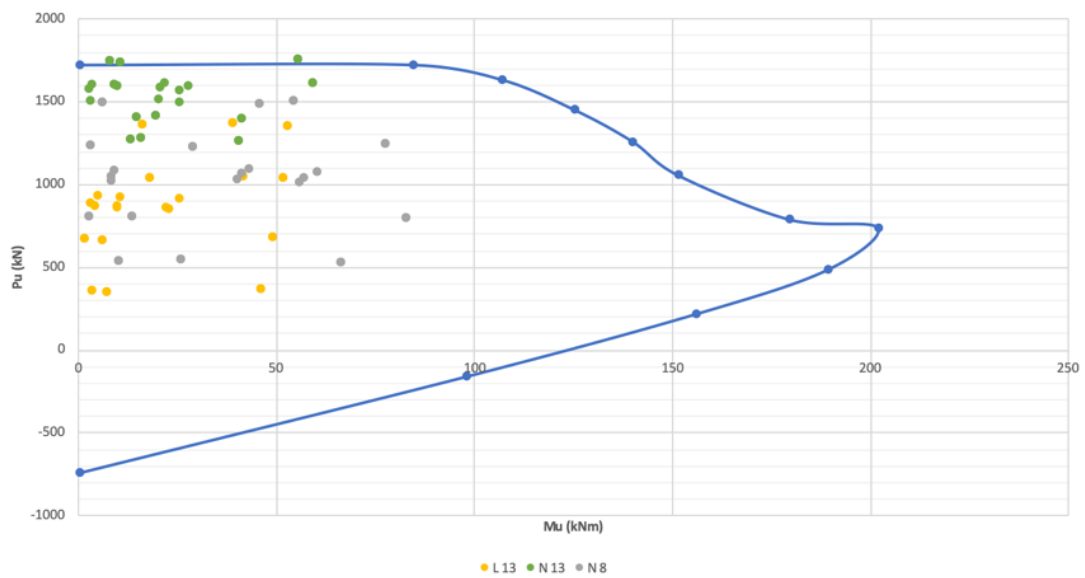


Ilustración 56. Diagrama de interacción columnas L 13 y N (8, 13).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 108 no compromete a la EIA.

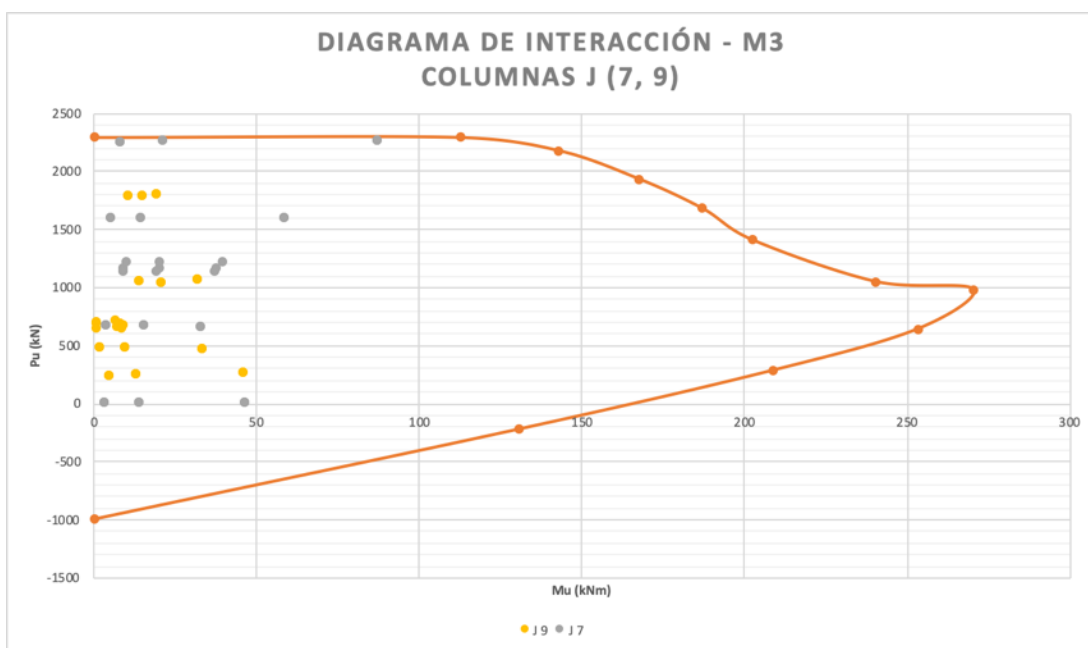
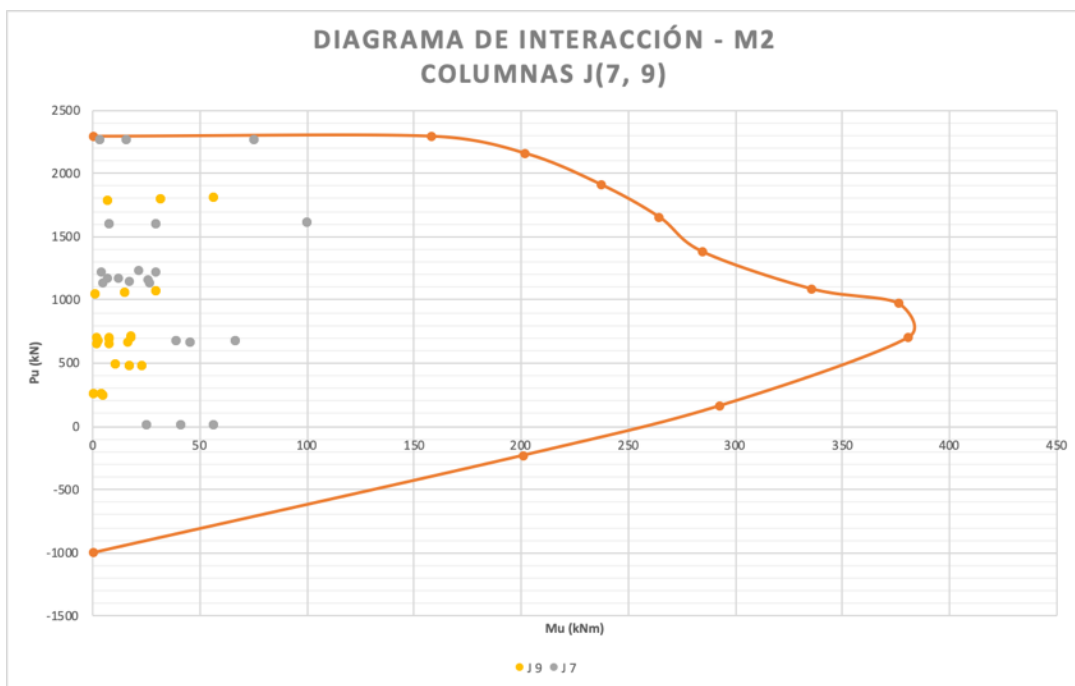


Ilustración 57. Diagrama de interacción columnas J (7, 9).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 109 no compromete a la EIA.

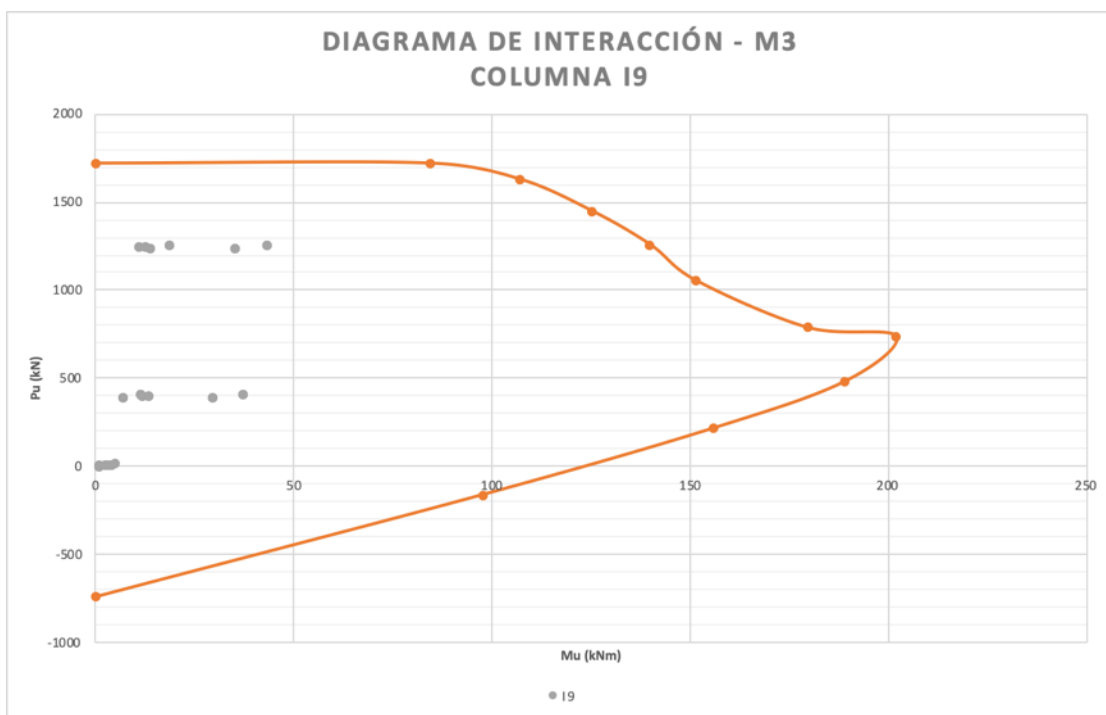
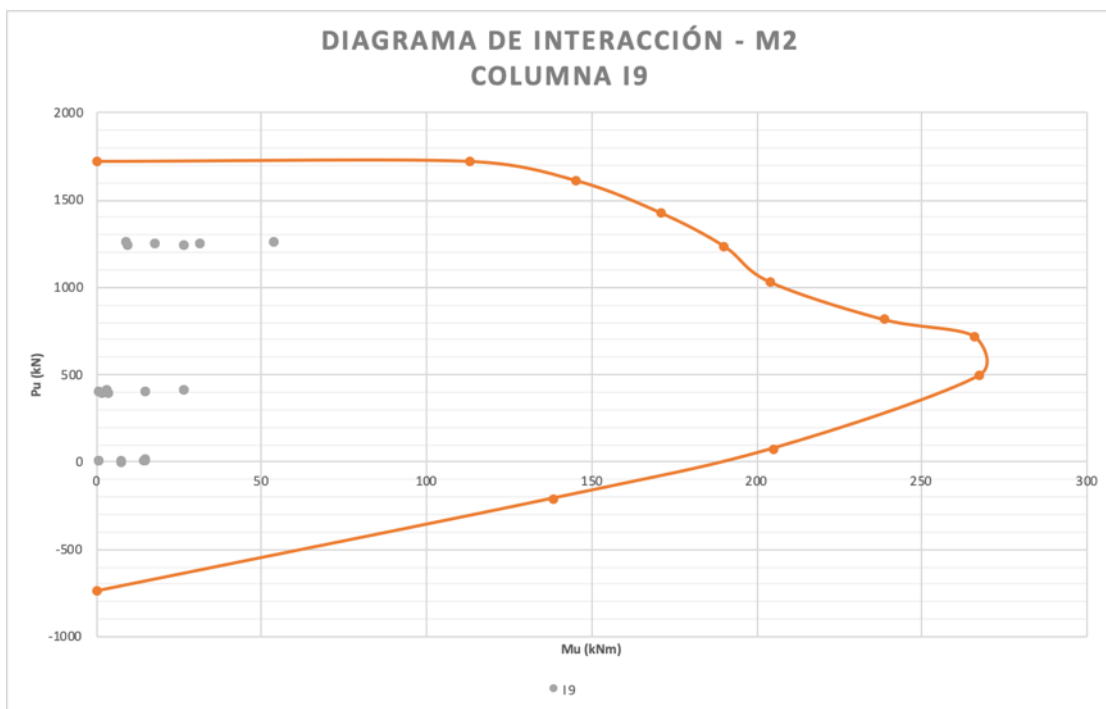
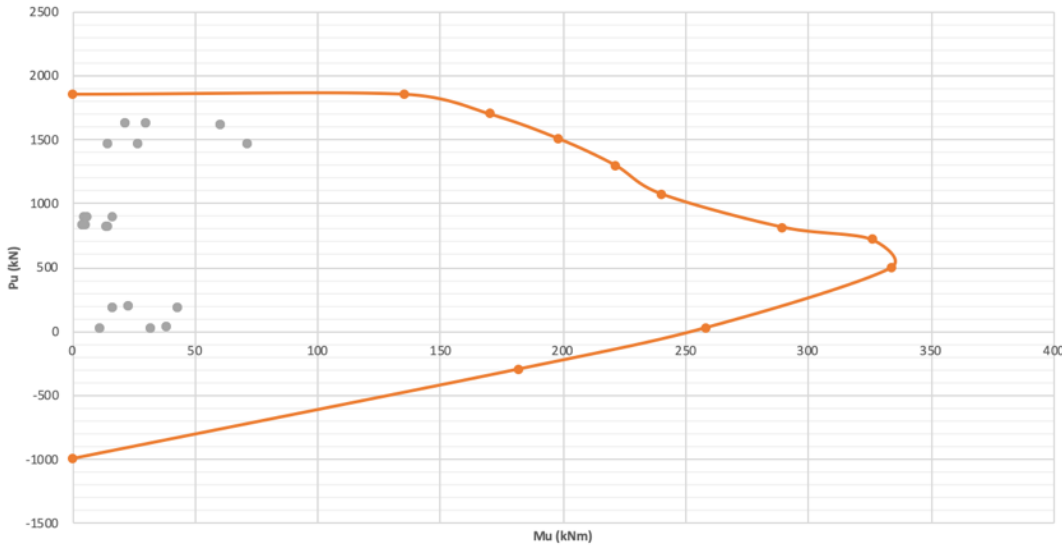


Ilustración 58. Diagrama de interacción columnas 19.

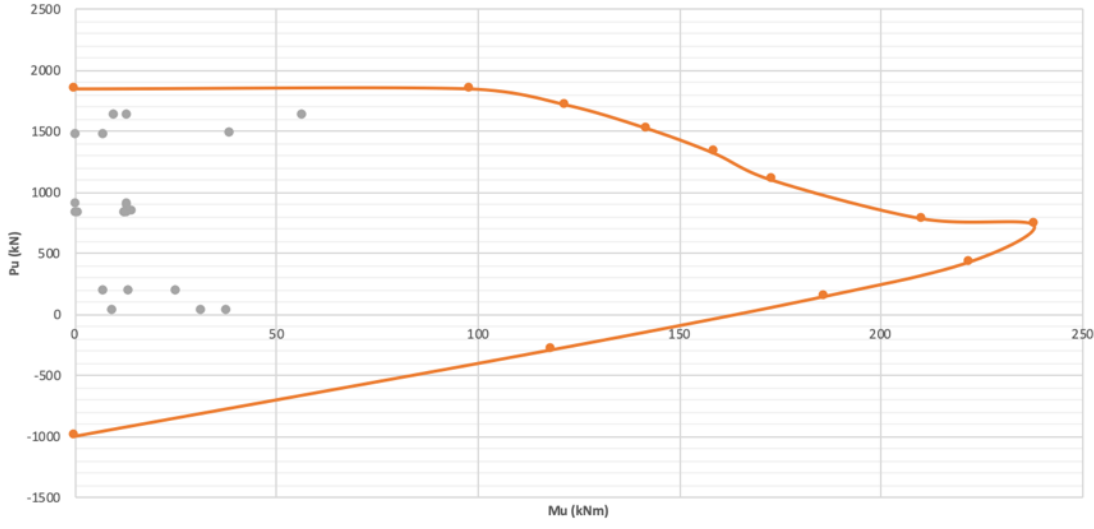
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 110 no compromete a la EIA.

**DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M2
COLUMNA 17**



• 17

**DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M3
COLUMNA 17**



• 17

Ilustración 59. Diagrama de interacción columnas 17.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 111 no compromete a la EIA.

Se evidencia vulnerabilidad en las columnas L8, L10, N12, O10, O12, N13, N8 y I9; al hacer un análisis visual no se sabe cual elemento es el más crítico, pero puede concluirse una falta de resistencia en el sistema, principalmente en los pórticos externos, que debe ser verificada con el fin de que puedan resistirse las solicitaciones actuales por la Norma actual.

Al realizar el análisis a cortante en las columnas no se encontró ningún elemento vulnerable si no se tiene en cuenta un diseño DMO, sin embargo, al tenerlo en cuenta y comparar la cortante efectiva con la última dada por momentos nominales – como dice la Norma – sí hay deficiencia; pero este diseño no se realizará al ya considerar en el modelo que los elementos no tienen esta capacidad de disipación. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 12. Índice de sobreesfuerzo a cortante en columnas.

COLUMNAS				
Ubicación	ϕV_n Efectivo (kN)	V_u analisis (kN)	V_u (kN)	Índice de sobreesfuerzo, cortante
L 8	146	84	219	1.49
L 10	146	52	226	1.55
L 12	146	63	205	1.40
N 10	146	60	217	1.48
N 12	146	86	218	1.49
O 10	133	64	157	1.18
O 12	133	77	157	1.18
L 13	133	46	153	1.15
N 8	133	64	156	1.17
N 13	133	73	160	1.20
J 7	146	57	225	1.54
J 9	146	12	216	1.47
I 9	133	10	150	1.13
I 7	133	36	193	1.45

3.3.2.4 Índice de flexibilidad

Siguiendo los lineamientos expuestos anteriormente (1.3.2.1) se procede a evaluar la edificación con los resultados entregados por el análisis estructural, como puede verse en la hoja de cálculos *Flexibilidad* del Anexo 7a. A partir de la Ecuación 8 y Ecuación 9 se observó que el índice de flexibilidad de la estructura es 0.65, este valor corresponde a un nudo del nivel 3. Para pórticos en concreto reforzado la deriva relativa máxima es del 1% de la altura del piso (Ecuación 8).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 112 no compromete a la EIA.

Ecuación 8. Deriva permitida.

$$Deriva_{permitida} = 0.01 * h$$

Ecuación 9. Índice de sobre esfuerzo.

$$\text{Índice de sobre esfuerzo} = Deriva / Deriva_{permitida}$$

3.3.3 Actualización a la nueva Norma

Analizando los resultados anteriores, se evidencia la necesidad de rehabilitar la edificación con el fin que esta pueda soportar las mismas cargas con las que se diseña actualmente una edificación. Es necesario tener en cuenta, qué sabiendo que esta fue diseñada antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984, la Norma en A.10.9.2.4 hace obligatorio el cumplimiento de obtener índices de sobre esfuerzo y de flexibilidad menores a 1 luego de intervenir la edificación.

A pesar de ver en los resultados que la edificación no tiene problemas de rigidez (índice de flexibilidad menor a 1), se encuentra que algunas de estas solicitaciones se dan ante combinaciones con cargas laterales viendo la necesidad de un sistema que absorba la mayoría de estas cargas laterales y permita que el pórtico trabaje principalmente ante cargas gravitacionales. En el marco teórico (1.3.2.2.2) se mencionaron las diferentes metodologías para rehabilitar estructuras con pórticos resistentes a momentos en concreto reforzado según el FEMA-547-2006. De estas es necesario implementar las metodologías que brinden rigidez, que mejoren la capacidad a cortante de vigas y que a su vez soporte cargas gravitacionales; es decir que se podría pensar en implementar: arriostramiento con elementos de acero o muros. Estas metodologías, aunque puedan soportar cargas gravitacionales, posiblemente no podrían corregir la vulnerabilidad ante cargas axiales que tienen algunas columnas, por lo que podría estudiarse de necesitar esta capacidad, la implementación de refuerzo de estas secciones adicionalmente al otro sistema, por ejemplo: con encamisado de columnas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 113 no compromete a la EIA.

Adicionalmente, pueden generarse grandes solicitaciones al tener una irregularidad torsional, debido a la distribución de masas que presenta el pódico con las escaleras, razón por la cual separar ambas estructuras es requerido y puede realizarse por medio de la creación de una junta estructural entre ambas. Se propone una separación entre los ejes J y L (Ilustración 60) dejando en voladizo las secciones del corte, lo que implica rediseñar los elementos o diseñar un elemento de comunicación entre las dos estructuras, lo que se sale del alcance de este estudio.



Ilustración 60. Zona de separación entre bloques.

En el trabajo titulado Evaluación De Alternativas De Repotenciación en una Estructura en Pódicos de Mediana Altura Construida con el Código Colombiano Sismo Resistente (1984) realizado por Alejandro Herrera Arroyave y David González Restrepo, se evalúa la repotenciación con arriostramiento con muros o con acero, teniendo en cuenta los factores económicos, técnicos y de tiempo en construcción; el resultado muestra que es mejor instalar muros de concreto reforzado (Herrera & González, 2019).

Los muros brindan una mayor resistencia ante cargas laterales aumentando la rigidez y capacidad a cortante del sistema y permiten una mejor distribución de las cargas, razón por la cual luego de comenzar a regir la NSR-98 se comenzaron a implementar sistemas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 114 no compromete a la EIA.

combinados o duales, que aumentan la rigidez de los pórticos de concreto reforzado, pero con la libertad de tener espacios libres para ventanas. Además, mostró un menor precio que el arriostramiento con acero, en el análisis realizado por Herrera y González (Herrera & González, 2019).

Ubicar los pórticos en la periferia es óptimo pues al estos tener mayor distancia al centro de rigidez producen mayor estabilidad torsional (Herrera & González, 2019), además traen ventajas arquitectónicas y permiten mayor facilidad de construcción al no tener que demoler losas interiores y divisiones internas.

Se construye un nuevo modelo sin la estructura de las escaleras, pues el comportamiento será independiente. Se propone cambiar algunos muros en mampostería simple por muros de concreto reforzado de 35 MPa, teniendo en cuenta los planos arquitectónicos y la dirección actual de los pórticos. Al analizar se realizó un proceso iterativo, variando la cantidad y posición de los muros a adicionar hasta presentar resultados óptimos al evaluar las solicitaciones y el índice de sobreesfuerzo, teniendo en cuenta que el diseño se propone de tal manera que las columnas y vigas existentes que enmarquen el muro trabajen con el muro como un solo elemento. La ubicación óptima encontrada se expone en la Ilustración 61, donde se observan más muros en el eje opuesto a los pórticos.

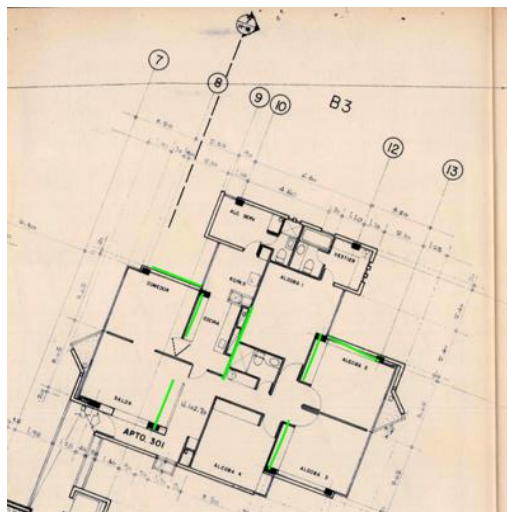


Ilustración 61. Ubicación de muros como propuesta de actualización.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 115 no compromete a la EIA.

Al realizar el modelo estructural se decidió modificar el R_0 a 4.0; aunque las columnas sigan sin tener la ductilidad requerida al ya ser un sistema combinado se esperaría un mejor comportamiento. Además, la irregularidad en planta es eliminada por lo que R' se verá afectado de la siguiente manera:

Tabla 13. Coeficiente de reducción de fuerza sísmica nuevo.

R_0	4
ϕ_p	1
ϕ_a	0.9
ϕ_r	1
R	3.6

El nuevo modelo se presenta a continuación:



Ilustración 62. Modelo en SAP2000 de la intervención propuesta.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 116 no compromete a la EIA.

3.3.3.1 Vulnerabilidad del nuevo sistema

Se realiza el mismo procedimiento del análisis de la edificación actual (3.3.2) teniendo en cuenta los cambios realizados, los resultados del análisis pueden verse en el Anexo 7; el índice de flexibilidad de la estructura disminuye a 0.3, es decir que se alcanzó una mejor rigidez global; por otro lado, el índice de sobreesfuerzo en vigas resulta ser de 1.48 y le sigue 1.09 y en columnas se encuentran índices menores a 1 y se verifica que el sobreesfuerzo a axial es eliminado por ejemplo en la columna L8 donde se encontraba dicha deficiencia.

Los resultados se muestran a continuación (todos los cálculos se encuentran en el Anexo 7b):

Nota: tanto en vigas como en columnas pareciera existir una vulnerabilidad a cortante, sí se disminuyen las solicitaciones a cortante del modelo, pero en este caso el índice es mayor a 1 por comparar la capacidad efectiva a cortante con la cortante última por los momentos nominales, comparación que según la norma se requiere cuando se quiere tener un diseño DMO, sin embargo, este desde un comienzo no se tuvo en cuenta al disminuir R.

Tabla 14. índice de sobreesfuerzos en vigas del sistema intervenido.

VIGAS											
Piso	Nombre Planos	Mu máx (kNm)	Mu mín (kNm)	M _{def} negativo (kNm)	M _{def} positivo (kNm)	ψV_n Efectivo (kN)	ψV_u Modelo (kN)	V _n (kN)	Índice de sobreesfuerzo, cortante	Índice de sobreesfuerzo, momentos positivos	Índice de sobreesfuerzo, momentos negativos
EN LOS EXTREMOS											
3	9	13.89	-22.51	153.54	68.58	56.36	52.5	125.30	2.22	0.20	0.15
3	9	-32.77	-73.13	178.21	139.68	77.91	53.94	125.30	1.61		0.41
3	9	-59.32	-98.44	178.21	139.68	120.13	99.5	76.43	0.83		0.55
3	9	-44.51	-77.16	167.00	116.02	120.13	79.9	76.43	0.67		0.46
3	9	-12.13	-54.10	167.00	116.02	77.91	56.88	88.95	1.14		0.32
3	9	24.86	-13.45	68.58	36.84	56.36	28.86	88.95	1.58	0.67	0.20
3	10	0.00	0.00	130.22	68.58	56.36	0	118.76	2.11		
3	10	0.00	0.00	200.77	167.00	77.91	0	118.76	1.52		
3	10	-3.76	-45.80	200.77	167.00	146.71	76.34	89.57	0.61		0.23
3	10	18.71	-0.67	200.77	167.00	146.71	73.38	89.57	0.61	0.11	0.00
3	10	0.00	0.00	200.77	167.00	77.91	0.0	118.76	1.52		
3	10	0.00	0.00	130.22	68.58	56.36	0	118.76	2.11		
3	11	-26.55	-48.25	54.01	106.45	60.92	51.32	44.29	0.84		0.89
3	11	-38.35	-59.13	54.01	106.45	60.92	49.89	44.29	0.82		1.09
INTERIOS											
3	9	14.26	9.59	87.74	68.58	49.97	29.44	111.86	2.24	0.21	
3	9	42.70	37.29	36.84	153.54	49.97	15.4	49.97	1.00	0.28	
3	9	12.36	7.32	167.00	36.84	49.97	22.88	75.51	1.51	0.34	
3	10	0.00	0.00	200.77	68.58	49.97	0	105.32	2.11		
3	10	-16.19	-62.35	68.58	178.21	49.97	74.06	63.11	1.48		0.91
3	10	0.00	0.00	200.77	68.58	49.97	0	105.32	2.11		
3	11	37.64	33.66	36.84	123.38	49.97	14.47	17.83	0.36	0.31	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 117 no compromete a la EIA.

Tabla 15. Índice de sobreesfuerzo a cortante en columnas.

COLUMNAS				
Ubicación	ϕV_n Efectivo (kN)	V_u análisis (kN)	V_n (kN)	Índice de sobreesfuerzo, cortante
L 8	146	41	219	1.49
O 10	133	13	157	1.18
O 12	133	25	157	1.18
L 13	133	19	153	1.15

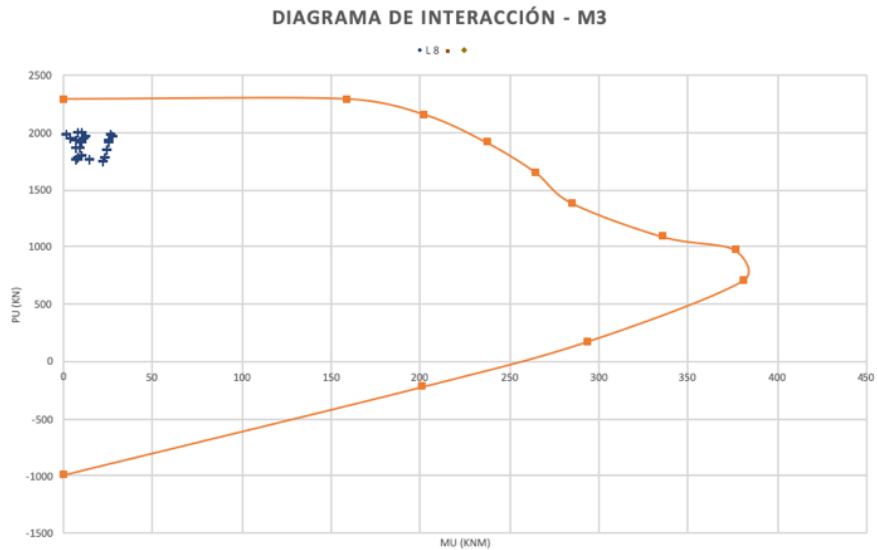
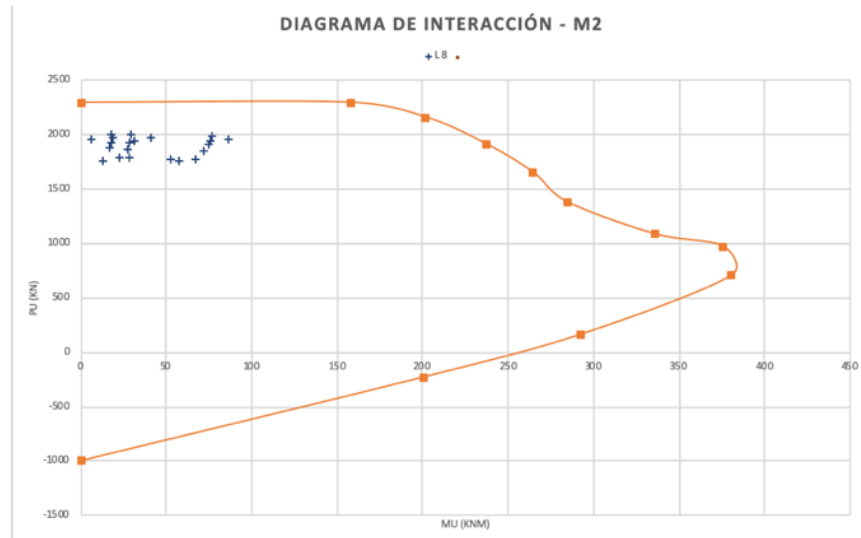


Ilustración 63. Diagrama de interacción de columnas L8.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 118 no compromete a la EIA.

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M2

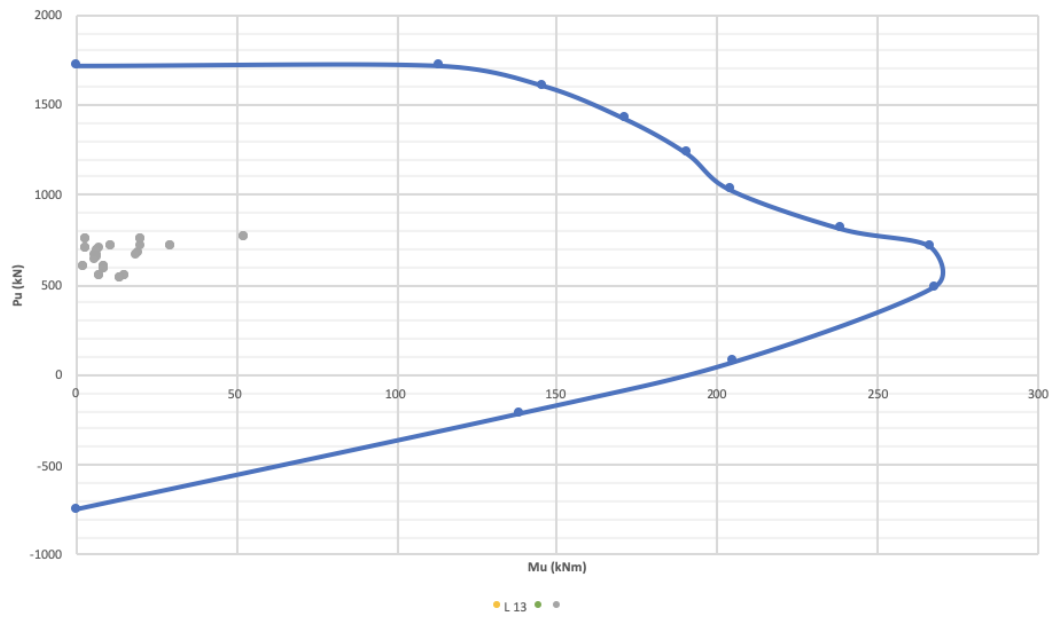


DIAGRAMA DE INTERACCIÓN - M3

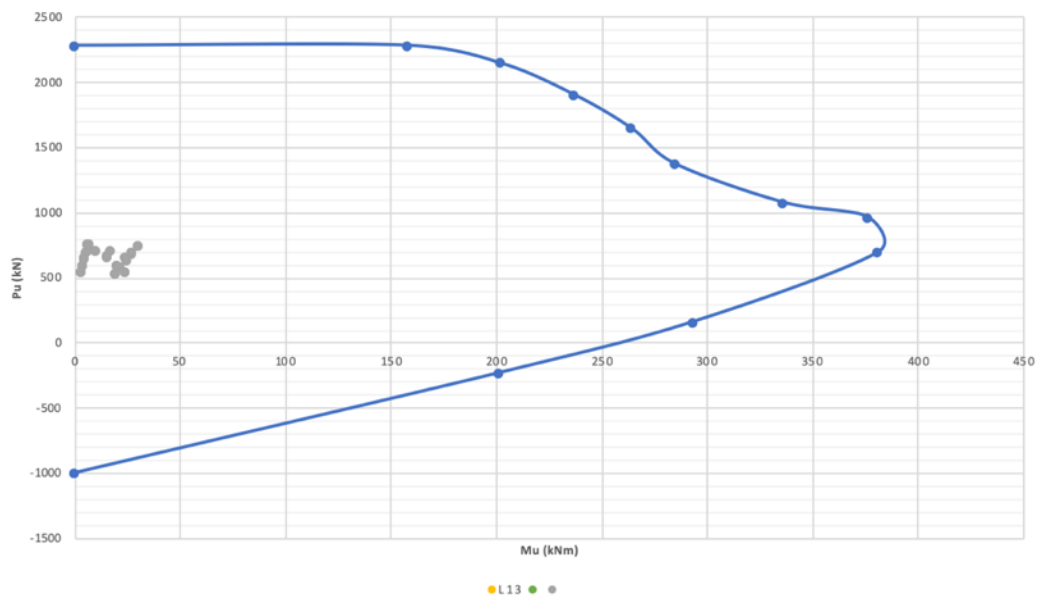


Ilustración 64. Diagrama de interacción de columnas L13.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 119 no compromete a la EIA.

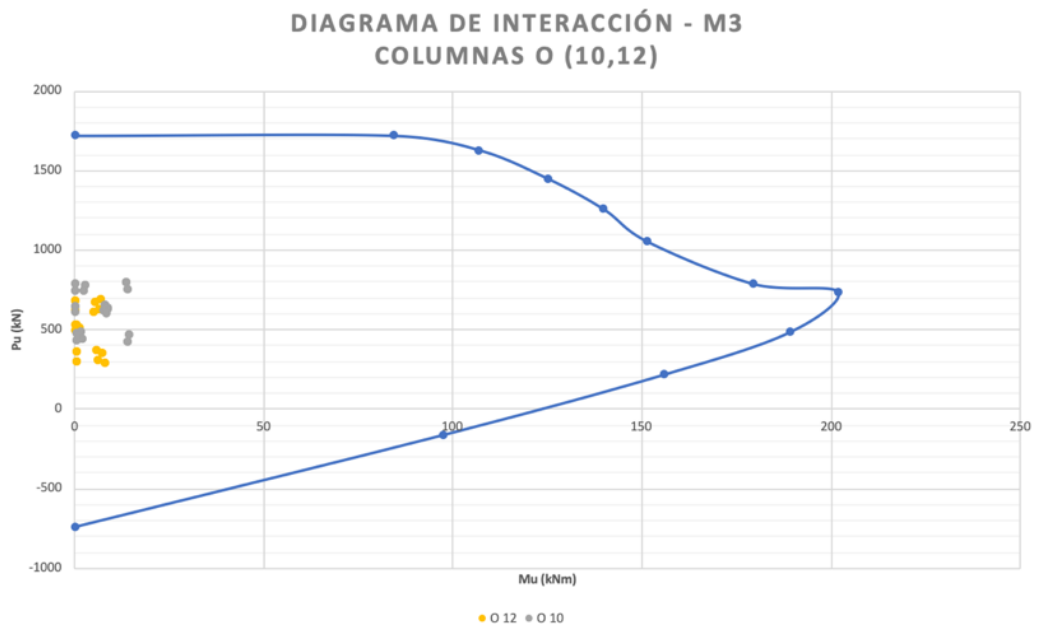
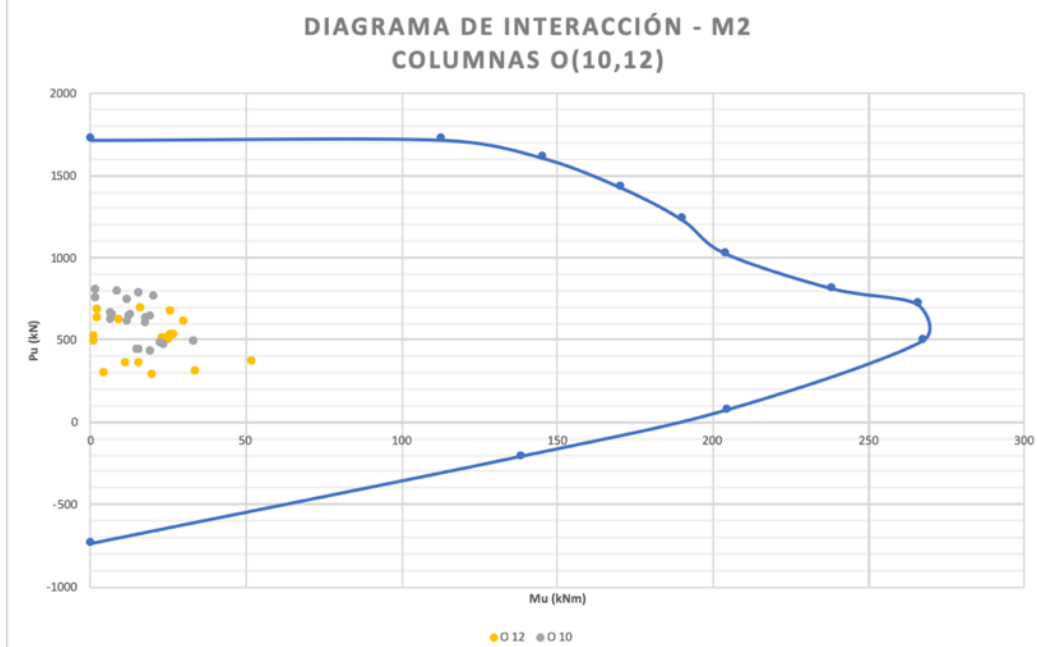


Ilustración 65. Diagrama de interacción de columnas O10 y O12.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 120 no compromete a la EIA.

Teniendo en cuenta los resultados se procede a realizar el diseño de la actualización, a pesar de ser una cantidad alta de muros nuevos a añadir, estos son necesarios para eliminar la vulnerabilidad de la edificación. Por otro lado, la viga que se conecta con la columna O12 en el piso 3 presenta una vulnerabilidad mínima, que no justifica ser corregida y la viga 10 en el nivel 3 debe ser corregida a cortante y puede implementarse fibra de carbono en solo este elemento, pero al ser poco no se tendrá en cuenta en la evaluación económica.

La posibilidad de adicionar muros u otras soluciones de rehabilitación a la zona de las escaleras se sale del alcance del presente trabajo, pues se propuso la evaluación y rehabilitación de un bloque, pero se recomienda realizar un análisis adicional en futuros trabajos, pues las vigas de esta sección eran las de mayor índice de sobreesfuerzo. No obstante, la separación de la estructura principal puede reducir los sobreesfuerzos. Adicionalmente, al separar la estructura puede requerirse la adición de columnas o muros cargueros, con el fin de no dejar zonas en voladizo cuando los elementos actuales son vulnerables.

3.3.3.2 Diseño de la intervención

Para el diseño del muro, se tomaron los resultados arrojados por el modelo y se procedió a realizar el diagrama de interacción con la cuantía mínima y las dimensiones del muro, con lo cual se verificó cumplimiento de todas parejas de axial y momento para las diferentes combinaciones de carga. A continuación, se procedió a hacer el diseño a cortante, el cual, dada la gran sección del elemento, cumple con la mínima cuantía especificada en la norma. Finalmente, se procedió a hacer la verificación de necesidad de elementos de borde (C.21.9.6.2), encontrando que ninguno lo requería. Se diseñaron tres tipos de muro base, según su longitud y se evaluaron las solicitaciones correspondientes para cada uno de los 7 muros; el primer muro de 2.75m (ejes 10N,L y 12N,L), el segundo de 3.7 (eje N-L), y el tercero de 3.2m (ejes N8-10 y N12-13). Los cálculos pueden encontrarse en el Anexo 7c y los resultados se muestran a continuación:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 121 no compromete a la EIA.

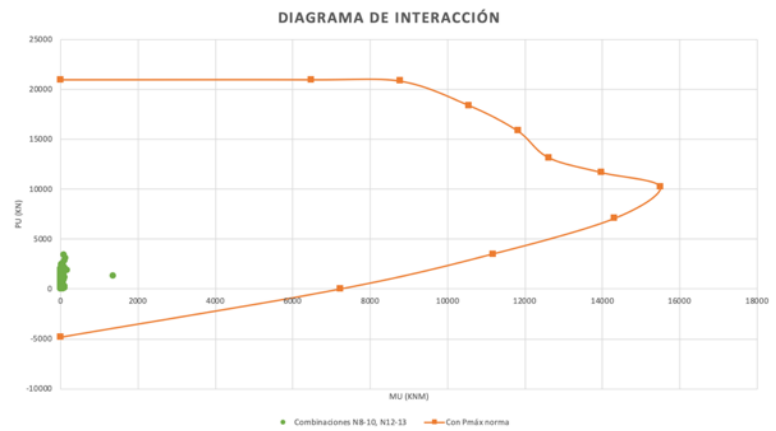
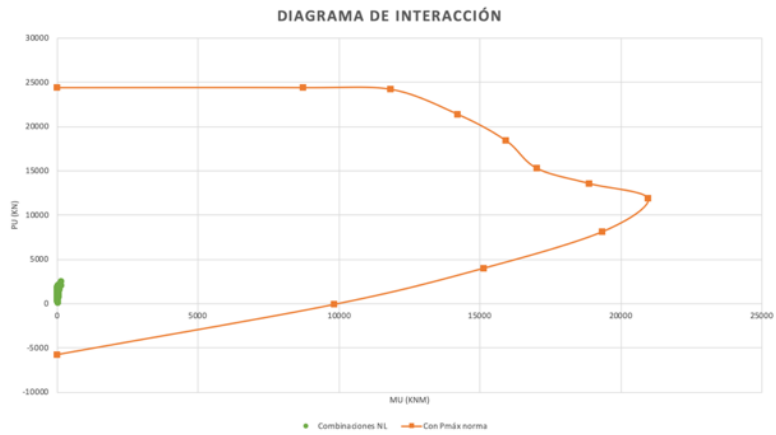
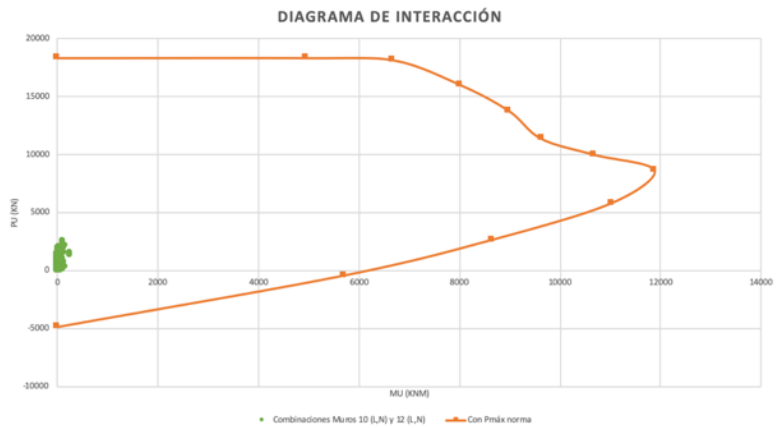


Ilustración 66. Diagrama de interacción de muros.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 122 no compromete a la EIA.

Tabla 16. Diseño sísmico de los muros.

Lmuro [m]	V _u [kN]	V _{UC} [kN]	S [mm]	Área mínima con 2 No. 3 [mm ²]	V _{US} [kN]	V _U total [kN]
2.75	637	818	200	142	606	1424
3.2	604	953	200	142	707	1660
3.7	450	1104	200	142	819	1923

Se evidencia que los muros al ser de grandes dimensiones podrían soportar mayores cargas aún con la cuantía mínima, esto no significa que esté sobredimensionado pues es la distribución de muros que rigidiza el sistema para alcanzar los índices de sobre esfuerzo menores a 1.

Como último debe responderse las preguntas expuestas anteriormente (1.3.2.2.1) planteadas por el FEMA-547-2006, donde el sistema de muros es óptimo en cuanto es compatible la deformación con el sistema de resistencia ante fuerzas laterales o gravitacionales existente, el nuevo sistema aliviará suficientemente la estructura, eliminando la vulnerabilidad; todo esto teniendo en cuenta que se debe correr un nuevo modelo que considere las nuevas rigideces de los elementos, la adición de los nuevo y la masa agregada al sistema. Como último se cuestiona la necesidad de nuevas y extensas fundaciones para el nuevo sistema, lo cual en este caso resultará necesario, sin embargo, este requeriría de un estudio más amplio donde se cuente con más información.

3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.4.1 Prefactibilidad de construcción de un proyecto nuevo

El surgimiento de la construcción de viviendas en El Poblado fue tal que se agotó casi por completo el potencial de aprovechamiento urbano de esta comuna. Actualmente, la gran mayoría de los lotes disponibles están sujetos a las estrictas regulaciones impuestas por el POT, el cual asigna a estos terrenos un tratamiento de consolidación nivel 5 (CN5). La

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 123 no compromete a la EIA.

motivación de esta decisión proviene de la necesidad de regular la construcción de manera que no se supere la capacidad de soporte de la zona, con el objetivo de: mejorar la condición de la estructura urbana, propender por la cualificación ambiental de los espacios públicos, los equipamientos y las vías que conectan con el resto de la ciudad; y garantizar la preservación de las zonas verdes, ya que muchas hacen parte de la Red de Conectividad Ecológica. En este sentido, se aplica el tratamiento para determinar los lotes con potencial de desarrollo bajo determinados criterios, tales como: Lotes no construidos, lotes que en su área útil puedan desarrollarse, lotes que no hayan sido sometidos al reglamento de propiedad horizontal, lotes con altura menor o igual a 4 pisos y otros (Departamento Administrativo de Planeación, 2014).

Se menciona lo anterior pues impide el desarrollo de un nuevo proyecto en este terreno, el cual es una de las alternativas a evaluar en el presente trabajo, porque tiene edificaciones de más de 4 niveles y ya fue sometido al reglamento de propiedad horizontal. Por lo que se propone evaluar la alternativa y de presentar valores positivos, puede llegarse a proponer un cambio en esta reglamentación dado que ya se estaría hablando de proteger bienes humanos en cuanto se estaría diseñando una nueva edificación que cumple los requisitos de la normativa actual.

Para evaluar un proyecto nuevo deben conocerse las limitaciones del terreno y lo que se puede hacer en él, pues este último es el que le brinda valor al proyecto. De la consulta del POT en la página de GEO Medellín se encontró que el lote ubicado en la Calle 5B #43C-50 tiene las siguientes características (Departamento Administrativo de Planeación, s/f):



Ilustración 67. Ubicación del lote. Tomada de GEO Medellín.

- Estrato 6
- Área: 3954.62 m²
- Suelo urbano, con tratamiento de Consolidación Nivel 5
- Se debe respetar retiro para antejardín de la sección vial

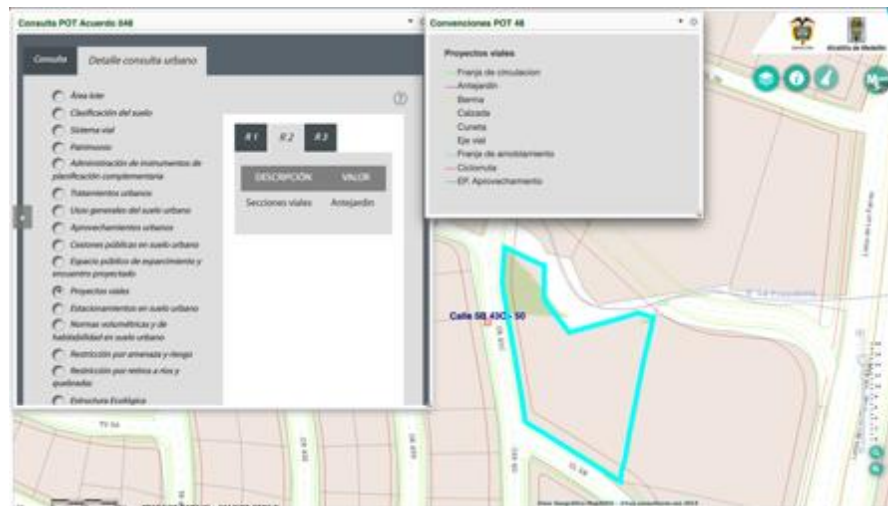


Ilustración 68. Secciones viales TB 2. Tomado de GEO Medellín.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 125 no compromete a la EIA.

- Índice de construcción: 2.5, 80% del área neta del lote en plataforma y 60% en torre.
- Densidad 200 viviendas/habitante
- Área mínima de vivienda de dos alcobas: 45 m²
- No tiene límite en altura
- Estacionamientos privados: Vehículo 1.5/1, motos 1/4
- Estacionamiento de visitantes: Vehículo 1/3, motos 1/6

Al realizar la prefactibilidad de construir un proyecto nuevo en este lote se evidencia que pueden construirse 80 apartamentos (50 más que los que hay actualmente), con áreas de 123 m² los cuales pueden ser vendidos a el precio promedio por metro cuadrado (\$7,080.00, expuesto en la Tabla 3) y también se considera la venta de 120 parqueaderos a \$30,000,000 cada uno. Lo anterior lleva a tener un total en ventas de \$73,313,574,000 donde se podría construir 2.35 veces el área de índice actual.

La prefactibilidad puede verse en el Anexo 10 y se realizó teniendo en cuenta los siguientes costos:

- Directos: Son todos aquellos costos, tangibles, necesarios para realizar la intervención como el costo del lote, demolición, la construcción la torre de apartamentos (incluye el precio de construcción por metro cuadrado de apartamentos, puntos fijos, parqueaderos y zonas comunes), el urbanismo, un 1% de la construcción de postventa y un 10% de imprevistos. Para el análisis realizado corresponde al 71% del total de las ventas.
- Indirectos: Son todos aquellos costos, no tangibles, que permiten que la intervención pueda ser realizada como publicidad, reembolsables (ventas, interventoría, gerencias y contabilidad), seguros, escrituración, conexión de servicios, licencias de construcción y urbanismo y otros. Corresponde al 9% del total de las ventas para este proyecto.
- Financieros: Son aquellos derivados de compromisos financieros, se incluyen los gastos de intereses, un 4% del total de las ventas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 126 no compromete a la EIA.

- Honorarios: Son todos aquellos que deben pagarse al grupo profesional que presta un servicio para el desarrollo de la intervención como lo son arquitectos, diseñadores estructurales, supervisión técnica, interventoría, entre otros. En la evaluación realizada son el 12.16% de todas las ventas.

Del análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17. Bolsa del proyecto (valores en miles).

VENTAS				
Aspecto	Cantidad	Precio	Total	Porcentaje
Apartamentos [m2]	9846.55	\$7,080.00	\$69,713,574.00	
Parqueaderos Carros	120.00	\$30,000.00	\$3,600,000.00	
TOTAL			\$73,313,574.00	100%
COSTOS			\$75,192,944.06	103%
BOLSA			\$7,035,460.64	10%

Tabla 18. Utilidad del proyecto (valores en miles).

FACTIBILIDAD		
Ventas	\$73,313,574.00	100%
Costos	\$75,192,944.06	103%
Utilidad	-\$1,879,370.06	-2.6%

Puede observarse que el proyecto no sería viable de esta manera, pues a diferencia de un proyecto que parte de un lote no construido, este debe considerar el costo de la demolición y el costo de compra de todos los apartamentos, este último obligan que el precio del lote sea el 21% de las ventas cuando este debería ser aproximadamente el 10% de las ventas. Se realiza una tabla de sensibilidad con dos variables, precio del lote y precio del metro cuadrado, si se venden apartamentos a \$7,000,000/m² – valor promedio de un inmueble nuevo - para tener utilidades del 8% el valor recomendado de compra del lote es \$5,000,000,000 (Tabla 19).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 127 no compromete a la EIA.

Tabla 19. Tabla de sensibilidad precio del lote vs precio de m² (valores en miles).

BOLSA		PRECIO m ²									
	\$7,035,460.64	\$ 3,500.00	\$ 4,000.00	\$ 4,500.00	\$ 5,000.00	\$ 5,500.00	\$ 6,000.00	\$ 6,500.00	\$ 7,000.00	\$ 7,500.00	\$ 8,000.00
PRECIO DEL LOTE	\$ 2,000,000.00	\$ (9,861,905.06)	\$ (6,399,448.60)	\$ (996,992.14)	\$ 3,525,464.32	\$ 7,987,920.78	\$ 12,450,377.24	\$ 16,912,833.70	\$ 21,375,290.16	\$ 25,837,746.62	\$ 30,300,203.08
	\$ 2,500,000.00	\$ (10,417,655.06)	\$ (6,955,198.60)	\$ (1,492,742.14)	\$ 2,969,714.32	\$ 7,432,170.78	\$ 11,894,627.24	\$ 16,357,083.70	\$ 20,819,540.16	\$ 25,281,996.62	\$ 29,744,453.08
	\$ 3,000,000.00	\$ (10,973,405.06)	\$ (6,510,948.60)	\$ (2,048,492.14)	\$ 2,413,964.32	\$ 6,876,420.78	\$ 11,338,877.24	\$ 15,801,333.70	\$ 20,263,790.16	\$ 24,726,246.62	\$ 29,188,703.08
	\$ 3,500,000.00	\$ (11,529,155.06)	\$ (7,066,698.60)	\$ (2,604,242.14)	\$ 1,859,214.32	\$ 6,320,670.78	\$ 10,783,127.24	\$ 15,245,583.70	\$ 19,706,040.16	\$ 24,170,496.62	\$ 28,632,953.08
	\$ 4,000,000.00	\$ (12,084,905.06)	\$ (7,622,448.60)	\$ (3,159,992.14)	\$ 1,302,464.32	\$ 5,764,920.78	\$ 10,227,377.24	\$ 14,689,833.70	\$ 19,152,290.16	\$ 23,614,746.62	\$ 28,077,203.08
	\$ 4,500,000.00	\$ (12,640,655.06)	\$ (8,178,198.60)	\$ (3,715,742.14)	\$ 746,714.32	\$ 5,209,170.78	\$ 9,671,627.24	\$ 14,134,083.70	\$ 18,596,540.16	\$ 23,058,996.62	\$ 27,521,453.08
	\$ 5,000,000.00	\$ (13,196,405.06)	\$ (8,733,948.60)	\$ (4,271,492.14)	\$ 190,964.32	\$ 4,653,420.78	\$ 9,115,877.24	\$ 13,578,333.70	\$ 18,040,790.16	\$ 22,503,246.62	\$ 26,965,703.08
	\$ 5,500,000.00	\$ (13,752,155.06)	\$ (9,289,698.60)	\$ (4,827,242.14)	\$ (364,785.68)	\$ 4,097,670.78	\$ 8,560,127.24	\$ 13,022,583.70	\$ 17,485,040.16	\$ 21,947,496.62	\$ 26,409,953.08
	\$ 6,000,000.00	\$ (14,307,905.06)	\$ (9,845,448.60)	\$ (5,382,992.14)	\$ (920,535.68)	\$ 3,541,920.78	\$ 8,004,377.24	\$ 12,466,833.70	\$ 16,929,290.16	\$ 21,391,746.62	\$ 25,854,203.08
	\$ 6,500,000.00	\$ (14,863,655.06)	\$ (10,401,198.60)	\$ (5,938,742.14)	\$ (1,476,285.68)	\$ 2,986,170.78	\$ 7,448,627.24	\$ 11,911,083.70	\$ 16,373,540.16	\$ 20,835,996.62	\$ 25,298,453.08

Razón por la cual se decide hacer otra evaluación, donde el lote no tenga costo alguno proponiendo entregar a cada propietario de los apartamentos un apartamento en el proyecto nuevo pagando un excedente de \$500,000/m² (valorando incluso el costo de reacomodación durante la construcción del proyecto, 2 años). De esta manera, aunque los ingresos por ventas sean menores y se incremente el costo directo por reacomodación, no habrá costo del lote del 21% de las ventas, siendo las ventas de \$47,000,000,000; sin embargo, este solo genera pérdidas por lo que se evalúa un precio por metro cuadrado de excedente donde se genere una utilidad y se obtuvo un precio de \$4,000,000/m², es decir que cada propietario tendría que pagar \$490,000,000 adicional a la entregar su apartamento. Los resultados se exponen a continuación:

Tabla 20. Bolsa del proyecto, prefactibilidad #2 (valores en miles).

VENTAS				
Aspecto	Cantidad	Precio	Total	Porcentaje
Apartamentos [m2]	9846.55	\$7,080.00	\$59,098,993.10	
Parqueaderos Carros	120.00	\$30,000.00	\$3,600,000.00	
TOTAL			\$62,698,993.10	100%
COSTOS			\$58,425,855.82	93%
BOLSA			\$12,161,593.24	19%

Tabla 21. Utilidad del proyecto, prefactibilidad #2 (valores en miles).

FACTIBILIDAD		
Ventas	\$62,698,993.10	100%
Costos	\$62,118,534.26	93%
Utilidad	\$580,458.84	0.9%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.4.2 Presupuesto de rehabilitar

Rehabilitar una edificación comprende además de la repotenciación o actualización a la normativa vigente, la actualización física o remodelación que permita la comodidad de uno nuevo. La decisión de rehabilitar está en las manos de los propietarios de cada apartamento, pues ellos son los que tendrán que incurrir en los gastos. El precio que se estima a continuación incluye costos directos, como materiales, mano de obra para la instalación de estos, herramientas y equipos; e indirectos, como administración, imprevistos y utilidad (AIU); pero no incluye la acomodación provisional de los propietarios durante el tiempo requerido de trabajo, que sí es requerida al implementar una alternativa de rehabilitación tanto en el exterior como en el interior. Para el cálculo del precio de la intervención, se realizan estimaciones de cantidades en el programan On-Screen Takeoff y se toman precios por unidad de diferentes presupuestos para proyectos nuevos en zonas cercanas, que no sea vivienda de interés social.

La unidad residencial TB 2 tiene 6 tipos de apartamentos, uno en cada bloque y cada bloque tiene diferentes alturas, razón por la cual se decide tomar cantidades de un solo apartamento (Unidad 201) e interpolarmas para los demás según el área de cada una. Lo anterior se debe a que un trabajo de estimación de un proyecto de diferentes tipos de unidades requiere un alto nivel de detalle, que conlleva tiempo y este no está comprendido dentro del trabajo. Además, como algunas cantidades son calculadas por torre, como la repotenciación, debe encontrarse la cantidad equivalente de torres iguales al Bloque 3 en el conjunto residencial. El análisis de áreas para cada tipo de apartamento y la relación entre los bloques se muestra a continuación:

Tabla 22. Área de apartamentos y puntos fijos.

Bloque	Niveles	Área Apartamento (m ²)	Relación/Apt.	Total Apartamentos respecto bloque 3	Punto fijo	Área Total Apartamentos (m ²)	Cantidad de bloques tipo 3	Área Total Puntos Fijos (m ²)
1	4	151	0.921	3.68	16	604	0.614	64
2	5	160	0.976	4.88		800	0.813	0
3	6	164	1.000	6.00	49	984	1.000	294
4	6	137	0.835	5.01		822	0.835	0
5	4	139	0.848	3.39	21	556	0.565	84
6	3	145	0.884	2.65		435	0.442	0
Promedio Área		149.33	Apt. tipo B3	25.62		Bloques tipo B3	4.269	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 129 no compromete a la EIA.

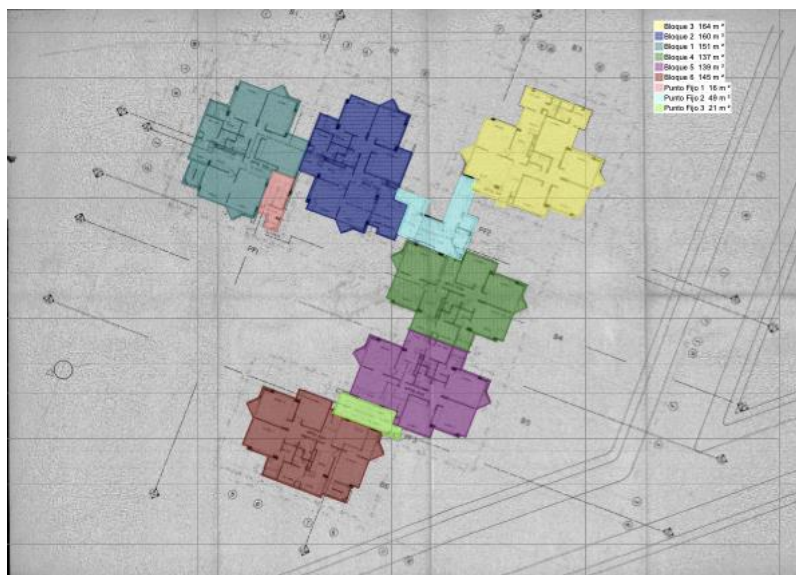


Ilustración 69. Áreas del proyecto por bloque. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

El Anexo 11 muestra los cálculos realizados para encontrar un estimado del costo total de la intervención, el cual es de \$8,355,175,174.72, es decir que cada propietario debe pagar \$1,988,853.89/m²; en la Tabla 23 se muestra un resumen de los resultados obtenidos. El costo es una aproximación de lo que podría esperarse, pues al momento de demoler se debe considerar el desarrollo de ciertos factores sobre los que no se tiene absoluta certeza, consecuentemente alterando lo delicado y dispendioso que puede llegar a ser la demolición de elementos específicos dentro de una edificación existente. Esta incertidumbre impide determinar un tiempo de intervención preciso, de manera que el análisis realizado al respecto podrá no ser exacto.

Tabla 23. Resultados del presupuesto para rehabilitar la unidad residencial TB 2.

		COSTO DIRECTO	\$ 5,157,515,539.95
A	20%	\$ 1,031,503,107.99	
I	3%	\$ 154,725,466.20	
U	8%	\$ 412,601,243.20	
		COSTO INDIRECTO	\$ 1,598,829,817.38
		TOTAL	\$ 8,355,175,174.72
		Por metro cuadrado	\$ 1,988,853.89
		Por apartamento	\$ 297,002,180.30

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 130 no compromete a la EIA.

Dentro del precio se incluyen los siguientes ítems para los cuales se muestran las estimaciones realizadas:

- Repotenciación: A partir del diseño propuesto, se halló la cantidad de material requerido para la rehabilitación y teniendo en cuenta la longitud del muro, se extrapoló para hallar las cantidades para los demás muros del Bloque 3 y se encontró la equivalencia para las demás torres. Se incluye un 15% más de acero para realizar todos los anclajes a elementos existentes y acero para arreglo de columnas cortas por medio de encamisados de columnas (que mejoren su respuesta a cortante), la mano de obra y herramienta para preparar la superficie de los elementos existentes columnas y vigas existentes y un 10% más de concreto para estos muros aleros. También se incluye un precio para la demolición y preparación de la superficie por metro lineal que debe intervenir al separar el bloque del punto fijo y el bloque 3, ya que de aquí parte el diseño de la rehabilitación. Las cantidades de concreto y acero para el Bloque 3 se muestra a continuación:

Tabla 24. Cantidades para muros de Bloque 3.

Dimensiones	
Sumatoria de longitud de muros (m)	21.1
Espesor del muro (m)	0.4
Altura del muro (m)	23.48
Área de concreto (m ²)	495.43
Volumen de concreto (m ³)	198.17
Refuerzo longitudinal	
Longitud máxima de barras (m)	8
Cantidad de barras necesarias para altura	3
Cantidad de barras total de 8 m	540
Longitud total de barras (m)	4320
Peso de barras no. 8 (kg)	17163
Refuerzo transversal	
Longitud promedio estribo no. 3 (m)	6.51
Cantidad de estribos no. 3	826
Peso de barras no. 3 (kg)	3011
Peso total acero muros 0.4m	20174

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 131 no compromete a la EIA.

- Preliminares: Incluye tanto cerramientos provisionales que deban realizarse como instalaciones provisionales.
- Demoliciones: Al remodelar arquitectónica deben retirarse todos los acabados, particiones, elementos no estructurales (ventanas y puertas) y equipos antiguos, dando lugar a los nuevos sin aumentar cargas muertas de la edificación.
- Divisiones en mampostería y livianas: Las edificaciones actualmente tienen divisiones y muros exteriores en mampostería, estos en general deben ser separados de todas las columnas y debe ser verificado que cumpla con los anclajes especificados en la Norma por ser elementos no estructurales, para lo cual se estimó la cantidad de estos por tipo de torre e interior en el Bloque 3 que permita incluir un precio para actualizar un porcentaje del total. Teniendo en cuenta la repotenciación recomendada, secciones de la fachada serán demolidas y otras requieren de arreglos, por lo que se incluye un 50% del total del área de la fachada con piezas de enchape y un 100% de mantenimiento, el cual incluye las impermeabilizaciones; aunque es posible que en el proceso se encuentre necesario hacer una nueva que cumpla con los requisitos de anclaje como elemento no estructural. En cuenta a muros interiores se estima la reparación de un 30% de estos. Como se busca el mantenimiento de la edificación, se propone realizar todos los lagrimales necesarios que permitan evitar muchas de las causas de las humedades.

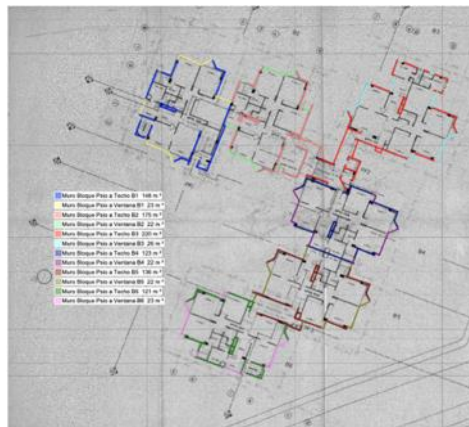


Ilustración 70. Áreas de fachada exterior para un nivel, las cantidades totales pueden verse en el Anexo 11. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 132 no compromete a la EIA.



Ilustración 71. Áreas de divisiones en mampostería interior y lagrimales en cada apartamento. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

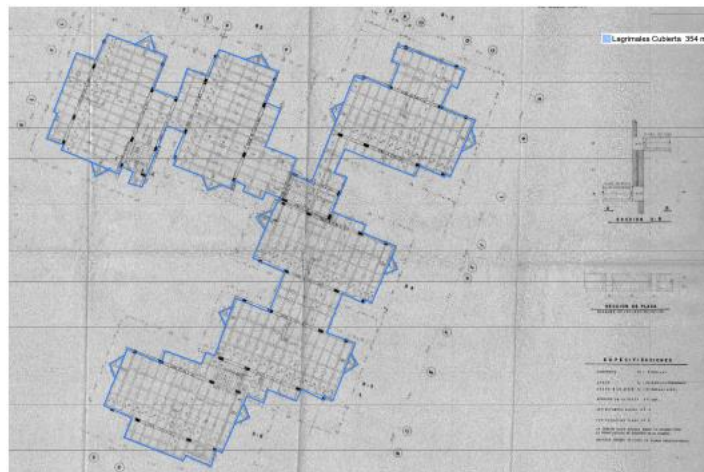


Ilustración 72. Metros lineales de lagrimales. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Pañetes, enchapes y pinturas: Como acabados dentro del apartamento deben hacerse todos, como base se toman las cantidades del apartamento 201.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 133 no compromete a la EIA.



Ilustración 73. Cantidades de pañete, enchape y pintura. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Pisos: Los pisos antiguos serán retirados y deben colocarse nuevos acabados. Las cantidades se muestran a continuación:



Ilustración 74. Cantidades de pisos. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Cubierta: Como todo, las tejas y su estructura tienen una vida útil, razón por la cual deben ser retiradas y actualizadas. También se tienen áreas de losa, a las cuales debe realizarse mantenimiento, es decir deben impermeabilizarse de nuevo. Las cantidades estimadas son las siguientes:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 134 no compromete a la EIA.

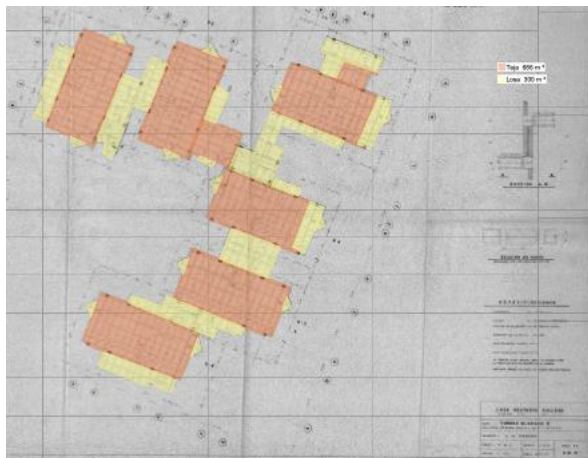


Ilustración 75. Cantidades de cubierta. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Instalaciones eléctricas e hidráulicas: Por la edad de la edificación estas podrían necesitar ser actualizadas, sin embargo, ya se había mencionado que pueden durar hasta 50 años y pueden necesitar únicamente de mantenimiento. Por lo tanto, este ítem será un precio aproximado para el mantenimiento.
- Actualización de elementos no estructurales: Tanto puertas como ventanas deben tener los anclajes necesarios según las actuales especificadas a los que se le suma que deben ser actualizadas arquitectónicamente por lo que se estima un precio como nuevo. Las cantidades para un apartamento se muestran a continuación:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 135 no compromete a la EIA.

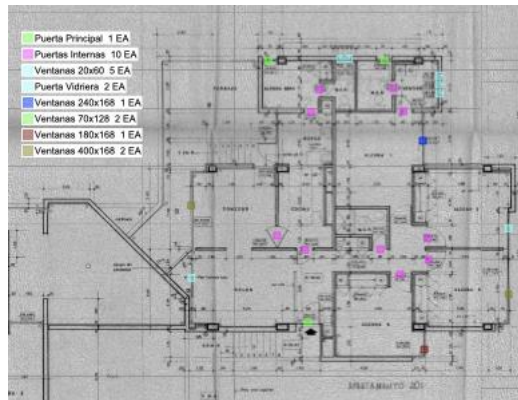


Ilustración 76. Elementos no estructurales. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Equipos: Todos estos son actualizados arquitectónicamente, además de que su vida útil puede estar terminando. Las cantidades para un apartamento se muestran a continuación:

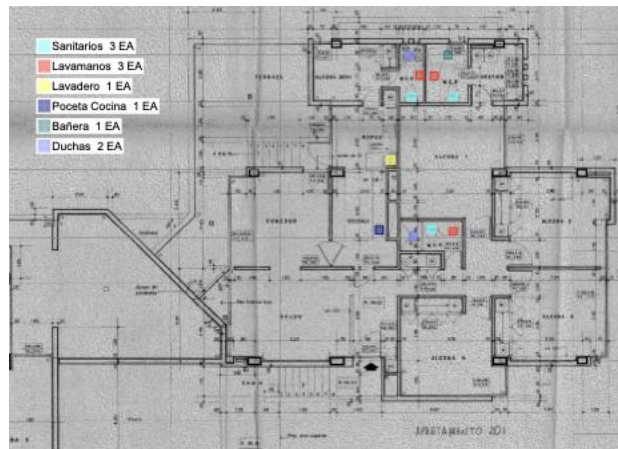


Ilustración 77. Estimación de cantidades de equipo. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Carpintería metálica y de madera: Con el fin de entregar acabados nuevos se propone actualizar todos los gabinetes, mesones y barandas; estos son expuestos a continuación.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 136 no compromete a la EIA.

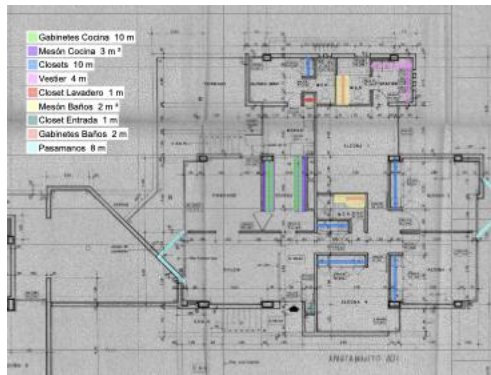


Ilustración 78. Cantidades de carpintería. Ver Anexo 12 para mayor detalle.

- Red contra incendios: Actualmente todas las edificaciones deben contar con una, no se conoce si esta edificación cuenta con un sistema por lo tanto se incluye su precio con el fin de garantizarle a los propietarios una edificación actualizado bajo todas las especificaciones de la normativa.
- Actualización de zonas comunes: Al no contar con todos los planos necesarios, este valor es un aproximado de acuerdo con las áreas de los puntos fijos y se incluirá también la portería, actualización de elevadores y zonas verdes como un precio total.
- Adecuación final: Este es el trabajo final requerido para entregar los inmuebles actualizados, es decir la limpieza requerida.

3.4.3 Análisis económico

Deben analizarse las siguientes preguntas para dar respuesta a la incógnita planteada desde un comienzo: ¿La rehabilitación es necesaria o es mejor no intervenir la edificación? ¿Cuánto va a tener que pagar cada propietario en cada propuesta? ¿Puede la rehabilitación darle a un inmueble antiguo el mismo precio por metro cuadrado de uno nuevo?

De los procedimientos realizados y evaluados, económicamente se encuentra que:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 137 no compromete a la EIA.

El lote es el mayor costo en un estudio de prefactibilidad de este tipo, y genera únicamente pérdidas. Su valor está dado por el precio de adquirir todos los apartamentos en la unidad residencial. La intervención propuesta – demoler y construir un nuevo proyecto - podría proponerse en edificios deteriorados y que, como consecuencia, coticen un bajo precio por metro cuadrado. Además, deben estar idealmente ubicados en zonas de alta densidad e índice de construcción, que permitan desarrollar un proyecto tal que las ventas superen los costos. Por ejemplo, en el caso de estudio de TB 2, se evidenció que: Si el valor del metro cuadrado de los apartamentos disminuye al menos a \$3'000.000, se generarían utilidades. Al analizar esto con respecto de la segunda prefactibilidad propuesta, se encuentra que no es mejor la opción, pues, aunque sí se disminuyen los costos, se debe tener en cuenta el valor de reacomodación provisional, lo implica una reducción en un 35% de las ventas. Otras unidades residenciales fueron evaluadas bajo el mismo primer análisis realizado a TB 2, encontrando costos del lote superiores al 25% de las ventas, por ejemplo: SMO, que a pesar de alcanzar ventas de hasta \$100,000,000 el costo del lote es del 29% de estas, ya que actualmente hay 64 apartamentos. Se estudian también unidades residenciales de menos apartamentos, sin embargo, estos no están ubicados en zonas de altas densidades e índices de construcción, lo que impide tener ingresos suficientes que respalden los altos costos, resultando también en pérdidas.

Por otra parte, se analiza la rehabilitación en oposición a la demolición como método de intervención óptimo. Esta alternativa, si bien mejora la calidad, aumenta la seguridad sísmica y aprovecha las amplias áreas con las que cuentan las viviendas antiguas; tiene una desventaja: El precio por metro cuadrado de una edificación de más de 20 años no puede igualar el precio de una contemporánea; tal vez pueda aumentar hasta \$2,000,000, lo cual no sobrepasa por mucho los costos de la intervención según el estimado realizado, \$1,970,888.85/m², es decir que un propietario máximo se podría ganar \$29,000/ m². Lo anterior considerando el siguiente caso donde se realizó una remodelación arquitectónica por un grupo de arquitectos en un inmueble, de 127 m² y un valor de \$220,000,000, luego de ser intervenido pudo venderse en \$320,000,000, es decir que se aumentó aproximadamente \$780,000 por metro cuadrado (A. Arias, comunicación personal, 30 octubre, 2019).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 138 no compromete a la EIA.

4 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

- A pesar de que la rehabilitación sea una opción importante toda vez que con ella se salvaguarda la vida humana y un activo fijo en el que fueron invertidos una gran cantidad de recursos naturales y monetarios. Esta no incrementará el precio por metro cuadrado de un inmueble antiguo en los \$3'000.000 necesarios para que alcance el de uno contemporáneo, pero puede generar ganancias mínimas a un propietario (\$29,000/ m²). Cabe resaltar que este método tendrá, seguramente, un costo mayor respecto al propuesto, teniendo en cuenta que este último no incluye la estimación de factores como el precio del diseño DMO, los elementos y las fundaciones requeridas para cumplir con los requerimientos de la NSR-10.
- Los inmuebles antiguos se encuentran en buen estado. Sin embargo, si llegase a ocurrir un sismo del nivel que la norma vigente exige, estas estructuras posiblemente se verían más afectadas que una estructura nueva debido a que el detallamiento de sus elementos estructurales no ofrece la ductilidad necesaria para disipar energía y en algunos se presentan irregularidades en planta y en altura que han demostrado no ser muy buenas a la hora de un sismo.
- A pesar de no tener índices de flexibilidad que indiquen falta de rigidez, la mayoría de los sobreesfuerzos encontrados en los elementos se deben a la falta de un sistema que absorba las cargas laterales recibidas ante un sismo por lo cual sí se requiere rigidizar el sistema más cuando éste solo cuenta con pórticos en una dirección, requiriendo de varios muros adicionales. Aunque se intenta no modificar la distribución arquitectónica, algunos espacios se verán afectados en menos de un metro de longitud, sin embargo resulta en una intervención invasiva para los inmuebles.
- Al encontrar que no hay un problema por flexibilidad en la estructura y ver sobreesfuerzos a cortante en las vigas, alternativas específicas para estos elementos podrían ser estudiadas como el uso de fibra de carbono, para lo cual un análisis inelástico sería necesario. Lo anterior resultaría en una intervención menos invasiva y

posiblemente en una disminución de costos; sin embargo la evaluación da pie para el desarrollo de otro trabajo.

- Viendo una deficiencia ante cargas axiales en columnas al considerar la resistencia efectiva, la disminución de niveles o el encamisado de columnas son posibles alternativas a evaluar. El encamisado de columnas por ejemplo adicionando 10cm a un lado y 20cm en la dirección opuesta de los pórticos a las secciones – para rigidizar – con concreto reforzado, muestra que una columna cumpliría las solicitaciones para combinaciones de carga axial y momento (Ilustración 79 y Anexo 13), por lo que un nuevo diseño podría ser evaluado en esta edificación en futuros proyectos.

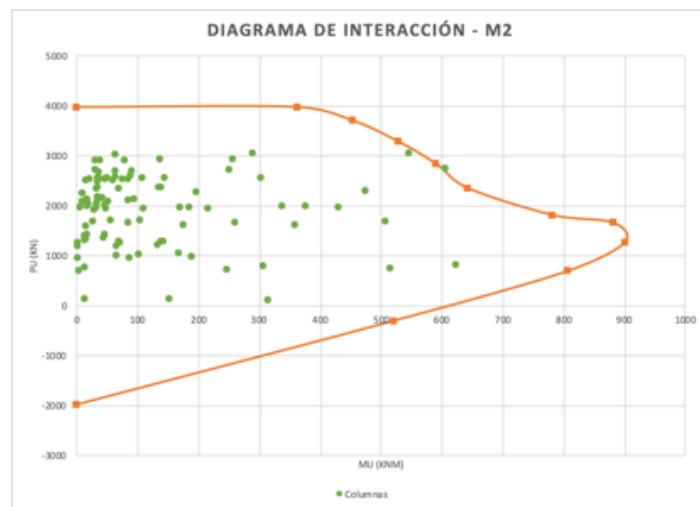


Ilustración 79. Diagrama de interacción con encamisado de columnas.

- Es necesario obtener más información y realizar más estudios para determinar con certeza el nivel de vulnerabilidad de los inmuebles en cuestión. El procedimiento señalado por la norma indica que el grado de resistencia se deja a discreción del ingeniero, lo que implica cierto grado de subjetividad al momento de establecer un resultado, especialmente al considerar la carencia de información como planos estructurales, bitácoras de obra y diseños de construcción; así como la imposibilidad

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 140 no compromete a la EIA.

de realizar pruebas físicas a la edificación. De no requerir reducir la resistencia una rehabilitación podría resultar más económica.

- La finalidad del trabajo era evaluar una edificación residencial de más de 20 años (sistema estructural en pórticos y con 5 a 10 niveles de altura) bajo las condiciones de diseño de la norma actual (NSR-10) para una edificación nueva. La norma propone evaluar estas edificaciones bajo aceleraciones con seguridad limitada, pues reconoce que dichas estructuras no tienen la misma resistencia que una nueva. Por lo tanto, el costo de una actualización bajo este criterio podría ser menor, al reducir las solicitudes de la estructura, dando pie para otro análisis.
- La única manera de que un inmueble antiguo iguale el valor de uno contemporáneo es desarrollando un nuevo proyecto. En este sentido, solo se puede considerar como viable la demolición cuando la edificación tiene poco valor; por lo que podría realizarse el mismo estudio luego de un sismo donde, posiblemente, sean tantos los daños a corregir que es más costoso la rehabilitación y los inmuebles más económicos.
- El presente trabajo brinda un acercamiento a lo que puede significar económicamente una rehabilitación estructural, pues cada diseño que se proponga tendrá diferentes costos. También este se compara con la demolición de la estructura y la construcción de una nueva, información útil tanto para propietarios como para agentes inmobiliarios cuando hoy en día la seguridad estructural es cuestionada, tornándose en un tema más que actual, importante en lo económico y en lo social.

5 REFERENCIAS

Acuatroarquitectos. (2012). Reparación de fachadas de ladrillo visto. acuatroarquitectos. Recuperado de <https://www.acuatroarquitectos.com/reparacion-de-fachadas-de-ladrillo-visto/>

AIS. (s/f). Historia. Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de <https://www.asosismica.org.co/acerca-de-ais/historia/>

Alcaldía Medellín. (2011). Microzonificación sísmica. Recuperado el 25 de agosto de 2018, de [https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal del Ciudadano/Plan de Desarrollo/Secciones/Información General/Documentos/POT/Recomendaciones Microzonificación Sísmica/Mapa microzonificación sísmica.pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Información%20General/Documentos/POT/Recomendaciones%20Microzonificación%20Sísmica/Mapa%20microzonificación%20sísmica.pdf)

Álvarez, V. A. (2016, febrero 28). El Poblado triplicó su población en veinte años. *El Colombiano*.

Álvarez, V. A. (2018, enero 23). Medellín crece en altura, ¿pero hay orden? *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/aumenta-la-construccion-de-edificios-en-medellin-AD8050288>

Argüelles, F., & Taylor, H. (2010). Reforzamiento estructural, 63. Recuperado de https://issuu.com/legissa2010/docs/construcciones_de_salud

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). Título A - Requisitos Genereales De Diseño Y Construcción Sismoresistente. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). Título C - Requisitos de resistencia y funionamiento.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 142 no compromete a la EIA.

Astorga, A., & Rivero, P. (2009). Patologías en las edificaciones. Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/04_patologias_en_las_edificaciones.pdf

Beauperthuy, J. L., & Urich, A. J. (s/f). *El efecto de columna corta estudio de casos*. Recuperado de http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci27_el_efecto_de_columna_corta_casos_de_estudios.pdf

Blandón, C. A. (2017). *Sistemas Estructurales*. Medellín. Recuperado de <http://classrooms.saber.eia.edu.co/20182/pregrado/course/view.php?id=118>

Cano-Marín, R. D., Jaramillo-Morilla, A., Bernal-Serrano, F. J., & Moreno-Rangel, D. (2014). Un estudio de caso: Rehabilitación singular de edificios de viviendas en la barriada del Parque Alcosa, análisis de daños constructivos comunes y propuesta de intervención. *Informes de la Construcción*, 66. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3245/3649>

Cubillos, N. (2018). Nueva o usada, la clave para buscar vivienda. Recuperado el 22 de agosto de 2018, de <https://www.lonja.org.co/biblioteca-virtual/noticias-de-interes/1514-nueva-o-usada-la-clave-para-buscar-vivienda>

DANE. (s/f). Colombia. Estimaciones 1985-2005 y Proyecciones 2005-2020 nacional y departamental desagregadas por sexo, área y grupos quinquenales de edad.

De Justo, E., Delgado, A., Bascón, M. C., Lozano, J., & Fernández, A. (s/f). *Introducción a las estructuras de edificación*. Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de <http://personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T01-Introduccion.pdf>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 143 no compromete a la EIA.

Departamento Administrativo de Planeación. (s/f). Consulta POT Acuerdo 048. Recuperado el 20 de septiembre de 2019, de <https://www.medellin.gov.co/geomedellin/index.hyg#openModal>

Departamento Administrativo de Planeación. Revisión y Ajuste al Plan de Ordenamiento Territorial - Medellín, 2014 (2014). Colombia. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/ProgramasyProyectos/SharedContent/Documentos/2015/DTS_POT048/POT_20141123_IVb_Formulación.pdf

Díaz, C., Cornadó, C., Llorens, I., Pardo, F., & Hormías, E. (2012). Un estudio de caso: la rehabilitación de los edificios de viviendas del barrio de La Mina en Sant Adrià del Bèsos (Barcelona). Análisis funcional y de las condiciones de seguridad, habitabilidad y mantenimiento. *Informes de la Construcción*, 64. <https://doi.org/103989?ic.11.005>

En Medellín hay 18 licencias otorgadas para la repotenciación de estructuras. (2018). Telemedellín. Recuperado de <https://telemedellin.tv/medellin-repotenciacion-de-estructuras/253331/>

Energy Management. (2015). Instalaciones antiguas: la latencia de un peligro oculto. Recuperado de <https://e-management.mx/instalaciones-antiguas-la-latencia-de-un-peligro-oculto/>

Farbiarz, J., Campos, A., Arango, J. H., & Cardona, O. D. (2011). *Guía de patologías Constructivas, Estructurales y no Estructurales* (Terceraedi). Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS. Recuperado de <http://www.asosismica.orghttp://www.sire.gov.cowww.conlospiesenlatierra.gov.cowww.fopae.gov.coEvaluacióndeDañoshttp://www.sire.gov.co/portal/page/portal/sire/componentes/EvaluacionDanos>

Ferreira, J., Duarte, M., & de Brito, J. (2015). Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 144 no compromete a la EIA.

benchmarking. *Journal of Building Engineering*, 114–115. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/a07a/69fd5a51540cf5157bcd9e72364671b60157.pdf>

Gallego-Silva, M. (s/f). El concreto y los terremotos. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/artingenieria.htm>

García, L. E. (2015, febrero). Desarrollo de la normativa sismo resistente colombiana en los 30 años desde su primera expedición. # 41 *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*, 71–77. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.16924/riua.v0i41.785>

González, R. (2005). *Vida útil ponderada de edificaciones*. Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. Recuperado de <http://files.biblioteca-uaca.webnode.es/200000304-3edf03fd52/3.pdf>

Herrera, A., & González, D. (2019). *Evaluación De Alternativas De Repotenciación En Una Estructura En Pórticos De Mediana Altura Construida Con El Código Colombiano Sismo Resistente (1984)*. EIA.

Hewitt, M. (2019). Por qué el reutilizar edificios puede (y debe) ser el principal foco de los arquitectos. *Arch Daily*.

Ingestructuras de Occidente. (2014). Recuperado el 29 de julio de 2018, de <https://www.ingestructurasdeoccidente.com/reforzamientos.html>

Jaramillo-Morilla, A., Mascort-Albea, E. J., Sánchez-Langeber, J. M., Soriano-Cuesta, C., Mora-Santiesteban, M., & Ruiz-Jaramillo, J. (2015). Proyecto de guía para la rehabilitación sísmica de edificios e infraestructuras existentes en Andalucía. En *PATORREB 2015. 5o Congreso de patología y rehabilitación de edificios* (pp. 323–328). Recuperado de https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/51130/2015_PATORREB_Actas_AJM.pdf?sequence=1

La Lonja. (2016). Edificios en tierras que valen oro, la tentación de constructoras.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 145 no compromete a la EIA.

Ley 400 (1997). Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0400_1997.pdf

Lizundia, B., Holmes, W. T., Cobeen, K., Malley, J., & Lew, H. S. (2006). Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings. FEMA 547. *8th US National Conference on Earthquake Engineering 2006*, 6, 3646–3656.

Osorio, F. A. (2015). *Modelo de exposición sísmica de viviendas del departamento de Antioquia, Colombia. Trabajo de grado*. EAFIT. Recuperado de <https://ezproxy.eafit.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ir00174a&AN=eafit.10784.7769&lang=es&site=eds-live%5Cnhttp://hdl.handle.net/10784/7769>

Oviedo, J. A. (2018). Reforzamiento sísmico estructural: ¿cuándo y cómo hacerlo? Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de <http://www.efepripace.co/reforzamiento-sismico-estructural/>

Oviedo, J. A., & Duque, M. del P. (2009). Disipadores Histeréticos Metálicos como Sistemas De Control De Respuesta Sísmica En Edificaciones. *Revista EIA*, (11), 51–63. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=45266819&lang=es&site=ehost-live>

Panamericana De La Salud. (2000). Vulnerabilidad estructural, 27–67.

Problemas patológicos presentados en fachadas de ladrillo a la vista tipo catalán en la ciudad de Medellín. (s/f). Medellín.

Quintan, P., & Manuel, J. (2005). Capítulo III. Catálogo de patologías de las estructuras de hormigón armado, 1–73.

Rodríguez, J. E., & Castro, J. S. (2015). *Caracterización de las condiciones estructurales en viviendas residenciales del barrio Ciudad Jardín Sur en Bogotá*. Universidad Católica

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 146 no compromete a la EIA.

de Colombia. Recuperado de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2782/1/TRABAJO DE GRADO CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES EN VIVIENDAS RESIDENCIALES DEL BARRIO CIUADAD JARDIN SUR EN BOGOTA SEGÚN NSR-10.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2782/1/TRABAJO_DE_GRADO_CARACTERIZACIÓN_DE_LAS_CONDICIONES_ESTRUCTURALES_EN_VIVIENDAS_RESIDENCIALES_DEL_BARRIO_CIUADAD_JARDIN_SUR_EN_BOGOTA_SEGÚN_NSR-10.pdf)

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. (s/f). *Módulo 1: Introducción a la Patología de la Construcción*. Medellín.

Vásquez, S., & Contreras, G. (s/f). Conceptos estructurales, sismo resistentes y geotécnicos para el diseño de estructuras de concreto armado. Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de https://www.academia.edu/9753335/CONCEPTOS_ESTRUCTURALES

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 148
no compromete a la EIA.

6 ANEXOS

Anexo 1. Deficiencias y posibles métodos de rehabilitación (Lizundia et al., 2006).

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Global Strength	Insufficient number of frames or weak frames	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1] Concrete or steel moment frame Steel moment frame	Increase size of columns and/or beams [12.4.5]		Remove upper story or stories [24.2] Seismically isolate [24.3] Supplemental damping [24.4]	
Global Stiffness	Insufficient number of frames or frames with inadequate stiffness	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1] Concrete or steel moment frame	Increase size of columns and/or beams [12.4.5] Fiber composite wrap of gravity columns [12.4.4] Concrete/steel jacket of gravity columns [12.4.5] Provide detailing of all other elements to accept drifts		Supplemental damping [24.4]	Remove components creating short columns
Configuration	Soft story or weak story	Add strength or stiffness in story to match balance of floors				
	Re-entrant corner Torsional layout	Add floor area to minimize effect of corner Add balancing walls, braced frames, or moment frames		Provide chords in diaphragm		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 149 no compromete a la EIA.

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Configuration (continued)	Incidental walls failing or causing torsion	Add balancing walls, braced frames, or moment frames	Uncouple incidental walls Convert incidental walls to lateral elements walls			Remove incidental walls
Load Path	Inadequate collector	Add or strengthen collector [12.4.3]				
Component Detailing	Lack of Ductile detailing--general		Perform selected improvements to joints [12.4.6]		Seismic isolation [24.3]	
	Lack of ductile detailing: Strong column-weak beam		Jacket columns [12.4.4]			
	Lack of ductile detailing: Inadequate shear strength in column or beam		Fiber composite wrap [12.4.4] Concrete/steel jacket [12.4.5]			
	Lack of ductile detailing: Confinement for ductility or splices		Fiber composite wrap [12.4.4] Concrete/steel jacket [12.4.5]			
Diaphragms	Inadequate in-plane shear capacity	Concrete or masonry shear wall [12.4.2] Braced frame [12.4.1] Moment frame	R/C topping slab overlay FRP overlays [22.2.5]			

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Diaphragms (continued)	Inadequate chord capacity	New concrete or steel chord member [12.4.3]				
	Excessive stresses at openings and irregularities	Add chords [12.4.3]				Infill openings [22.2.4]
Foundations	See Chapter 23					

[] Numbers noted in brackets refer to sections containing detailed descriptions of rehabilitation techniques.

Anexo 2. Lista de apartamentos. Ver Excel.

Anexo 3. Ficha Estado de Conservación construida. Ver carpeta.

Anexo 4. Cartas de solicitud de visita y análisis. Ver carpeta.

Anexo 5. Fichas de visita y análisis. Ver carpeta.

Anexo 6. Información de Inmuebles Evaluados. Ver carpeta.

Anexo 7. Cálculos Estructurales. Ver Carpeta.

Anexo 8. Modelo TB 2 en SAP2000.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y 150 no compromete a la EIA.

Anexo 9. Modelo B3 TB 2 actualizado en SAP2000.

Anexo 10. Prefactibilidad de Nuevo Proyecto en TB 2. Ver Excel.

Anexo 11. Presupuesto de Intervención TB 2. Ver Excel.

Anexo 12. Cantidades Estimadas en On-Screen Takeoff. Ver carpeta.

Anexo 13. Encamisado. Ver Excel.