



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE
VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE
BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR,
SAN CRISTOBAL Y USME.

PRESENTADO POR:

LINA YORELI LEDESMA BASTIDAS **CÓDIGO: 505496**
LEIDY VANESSA MARTÍNEZ MONROY **CÓDIGO: 505448**

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS
EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO
DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y
USME.


PRESENTADO POR:

LINA YORELI LEDESMA BASTIDAS **CÓDIGO: 505496**
LEIDY VANESSA MARTÍNEZ MONROY **CÓDIGO: 505448**

DIRECTOR:

JUAN SEBASTIAN AGUDELO MAYORGA

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2018

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)
 Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:




Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

| | | |
|---|--|----------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME. | FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0 |
|---|--|----------------------------|


NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO


BOGOTA D.C., 20 DE NOVIEMBRE DE 2018

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

DEDICATORIA

Este proyecto de practica social está dedicado a nuestras familias, que con su acompañamiento y apoyo lograron motivar cada paso dentro del proceso y convirtieron las dificultades en oportunidades de aprendizaje y crecimiento personal.


A todas las familias quienes se verán beneficiadas en el mejoramiento de sus viviendas en materia de reforzamiento estructural, porque gracias a esta gran necesidad de preservar la vida en caso de una tragedia natural y brindar mejores condiciones de habitabilidad, dieron lugar a este análisis que genero grandes resultados.

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

AGRADECIMIENTOS


Dios es el ser supremo que domina y guía nuestro andar, solo gracias a sus enormes bendiciones y dones que nos ha brindado, hemos podido llevar a buen término este lindo proyecto que beneficiará a muchas personas dentro de nuestra comunidad.

Al equipo asesor quienes, mediante su dirección y acompañamiento, hicieron que con este proceso creyéramos profesionalmente y adquiriéramos conocimientos muy importantes en la materia, los cuales, tenemos la ilusión del día de mañana tener la oportunidad de aplicarlos en pro del mejoramiento de la calidad de vida de nuestros congéneres.


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

CONTENIDO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | GENERALIDADES..... | 14 |
| 1.1 | PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 14 |
| 1.2 | ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 24 |
| 1.3.1 | Objetivo general | 24 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos..... | 24 |
| 1.4 | ALCANCES Y LIMITACIONES..... | 25 |
| 1.4.1 | Alcances..... | 25 |
| 1.4.2 | Limitaciones | 26 |
| 1.5 | MARCO TEORICO..... | 27 |
| 1.5.1 | Exposición al riesgo..... | 27 |
| 1.5.2 | Amenaza de riesgo..... | 35 |
| 1.5.3 | Vulnerabilidad ante el riesgo..... | 35 |
| 1.5.4 | Riesgo | 37 |
| 1.5.5 | Legalización de viviendas y mejoras habitacionales | 38 |
| 1.6 | ESTADO DEL ARTE | 40 |
| 2 | METODOLOGÍA..... | 58 |
| 2.1 | PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO..... | 65 |
| 2.2 | ANÁLISIS ESTRUCTURAL..... | 74 |
| 2.2.1 | Descripción..... | 74 |
| 2.2.2 | Definición de materiales | 75 |
| 2.2.3 | Cargas..... | 76 |
| 2.2.4 | Capacidad de disipación de energía..... | 79 |

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.2.5 | Análisis espectral..... | 80 |
| 2.2.6 | Cargas..... | 82 |
| 2.2.7 | Definición de secciones | 85 |
| 2.2.8 | Definición geométrica | 88 |
| 2.2.9 | Definición de rotulas plásticas | 90 |
| 2.3 | RESULTADOS MODELACIÓN | 94 |
| 2.3.1 | Reacciones en la base | 94 |
| 2.3.2 | Análisis modal | 94 |
| 2.4 | RESULTADOS ANALISIS NO LINEAL | 99 |
| 2.4.1 | Análisis no lineal estático en sentido X | 99 |
| 2.4.2 | Análisis no lineal estático en sentido Y | 105 |
| 2.4.3 | Análisis no lineal para las localidades en estudio | 110 |
| 2.4.4 | Análisis de vulnerabilidad simplificada en columnas..... | 113 |
| 3 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 114 |
| 3.1 | CONCLUSIONES..... | 114 |
| 3.2 | RECOMENDACIONES | 116 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 118 |
| | ANEXOS | 122 |

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | | |
|---|-----------------|---------------------|
| Ilustración 1. Vulnerabilidad estructural en viviendas. ¡Error! | Marcador | no definido. |
| Ilustración 2. Localidades de la Ciudad de Bogotá D.C..... | | 27 |
| Ilustración 3. Objetivos de diseño para edificios SEAOC (1995)..... | | 42 |
| Ilustración 4. Curva idealizada carga vs deformación. | | 55 |
| Ilustración 5. Relación de deformación para elementos o componentes de hormigón. | | 56 |
| Ilustración 6. Arquetipo 1-Modalidad licencia de construcción. | | 60 |
| Ilustración 7. Arquetipo 2-Número de pisos..... | | 61 |
| Ilustración 8. Arquetipo 3-Tipo de estructura. | | 62 |
| Ilustración 9. Espectros de aceleración. | | 62 |
| Ilustración 10. Arquetipo 4-Microzonificación sísmica. | | 63 |
| Ilustración 11. Vivienda seleccionada para el desarrollo de la evaluación por desempeño..... | | 64 |
| Ilustración 12. Espectro de diseño..... | | 80 |
| Ilustración 13. Geometría- Vista en planta segundo piso de diseño..... | | 88 |
| Ilustración 14. Geometría- Vista en planta tercer piso de diseño. | | 88 |
| Ilustración 15. Geometría- Vista en planta cubierta de diseño. ¡Error! | Marcador | no definido. |


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Ilustración 16. Geometría- Vista isométrica de diseño. **¡Error!** **Marcador no definido.**

Ilustración 17. Rotula tipo I 90

Ilustración 18. Rotula tipo II. 92

Ilustración 19. Rotula tipo III. 93

Ilustración 21. Análisis modal-Modo 1; $T=0,586s$ 95

Ilustración 22. Análisis modal-Modo 2; $T=0,502s$ 95

Ilustración 23. Análisis modal-Modo 3; $T=0,393s$ 96

Ilustración 24. Análisis modal-Modo 4; $T=0,179s$ 96

Ilustración 25. Análisis modal-Modo 5; $T=0,169s$ 97

Ilustración 26. Curva pushover en X..... 104

Ilustración 27. Punto de desempeño curva pushover en X (Piedemonte C)..... 104

Ilustración 28. Curva pushover en Y..... 109

Ilustración 29. Punto de desempeño curva pushover en Y (Piedemonte C)..... 109

Ilustración 30. Punto de desempeño curva pushover en X (Aluvial 200)..... 110

Ilustración 31. Punto de desempeño curva pushover en Y (Aluvial 200)..... 111


Ilustración 32. Punto de desempeño curva pushover en X (Piedemonte B)..... 111


Ilustración 33. Punto de desempeño curva pushover en Y (Piedemonte B)..... 112

Ilustración 34. Punto de desempeño curva pushover en X (Deposito de ladera) 112

Ilustración 35. Punto de desempeño curva pushover en Y (Deposito de ladera) 113


Ilustración 36. Índices de sobre esfuerzo. 113

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Localidades de la Ciudad de Bogotá D.C. | 28 |
| Tabla 2. Superficie y clase de suelo de las localidades de la Ciudad de Bogotá. | 30 |
| Tabla 3. Arquetipo 1-Modalidad licencia de construcción. | 59 |
| Tabla 4. Arquetipo 2-Número de pisos. | 60 |
| Tabla 5. Arquetipo 3-Tipo de estructura. | 61 |
| Tabla 6. Arquetipo 4-Microzonificación sísmica. | 63 |
| Tabla 7. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales; vigas de hormigón armado. | 68 |
| Tabla 8. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales; columnas de hormigón armado. | 71 |
| Tabla 9. Condición para selección de columnas en la Tabla 8 . | 72 |
| Tabla 10. Definición de materiales-concreto. | 75 |
| Tabla 11. Módulo de elasticidad del concreto. | 75 |
| Tabla 12. Cargas muertas de diseño. | 76 |
| Tabla 13. Cargas vivas de diseño | 77 |
| Tabla 14. Cargas definidas en la modelación. | 78 |
| Tabla 15. Parámetros sísmicos de diseño. | 79 |
| Tabla 16. Fuerzas aplicadas a la estructura. | 81 |
| Tabla 17. Fuerzas generadas por el modelo matemático. | 81 |
| Tabla 18. Ajuste por fuerza horizontal equivalente. | 81 |

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

| | |
|---|-----|
| Tabla 19. Casos de carga de diseño. | 82 |
| Tabla 20. Combinaciones de carga de diseño. | 83 |
| Tabla 21. Definición de masas de diseño. | 85 |
| Tabla 22. Definición secciones columnas de diseño. | 85 |
| Tabla 23. Definición secciones vigas de diseño. | 86 |
| Tabla 24. Momentos de Inercia. | 87 |
| Tabla 25. Parámetros de modelación para rotula tipo I | 90 |
| Tabla 26. Secciones de vigas-Rotula tipo I. | 91 |
| Tabla 27. Parámetros de modelación para rotula tipo II. | 91 |
| Tabla 28. Secciones de vigas-Rotula tipo II. | 92 |
| Tabla 29. Parámetros de modelación para rotula tipo III. | 92 |
| Tabla 30. Secciones de columnas-Rotula tipo III. | 93 |
| Tabla 33. Reacciones en la base. | 94 |
| Tabla 34. Análisis modal. | 97 |
| Tabla 35. Mecanismo de colapso en X. | 99 |
| Tabla 36. Mecanismo de colapso en Y. | 105 |

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1 GENERALIDADES


1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las Localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme, se encuentran ubicadas en las zonas urbanas 4 y 5, al sur de la ciudad de Bogotá; predomina una pendiente topográfica media-alta, lo que hace que se convierta en una zona alta de vulnerabilidad. Durante más de 40 años miles de familias han adquirido predios en estas zonas y han iniciado la construcción de viviendas sin una asesoría previa y mucho menos una licencia de construcción; lo que conlleva a que actualmente estas construcciones no cuenten con un diseño estructural óptimo que soporte las fuerzas provocadas por un sismo.

Ante el riesgo constante de las zonas de asentamiento e inestabilidad de estas viviendas, se estableció el programa “Mejoramiento de vivienda en sus condiciones físicas y de habitabilidad en los asentamientos humanos priorizados en área urbana”, como una alternativa de ayuda institucional liderada por la Caja de la Vivienda Popular, buscando mejorar las condiciones de habitabilidad de la vivienda de la población de estratos 1 y 2 localizadas en las Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) de mejoramiento integral, ofreciendo un acompañamiento técnico, social y jurídico.¹

Hasta la fecha, se han realizado trámites de licencias de construcción de los beneficiarios que se han acercado a la entidad para legalizar o construir sus

¹ (Caja de la Vivienda Popular, 2018)


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

viviendas o en otros casos reforzar y mejorar la habitabilidad de las mismas. Los diseños estructurales de estas viviendas se realizaron mediante diseños convencionales reglamentados por la NSR-10; diseños que han evidenciado altos costos al momento de dar inicio a la construcción, costos que en muchas ocasiones no son admisibles para los beneficiarios.

El propósito del proyecto se basa en realizar una evaluación por desempeño, con la intención de mitigar riesgos estructurales que presentan las viviendas de estas cuatro localidades, estimando de manera más acertada el comportamiento sísmico de la estructura en comparación a la propuesta estructural realizada inicialmente mediante el diseño convencional regido por la NSR-10.

Con base a la información suministrada por la Caja de la Vivienda Popular de la ciudad de Bogotá, se realizó una evaluación de los proyectos radicados por esta entidad y aprobados hasta la fecha por las curadurías urbanas, con el fin de realizar las consideraciones y posibles mejoras que se puedan brindar a las estructuras, basados en el marco legal y así verificar si:

¿Los parámetros de diseño inicial de la estructura son los necesarios para que estas viviendas soporten las cargas generadas ante la ocurrencia de un evento sísmico?

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En los años 40, mediante el Decreto 380 de 1942, el Gobierno Nacional dictó medidas que buscaban fomentar la industria de la construcción y el mejoramiento de la vivienda popular en Colombia, decreto que dictaminó el acuerdo No. 20, donde el concejo Municipal de Bogotá aprobó el contrato en virtud del cual se concedió a Bogotá la construcción de barrios populares modelos. Dicho acuerdo dispondría la creación de la entidad hoy conocida como la Caja de la Vivienda Popular.²


La entidad dio inicio a su funcionamiento desarrollando programas de vivienda unifamiliar de dos plantas, que constituyeron la respuesta de calidad en términos urbanísticos y arquitectónicos. Con el propósito de atender la demanda progresiva, realizó programas que beneficiarían a gente de bajos recursos mediante mecanismos que financiarían la modalidad del sistema de autoconstrucción con grupos asesorados por la entidad.³

Posteriormente, la Caja de la Vivienda Popular comenzó a ocuparse de reasentamientos de los hogares en situación de alta vulnerabilidad, ubicados en áreas de riesgos no mitigables, dando inicio al programa de Titulación Predial, mediante acciones de asistencia técnica, jurídica, social e inmobiliaria a las familias para la obtención de licencias de construcción en predios que ya habían sido legalizados anteriormente.⁴

² (Caja de la Vivienda Popular, 2018)

³ Ibid,

⁴ Ibid,

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


Actualmente la Caja de la Vivienda Popular sigue siendo una entidad pública del Distrito Capital que se encuentra adscrita a la Secretaria Distrital del Hábitat y está encargada de contribuir al desarrollo y a la ejecución de sus políticas a través de diferentes direcciones como lo son: Mejoramiento de Barrios, Mejoramiento de Vivienda, Titulación de Predios y Reasentamientos Humanos, que por medio de los programas de acompañamiento integral a la población, tienen como propósito mejorar la calidad de vida de las comunidades más vulnerables, la capacidad y el derecho de vivir mejor.⁵

El interés en el acompañamiento técnico, social y jurídico a las familias que priorice la Secretaria del Hábitat, reside en la Dirección de Mejoramiento de Vivienda mediante un proceso ya otorgado a la Asistencia Técnica de la dirección, que de acuerdo a la norma, permite “mejorar la calidad habitacional y constructiva de las viviendas construidas en estratos 1 y 2, localizadas en las Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) de mejoramiento integral, a fin de garantizar el derecho a la vida y a una vivienda digna”,⁶ este proceso se realiza mediante un acompañamiento, para que un grupo de profesionales realice la recopilación de información de la situación actual de los predios a tratar, junto con las necesidades constructivas y estructurales que amerite el proyecto y de este modo sean remitidas para el trámite y la obtención de la licencia de construcción ante una curaduría urbana.

Mediante el desarrollo de las acciones establecidas en el procedimiento de Asistencia Técnica, se trabajará porque los predios intervenidos cuenten con un

⁵ (Caja de la Vivienda Popular, 2018)

⁶ (Decreto 624, 2016)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

mejoramiento de condiciones sismo-resistentes, espacios interiores adecuados, condiciones sanitarias optimas y construcciones legalizadas mediante actos de reconocimiento y/o licencias de construcción, impactando positivamente en el mejoramiento de la calidad de vida y la integridad de las familias que las habitan.


Esta iniciativa, hace referencia al objetivo principal que ejecuta la Administración Distrital dentro de su Plan de Desarrollo “Bogotá Mejor para Todos” 2016-2020, diseñando un plan de reconstrucción de la ciudad y de reforzamiento estructural a las viviendas que se encuentren en zonas de amenaza y alto riesgo, lo anterior como plan de mitigación a una posible catástrofe sísmica que pueda presentarse en la ciudad de Bogotá, con el fin de que las viviendas sean capaces de resistir cualquier acontecimiento, incrementando su resistencia y reduciendo al mínimo cualquier posibilidad de pérdida de vidas humanas,⁷ ya que cerca del 80% de las viviendas en Bogotá no cumplen normas de sismo resistencia, como lo afirma el docente de la Universidad Nacional y miembro de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, el Ingeniero Omar Cardona.⁸

El proyecto está enfocado en cuatro localidades al sur de la ciudad de Bogotá, que se encuentran en el plan de intervención de la entidad: Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme, en las cuales es posible evaluar el tipo de amenaza y riesgo que presentan, dejando vulnerables las viviendas y las personas que habitan en ellas.

Uno de los riesgos latentes evaluados, es la vulnerabilidad estructural de las viviendas, determinada por la severidad de los efectos de un evento externo como un posible sismo o por los riesgos de la misma edificación.

⁷ (Ley 400, 1997)

⁸ (Portafolio, 2010)

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|


La vulnerabilidad estructural se ve reflejada en mayor proporción en los riesgos producto de la construcción, esto se debe a que muchas de ellas han sido levantadas con las manos de sus propios habitantes, quienes naturalmente desconocen los riesgos que están corriendo por la inseguridad de sus estructuras.

Ilustración 1. Vulnerabilidad estructural en viviendas.



Fuente. Autor.

Esta situación sumada al fenómeno de remoción en masa, inundaciones, expansión urbana y densificación del suelo, genera daños a las edificaciones y viviendas localizadas en sus proximidades, que ante un posible evento podría comprometer su funcionalidad y afectar el desarrollo normal de la vivienda,

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

causando efectos, como la pérdida de vidas, daños o pérdida total de las viviendas.⁹

La administración a través de la intervención de entidades públicas como lo es la Caja de la Vivienda Popular, busca controlar los procesos de construcción de riesgo o disminuir el riesgo existente, optimizando procesos constructivos.¹⁰

Para el desarrollo del presente proyecto se tomaron como base los diseños estructurales realizados por la entidad una vez se ha efectuado el acompañamiento técnico, social y jurídico a las familias ya priorizadas por la Secretaria Distrital del Hábitat, con el fin de iniciar los correctivos necesarios, ya que los diseños estaban realizados según prácticas convencionales usadas para el diseño y la evaluación de vulnerabilidad sísmica mediante conceptos básicos que no siempre garantizan un adecuado desempeño de la vivienda.


Estos respectivos correctivos se efectuaron mediante la realización de una evaluación por desempeño que no solo permitirá evitar el colapso de una estructura frente a un sismo, si no, asegurar una mejor estimación de la demanda en términos de rigidez, resistencia y ductilidad de la estructura, determinando de una manera más confiable su vulnerabilidad frente a una determinada demanda sísmica.¹¹

La mayoría de estudios de vulnerabilidad están realizados mediante métodos simplificados incluidos en los códigos de diseño sísmico. Sin embargo, muchos de

⁹ (IDIGER, 2018)

¹⁰ Ibid.

¹¹ (Carrillo, 2007)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

estos estudios representan de manera mínima el comportamiento real de las estructuras.¹²

Usando la metodología de la evaluación por desempeño se puede tener una estimación más acertada al comportamiento de las viviendas ante diferentes eventos sísmicos, permitiendo en muchos casos disminuir o eliminar costos de una estructura durante su vida útil.


Para situarnos en un marco actual para una evaluación por desempeño, se puede remitir al trabajo realizado por la Universidad de California en Berkeley en los Estados Unidos; donde agencias federales y asociaciones relacionadas con la seguridad y salvaguarda como lo es la Agencia Federal de Administración de Emergencias (FEMA) creada en 1979, encargados de emitir y editar los progresos del diseño sísmico y garantizar la calidad de la construcción a nivel local antes de un desastre, realizaron modelos de código de construcción de la Nación de los Estados Unidos. Lo anterior como consecuencia a los sismos de Loma Prieta en 1989, Northridge en 1994 y Kobe en Japón en el año 1995. Sismos que llevaron a expertos estadounidenses y japoneses a discusiones informales acerca de cómo realizar estructuras sismo-resistentes con desempeño predecible.¹³

Por el evento sísmico de Loma Prieta, se iniciaron en el año 1992 esfuerzos por desarrollar un marco de referencia basado en el concepto de diseños por desempeño. Paralelamente Japón empezó a plantear un marco que permitiera el desarrollo de esta filosofía.¹⁴

¹² (Carrillo, 2007)

¹³ (Hernández, 2010)

¹⁴ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Una vez se presentaron los eventos de Northridge en 1994 y Kobe en Japón en el año 1995 llevo a los dos países a concluir y oficializar el proyecto final para el desarrollo de una metodología de diseño por desempeño, donde las estructuras que se construyeran en un futuro y las estructuras que se rehabilitarían, no sufrieran daños tan elevados durante cualquier evento sísmico, ya fuera un sismo leve o de grande proporción.¹⁵

Estos documentos han servido como referencia para diversas naciones, quienes han adoptado y evolucionado criterios de manera paralela.¹⁶


Por comprobaciones versátiles y ágiles, investigadores y profesionales de muchos países han incrementado soluciones basadas en el desempeño de las estructuras, como una forma más racional de plantear el problema de diseño sísmico.¹⁷

Por acontecimientos ocurridos y sismos que se han presentado de forma consecutiva en los últimos años se determinó para el desarrollo del presente proyecto de grado realizar una evaluación por desempeño para los proyectos de viviendas radicadas desde el año 2016 hasta la fecha, trámites realizados por la entidad, buscando obtener mejores resultados para que sean implementados en futuras radicaciones de licencias de construcción, dando a la vivienda un mejor desempeño ante un evento sísmico y permitiendo que parte de la población de las localidad de Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme se vieran beneficiadas, ya que se establece una nueva alternativa de construcción para sus viviendas.

¹⁵ (Hernández, 2010)

¹⁶ Ibid.


¹⁷ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Adicionalmente, a partir del desempeño de la estructura se analiza el nivel de intervención necesario para reducir el riesgo y asociar costos de reparación que mejoren el comportamiento estructural ante un evento sísmico.¹⁸

Esto enriquece la labor realizada por la Caja de la Vivienda Popular, dándole al beneficiario mayor seguridad al realizar las obras de manera legal, no solo cumpliendo con los parámetros estipulados por la norma que avala la habitabilidad de las viviendas en Bogotá si no asegurando un mejor desempeño sísmico en su vivienda.

¹⁸ (Carrillo, 2007)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar la evaluación por desempeño del diseño estructural de viviendas en estado de vulnerabilidad alta, que puedan verse afectadas por la ocurrencia de un evento sísmico en las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme en la ciudad de Bogotá D.C.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar y analizar la información suministrada por la Caja de la Vivienda Popular de los diseños propuestos de las viviendas en las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme, aprobados ante las curadurías urbanas.
- Desarrollar la evaluación por desempeño del diseño estructural de una vivienda acorde a la propuesta de diseño aprobada por la curaduría urbana.
- Analizar el nivel de intervención necesario para reducir el riesgo y asociar costos de reparación que mejoren el comportamiento estructural de la vivienda ante un evento sísmico.
- Realizar recomendaciones para la optimización del proceso actual de reforzamiento estructural.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El proyecto tiene como alcance la evaluación por desempeño de una vivienda en la modalidad de ampliación y/o reforzamiento estructural, que complementen el proceso realizado a familias que obtuvieron su licencia de construcción desde el año 2016 hasta el año en curso; con el fin de que la Caja de la Vivienda Popular tenga mejores y más acertados procesos de diseño estructural para la realización de futuras licencias de construcción.

De igual forma se realizarán presupuestos generales, mostrando una comparación de costos de reparación de daños, dándole a la entidad y al beneficiario un conocimiento más acertado de las consecuencias de no realizar un correcto diseño estructural a las viviendas y los perjuicios que tendrían una vez se presente un evento sísmico.


Se entregará a la entidad un informe técnico con base a recomendaciones donde se ponen en manifiesto las consideraciones que debe tener la entidad al momento de diseñar mediante el método convencional, con el fin de obtener un mejor proceso de diseño estructural, recomendaciones que servirán como apoyo para los futuros tramites que realice la Caja de la Vivienda Popular de licencia de construcción ante las curadurías urbanas.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1.4.2 Limitaciones

La cantidad de viviendas propuestas para la realización del proyecto se trabajaron por medio de arquetipos con el fin de agrupar características y parámetros que nos delimitarán a una vivienda que cumpliera con el objetivo del proyecto junto con las metas planteadas por la entidad y así poder desarrollar la evaluación por desempeño y el análisis de los resultados en el tiempo estipulado.

De igual forma los presupuestos realizados se hicieron de forma general sin especificaciones técnicas ni detalles específicos a niveles constructivos, dado que lo que se busca es una comparación global de los costos de reparación de daños entre un proceso de diseño convencional y una evaluación por desempeño para una misma vivienda.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

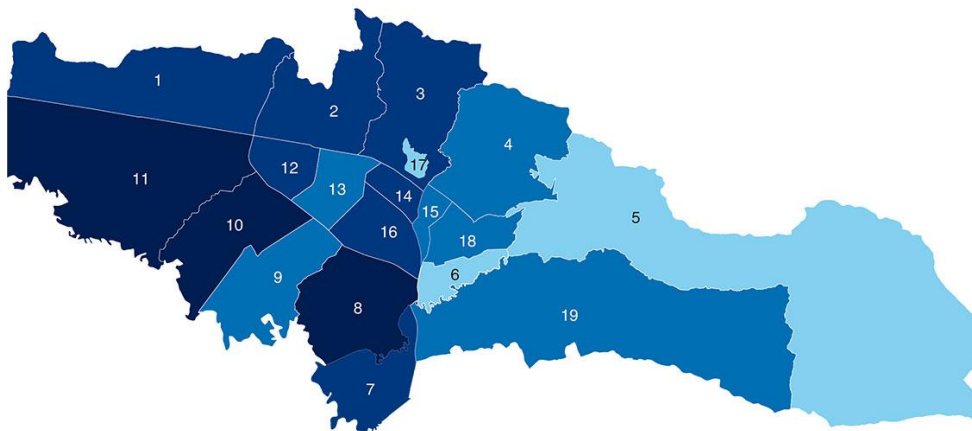
1.5 MARCO TEORICO

1.5.1 Exposición al riesgo

Todos los habitantes de la ciudad de Bogotá, tienen derecho a una vivienda digna, lo cual obliga al Estado y a la Administración Distrital a cumplir con su deber de hacer efectivo este derecho promoviendo y ejecutando planes de mejoramiento de vivienda, con el fin de mitigar cualquier factor que mantiene o acentúa sus condiciones de vulnerabilidad y pobreza.¹⁹

Actualmente la ciudad de Bogotá, cuenta con diecinueve Localidades Urbanas y una Rural, distribuidas como se muestra en la **Ilustración 2** a continuación:

Ilustración 2. Localidades de la Ciudad de Bogotá D.C.



Fuente. BOGOTA LOCAL. Localidades de Bogotá D.C. Disponible en Internet: [http:// www.probogota.org/localidades](http://www.probogota.org/localidades)

¹⁹ (Decreto 080, 2016)



| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Tabla 1. Localidades de la Ciudad de Bogotá D.C.

| No. | Localidad | Superficie (Km2) | Población |
|-----|----------------|---------------------|-----------|
| 1 | Usaquén | 65,31 | 501.999 |
| 2 | Chapinero | 38,15 | 139.701 |
| 3 | Santa Fe | 45,17 | 110.048 |
| 4 | San Cristóbal | 49,09 | 404.697 |
| 5 | Usme | 215,06 | 457.302 |
| 6 | Tunjuelito | 9,91 | 199.430 |
| 7 | Bosa | 23,93 | 673.077 |
| 8 | Kennedy | 38,59 | 1.088.443 |
| 9 | Fontibón | 33,28 | 394.648 |
| 10 | Engativá | 35,88 | 887.080 |
| 11 | Suba | 100,56 | 1.218.513 |
| 12 | Barrios Unidos | 11,90 | 243.465 |
| 13 | Teusaquillo | 14,19 | 153.025 |
| 14 | Los Mártires | 6,51 | 99.119 |
| 15 | Antonio Nariño | 4,88 | 109.176 |
| 16 | Puente Aranda | 17,31 | 258.287 |
| 17 | La Candelaria | 2,06 | 24.088 |
| 18 | Rafael Uribe | 13,83 | 374.246 |
| 19 | Ciudad Bolívar | 130,00 | 707.569 |
| 20 | Sumapaz | 70,96 | 6.531 |

Fuente. Autor.

Se ha delimitado el estudio para las localidades de Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar y Bosa debido a las condiciones de vulnerabilidad que presentan, ya que

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

estas localidades ocupan y albergan aproximadamente 2´242.645,²⁰ habitantes y las construcciones que se pueden encontrar en ellas están siendo afectadas por diferentes factores de riesgo.

1.5.1.1 Localidad de Ciudad Bolívar

La localidad de Ciudad Bolívar se situada en el sector suroccidental de la ciudad de Bogotá. Limitando con las localidades de Bosa, Tunjuelito, Usme y con el municipio de Soacha.²¹

La topografía de la localidad combina una parte plana y otra parte inclinada localizada en los cerros. Esta localidad tiene una extensión de 13000,3 ha., ubicando 3392 ha en suelo Urbano y 152,1 ha comprendidas en la expansión urbana, desarrollándose diferentes tipos de suelos, entre ellos: Residencial, comercial e industrial, ocupando el tercer lugar entre las localidades de la Ciudad de Bogotá con mayor superficie junto con las Localidades de Suma Paz y Usme, como se muestra en la **Tabla 2.**²²

²⁰ (IDIGER, 2018)

²¹ (Planeación, 21 Monografías de las localidades, 2011)

²² Ibid.



| | | |
|---|--|--|
|  UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO | EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME. | FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0 |
|---|--|--|

Tabla 2. Superficie y clase de suelo de las localidades de la Ciudad de Bogotá.

| Localidad | | Área total (ha) | Suelo urbano (ha) | Suelo de expansión urbana (ha) | Suelo rural (ha) |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
| 1 | Usaquén | 6531,60 | 3525,10 | 289,70 | 2716,70 |
| 2 | Chapinero | 3815,60 | 1307,90 | | 2507,70 |
| 3 | Santa Fe | 4517,10 | 696,40 | | 3820,60 |
| 4 | San Cristóbal | 4909,90 | 1649,00 | | 3260,90 |
| 5 | Usme | 21506,70 | 2120,70 | 902,10 | 18483,90 |
| 6 | Tunjuelito | 991,10 | 991,10 | | |
| 7 | Bosa | 2393,30 | 1932,50 | 460,80 | |
| 8 | Kennedy | 3859,00 | 3606,40 | 252,60 | |
| 9 | Fontibón | 3328,10 | 3052,80 | 275,30 | |
| 10 | Engativá | 3588,10 | 3439,20 | 148,90 | |
| 11 | Suba | 10056,00 | 5800,70 | 492,70 | 3762,70 |
| 12 | Barrios Unidos | 1190,30 | 1190,30 | | |
| 13 | Teusaquillo | 1419,30 | 1419,30 | | |
| 14 | Los Mártires | 651,40 | 651,40 | | |
| 15 | Antonio Nariño | 488,00 | 488,00 | | |
| 16 | Puente Aranda | 1731,10 | 1731,10 | | |
| 17 | La Candelaria | 206,00 | 206,00 | | |
| 18 | Rafael Uribe | 1383,40 | 1383,40 | | |
| 19 | Ciudad Bolívar | 13000,30 | 3239,80 | 152,10 | 9608,40 |
| 20 | Sumapaz | 78096,90 | | | 78096,90 |
| Total | | 163663,20 | 38431,10 | 2974,20 | 122257,80 |

Fuente. Secretaria Distrital de Planeación. Superficie y clase de suelo según localidad. Decreto 190 de 2004, Bogotá D. C. Disponible en Internet: <http://www.sdp.gov.co>

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

La densidad población definida como la cantidad de personas que habitan un territorio urbano en la ciudad se pueden ver presente en la Localidad con una densidad urbana de 189 habitantes por Hectárea, como se muestra en la, como lo indica la Secretaria Distrital de Planeación en el Decreto 190 del 2004.²³

El 52,6% de las viviendas están situadas en estrato socioeconómico bajo.²⁴

1.5.1.2 Localidad de Bosa

Se encuentra localizada al suroccidente de la ciudad de Bogotá, limitando al norte con la localidad de Kennedy, al sur con la localidad de Ciudad Bolívar, y en municipio de Soacha, al costado oriental por las localidades de Kennedy y Ciudad Bolívar y al occidente con el Municipio de Mosquera.²⁵

Bosa cuenta con una extensión de 2393 ha, sin contar con su zona rural, como lo indica la **Tabla 2**.²⁶


La localidad de Bosa se encuentra ubicada en un territorio plano formado por depósitos aluviales del río Bogotá y el río Tunjuelo, en la periferia de la Ciudad. Su

²³ (Planeación, 21 Monografías de las localidades, 2011)

²⁴ Ibid.

²⁵ (Planeación., 2009)

²⁶ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

densidad poblacional es de 232 personas por ha, según lo indica como lo indica la Secretaria Distrital de Planeación en el Decreto 190 del 2004.²⁷

Su clasificación socioeconómica determina a un 16% de la población en un estrato socioeconómico bajo ante la demanda de la ciudad. La localidad con 554.389 habitantes clasifica su estrato en, 86.7% se encuentra en estrato bajo, el 10,4% en el bajo-bajo, el 2,3% en el medio-bajo y el 0,5% clasificado sin estrato.²⁸

1.5.1.3 Localidad de San Cristóbal

Ubicada al suroriente de la ciudad de Bogotá, limita al sur con la localidad de Usme, al oriente con el municipio de Ubaté, al norte con la localidad de Santa Fe y al occidente con las localidades de Rafael Uribe y Antonio Nariño.²⁹

La localidad de San Cristóbal cuenta con una extensión de 4909,9 ha, 1649 clasificadas en suelo urbano, cifra equivalente a un 37,6% de la localidad como se indica en la **Tabla 2**.³⁰


Esta localidad se encuentra sobre un altiplano a 2600 metros sobre el nivel del mar, ubicándose en la cordillera Oriental de los Andes colombianos, lugar donde nacen un gran número de quebradas y en la cual existen bosques nativos, esta

²⁷ (Planeación., 2009)

²⁸ Ibid.

²⁹ (Planeación, Conociendo la localidad de San Cristobal , 2009)

³⁰ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

localidad se encuentra irrigada por ríos como el río San Cristóbal, el río Tunjuelo y quebradas como San Blas y Rama.³¹

En cuanto al aspecto demográfico, la localidad cuenta con una densidad urbana de 249 personas por hectárea, según lo indica como lo indica la Secretaria Distrital de Planeación en el Decreto 190 del 2004.

Su clasificación socioeconómica con 410.259 quienes representan el 5,7% del total de la población de Bogotá, arrojando un análisis socioeconómico en el que el 76.6% de la población se encuentra en un estrato bajo, el 13,9 % en el medio bajo, el 6,4% en el bajo-bajo y el 1,1% clasificado sin estrato.³²


1.5.1.4 Localidad de Usme

La localidad de Usme se encuentra ubicada en el sur de Bogotá, limita al norte con las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe y Tunjuelito; al oriente con los municipios de Chipaque y Une; al sur con la localidad de Sumapaz; y al occidente con la localidad Ciudad Bolívar, con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha. La topografía de Usme combina una parte plana a ligeramente ondulada ubicada al noroccidente de la localidad y otra parte inclinada a muy inclinada localizada en las estribaciones de la Cordillera Oriental.³³

³¹ (Planeación, Conociendo la localidad de San Cristobal , 2009)

³² Ibid.

³³ (Planeación, 21 Monografías de las localidades Localidad de Usme, 2011)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

La superficie total de Usme es de 21.506,7 hectáreas (ha), de estas 2120,7 ha corresponden a suelo urbano, 902,1 se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.483,9 ha constituyen suelo rural. Usme ocupa el segundo lugar entre las localidades con mayor superficie dentro del Distrito Capital, en primer lugar, está la localidad de Sumapaz, como se indica en la **Tabla 2**.³⁴


El suelo urbano se conforma de las seis áreas con usos urbanos dotadas de infraestructura vial y redes de servicios públicos domiciliarios que permiten su urbanización y edificación. El suelo de expansión urbana corresponde a territorios que podrán habilitarse para usos urbanos mediante planes parciales durante la vigencia del POT. El suelo rural se compone de los terrenos en donde no es apto el uso urbano por estar destinado a usos agropecuarios, forestales, de explotación de recursos naturales, entre otros.³⁵

La localidad de Usme presenta una población urbana de 127 habitantes por ha y su clasificación socioeconómica con 382.876 habitantes representando el 5.12% de la población total de Bogotá, clasificando al 51,3% de esta población en un estrato bajo, el 46,4% en el bajo-bajo y el 2,3% clasificado sin estrato.³⁶

³⁴ (Planeación, 21 Monografías de las localidades Localidad de Usme, 2011)

³⁵ Ibid.

³⁶ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1.5.2 Amenaza de riesgo

La amenaza puede estar determinada como “la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en un cierto periodo de tiempo”, reflejándose en un posible riesgo que se pueda originar por fenómenos físicos de origen natural a bienes o personas.³⁷


La amenaza que pueden presentar las localidades en estudio, se puede dar por la presencia de: amenaza por remoción en masa, inundación o la presencia de un evento sísmico, entre otros; considerando que “han ocurrido en el país sismos importantes que han dejado víctimas y daños a las edificaciones dentro de los cuales se destacan: el sismo del Quindío de enero 25 de 1999, que afectó la zona cafetera y especialmente las ciudades de Armenia y Pereira, el sismo de Pizarro del 15 de noviembre de 2004, que afectó la ciudad de Cali y el sismo de Quetame del 24 de mayo de 2008, que causó daños leves en la ciudad de Bogotá”.³⁸ Se considera que la amenaza sísmica es la principal amenaza a mitigar mediante la evaluación por desempeño que se realizara a las viviendas en estudio.

1.5.3 Vulnerabilidad ante el riesgo

La vulnerabilidad estructural es la capacidad de una estructura de soportar o no, cargas externas generadas por eventos naturales.

³⁷ (Navia Llorente & Barrera Roa, 2007)

³⁸ (Scott & M J N , 1982)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


La probabilidad de que una vivienda en el contexto colombiano se hace vulnerable se presenta por razones como las malas prácticas constructivas como por ejemplo la combinación de mampuestos diferentes en muros, voladizos mal contruidos, estructuras sin continuidad ni amarre de elementos, entre otros. Caso en el cual los especialistas entran a mitigar el riesgo mediante reforzamientos estructurales o cualquier solución que permita disminuir la vulnerabilidad de la vivienda.

Se puede evidenciar la presencia de vulnerabilidad sísmica en las viviendas de estudio, la cual debe estar condicionada por el nivel de amenaza existente. “La afectación o faño depende de la acción sísmica y la capacidad sismorresistente de la estructura, de manera que la evaluación de la vulnerabilidad estructural esta necesariamente vinculada a la manera como se definen la acción y el daño sísmico”.³⁹

De acuerdo al capítulo A.10 de la NSR-10, el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en:

- Determinar los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzo y la capacidad de resistirlos
- Formular una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos que presentan un mayor índice de sobreesfuerzo.

³⁹ (Navia Llorente & Barrera Roa, 2007)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

- Definir un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de la formulación hecha anteriormente. El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva
- Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, el inverso del índice expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva.

Esto con el objetivo de hacer una intervención en el sistema estructural en caso de ser necesario para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras.

1.5.4 Riesgo


El riesgo que pueda presentar una vivienda esta evidenciado por la ocurrencia de un evento externo o por la mala realización de sistemas en su diseño y construcción.⁴⁰

El riesgo se obtiene de la relación entre la exposición, la amenaza, o probabilidad de que ocurra un evento sísmico y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas.⁴¹

Riesgo = Exposición x Amenaza x Vulnerabilidad

⁴⁰ (Cardona, s.f.)

⁴¹ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1.5.5 Legalización de viviendas y mejoras habitacionales

Para la legalización de una vivienda o modificación de su estructura para mejoras habitacionales se debe tener en cuenta:

1.5.5.1 Mejoramiento de vivienda

El mejoramiento de vivienda es un proceso realizado por la Caja de la Vivienda Popular por el cual el beneficiario del subsidio supera una o varias carencias básicas de una vivienda perteneciente a un desarrollo legalizado o a una edificación en busca de legalización, mediante una licencia de construcción.⁴²

1.5.5.2 Licencia de construcción


Es la autorización previa para iniciar procesos constructivos en uno o varios predios, conforme a lo previsto por el plan de ordenamiento territorial (POT) y la normatividad que regule la materia, en la realización de las licencias de construcción podemos encontrar diferentes modalidades,⁴³ entre las cuales para la realización del presente proyecto se tuvieron en cuenta las siguientes:

Obra nueva: Autorización otorgada para adelantar obras de edificaciones en terreno que no han sido construidas con anterioridad.⁴⁴

⁴² (Decreto 1077, 2015)

⁴³ (Decreto 596, 2006)

⁴⁴ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Ampliación: Permiso otorgado para incrementar una determinada aérea a una vivienda o edificación ya construida, entendiéndose por área construida la suma de la superficie de los pisos, excluyendo azoteas y áreas sin cubrir o techar, como patios.⁴⁵


Reforzamiento estructural: Autorización dada para intervenir la estructura actual de la vivienda, reforzándola con el objetivo de acondicionarlos a niveles adecuados de seguridad sismo resistente de acuerdo a la Ley 400 de 1997 o la norma que la modifique o la sustituya y su reglamento.⁴⁶

Demolición: Autorización para derribar total o parcialmente el predio a intervenir, este permiso puede otorgarse simultáneamente con cualquier otra modalidad de licencia de construcción.⁴⁷

⁴⁵ (Decreto 596, 2006)

⁴⁶ (Decreto 564, 2016)

⁴⁷ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

1.6 ESTADO DEL ARTE

Actualmente los códigos de diseño sísmico en Colombia se limitan a calcular fuerzas y desplazamientos dentro de los límites elásticos, para el cálculo de las respuestas inelásticas se basan en un factor de reducción, dejando en este enfoque indirecto errores a la respuesta real del comportamiento de la estructura.⁴⁸ Por esta razón, se acude al estudio de las estructuras mediante una evaluación por desempeño con el fin de que no generen fallas al momento en que se vean sometidas a movimientos telúricos de diferentes intensidades. Dicha evaluación busca mejorar el comportamiento sísmico estructural permitiendo que sea capaz de presentar comportamientos predecibles al ser afectado por diferentes niveles sísmicos.⁴⁹


La evaluación por desempeño, determina recomendaciones para futuras radicaciones de licencias de construcción desde un enfoque más realista, generando mejores factores de resistencia y evitando pérdidas económicas que puedan resultar a futuro por la inestabilidad frente a un evento sísmico.

En los diferentes métodos de valuación por desempeño se tienen en cuenta otros aspectos que pueden implicar la inutilización de la edificación debido a desplazamientos permanentes o graves daños de los elementos no estructurales. Una gran ventaja de esta evaluación es la acertada estimación de la demanda en términos de rigidez, resistencia y ductilidad de la estructura.⁵⁰

⁴⁸ (Mohd. Zameeruddin, 2016)

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ (Carrillo, 2007)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Las principales investigaciones para el desarrollo de la metodología de una evaluación por desempeño fueron desarrolladas mediante publicaciones como: Visión 2000, FEMA 273/356 y ATC 40. A partir de estas publicaciones ha habido una constante actualización de normas y códigos que rigen este método, permitiendo emplear un acercamiento más real sobre el nivel esperado del comportamiento de una estructura.

El análisis sísmico por desempeño toma fuerza a partir de la publicación de Visión 2000 (1995) realizada por la *Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California (SEAOC)*, donde se dan a conocer los conceptos básicos para el diseño y los parámetros iniciales que deben ser tenidos en cuenta antes de iniciar cualquier proyecto, como: criterios de diseño, identificación de amenazas sísmicas, sistemas estructurales apropiados, elementos no estructurales y contenido, definición de un nivel límite de diseño y el comportamiento deseado de la estructura para un buen desempeño.⁵¹

En esta publicación se tuvo la intención de diseñar en términos de desempeño, donde el objetivo principal fuera producir estructuras resistentes a:

- Un menor nivel de movimientos sísmicos sin daño.
- Un moderado nivel de movimientos sísmicos sin daño estructural, pero con posibilidad de tener daños en los elementos no estructurales.

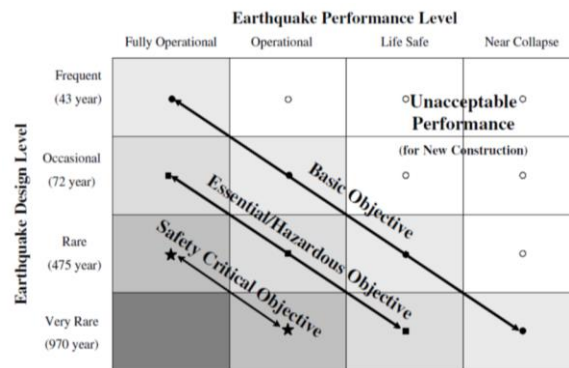
⁵¹ (Espinoza, 2011)

- Un nivel de movimientos sísmicos de mayor intensidad, que se experimentó o se hubiera previsto para la zona de la edificación, sin colapso, pero con la posibilidad de presentar daños en los elementos estructurales como no estructurales.

Estos objetivos de desempeño se mantuvieron hasta las ediciones más recientes de visión 2000.⁵²


Los objetivos de desempeño para edificios de variada importancia, se definieron en tres parámetros, el nivel de comportamiento esperado, el nivel de amenaza sísmica y la capacidad de la estructura, estos parámetros de desempeño fueron definidos en Visión 2000, como se muestra en la Ilustración 3. Objetivos de diseño para edificios SEAOC (1995).

Ilustración 3. Objetivos de diseño para edificios SEAOC (1995).



Fuente. La ingeniería sísmica basada en desempeño (Performance-Based Earthquake Engineering, PBEE)

⁵² (Espinoza, 2011)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Uno de los puntos fuertes de Visión 2000 es que se propone un comprensivo proceso en el diseño, evaluación y proceso de construcción, mediante un desarrollo global de evaluación por desempeño que consta de dos fases:

- **Fase conceptual**


Enfocado en una solución de evaluación tanto estructural como no estructural. Donde se inicia con el planteamiento de los objetivos que reflejan de manera más clara las expectativas más relevantes que surgen de la construcción de una obra, estableciendo si la obra es técnica y económicamente variable, acorde a la sismicidad del sitio.⁵³

De ser variable, el profesional plantea un diseño conceptual con los objetivos de evaluación y las características de los movimientos sísmicos esperados. Durante este proceso se tiene en cuenta la configuración global de la construcción, la configuración estructural, los sistemas y materiales estructurales, el sistema de cimentación, y el tipo de elemento no estructural, al igual que su conexión con la estructura.

- **Fase numérica**

Esta fase está construida por dos etapas que son la preliminar y la etapa final, las cuales involucran un dimensionamiento detallado y de las cuales se distinguen

⁵³ (Sanchez Badillo & Téran Gilmore , 2008)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

tres metodologías para controlar de manera más acertada la respuesta dinámica estructural.⁵⁴

1. Prediseño global

Los niveles de las características mecánicas de la estructura se determinan mediante espectros de respuesta durante la excitación sísmica, sin exceder los límites de respuesta establecidos en función de criterios por desempeño.⁵⁵

2. Diseño local preliminar

Se procede a la evaluación local determinando las dimensiones y detalles de elementos estructurales.⁵⁶

3. Revisión de diseño

Se plantean una serie de lineamientos para la revisión preliminar de la estructura a través de una serie de análisis estructurales de alto grado de desempeño.⁵⁷


Paralelamente a la publicación de Visión 2000, la U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA), fundó un proyecto para la rehabilitación de edificios. Este proyecto dio como resultado el código FEMA 273, su marco conceptual es muy similar al de Visión 2000, el cual propone el método de los coeficientes, un

⁵⁴ (Sanchez Badillo & Téran Gilmore , 2008)

⁵⁵ (A, 2004)

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

método más sencillo para encontrar el punto de desempeño desde una vista global y local. Este método fue revisado y mejorado en el año 2000 por el FEMA 256, donde se revisan los ensayos de punto local y se proponen tablas más acertadas.

En el año 2005, se publica el FEMA 440 haciendo nuevas mejoras a los procedimientos no lineales. Posteriormente se publica el FEMA 356 como documento estándar del *American Society of civil engineers (ASCE)*, asociando niveles de desempeño con niveles de peligro y definiendo los niveles de desempeño como: operacional, ocupación inmediata (IO), seguridad de vida (LS) y prevención del colapso (CP).

- Ocupación inmediata (IO)


Después de presentarse un evento sísmico el daño de la estructura es mínimo y puede ser ocupada una vez se realicen reparaciones mínimas.⁵⁸

- Seguridad de vida (LS)

La estructura sufre un daño significativo una vez se ha presenta un evento sísmico, pero no colapsara debido a que los elementos estructurales conservan una parte importante de su capacidad de resistencia.⁵⁹

⁵⁸ (Espinoza, 2011)

⁵⁹ (García, 2011)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

- Prevención del colapso (CP)

Se presentan diseños sustanciales en la estructura, perdiendo su resistencia y rigidez, produciendo deformaciones permanentes. La estructura sufre muchos daños a nivel estructural y ante cualquier replica puede colapsar.⁶⁰

El documento ATC 40, se publica en simultaneo al FEMA 273 en 1996. El desarrollo general de este documento, propone el método de espectros de capacidad para determinar el punto de desempeño con un espectro de diseño de un 5% de amortiguamiento. Igualmente, el análisis estático no lineal (cortante en la base vs desplazamiento en la cubierta), se convierte en una curva de capacidad equivalente a un sistema de un grado de libertad, y de la intersección de esta nueva curva con un espectro de respuesta modificado, obteniendo así un punto de desempeño.⁶¹


Actualmente, el método por desempeño, se encuentra normado por *Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)* para Estados Unidos y en algunos códigos de Latinoamérica.

Este método, tiene un enfoque de evaluación que debe cumplir con la seguridad de la vida y a su vez, identificar y seleccionar el nivel de rendimiento que permite predecir de manera confiable el desempeño de una estructura.

Las estructuras deben tener un estudio exhaustivo de riesgo o probabilidad de ocurrencia, respondiendo a preguntas básicas como: ¿Qué eventos se anticipan?;

⁶⁰ (García, 2011)

⁶¹ (Espinoza, 2011)


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

¿Cuál es el nivel de pérdida, daño o lesión aceptable?; y ¿Con que frecuencia puede pasar esto? Este análisis de riesgo debe incorporar la probabilidad de un evento específico y la gravedad del resultado, con el fin de establecer un nivel de riesgo aceptable. Para esto *El Consejo del Código Internacional (ICC)*, formalizó cuatro niveles de desempeño aceptables, de los cuales, se diferencian el daño estructura, los sistemas no estructurales, el riesgo para los ocupantes y el alcance general del daño y los materiales.⁶² Estos niveles son los siguientes:

- **Impacto leve.** No hay daños estructurales y el edificio es seguro de ocupar.
- **Impacto modera.** Hay daños reparables, con muy poca probabilidad de pérdida de vida.
- **Alto impacto.** Se producirán grandes daños en la estructura y el sistema no estructural quedará inoperable. Las lesiones a los ocupantes pueden ser significativas.
- **Impacto severo.** Fuerte impacto en el sistema estructural con daños, posiblemente no reparables y el sistema no estructural puede ser no funcional. El edificio no quedará seguro para ocupar y existe una gran probabilidad de pérdida de vidas.

Sumado al Consejo del Código Internacional (ICC), se encuentran, el código de seguridad personal de la Asociación Nacional de Protección contra incendios (NFPA) y el código de construcción NFPA 5000. Los códigos nombrados anteriormente rigen en Estados Unidos y se enfocan en evaluar la seguridad de la

⁶² (Federal Emergency Management Agency FEMA, 2010)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


vida en relación a desastres naturales como incendios, derrumbes, tormentas, sismos, entre otros por lo tanto las normas que rigen el método de desempeño deben ser evaluados y aprobados por el código oficial.⁶³

El método de valuación por desempeño se relaciona con múltiples riesgos naturales, sin embargo, son los movimientos sísmicos los que frecuentemente ponen a prueba los códigos actuales, ya que en los últimos años se han evidenciado mayor ocurrencia de eventos sísmicos. Es por esto que el avance de las investigaciones en la ingeniería sísmica ha establecido los siguientes objetivos o niveles desempeño:⁶⁴

- Nivel 1: El edificio no sufre daños sustanciales y puede estar en funcionamiento de inmediato.
- Nivel 2: El edificio sufre daños que son reparables y puede ser ocupado una vez se realicen las reparaciones necesarias.
- Nivel 3: El edificio tiene daños en su sistema estructural y no estructural, puede ocasionar lesiones en los ocupantes, pero no es de gran amenaza para la vida.
- Nivel 4: El edificio sufre daños severos, puede que quede en condiciones para demoler y por lo tanto será de gran amenaza para la vida.

⁶³ (Federal Emergency Management Agency FEMA, 2010)

⁶⁴ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Teniendo en cuenta estos niveles, el nivel de desempeño de una construcción dependerá necesariamente de la ocupación o propósito de la edificación, es decir, si se quiere construir un hospital, este debe cumplir mínimo un Nivel 2 de desempeño, siendo el Nivel 1 el ideal, pues estas construcciones deben quedar en funcionamiento una vez ocurra un evento relacionado con desastres naturales.


En la última década se han logrado avances sustanciales en el campo de la ingeniería sísmica con respecto a las investigaciones realizadas del método de desempeño. Los ingenieros a partir de los avances en la ciencia de los materiales, inspecciones visuales de edificios dañados, formalización de los niveles de desempeño y métodos analíticos, han logrado dar una respuesta más acertada del comportamiento de un edificio sometido a varios niveles de movimiento sísmico.⁶⁵

Hoy en día, las investigaciones siguen avanzando de una manera exhaustiva; principalmente por el *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*. Cabe aclarar que el método de evaluación por desempeño no pretende reemplazar los códigos actuales de diseño, lo que pretende es realizar un mejoramiento y una adaptación para obtener comportamientos más reales de las estructuras.

Para el caso de estudio del proyecto se desarrollará una evaluación por desempeño que generará beneficios en cuanto a una seguridad de vida y una reducción de daños inesperados.

Para dar inicio a la evaluación por desempeño se debe seleccionar un procedimiento de análisis, que determinara las fuerzas y deformaciones incluidas

⁶⁵ (Federal Emergency Management Agency FEMA, 2010)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

en los componentes del edificio por el movimiento del suelo correspondiente al nivel de peligro sísmico seleccionado, o por otros peligros del sitio.⁶⁶

El procedimiento deberá cumplir con alguno de los siguientes análisis:


1. Análisis estático lineal (LSP)
2. un análisis dinámico lineal (LPD)
3. Análisis estático no lineal (NSP)
4. análisis dinámico no lineal (NDP)

Los análisis estáticos son apropiados cuando las edificaciones son bajas y regulares. Por el contrario, los análisis dinámicos se realizarán para edificaciones altas y con irregularidades de torsión o sistemas no ortogonales.

Para saber cuándo aplica un análisis lineal. *Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)*, establece los siguientes parámetros:

1. Que el edificio no cuente con irregularidades como:
 - Irregularidad de discontinuidad en el plano.
 - Irregularidad de un nivel débil.
 - Irregularidad de la fuerza de torsión.
2. Los coeficientes de demanda-capacidad (DCR) se usan para determinar el potencial de una estructura ante una respuesta inelástica y de irregularidad. Si todos los coeficientes son menores a 1, la respuesta al comportamiento

⁶⁶ (American Society of Civil Engineers, 2013)

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

será de una manera elástica, pero si estos son mayores a 1, su respuesta de comportamiento será inelástica.

Los DCR se calculan para fuerza axial, momento o corte.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}}$$

Donde: Q_{UD} : Fuerza causada por cargas de gravedad y fuerza sísmica.


Q_{CE} : Fuerza esperado del elemento.

Una vez determinados los parámetros nombrados se procede hacer la selección del análisis:

- **Análisis estático lineal (LSP)**

En este análisis los parámetros de fuerza sísmica, su distribución en altura del edificio, las fuerzas internas y desplazamientos, determinarán un análisis estático linealmente elástico. Este procedimiento está asociado al desplazamiento como indicador al daño en el rango no lineal. Se considera que un cambio mínimo en la demanda de fuerza, significa un gran cambio en la demanda de desplazamiento.

Al momento de analizar las fuerzas internas con el peligro sísmico deseado, se presentarán dos posibilidades, la primera, que las fuerzas calculadas respondan elásticamente al peligro sísmico la cual corresponderá a aproximaciones esperadas; la segunda, si la respuesta es inelástica, quiere decir, que las fuerzas

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

internas requeridas son menores que las calculadas. Este último caso se presenta por la respuesta inelástica anticipada que generalmente efectúan los componentes de la estructura.⁶⁷

- **Análisis dinámico lineal (LDP)**

En este análisis dinámico linealmente elástico, se calculan las fuerzas sísmicas, su distribución en la altura del edificio, las fuerzas internas y los desplazamientos. Al realizar el análisis espectral modal, se espera que los desplazamientos máximos sean aproximados a los esperados durante el peligro sísmico seleccionado.⁶⁸

Para desarrollar este análisis se pueden usar dos métodos, el método de espectro de respuesta y el método de historial de respuesta lineal. De un modo general, el método de espectro de respuesta solo tiene en cuenta las respuestas máximas significativas de análisis modal del sistema y el método de historial de respuesta lineal incluye un tiempo para evaluar la respuesta sísmica de la estructura.⁶⁹


- **Análisis estático no lineal (NSP)**

En el análisis estático no lineal, se debe realizar un modelo matemático que incorpore directamente las características de carga-deformación no lineal de los

⁶⁷ (American Society of Civil Engineers, 2013)

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ Ibid.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

componentes individuales del edificio, el edificio será sometido a cargas laterales monótonamente crecientes que representan fuerzas de inercia en un terremoto hasta que se supere un desplazamiento objetivo.

El desplazamiento objetivo está destinado a representar el desplazamiento máximo que probablemente se experimente para el nivel de peligro sísmico seleccionado. Debido a que el modelo matemático explica directamente los efectos de la respuesta inelástica del material, las fuerzas internas calculadas son aproximaciones razonables de las esperadas para el nivel de riesgo sísmico seleccionado.⁷⁰

- **Análisis dinámico no lineal (NDP)**


Este análisis aplica para cualquier estructura y consiste en realizar un historial de respuesta de las demandas no lineales exigidas por la estructura cuando son inducidas por un historial de aceleración de un sismo. Es un análisis más exacto para saber el comportamiento de la estructura ante un sismo, dando parámetros como son los efectos de modo superior y desplazamiento global de la estructura.⁷¹

Para poder realizar un análisis de este tipo, se debe contar con experiencia y exactitud en la entrada de datos, pues una pequeña variación difiere sustancialmente en la respuesta de análisis.⁷²

⁷⁰ (American Society of Civil Engineers, 2013)

⁷¹ Ibid.

⁷² Ibid.


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

De los análisis nombrados anteriormente establecidos por el Seismic *Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)*, se toma el análisis estático no lineal (NSP), conocido también como “análisis **pushover**”, este utiliza técnicas simplificadas no lineales para estimar deformaciones estructurales sísmicas; para poder realizar la evaluación por desempeño mediante el análisis estático no lineal, el código reglamenta parámetros para su aplicación:

1. La relación de resistencia elástica requerida deberá ser menos que la relación de resistencia máxima. Si una estructura supera la relación de resistencia máxima, presentará una degradación considerable, en estas condiciones se empleará un análisis dinámico no lineal.
2. Los efectos de modo superior no deberán ser significativos. Para poder saber si estos modos son significativos o no, se realizará un análisis espectral modal, donde se use una participación masiva del 90% de los modos y un segundo análisis espectral donde solo se considere el primer modo.
3. Si el sistema presenta efectos de modo superior significativos, se podrá usar este método si va acompañado de un análisis dinámico lineal.

En primera instancia, se debe plantear un desplazamiento objetivo, el cual se considera, sea el desplazamiento esperado para el peligro sísmico seleccionado.

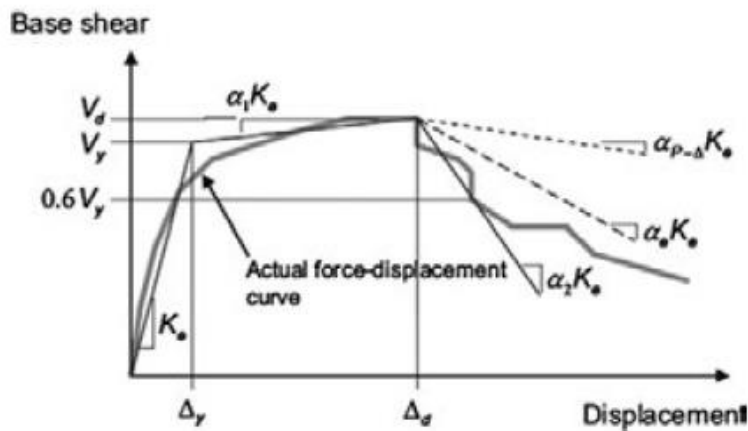
Se debe definir un nodo de control el cual se localiza en el centro de masa de la cubierta de la edificación, para luego, junto con la fuerza de corte de la base, hacer una relación entre estos dos parámetros que debe oscilar entre el 0 y 150% del desplazamiento objetivo. Las fuerzas sísmicas se aplicarán tanto para la dirección positiva como para la negativa. El análisis debe estar discretizado para

| | | |
|---|---|------------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|------------------------------------|

poder realizar la gráfica Fuerza-Deformación de cada uno de los componentes de la estructura.⁷³

La **Ilustración 4**, muestra una curva carga vs deformación idealizada. El primer tramo de la curva es una línea recta la cual tendrá una pendiente igual a la rigidez lateral efectiva K_e , esta rigidez es igual al 60% de la resistencia elástica efectiva de la estructura.⁷⁴

Ilustración 4. Curva idealizada carga vs deformación.



Fuente. Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)

Para una estructura evaluada mediante el método **pushover** se usa un mecanismo mediante la utilización de rotulas plásticas. Las rotulas plásticas son dispositivos de amortiguación de energía, que permite la rotación de la deformación plástica.

⁷³ (American Society of Civil Engineers, 2013)

⁷⁴ Ibid.

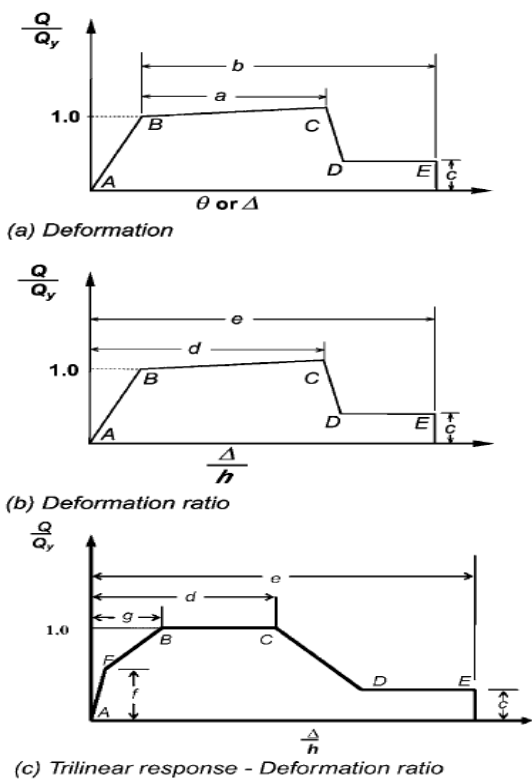
En el procedimiento estático no lineal la respuesta de deformación de los componentes de la estructura se representa por relaciones de carga-deformación.

La


Ilustración 5, define el comportamiento de la estructura bajo una deformación que aumenta monóticamente. Para vigas y columnas la deformación generalizada de la figura 10-1 (a) en la

Ilustración 5.

Ilustración 5. Relación de deformación para elementos o componentes de hormigón.



Fuente. Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013). Figura 10-1 Fuerza generalizada –


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

relación de deformación para elementos o componentes de hormigón.

En la relación de carga-deformación de la figura (a) en la

Ilustración 5, la deformación esta expresada en términos de la rotación de la rótula. La pendiente del punto A-B representa la respuesta lineal del elemento la cual será la rigidez efectiva, la pendiente del punto B-C es una respuesta lineal con rigidez reducida, está pendiente tomará un valor entre 0 y 10% de la pendiente inicial. Luego una reducción repentina de la resistencia a la fuerza sísmica llevará la representación al punto D, finalmente se tendrá una respuesta a la resistencia reducida punto Y hasta tener una perdida final de la resistencia. Los parámetros a y b hacen referencia a la deformación que se producirá después de la deformación plástica, y el parámetro c es la resistencia reducida después del punto D.

El código Seismic *Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)*, define parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para la definición de rotulas plásticas de vigas, columnas, nodos de viga-columna y otros componentes de la estructura.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


2 METODOLOGÍA

El objetivo del proyecto se planteó con la idea de estimar de manera más acertada el comportamiento sísmico de las viviendas mediante una evaluación por desempeño y así verificar que la estructura es capaz de soportar cargas presentes ante un evento sísmico.

La información inicial suministrada por parte de la Caja de la Vivienda Popular se organizó mediante arquetipos, encargados de capturar la esencia y variabilidad de las características de rendimiento del sistema. Con esta metodología se determinaron y analizaron un número de modelos arquetípicos con variaciones paramétricas en su diseño, para representar ampliamente el sistema de interés, que en este caso sería el de una vivienda que cumpliera con las características paramétricas y abarcara todas las necesidades demandantes de la sociedad puesta a estudio.

Una vez suministrada la base de datos por parte de la entidad con la información de las licencias, se realizó una elección de las Licencias obtenidas desde el año 2016 hasta el año en curso. Esto con el fin de tener una mayor cantidad de viviendas que pudieran ser puestas a estudio y facilitaran la realización de cada uno de los arquetipos elaborados.

El total de las licencias de construcción aprobadas por las curadurías urbanas fue de 105, ubicadas en nueve diferentes localidades de Bogotá. A partir de esta cifra, se procedió hacer una clasificación de las que fueron aprobadas en las en las cuatro localidades a estudio según lo indicado en el desarrollo del proyecto, Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Usme. Esto se realizó de acuerdo a las localidades que presentaban mayor demanda por parte de los beneficiarios

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

interesados en la obtención de la licencia de construcción por medio de la Caja de la Vivienda Popular.

La cantidad de viviendas que quedaron en estudio ubicada en las cuatro localidades mencionadas anteriormente fue de 83 viviendas. De las cuales se recopiló información, como: Planos arquitectónicos, planos estructurales, memorias de cálculo, estudios de suelos y fotos. En base a esta información se obtuvieron datos importantes para dar inicio con el proceso de crear arquetipos para las viviendas y limitar nuestro campo de estudio. Entre estos datos se determinó: La modalidad de la licencia, el número de pisos, el tipo de estructura, la regularidad del predio y su microzonificación.

El primer arquetipo se consolidó de acuerdo a la modalidad de la licencia, según la información obtenida por la Caja de la Vivienda Popular, se presentaron dos modalidades, obra nueva y acto de reconocimiento, por necesidades sociales y administrativas de la entidad, se delimitaron las viviendas contempladas como actos de reconocimiento, para un total de 44 viviendas.

Tabla 3. Arquetipo 1-Modalidad licencia de construcción.

| | | |
|---|-----------------|-------------------|
| VIVIENDAS DE ESTUDIO | 83 | |
| MODALIDAD DE LA LICENCIA ARQUETIPO 1 | | |
| ACTO ADMINISTRATIVO | CANTIDAD | PORCENTAJE |
| Obra Nueva | 39 | 47,0% |
| Reconocimiento | 44 | 53,0% |
| | | |
| TOTAL | 83 | 100% |

Fuente. Autor

Ilustración 6. Arquetipo 1-Modalidad licencia de construcción.



Fuente. Autor

Una vez delimitadas las 44 viviendas se procedió a realizar el segundo arquetipo, basado en la recopilación de viviendas de tres pisos para cumplir con los parámetros mínimos que permitiera realizar el análisis por desempeño denotando variaciones en los resultados. La elaboración de este arquetipo dio como resultado un total de 12 viviendas a estudio.

Tabla 4. Arquetipo 2-Número de pisos.

| VIVIENDAS DE ESTUDIO | | 44 |
|-----------------------------|----------|------------|
| NUMERO DE PISOS ARQUETIPO 2 | | |
| NUMERO DE PISOS | CANTIDAD | PORCENTAJE |
| 1 Piso | 1 | 2% |
| 2 Pisos | 31 | 70% |
| 3 Pisos | 12 | 27% |
| TOTAL | 44 | 100% |

Fuente. Autor

Ilustración 7. Arquetipo 2-Número de pisos.



Fuente. Autor

La selección del tercer arquetipo se realizó de acuerdo al tipo de estructura, se tomaron las viviendas de pórticos en concreto, ya que según la NSR-10 son estructuras que permiten construcciones de 3 o más pisos. La elaboración de este arquetipo dio como resultado un total de 5 viviendas.

Tabla 5. Arquetipo 3-Tipo de estructura.

| | |
|-----------------------------|----|
| VIVIENDAS DE ESTUDIO | 12 |
|-----------------------------|----|

| TIPO DE ESTRUCTURA ARQUETIPO 3 | | |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|
| TIPO DE ESTRUCTURA | CANTIDAD | PORCENTAJE |
| Porticos | 5 | 41,7% |
| Muros confinados | 7 | 58,3% |
| TOTAL | 12 | 100% |

Fuente. Autor

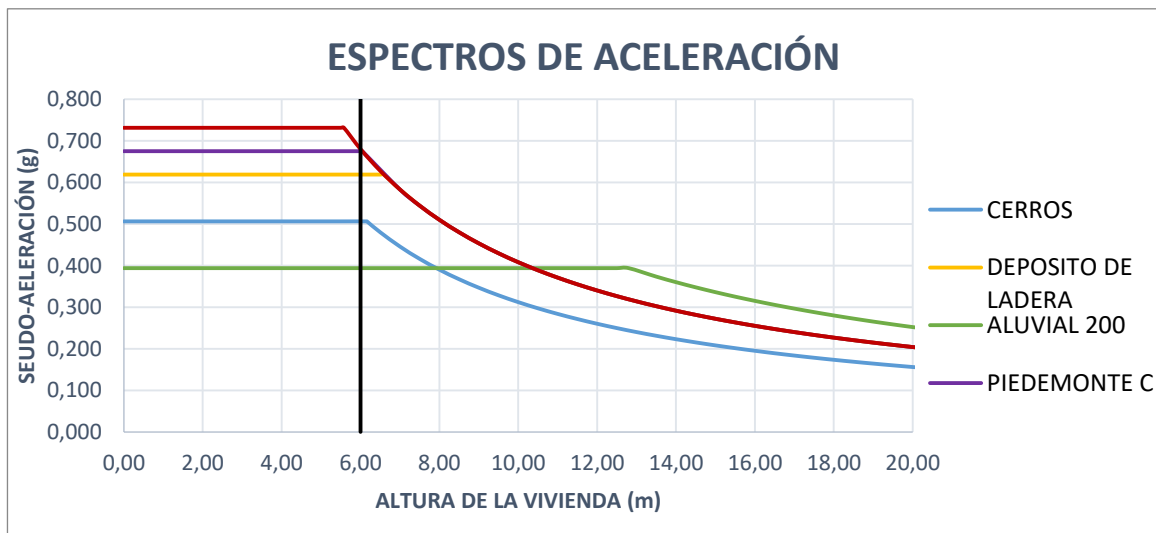
Ilustración 8. Arquetipo 3-Tipo de estructura.



Fuente. Autor

El arquetipo 4 se fundamentó en la selección de viviendas en zona de microzonificación de Piedemonte C, debido a que la zona presenta la condición más crítica en comparación a las zonas presentes en el evalúo de las viviendas.

Ilustración 9. Espectros de aceleración.



Fuente. Autor

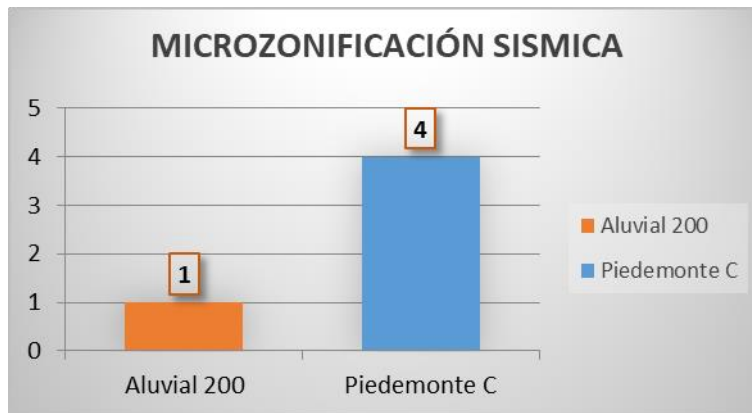
Tabla 6. Arquetipo 4-Microzonificación sísmica.

| | |
|-----------------------------|---|
| VIVIENDAS DE ESTUDIO | 5 |
|-----------------------------|---|

| MICROZONIFICACION SISMICA ARQUETIPO 4 | | |
|--|----------|------------|
| ZONA | CANTIDAD | PORCENTAJE |
| Aluvial 200 | 1 | 20,0% |
| Piedemonte C | 4 | 80,0% |
| TOTAL | 5 | 100% |

Fuente. Autor

Ilustración 10. Arquetipo 4-Microzonificación sísmica.



Fuente. Autor

Finalmente, la vivienda escogida para realizar la evaluación por desempeño, fue la vivienda con un lindero regular tipo, de aproximadamente 72m² (6.00m x 12.00m) y que abarca características de las viviendas con mayor demanda en solicitudes presentadas en la entidad.



| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Ilustración 11. Vivienda seleccionada para el desarrollo de la evaluación por desempeño.



Fuente. Caja de La Vivienda Popular.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO


Una vez seleccionada la vivienda se procedió hacer la modelación mediante el software SAP 2000, según el análisis estático no lineal o análisis **pushover**, este modelo matemático de la estructura representa adecuadamente la distribución de la masa y la rigidez del sistema estructural considerando los efectos no lineales para los niveles de deformación que excedan el límite proporcional, según lo indica la NSR-10 A-13.

Inicialmente se procedió a definir el concreto que sería empleado en la evaluación por desempeño teniendo en cuenta su resistencia, el agregado empelado y su respectivo módulo de elasticidad, de acuerdo con los estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)–Titulo C.8.5 Modulo de elasticidad.

Una vez especificados los materiales se procedió a definir las secciones que serían configuradas en el modelo, cada una de ellas con sus respectivos refuerzos, de acuerdo a las memorias de cálculo elaboradas en la entidad para tal fin, **Anexo 1**.

Adicionalmente se realizó la definición de las secciones de área correspondientes a cada placa del diseño propuesto, teniendo en cuenta el tipo se sección, el material, su espesor y su rigidez de acuerdo al peso de la misma.

Una vez definidas todas las secciones que harían parte de los modelos correspondientes al diseño propuesto por la entidad, se llevó a cabo la geometría de los mismos en el programa.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


En seguida se realizó el avalúo de cargas de la vivienda a estudio, teniendo claro las cargas que serán empleadas en la modelación se procedió a definir los estados de carga, los cuales incluirían, cargas vivas, cargas muertas, cargas de granizo, fuerzas sísmicas y peso propio de la estructura.

Con los estados de carga realizados se continúan definiendo los casos de carga, los cuales clasificarán las mismas en estáticas lineales o estáticas no lineales, como lo es el caso de carga **pushover** involucrando los efectos P-Delta en el análisis; también se deben tener en cuenta los casos de cargas de reacción espectral que serán consistentes con los datos del suelo específico del sitio, en este caso, de acuerdo con el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación sísmica de Bogotá D.C., y partiendo de que no se tiene una exploración geofísica en el predio, se opta de manera conservadora por tomar la condición más crítica al ubicar el predio en la zona Piedemonte C, como también se indica según el arquetipo seleccionado en la **Tabla 6**.

A continuación, se lleva a cabo la realización de las combinaciones de carga, según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)– Titulo B.2.4.2 Combinaciones de carga.

Se procede a realizar el análisis sísmico mediante un análisis modal espectral por el método de *Eigen Vectors*, donde se use una participación masiva del 90% de los modos, partiendo del espectro de diseño, y teniendo en cuenta un ajuste por fuerza horizontal equivalente, esto para ser tenido en cuenta en las combinaciones de carga que involucren los casos de cargas sísmicas, teniendo en cuenta lo estipulado en la NSR-10.

Una vez realizadas las asignaciones correspondientes a la modelación de la estructura, se procede a incluir los valores de las rotulas plásticas para cada

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

sección dependiendo del resultado de las relaciones estipuladas según el Código ASCE 41-13 en la **Tabla 7** y en la **Tabla 8**.

Los parámetros de modelado y criterios de aceptación para las rótulas plásticas en las vigas, están definidos en la tabla 10-7 en el código Seismic *Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)*. Para poder entrar y definir la rótula se debe tener una secuencia de verificación y cumplimiento de datos según las condiciones especificadas en la tabla.


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


Tabla 7. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales; vigas de hormigón armado.

| Tabla 10-7. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales: vigas de hormigón armado | | | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------------|--|-------|------------------------------------|--|-------|-------|
| CONDICIONES | | | parámetros de modelado | | | Criterios de aceptación | | |
| | | | Ángulo de rotación plástica (radianes) | | proporción de resistencia residual | Ángulo de rotación plástica (radianes) | | |
| | | | a | b | | c | IO | LS |
| Condición i. Vigas controladas por la flexión | | | | | | | | |
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$ | Refuerzo transversal | $\frac{V}{b_w d_w \sqrt{f'c}}$ | | | | | | |
| ≤ 0.0 | C | $\leq 3 (0.25)$ | 0,025 | 0,05 | 0,2 | 0,01 | 0,025 | 0,05 |
| ≤ 0.0 | C | $\geq 6 (0.5)$ | 0,02 | 0,04 | 0,2 | 0,005 | 0,02 | 0,04 |
| ≤ 0.5 | C | $\leq 3 (0.25)$ | 0,02 | 0,03 | 0,2 | 0,005 | 0,02 | 0,03 |
| ≤ 0.5 | C | $\geq 6 (0.5)$ | 0,015 | 0,02 | 0,2 | 0,005 | 0,015 | 0,02 |
| ≤ 0.0 | NC | $\leq 3 (0.25)$ | 0,02 | 0,03 | 0,2 | 0,005 | 0,02 | 0,03 |
| ≤ 0.0 | NC | $\geq 6 (0.5)$ | 0,01 | 0,015 | 0,2 | 0,0015 | 0,01 | 0,015 |
| ≤ 0.5 | NC | $\leq 3 (0.25)$ | 0,01 | 0,015 | 0,2 | 0,005 | 0,01 | 0,015 |
| ≤ 0.5 | NC | $\geq 6 (0.5)$ | 0,005 | 0,01 | 0,2 | 0,0015 | 0,005 | 0,01 |
| Condición ii. Vigas controladas por corte | | | | | | | | |
| Separación del estribo $\leq d / 2$ | | | 0,003 | 0,02 | 0,2 | 0,0015 | 0,01 | 0,02 |
| Espaciado del estribo $> d / 2$ | | | 0,003 | 0,01 | 0,2 | 0,0015 | 0,005 | 0,01 |
| Condición iii. Vigas controladas por desarrollo inadecuado o empalme a lo largo del lapso | | | | | | | | |
| Separación del estribo $\leq d / 2$ | | | 0,003 | 0,02 | 0 | 0,0015 | 0,01 | 0,02 |
| Espaciado del estribo $> d / 2$ | | | 0,003 | 0,01 | 0 | 0,0015 | 0,005 | 0,01 |
| Condición iv. Vigas controladas por empotramiento inadecuado en la junta viga-columna | | | | | | | | |
| | | | 0,015 | 0,03 | 0,2 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |

Fuente. Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013).
Tabla 10-7 Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales: Vigas de hormigón reforzado.

Primero, se debe conocer la condición por la cual se encuentra controlada la viga:

Condición I: Vigas controladas por la flexión

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Condición II: Vigas controladas por cortante

Condición II: Vigas controladas por desarrollo inadecuado o empalme a lo largo del lapso.

Condición IV: Vigas controladas por empotramiento inadecuado en la junta viga-columna.

Si el elemento cumple más de una de las condiciones mencionadas anteriormente, se usará la que tenga el valor numérico mínimo de la tabla.


Para la **condición I**, se debe realizar 3 relaciones:

1. Verificar si el refuerzo transversal de la viga es *Conforming* “C” o *Nonconforming* “NC”. El refuerzo será “C” si cumple:
 - La separación de los estribos en la zona de la rótula plástica está son $\leq \frac{d}{2}$.
 - Para componentes de demanda de ductilidad moderada y alta, la resistencia proporcionada por los estribos (V_s) es al menos 3/4 del cortante de diseño.

Si no cumple las condiciones anteriores será un “NC”.

2. Relación de cuantías: $\frac{\rho - \rho}{\rho_{bat}}$

3. Relación de cortante: $\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Una vez realizadas estas tres relaciones, se puede entrar a la tabla a definir los parámetros de la rótula plástica.

En el caso de que la viga cumpla la **condición II** ó **III**, se realizará una comparación entre la separación de los estribos en la zona de localización de la rótula plástica y $d/2$. Con esta relación ya se puede entrar a la tabla y definir la rótula plástica.

Los parámetros de modelado y criterios de aceptación para las rótulas plásticas en las columnas, están definidos en la tabla 10-8 del código *Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)*. Para poder entrar y definir la rótula se debe tener una secuencia de verificación y cumplimiento de datos según las condiciones especificadas en la **Tabla 9**.



| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

Tabla 8. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales; columnas de hormigón armado.

| Tabla 10.8 Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales: columnas de hormigón armado | | | | | | | | |
|---|----------------------------|------------------------------|--|-------|------------------------------------|--|--------|-------|
| CONDICIONES | | | parámetros de modelado | | | Criterios de aceptación | | |
| | | | Ángulo de rotación plástica (radianes) | | proporción de resistencia residual | Ángulo de rotación plástica (radianes) | | |
| | | | a | b | | c | IO | LS |
| Condición i. | | | | | | | | |
| $\frac{P}{A_g f'c}$ | $\rho = \frac{A_v}{b_w s}$ | | | | | | | |
| < 0,1 | > 0,006 | | 0,035 | 0,06 | 0,2 | 0,005 | 0,045 | 0,06 |
| > 0,6 | > 0,006 | | 0,1 | 0,01 | 0 | 0,003 | 0,009 | 0,01 |
| < 0,1 | = .0,002 | | 0,27 | 0,034 | 0,2 | 0,027 | 0,027 | 0,034 |
| > 0,6 | = .0,002 | | 0,005 | 0,005 | 0 | 0,004 | 0,0004 | 0,005 |
| Condición ii | | | | | | | | |
| $\frac{P}{A_g f'c}$ | $\rho = \frac{A_v}{b_w s}$ | $\frac{V}{b_w d \sqrt{f'c}}$ | | | | | | |
| < 0,1 | > 0,006 | < 3 (0,25) | 0,032 | 0,06 | 0,2 | 0,005 | 0,045 | 0,06 |
| < 0,1 | > 0,006 | > 6 (0,5) | 0,025 | 0,06 | 0,2 | 0,005 | 0,045 | 0,06 |
| > 0,6 | > 0,006 | < 3 (0,25) | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,003 | 0,009 | 0,01 |
| > 0,6 | > 0,006 | > 6 (0,5) | 0,008 | 0,008 | 0 | 0,003 | 0,007 | 0,008 |
| < 0,1 | < 0,0005 | < 3 (0,25) | 0,012 | 0,012 | 0,2 | 0,005 | 0,01 | 0,012 |
| < 0,1 | < 0,0005 | > 6 (0,5) | 0,006 | 0,006 | 0,2 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| > 0,6 | < 0,0005 | < 3 (0,25) | 0,004 | 0,004 | 0 | 0,002 | 0,003 | 0,004 |
| > 0,6 | < 0,0005 | > 6 (0,5) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Condición iii | | | | | | | | |
| $\frac{P}{A_g f'c}$ | $\rho = \frac{A_v}{b_w s}$ | | | | | | | |
| < 0,1 | > 0,006 | | 0 | 0,06 | 0 | 0 | 0,045 | 0,06 |
| > 0,6 | > 0,006 | | 0 | 0,008 | 0 | 0 | 0,007 | 0,008 |
| < 0,1 | = .0,0005 | | 0 | 0,006 | 0 | 0 | 0,005 | 0,006 |
| > 0,6 | = .0,0005 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Condición iv | | | | | | | | |
| $\frac{P}{A_g f'c}$ | $\rho = \frac{A_v}{b_w s}$ | | | | | | | |
| < 0,1 | > 0,006 | | 0 | 0,06 | 0,4 | 0 | 0,45 | 0,06 |
| > 0,6 | > 0,006 | | 0 | 0,008 | 0,4 | 0 | 0,007 | 0,008 |
| < 0,1 | = .0,0005 | | 0 | 0,006 | 0,2 | 0 | 0,005 | 0,006 |
| > 0,6 | = .0,0005 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente. ASCI 41-13. Tabla 10-8 Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales: columnas de hormigón reforzado.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Para la definición de la condición de la columna, se realiza una relación de capacidad de corte $\frac{V_p}{V_o}$, donde la tabla 10-11 del código *Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013)* clasifica este resultado. Si el elemento cumple más de una de las condiciones mencionadas anteriormente, se usará la que tenga el valor numérico mínimo de la tabla.


Tabla 9. Condición para selección de columnas en la **Tabla 8.**

| Tabla 10-11. Detalles de refuerzo transversal: Condición que se utilizará para las columnas en la Tabla 10-8 | | | |
|--|---|--|---|
| Relación de capacidad de cortante | ACI 318 conformación de detalles sísmicos con ganchos de 135 grados | Flejes cerrados con ganchos de 90 grados | Otros (incluido el refuerzo transversal de empalme lap) |
| $\frac{V_p}{V_o} \leq 0,6$ | i | ii | ii |
| $1,0 \geq \frac{V_p}{V_o} > 0,6$ | ii | ii | iii |
| $\frac{V_p}{V_o} > 1,0$ | iii | iii | iii |
| Para calificar para la condición i, una columna debe tener $A_v / bw s \geq 0.002$ y $s / d \leq 0.5$ dentro de la región de la rotula plástica de flexión. De lo contrario, la columna se asigna a la condición ii. | | | |

Fuente. Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE 41 de 2013). Tabla 10-11 Detalles de refuerzo transversal: Condición que se utilizará para las columnas en la Tabla 10-8

Donde V_p es la cortante de diseño y V_o se calcula según la siguiente ecuación:

$$V_o = k \left[\frac{A_v f_y d}{s} + \lambda \left(\frac{0,5 \sqrt{f'_c}}{M/V_d} \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,5 \sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0,8 A_g \right]$$

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


Para calificar la columna en una condición i, esta debe tener $\frac{A_v}{b_w s} \geq 0.002$ y $\frac{s}{d} \leq 0,5$ dentro de la zona de la rótula plástica. De lo contrario, la columna se asigna a la **condición ii**.

Una vez elegida la condición de la columna, se realiza las siguientes verificaciones:

- $\frac{P}{A_g f' c}$
- $\frac{A_v}{b_w s}$
- $\frac{V}{b_w d \sqrt{f' c}}$

Con estas relaciones ya se pueden ingresar a la tabla para a definición de las rotulas plásticas.

Con las rotulas definidas en el programa se procede a realizar el análisis estático no lineal para determinar el comportamiento de la estructura tanto en el diseño propuesto como en el levantamiento de la vivienda que se encuentra actualmente construida.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

2.2 ANALISIS ESTRUCTURAL

2.2.1 Descripción

El proyecto seleccionado consiste en la propuesta de diseño en la modalidad de reforzamiento y ampliación de una vivienda existente, ubicada en la localidad de Ciudad Bolívar, al sur de la ciudad de Bogotá D.C. La vivienda consta de tres niveles con cubierta liviana, los planos de levantamiento, planos arquitectónicos, planos estructurales y peritaje técnico aprobado para el trámite de licencia de construcción, se encuentran evidenciados **Anexo 1**.

2.2.1.1 Características

Localización: KR 75G # 75C - 59 Sur.

Nivel de amenaza sísmica: Intermedia.

Microzonificación sísmica: Piedemonte C

2.2.1.2 Número de pisos

La edificación planteada consta de tres niveles, con cubierta liviana, planteando en ella una placa para el tanque de almacenamiento de agua.

2.2.1.3 Sistema estructural

El sistema estructural planteado consiste en un sistema de pórticos de concretos resistentes a momento y capacidad moderada de disipación de energía. Se plantea un sistema de cubierta liviana.

2.2.2 Definición de materiales

La especificación de los materiales de construcción para todos los elementos estructurales es:

Tabla 10. Definición de materiales-concreto.

| Secciones | Resistencia del concreto ($f'c$) |
|---------------------|------------------------------------|
| Vigas | 21 Mpa |
| Columnas | 21 Mpa |
| Columnas existentes | 31 Mpa |
| Placas existentes | 31 Mpa |


Fuente. Autor

El módulo de elasticidad del concreto según la NSR-10–Titulo C.8.5 fue de:

Tabla 11. Módulo de elasticidad del concreto.

| | | |
|------------------------------------|---------------|--------------|
| Módulo de elasticidad del concreto | $f'c$: 21Mpa | 21538,11 Mpa |
| Módulo de elasticidad del concreto | $f'c$: 31Mpa | 21714,80 Mpa |

Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Para el refuerzo se hizo uso del acero A615Gr60 según la NTC 2289, con una resistencia a la fluencia mínima de 420 Mpa.

2.2.3 Cargas


2.2.3.1 Muertas y vivas del diseño

Las cargas muertas se calculan a partir del peso propio de cada elemento, dependiendo de la densidad asignada para cada material utilizado. Los resultados de las cargas se muestran a continuación. Para revisar el avalúo de las mismas referirse al **Anexo 2**.

Tabla 12. Cargas muertas de diseño.

| CARGAS MUERTAS | | |
|---------------------------------|---------------|--------------|
| Entrepiso 2 y 3 | | |
| Ítem | Unidad | Valor |
| Muros | Ton/m2 | 0,310 |
| Acabados | Ton/m2 | 0,110 |
| Loseta superior | Ton/m2 | 0,110 |
| Perfiles metálicos galvanizados | Ton/m2 | 0,005 |
| Bloquelones | Ton/m2 | 0,056 |
| TOTAL | Ton/m2 | 0,591 |

| Cubierta | | |
|------------------------------|---------------|--------------|
| Ítem | Unidad | Valor |
| Teja liviana termoacústica | Ton/m2 | 0,008 |
| Estructura metálica tipo PHR | Ton/m2 | 0,010 |
| Culatas | Ton/m2 | 0,025 |
| Instalaciones Elec/A. LL | Ton/m2 | 0,004 |
| TOTAL | Ton/m2 | 0,047 |

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Continuación de la **Tabla 12.**

| Placa tanque | | |
|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Ítem | Unidad | Valor |
| Losa de concreto | Ton/m2 | 0,240 |
| Impermeabilización bituminosa | Ton/m2 | 0,010 |
| Empozamiento de agua | Ton/m2 | 0,100 |
| Tanques de almacenamiento (1500L) | Ton/m2 | 0,362 |
| TOTAL | Ton/m2 | 0,712 |


| Escalera | | |
|------------------|---------------|--------------|
| Ítem | Unidad | Valor |
| Placa | Ton/m2 | 0,340 |
| Peldaños | Ton/m2 | 0,220 |
| Acabado superior | Ton/m2 | 0,100 |
| Acabado inferior | Ton/m2 | 0,050 |
| TOTAL | Ton/m2 | 0,710 |

Fuente. Autor

Tabla 13. Cargas vivas de diseño

| CARGAS VIVAS | | |
|------------------------|---------------|--------------|
| Entrepiso 2 y 3 | | |
| Ítem | Unidad | Valor |
| Placa fácil | Ton/m2 | 0,180 |
| Placa tanque | Ton/m2 | 0,180 |
| Escalera | Ton/m2 | 0,300 |
| Cubierta | | |
| Cubierta liviana | Ton/m2 | 0,050 |
| Granizo | Ton/m2 | 0,100 |

Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Las cargas fueron definidas en el modelo de diseño de la siguiente manera:

Tabla 14. Cargas definidas en la modelación.

| CARGAS MUERTAS | |
|-----------------------|---------------------|
| Ítem | Nomenclatura |
| Peso propio | Pp |
| Placa fácil | Dpfácil |
| Muros | Dmuros |
| Placa tanque | Dtanque |
| Cubierta | Dcub |
| Escalera | Desc |
| CARGAS VIVAS | |
| Ítem | Nomenclatura |
| Placa fácil | Live |
| Escalera | Lesc |
| Cubierta | Lr |
| G | Granizo |

Fuente. Autor

2.2.3.2 Movimientos sísmicos de diseño

Los parámetros sísmicos de diseño utilizados son los siguientes (parámetros obtenidos según la definición del perfil de suelo Tipo D en el informe geotécnico realizado).

Tabla 15. Parámetros sísmicos de diseño.

| Parámetro | Unidad | Valor |
|--|--------|------------|
| Zona de respuesta sísmica | - | Intermedia |
| T | s | 0,410 |
| Fa | - | 1,800 |
| Fv | - | 1,700 |
| Aa | g | 0,150 |
| To | s | 0,126 |
| Tc | s | 0,600 |
| TI | s | 3,000 |
| Av | g | 0,200 |
| I | - | 1,000 |
| Amortiguamiento respecto al crítico, β | % | 5,000 |

Fuente. Autor

2.2.4 Capacidad de disipación de energía

A partir del material de la estructura y su respuesta ante cargas sísmicas, se estable el grado de disipación de energía de la estructura como Disipación Moderada de Energía (DMO). De acuerdo a la Tabla A.3-3 de la NSR-10, el coeficiente de disipación de energía asignado es:

$$R_0 = 5.0$$

De acuerdo a lo establecido en las Tablas A.3-6 y A.3-7, las irregularidades en planta y en altura de la estructura son las siguientes:

$$\phi_p = 0.9; \phi_a = 1.0; \phi_r = 0.75$$

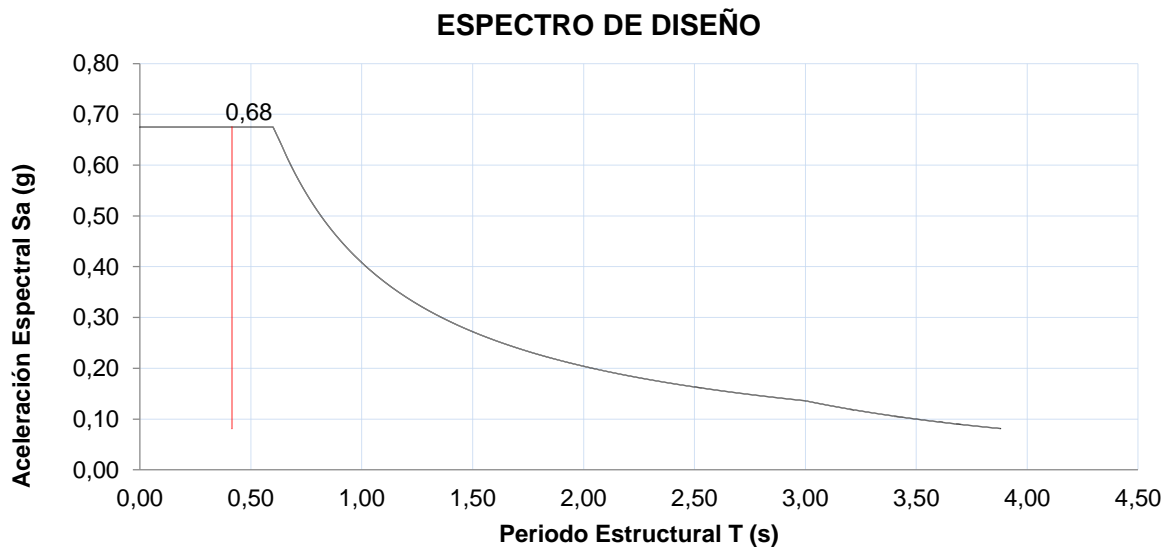
$$R = 3.38$$

2.2.5 Análisis espectral

2.2.5.1 Espectro de diseño

Según los parámetros sísmicos de diseño vistos en la **Tabla 15**.

Ilustración 12. Espectro de diseño.



Fuente. Autor

2.2.5.2 Ajuste por fuerza horizontal equivalente

Las memorias de cálculo que evidencian el procedimiento para realizar el ajuste por fuerza horizontal equivalente se referencia en **Anexo 2**.


| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Tabla 16. Fuerzas aplicadas a la estructura.

| NIVEL | H (m) | Ha (m) | W (Ton) | W*Ha ^k | Cvx | FH (Ton) |
|----------|-------|--------|---------|-------------------|------|----------|
| Cubierta | 2,7 | 8,10 | 21,33 | 172,77 | 0,29 | 24,66 |
| Piso 3 | 2,7 | 5,40 | 52,98 | 286,09 | 0,48 | 40,84 |
| Piso 2 | 2,7 | 2,70 | 52,98 | 143,05 | 0,24 | 20,42 |

| | | | | |
|-----------|--------|--|------|-------|
| W: | 127,29 | | 1,00 | 85,92 |
|-----------|--------|--|------|-------|

| |
|---------------------|
| Sa = 0,675 g |
|---------------------|

| | |
|------------------|-------|
| Vs = Sa*W | 85,92 |
|------------------|-------|

Fuente. Autor

Tabla 17. Fuerzas generadas por el modelo matemático.

| Dirección | x (Ton) | y (Ton) | VDx | VDy |
|-----------|---------|---------|--------|--------|
| Fx | 65,82 | 64,679 | 92,280 | |
| Fy | 65,82 | 64,679 | | 92,280 |

Fuente. Autor

Tabla 18. Ajuste por fuerza horizontal equivalente.

| Dirección | Vs | VD | Factor de corrección | EX | EY |
|-----------|--------|--------|----------------------|-------|-------|
| FXA | 85,921 | 92,280 | 1,000 | 0,296 | |
| FYA | 85,921 | 92,280 | 1,000 | | 0,296 |

Fuente. Autor

2.2.6 Cargas


A continuación, se presentan los casos de carga que son tenidos en cuenta para el análisis de la estructura.

2.2.6.1 Casos de carga

Tabla 19. Casos de carga de diseño.

| Case | Type | InitialCond | ModalCase |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
| Modal | LinModal | Zero | |
| Dpfácil | LinStatic | P-Delta | |
| Dmuros | LinStatic | P-Delta | |
| Dtanque | LinStatic | P-Delta | |
| Dcub | LinStatic | P-Delta | |
| Live | LinStatic | P-Delta | |
| Lr | LinStatic | P-Delta | |
| Lesc | LinStatic | P-Delta | |
| G | LinStatic | P-Delta | |
| Fx | LinRespSpec | | Modal |
| Fy | LinRespSpec | | Modal |
| P-Delta | NonStatic | Zero | |
| Pp | LinStatic | P-Delta | |
| Desc | LinStatic | P-Delta | |
| PushoverX | NonStatic | P-Delta | Modal |
| PushoverY | NonStatic | P-Delta | Modal |


Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

2.2.6.2 Combinaciones de carga

Tabla 20. Combinaciones de carga de diseño.


| ComboName | ComboType | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
|-----------------|------------|----------------|----------|-------------|
| D | Linear Add | Linear Static | Pp | 1 |
| D | | Linear Static | Dcub | 1 |
| D | | Linear Static | Dmuros | 1 |
| D | | Linear Static | Dpfacil | 1 |
| D | | Linear Static | Dtanque | 1 |
| D | | Linear Static | Desc | 1 |
| L | Linear Add | Linear Static | Live | 1 |
| L | | Linear Static | Lesc | 1 |
| COMB1 B.2.4-1 | Linear Add | Response Combo | D | 1,4 |
| COMB2 B.2.4-2 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB2 B.2.4-2 | | Response Combo | L | 1,6 |
| COMB2 B.2.4-2 | | Linear Static | Lr | 0,5 |
| COMB3 B.2.4-3 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB3 B.2.4-3 | | Linear Static | G | 1,6 |
| COMB3 B.2.4-3 | | Response Combo | L | 1 |
| COMB2 B.2.4-2.1 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB2 B.2.4-2.1 | | Response Combo | L | 1,6 |
| COMB2 B.2.4-2.1 | | Linear Static | G | 0,5 |
| COMB3 B.2.4-3.1 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB3 B.2.4-3.1 | | Linear Static | Lr | 1,6 |
| COMB3 B.2.4-3.1 | | Response Combo | L | 1 |
| COMB4 B.2.4-5 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB4 B.2.4-5 | | Response Combo | L | 1 |
| COMB4 B.2.4-5 | | Response Combo | EX_T | 1 |
| COMB4 B.2.4-5.1 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| COMB4 B.2.4-5.1 | | Response Combo | L | 1 |
| COMB4 B.2.4-5.1 | | Response Combo | EY_T | 1 |
| COMB5 B.2.4-7 | Linear Add | Response Combo | D | 0,9 |
| COMB5 B.2.4-7 | | Response Combo | EX_T | 1 |
| COMB5 B.2.4-7.1 | Linear Add | Response Combo | D | 0,9 |

| | | |
|---|---|------------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|------------------------------------|

Continuación de la **Tabla 20.**

| ComboName | ComboType | CaseType | CaseName | ScaleFactor |
|-----------|------------|-------------------|----------|-------------|
| FXA | Linear Add | Response Spectrum | Fx | 1 |
| EX | Linear Add | Response Combo | FXA | 0,296 |
| FYA | Linear Add | Response Spectrum | Fy | 1 |
| EY | Linear Add | Response Combo | FYA | 0,296 |
| EX_1 | Linear Add | Response Combo | EX | 1 |
| EX_1 | | Response Combo | EY | 0,3 |
| EX_2 | Linear Add | Response Combo | EX | 1 |
| EX_2 | | Response Combo | EY | -0,3 |
| EX_3 | Linear Add | Response Combo | EX | -1 |
| EX_3 | | Response Combo | EY | 0,3 |
| EX_T | Envelope | Response Combo | EX_1 | 1 |
| EX_T | | Response Combo | EX_2 | 1 |
| EX_T | | Response Combo | EX_3 | 1 |
| EY_1 | Linear Add | Response Combo | EY | 1 |
| EY_1 | | Response Combo | EX | 0,3 |
| EY_2 | Linear Add | Response Combo | EY | 1 |
| EY_2 | | Response Combo | EX | -0,3 |
| EY_3 | Linear Add | Response Combo | EY | -1 |
| EY_3 | | Response Combo | EX | 0,3 |
| EY_T | Envelope | Response Combo | EY_1 | 1 |
| EY_T | | Response Combo | EY_2 | 1 |
| EY_T | | Response Combo | EY_3 | 1 |
| D1 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| D1 | | Response Combo | L | 1 |
| D1 | | Response Spectrum | Fx | 1 |
| D2 | Linear Add | Response Combo | D | 1,2 |
| D2 | | Response Combo | L | 1 |
| D2 | | Response Spectrum | Fy | 1 |
| D3 | Linear Add | Response Combo | D | 0,9 |
| D3 | | Response Spectrum | Fx | 1 |
| D4 | Linear Add | Response Combo | D | 0,9 |
| D4 | | Response Spectrum | Fy | 1 |
| D+L | Linear Add | Response Combo | D | 1 |

Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

2.2.6.3 Definición de masa

Tabla 21. Definición de masas de diseño.

| LoadPat | Multiplier |
|---------|------------|
| Dpfacil | 1 |
| Dmuros | 1 |
| Dtanque | 1 |
| Dcub | 1 |
| Live | 0,2 |
| Desc | 1 |

Fuente. Autor

2.2.7 Definición de secciones

Tabla 22. Definición secciones columnas de diseño.

| SectionName | Material f'c | RebarMat | Shape | BarArea | Spacing | Cover |
|-------------|-----------------|----------|------------|---------|---------|-------|
| C1-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C1-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 283,87 | 125 | 40 |
| C1-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 283,87 | 125 | 40 |
| C1-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C1-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C1-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C1-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C1-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C2-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C2-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C2-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |
| C2-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 85 | 40 |
| C2-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C2-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C2-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C2-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C2-2 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 129,03 | 125 | 40 |
| C3-1 35x35 | 21 Mpa | A615Gr60 | SD Section | 200,00 | 125 | 40 |

Fuente. Autor



| | | |
|---|---|------------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|------------------------------------|

Tabla 23. Definición secciones vigas de diseño.

| SectionName | Material f _c | RebarMat | TopLe ftArea | TopRght Area | BotLeft Area | BotRght Area |
|----------------|----------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| VG-201 1 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 580 | 381 | 381 |
| VG-201 2 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 508 | 381 | 381 |
| VG-201 3 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 508 | 580 | 381 | 381 |
| VG-201 4 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 580 | 381 | 381 |
| VG-202 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 381 | 381 | 381 |
| VG-203 1 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 381 | 381 | 381 |
| VG-203 2 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 580 | 381 | 381 |
| VG-203 3 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 635 | 381 | 381 |
| VG-203 4 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 635 | 635 | 381 | 381 |
| VG-204 25x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 580 | 381 | 381 |
| VG-205 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 796 | 995 | 796 | 796 |
| VG-206 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 995 | 1194 | 508 | 508 |
| VG-301 1 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 580 | 381 | 381 |
| VG-301 2 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 508 | 381 | 381 |
| VG-301 3 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 508 | 580 | 381 | 381 |
| VG-301 4 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 580 | 381 | 381 |
| VG-302 1 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 381 | 381 | 381 |
| VG-302 2 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 381 | 580 | 381 | 381 |
| VG-302 3 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 580 | 635 | 381 | 381 |
| VG-302 4 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 635 | 635 | 381 | 381 |
| VG-303 30x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 796 | 796 | 580 | 580 |
| VG-401 1 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-401 2 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-401 3 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-401 4 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-402 1 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-402 2 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VG-403 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 453 | 508 | 254 | 254 |
| VG-404 25x30 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |
| VTA-01 1 15x35 | 21Mpa | A615Gr60 | 254 | 254 | 254 | 254 |

Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Los factores de fisuración de las secciones en el caso de las propiedades de rigidez de los elementos de concreto se tuvieron en cuenta mediante los momentos de inercia de acuerdo a la NSR10 como se evidencia en la **Tabla 24. Momentos de Inercia.**

Tabla 24. Momentos de Inercia.

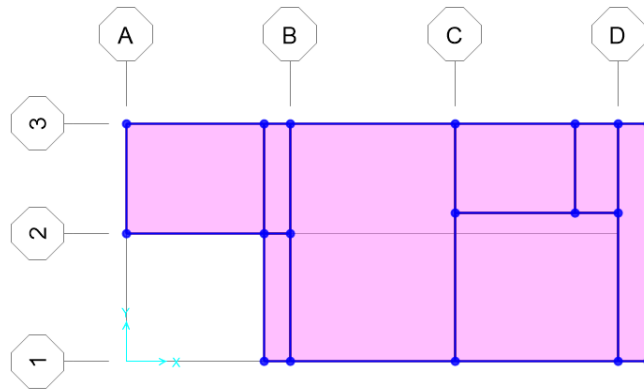
| Elementos a compresión | |
|-------------------------------|---------|
| Columnas | 0,70 Ig |
| Elementos a flexión | |
| Vigas | 0,35 Ig |

Fuente. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)–Titulo C.10.10.4.1 Momentos de Inercia.

2.2.8 Definición geométrica

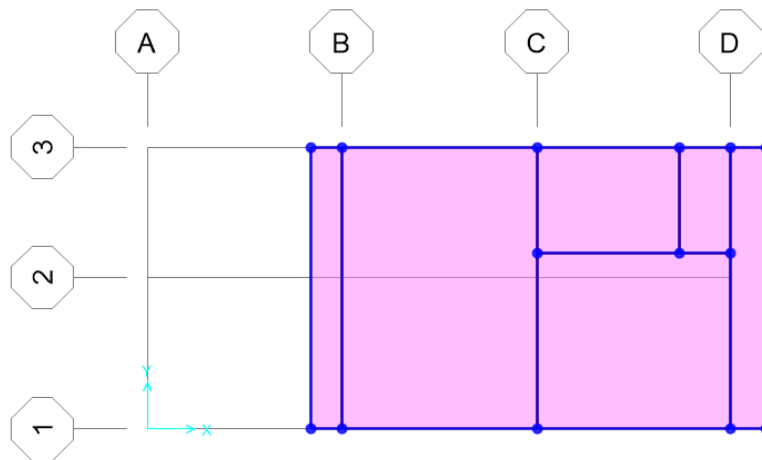
A continuación, se muestra la configuración geométrica del proyecto en cuestión.

Ilustración 13. Geometría- Vista en planta segundo piso de diseño.



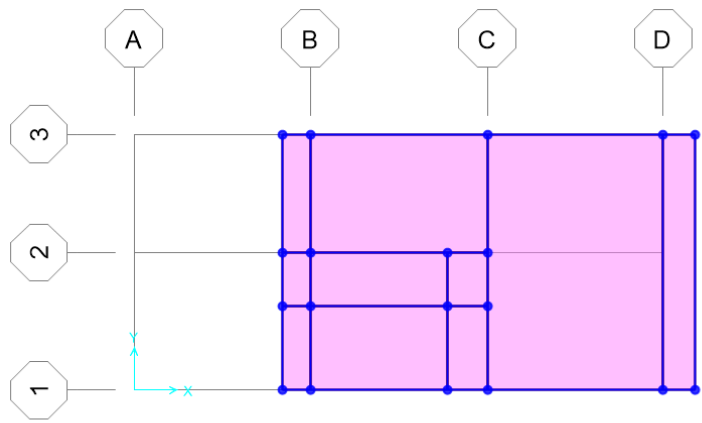
Fuente. Autor

Ilustración 14. Geometría- Vista en planta tercer piso de diseño.



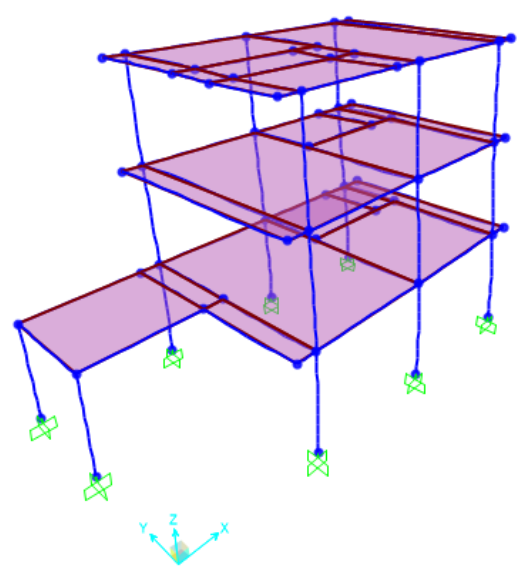
Fuente. Autor

Ilustración 15. Geometría- Vista en planta cubierta de diseño.



Fuente. Autor

Ilustración 16. Geometría – Vista Isométrica.



Fuente. Autor

2.2.9 Definición de rotulas plásticas

A continuación, se muestra el resultado de la selección de rotulas. Para revisar las consideraciones para la asignación de rotulas plásticas, referirse al **Anexo 2**.

2.2.9.1 Rotula tipo I

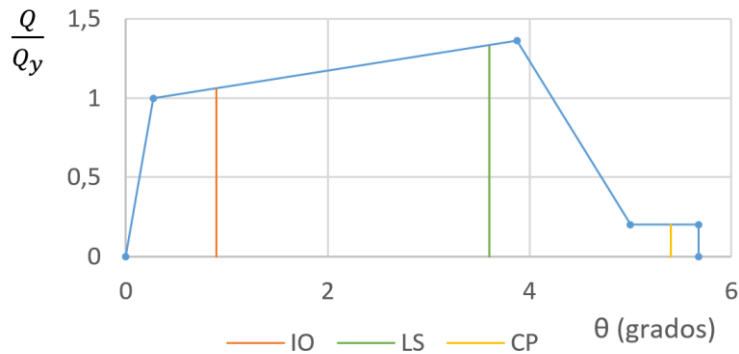
Tabla 25. Parámetros de modelación para rotula tipo I

| Ángulo de rotación plástica (radianes) | | proporción de resistencia residual |
|--|------|------------------------------------|
| a | b | C |
| 0,02 | 0,03 | 0,2 |

| Nivel de desempeño | | |
|--------------------|------|------|
| IO | LS | CP |
| 0,005 | 0,02 | 0,03 |

Fuente. Autor

Ilustración 17. Rotula tipo I



Fuente. Autor

La rotula tipo I corresponde a las siguientes secciones de vigas:

Tabla 26. Secciones de vigas-Rotula tipo I.

| Secciones de vigas - Rotula Tipo I |
|------------------------------------|
| Vg 201 a-b izquierda sobre eje 3 |
| Vg 201 a-b derecha sobre eje 3 |
| Vg 201 b-c izquierda sobre eje 3 |
| Vg 201 b-c derecha sobre eje 3 |
| Vg 201 c-d derecha sobre eje 3 |
| Vg 202 a-b izquierda sobre eje 2 |
| Vg 202 a-b derecha sobre eje 2 |
| Vg 203 b-c izquierda sobre eje 1 |
| Vg 203 b-c derecha sobre eje 1 |
| Vg 203 c-d izquierda sobre eje 1 |
| Vg 203 c-d derecha sobre eje 1 |
| Vg 204 2-3 izquierda sobre eje a |
| Vg 204 2-3 derecha sobre eje a |
| Vg 205 1-3 izquierda sobre eje b |
| Vg 205 1-3 derecha sobre eje b |
| Vg 206 1-3 izquierda sobre eje c |

Fuente. Autor

2.2.9.2 Rotula tipo II

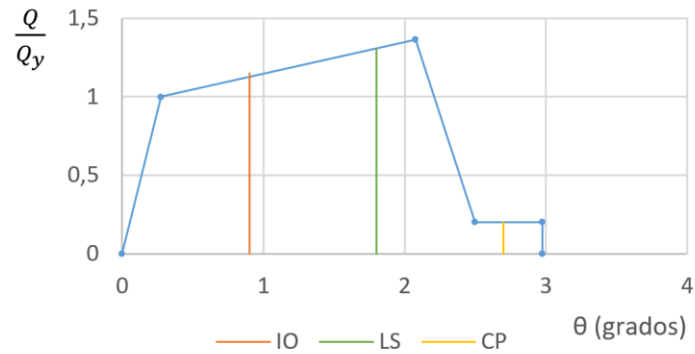
Tabla 27. Parámetros de modelación para rotula tipo II.

| Ángulo de rotación plástica (radianes) | | proporción de resistencia residual |
|--|-------|------------------------------------|
| a | b | C |
| 0,01 | 0,015 | 0,2 |

| Nivel de desempeño | | |
|--------------------|------|-------|
| IO | LS | CP |
| 0,005 | 0,01 | 0,015 |

Fuente. Autor

Ilustración 18. Rotula tipo II.



Fuente. Autor

La rotula tipo II corresponde a las siguientes secciones de vigas:

Tabla 28. Secciones de vigas-Rotula tipo II.

| Secciones de vigas - Rotula Tipo II |
|-------------------------------------|
| Vg 201 c-d izquierda sobre eje 3 |
| Vg 401 b-c derecha sobre eje 3 |
| Vg 402 b-c izquierda sobre eje 2 |

Fuente. Autor

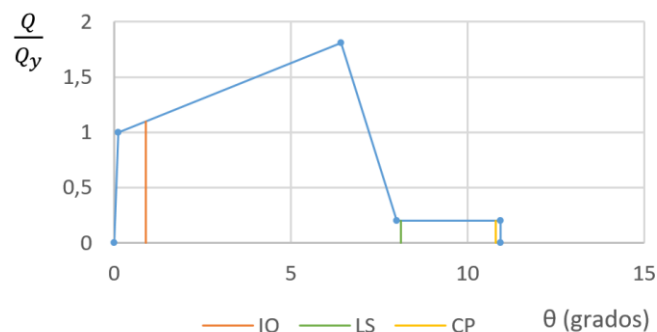
2.2.9.3 Rotula tipo III

Tabla 29. Parámetros de modelación para rotula tipo III.

| Ángulo de rotación plástica (radianes) | | proporción de resistencia residual |
|--|-------|------------------------------------|
| a | b | C |
| 0,035 | 0,06 | 0,2 |
| Nivel de desempeño | | |
| IO | LS | CP |
| 0,005 | 0,045 | 0,06 |

Fuente. Autor

Ilustración 19. Rotula tipo III.



Fuente. Autor

La rótula tipo III corresponde a las siguientes secciones de columnas:

Tabla 30. Secciones de columnas-Rotula tipo III.

| Secciones de columnas - Rotula Tipo III |
|---|
| C1 eje 3d piso 1 |
| C1 eje 3d piso 2 |
| C1 eje 3d piso 3 |
| C3 eje 3c piso 1 |
| C3 eje 3c piso 2 |
| C2 eje 3b piso 3 |
| C4 eje 3a piso 1 |
| C4 eje 2a piso 1 |
| C1 eje 1d piso 1 |
| C1 eje 1d piso 2 |
| C1 eje 1d piso 3 |
| C3 eje 1c piso 1 |
| C3 eje 1c piso 2 |
| C3 eje 1c piso 3 |
| C2 eje 1b piso 1 |
| C2 eje 1b piso 2 |
| C2 eje 1b piso 3 |

Fuente. Autor

2.3 RESULTADOS MODELACIÓN

2.3.1 Reacciones en la base

Tabla 31. Reacciones en la base.

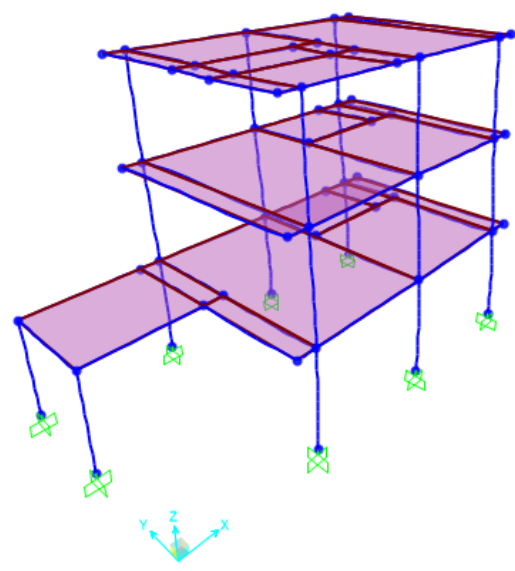
| OutputCase | GlobalFZ | GlobalMX | GlobalMY |
|------------|----------|----------|-----------|
| Text | KN | KN-m | KN-m |
| Dpfacil | 267,46 | 723,56 | -1885,36 |
| Dmuros | 295,07 | 798,23 | -2079,93 |
| Dtanque | 38,29 | 35,08 | -204,40 |
| Dcub | 20,65 | 62,35 | -165,98 |
| Live | 171,33 | 463,49 | -1207,70 |
| Lr | 31,64 | 75,20 | -228,25 |
| Lesc | 34,87 | 157,95 | -318,09 |
| G | 49,30 | 137,58 | -381,85 |
| Pp | 478,74 | 1384,10 | -3446,15 |
| Desc | 81,36 | 368,54 | -742,22 |
| D | 1181,56 | 3371,86 | -8524,04 |
| L | 206,20 | 621,44 | -1525,79 |
| D+L | 1387,76 | 3993,30 | -10049,83 |
| EX_T | 4,40 | 401,15 | 1059,37 |
| EY_T | 5,43 | 1018,72 | 399,75 |

Fuente. Autor

2.3.2 Análisis modal

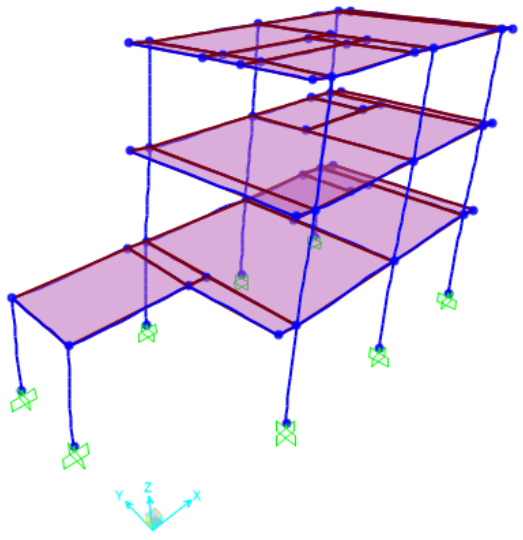
Para el análisis modal dinámico de cada las estructuras se tomaron 1 a 5 modos para lograr obtener una participación modal mayor al 90% en las direcciones de análisis.

Ilustración 20. Análisis modal-Modo 1; $T=0,586s$



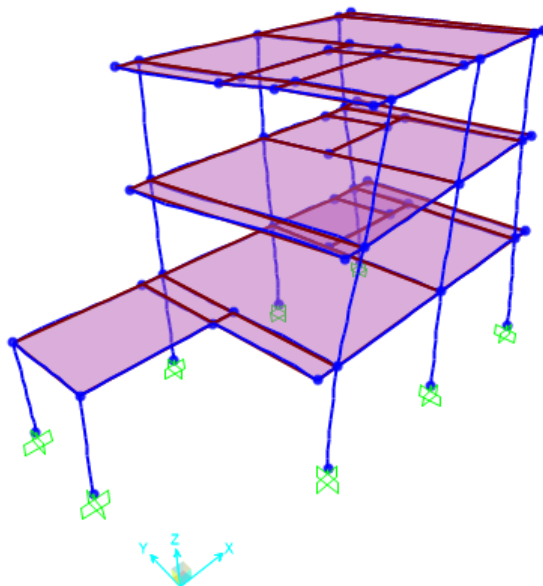
Fuente. Autor

Ilustración 21. Análisis modal-Modo 2; $T=0,502s$



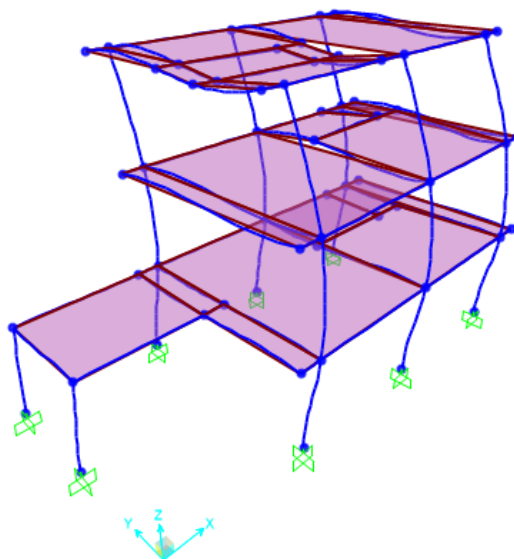
Fuente. Autor

Ilustración 22. Análisis modal-Modo 3; $T=0,393s$



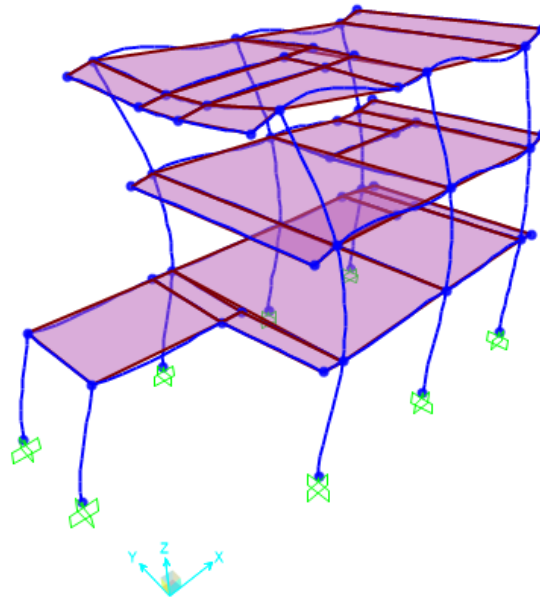
Fuente. Autor

Ilustración 23. Análisis modal-Modo 4; $T=0,179s$



Fuente. Autor

Ilustración 24. Análisis modal-Modo 5; T=0,169s




Fuente. Autor

Tabla 32. Análisis modal.

| StepNum | Period | UX | UY | SumUX | SumUY |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,587 | 0,003 | 0,760 | 0,003 | 0,760 |
| 2 | 0,502 | 0,790 | 0,004 | 0,790 | 0,760 |
| 3 | 0,393 | 0,016 | 0,012 | 0,800 | 0,770 |
| 4 | 0,180 | 0,000 | 0,170 | 0,800 | 0,940 |
| 5 | 0,169 | 0,150 | 0,000 | 0,950 | 0,940 |

Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

2.3.2.1 Chequeo de derivas y desplazamiento

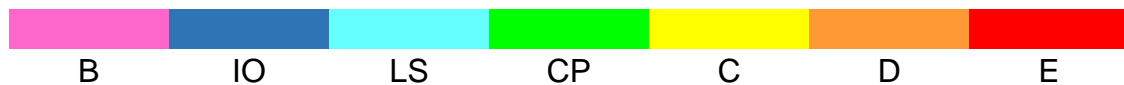
Para ver la verificación de derivas puede referirse al **Anexo 2**.

2.4 RESULTADOS ANALISIS NO LINEAL

2.4.1 Análisis no lineal estático en sentido X

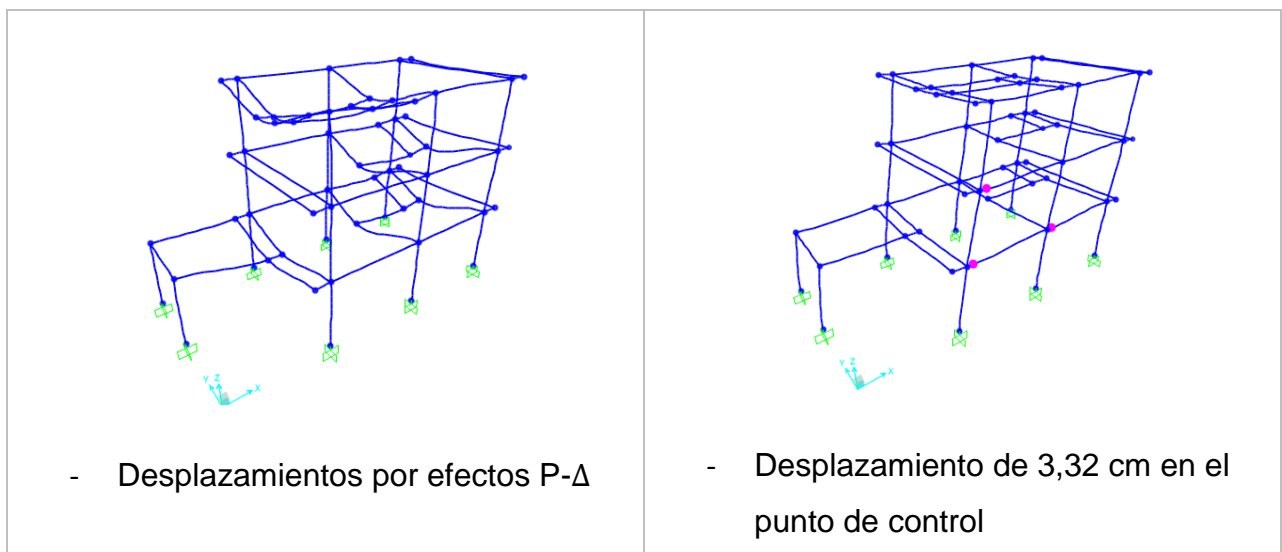
Mediante el análisis no lineal se puede apreciar la concentración de los esfuerzos en la edificación y compararlos con la evolución de los daños que se presentan hasta el punto en que se inicia el colapso de la estructura.

A continuación, se ilustra una escala de colores que relaciona gráficamente el estado de formación de las rótulas con los niveles de desempeño establecidos en ATC 40 y FEMA 356.



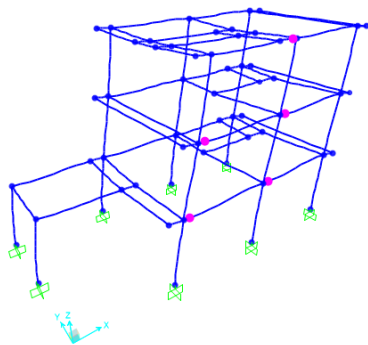
IO: Ocupación inmediata. LS: Seguridad de vidas. CP: Colapso preventivo.

Tabla 33. Mecanismo de colapso en X.

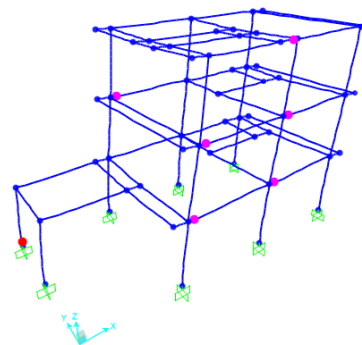


Continuación **Tabla 33.**

Durante los primeros analisis se puede notar la formación de rotulas en algunas vigas del segundo y tercer piso, pero a un nivel que no representa importancia en la seguridad estructural.

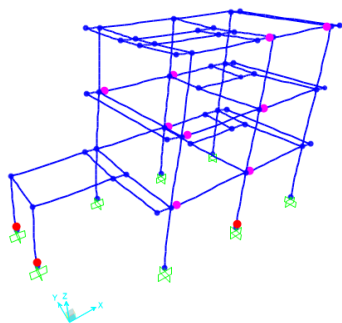


- Desplazamiento 3,71 cm en el punto de control

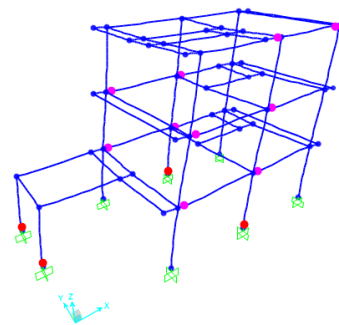


- Desplazamiento de 4,08 cm en el punto de control

Con tan solo un desplazamiento de 4,08 cm en el punto de control se presenta una falla en la estructura evidenciando el colapso inmediato de la columna C-4, lo que indica que debe realizarse un reforzamiento estructural en la zona afectada.

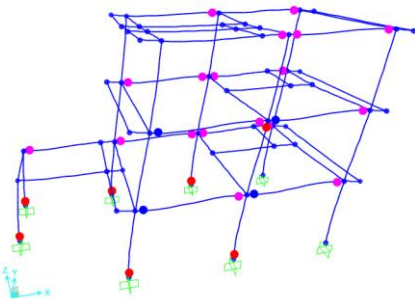


- Desplazamiento de 4,44 cm en el punto de control

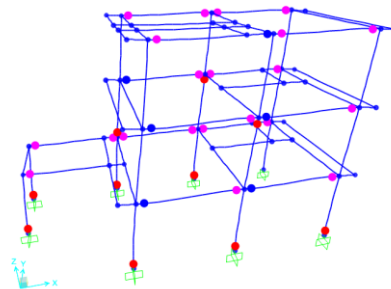


- Desplazamiento de 4,82 cm en el punto de control

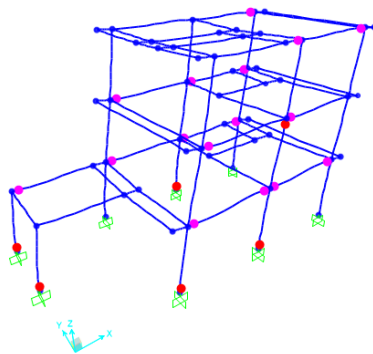
Continuación **Tabla 33.**



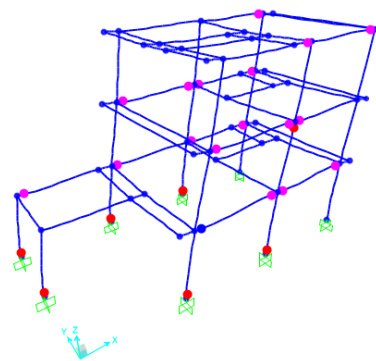
- Desplazamiento de 6,06 cm en el punto de control



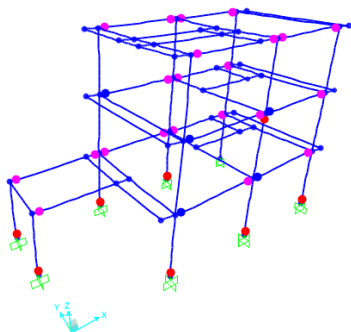
- Desplazamiento de 7,31 cm en el punto de control



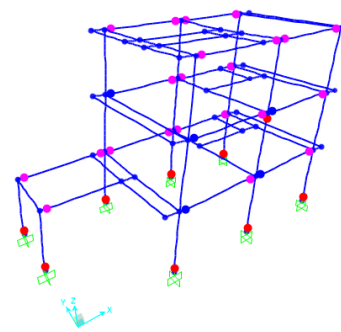
- Desplazamiento de 5,23 cm en el punto de control



- Desplazamiento de 5,58 cm en el punto de control



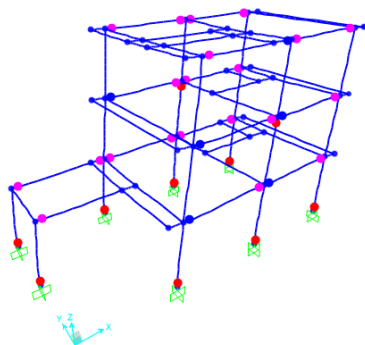
- Desplazamiento de 6,76 cm en el punto de control



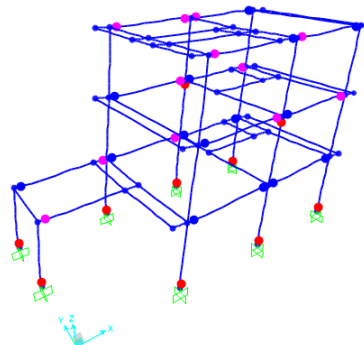
- Desplazamiento de 7,18 cm en el punto de control

Continuación **Tabla 33.**

En los pasos de carga anteriores se evidencia la falla de las columnas existentes que fueron reforzadas en el diseño realizado por la entidad, indicando que deben tener un reforzamiento más óptimo para la estructura y la seguridad de vida de la población.

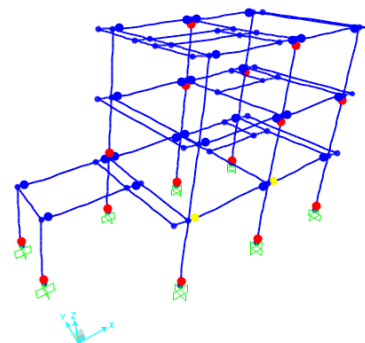


- Desplazamiento de 7,88 cm en el punto de control

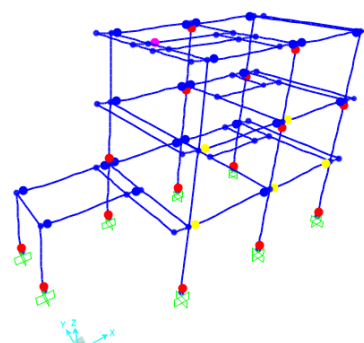


- Desplazamiento de 9,08 cm en el punto de control

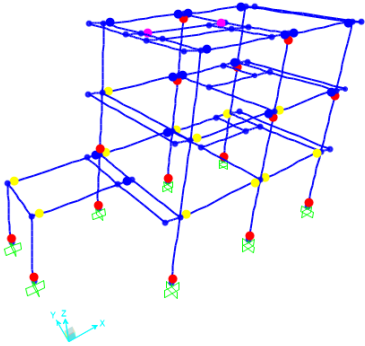
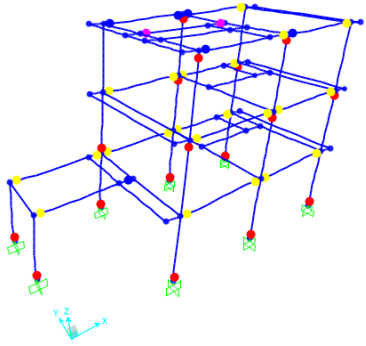
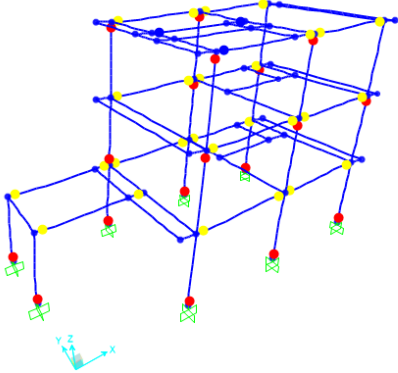
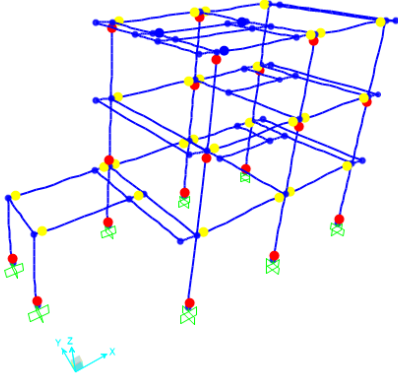
El proceso de degradación de los elementos estructurales continua, siendo ya bastantes los elementos que deben ser estudiados para un posible reforzamiento, a tan solo un desplazamiento de 9,08 cm en el punto de control.




- Desplazamiento de 16,24 cm en el punto de control



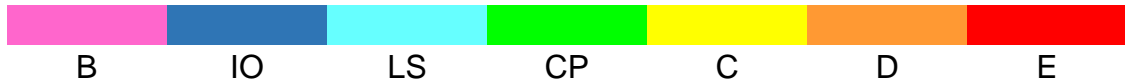
- Desplazamiento de 17,44 cm en el punto de control

| | | Continuación Tabla 33. | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| <p>- Desplazamiento de 19,54 cm en el punto de control</p> | <p>- Desplazamiento de 20,14 cm en el punto de control</p> | <p>- Desplazamiento de 29,19 cm en el punto de control</p> | <p>- Desplazamiento de 29,19 cm en el punto de control</p> |
| <p>La secuencia de falla de la estructura inicia con la falla de las columnas existentes en la base de la edificación, posteriormente genera la degradación de las vigas llevándolas a un nivel de colapso. Denotando la poca resistencia de la vivienda ante un evento sísmico.</p> | | | |

Fuente. Autor

| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

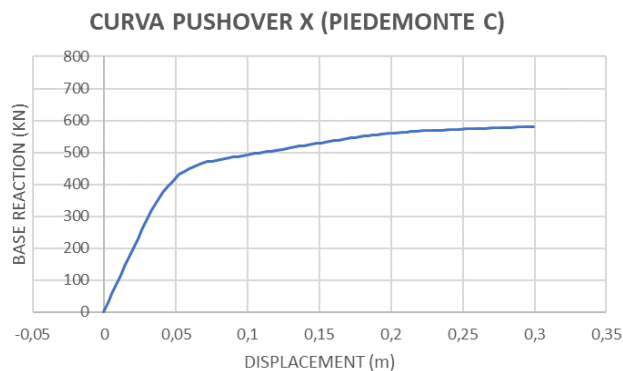
Como se puede observar en la



IO: Ocupación inmediata. LS: Seguridad de vidas. CP: Colapso preventivo.

Tabla 33, la estructura diseñada tradicionalmente se comporta de manera inadecuada mediante un análisis pushover; cómo se puede ver en el mecanismo de rotulación, las rotulas en las bases de las columnas muestran de manera significativa su colapso, evidenciando así la necesidad de realizar un mayor reforzamiento a la vivienda.

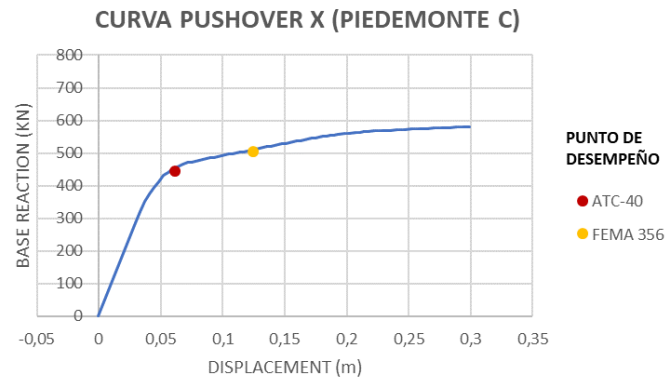
Ilustración 25. Curva pushover en X.



Fuente. Autor

De acuerdo al ATC-40 y el FEMA 356 el punto de desempeño óptimo es:

Ilustración 26. Punto de desempeño curva pushover en X (Piedemonte C)

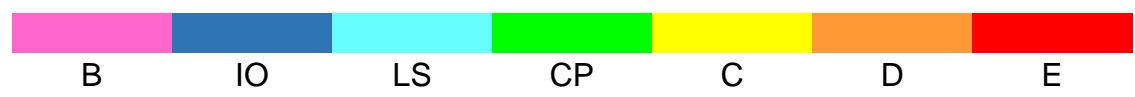


Fuente. Autor

2.4.2 Análisis no lineal estático en sentido Y

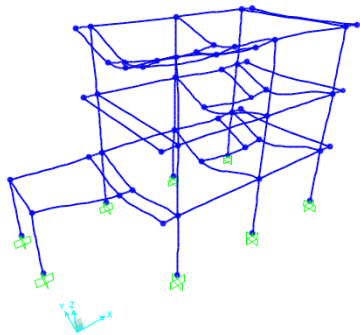
Mediante el análisis no lineal se puede apreciar la concentración de los esfuerzos en la edificación y compararlos con la evolución de los daños que se presentan hasta el punto en que se inicia el colapso de la estructura.

A continuación, se ilustra una escala de colores que relaciona gráficamente el estado de formación de las rótulas con los niveles de desempeño establecidos en ATC 40 y FEMA 356.

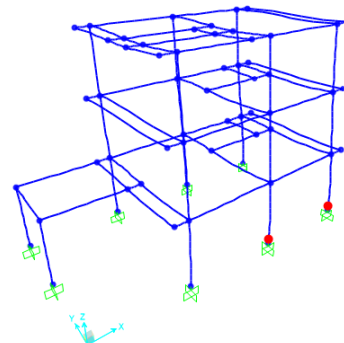


IO: Ocupación inmediata. LS: Seguridad de vidas. CP: Colapso preventivo.

Tabla 34. Mecanismo de colapso en Y.



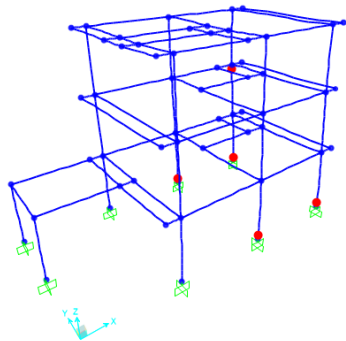
- Desplazamientos por efectos P- Δ



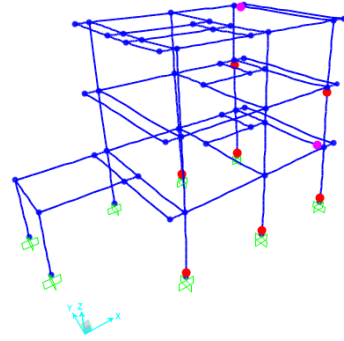
- Desplazamiento de 3,81 cm en el punto de control

La formación de rotulas inicia en la base de la edificación, evidenciando el colapso de dos elementos representantes en la estructura, como lo son dos de las columnas ubicadas en la base.

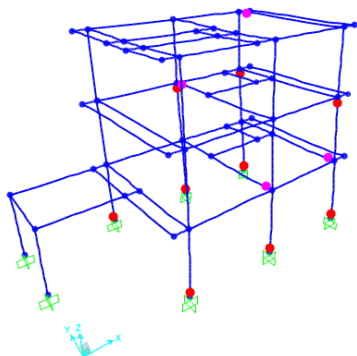
Continuación **Tabla 34.**



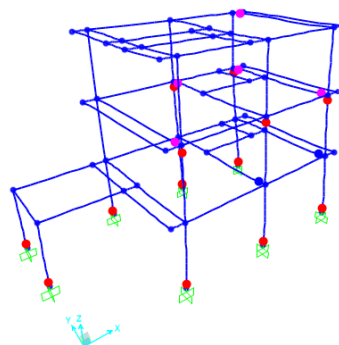
- Desplazamiento 4,64 cm en el punto de control



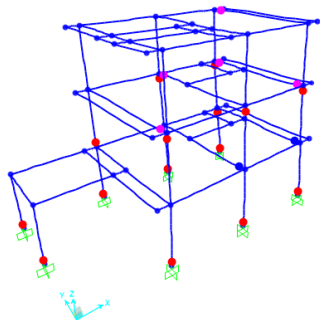
- Desplazamiento de 5,40 cm en el punto de control



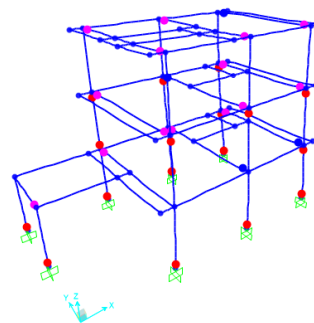
- Desplazamiento de 5,84 cm en el punto de control



- Desplazamiento de 7,39 cm en el punto de control



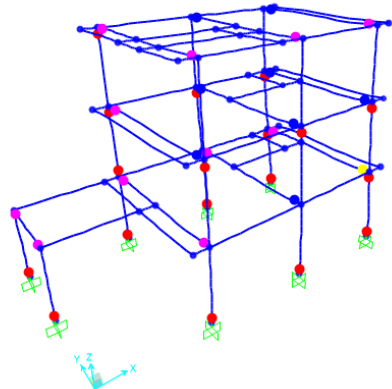
- Desplazamiento de 7,73 cm en el punto de control



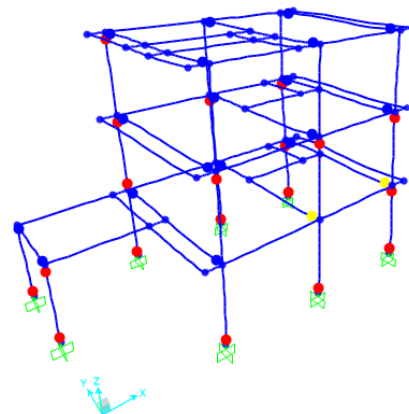
- Desplazamiento de 9,35 cm en el punto de control

Continuación **Tabla 34.**

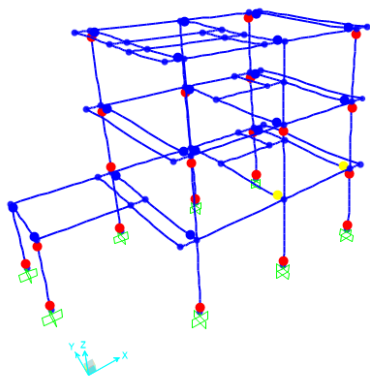
En los pasos de carga anteriores se evidencia la falla de las columnas del primer y segundo nivel, indicando que deben sus secciones deben ser reforzadas o mayores a las diseñadas por la entidad.



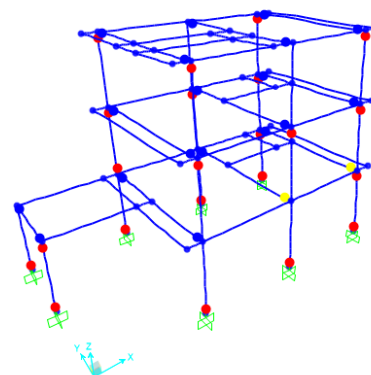
- Desplazamiento de 12,64 cm en el punto de control



- Desplazamiento de 15,34 cm en el punto de control



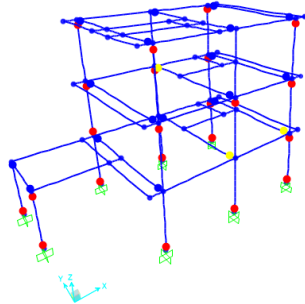
Desplazamiento de 15,98 cm en el punto de control



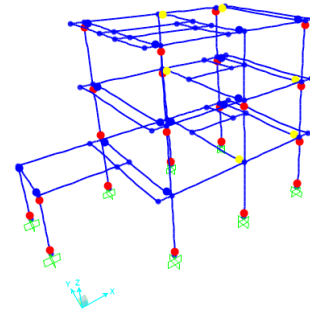
Desplazamiento de 17,48 cm en el punto de control

Continuación **Tabla 34.**

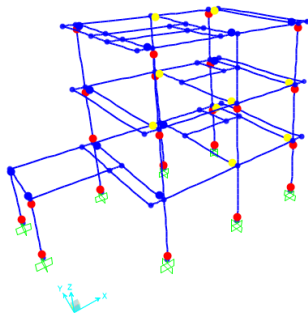
La formación de las rotulas en la parte superior de la estructura, muestra un nivel de ocupación inmediata, continuando así con su degradación por el colapso de las columnas del ultimo nivel de la edificación.



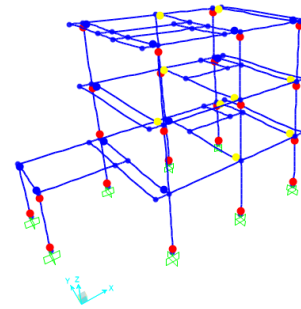
Desplazamiento de 18,68 cm en el punto de control



Desplazamiento de 20,19 cm en el punto de control



- Desplazamiento de 20,25 cm en el punto de control



- Desplazamiento de 21.71 cm en el punto de control

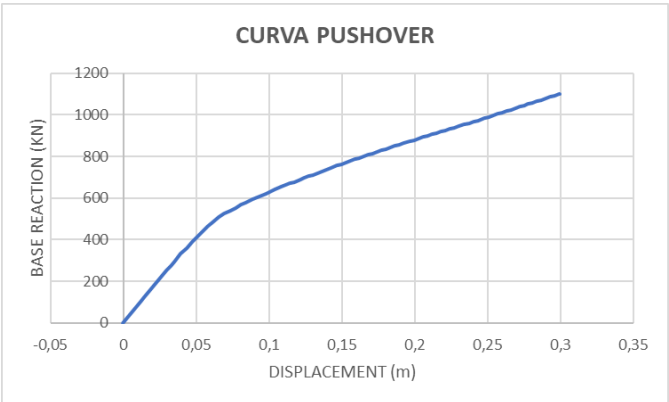
La secuencia de falla de la estructura en estudio inicia con la falla de las columnas existentes en la base de la edificación, posteriormente genera la degradación de las vigas llevándolas a un nivel de colapso. Denotando la poca resistencia de la vivienda ante un evento sísmico. El comportamiento para el caso de la actual estructura es menos favorable en el sentido corto.

Fuente. Autor

Como se puede observar en la **Tabla 34** la estructura diseñada tradicionalmente se comporta de manera inadecuada mediante un análisis pushover; cómo se puede ver en el mecanismo de rotulación, las rotulas en las bases de las columnas

muestran de manera significativa su colapso, evidenciando así la necesidad de realizar un mayor reforzamiento a la vivienda.

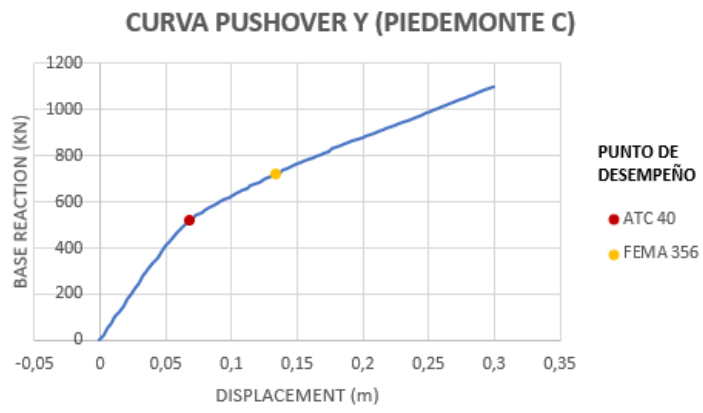
Ilustración 27. Curva pushover en Y.



Fuente. Autor


De acuerdo al ATC-40 y el FEMA 356 el punto de desempeño óptimo es:

Ilustración 28. Punto de desempeño curva pushover en Y (Piedemonte C)



Fuente. Autor

2.4.3 Análisis no lineal para las localidades en estudio

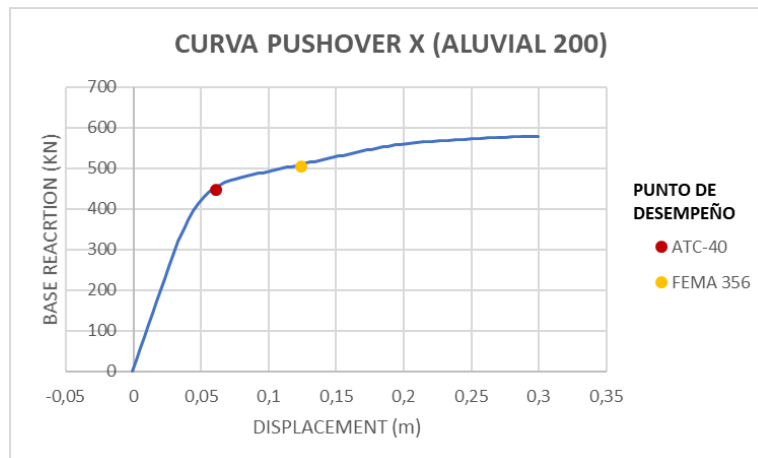
| | | |
|--|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|--|---|---|

Como se realizó el análisis anterior para la localidad de Ciudad Bolívar con microzonificación de PIEDEMONTE C, a continuación, se realiza el análisis hallando el punto de desempeño para las demás localidades en estudio, según el FEMA 356 y el ATC-40. El punto de desempeño resulta de la intersección entre el espectro de demanda (solicitaciones sísmicas) y la curva de capacidad (disposición de la estructura para resistir cargas).

2.4.3.1 Localidad Bosa

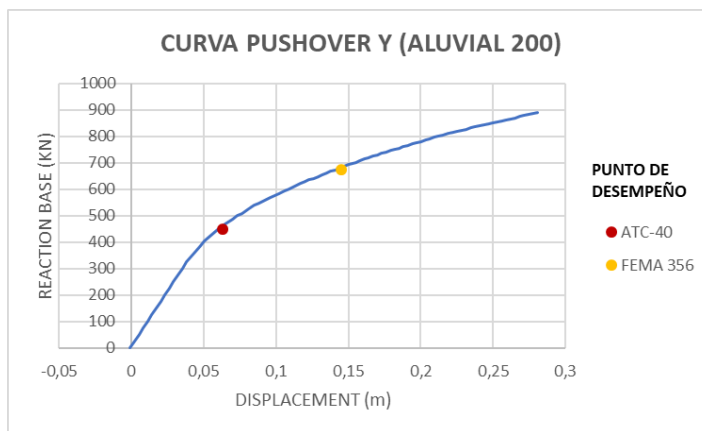
Para el análisis de desempeño de la vivienda en la localidad de Bosa, se hizo uso de la microzonificación Aluvial 200, dando como resultado los siguientes puntos de desempeño, de acuerdo al ATC-40 y el FEMA 356.

Ilustración 29. Punto de desempeño curva pushover en X (Aluvial 200)



Fuente. Autor

Ilustración 30. Punto de desempeño curva pushover en Y (Aluvial 200)

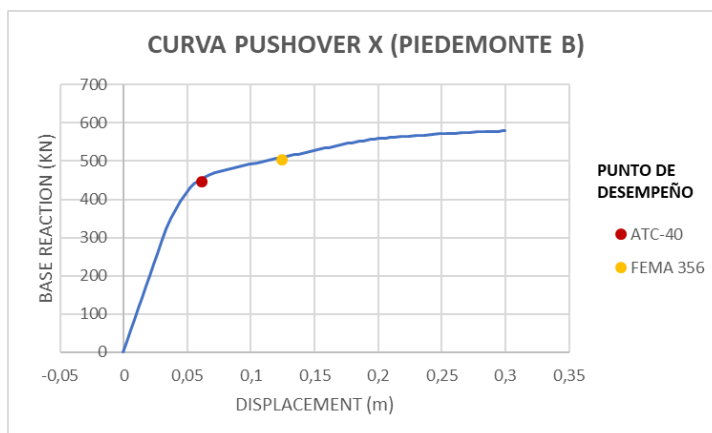


Fuente. Autor

2.4.3.2 Localidad San Cristóbal

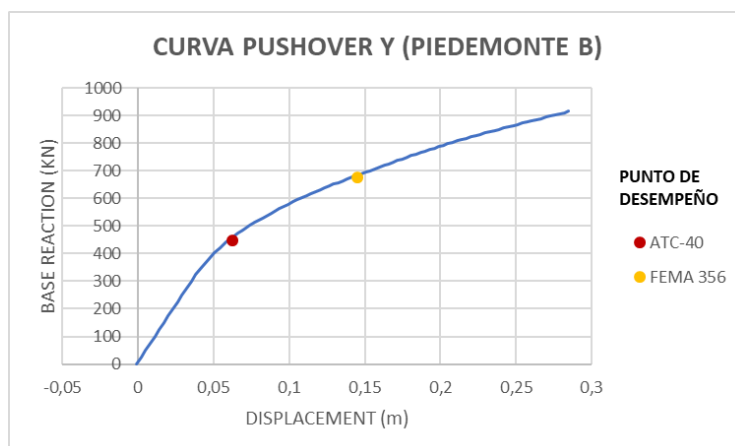
Para el análisis de desempeño de la vivienda en la localidad de San Cristóbal, se hizo uso de la microzonificación Piedemonte B, dando como resultado los siguientes puntos de desempeño, de acuerdo al ATC-40 y el FEMA 356.

Ilustración 31. Punto de desempeño curva pushover en X (Piedemonte B)



Fuente. Autor

Ilustración 32. Punto de desempeño curva pushover en Y (Piedemonte B)

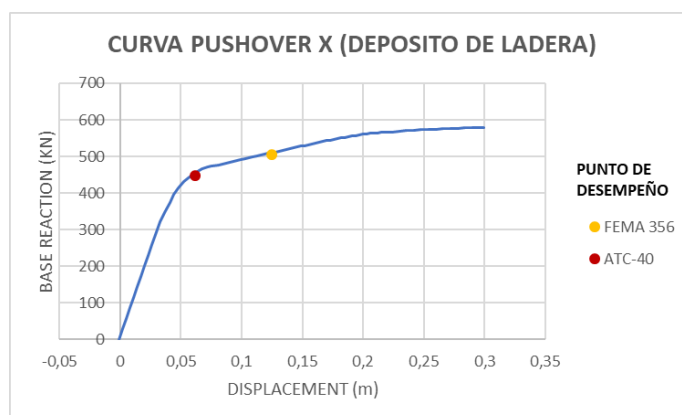


Fuente. Autor

2.4.3.3 Localidad Usme

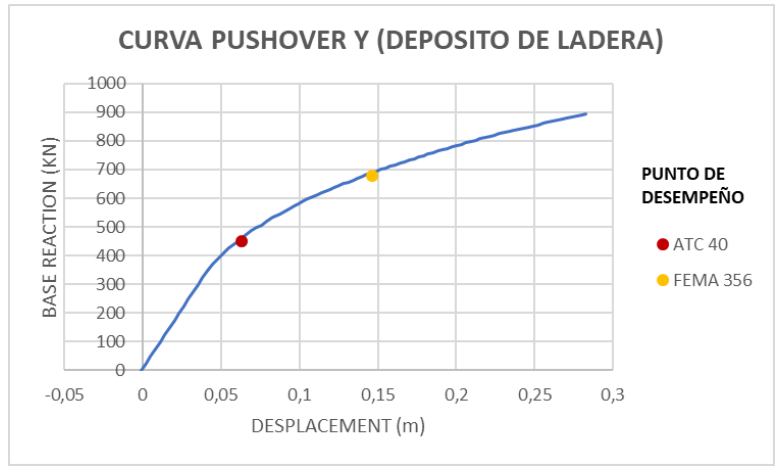
Para el análisis de desempeño de la vivienda en la localidad de Usme, se hizo uso de la microzonificación Deposito Ladera, dando como resultado los siguientes puntos de desempeño, de acuerdo al ATC-40 y el FEMA 356.

Ilustración 33. Punto de desempeño curva pushover en X (Deposito de ladera)



Fuente. Autor

Ilustración 34. Punto de desempeño curva pushover en Y (Deposito de ladera)

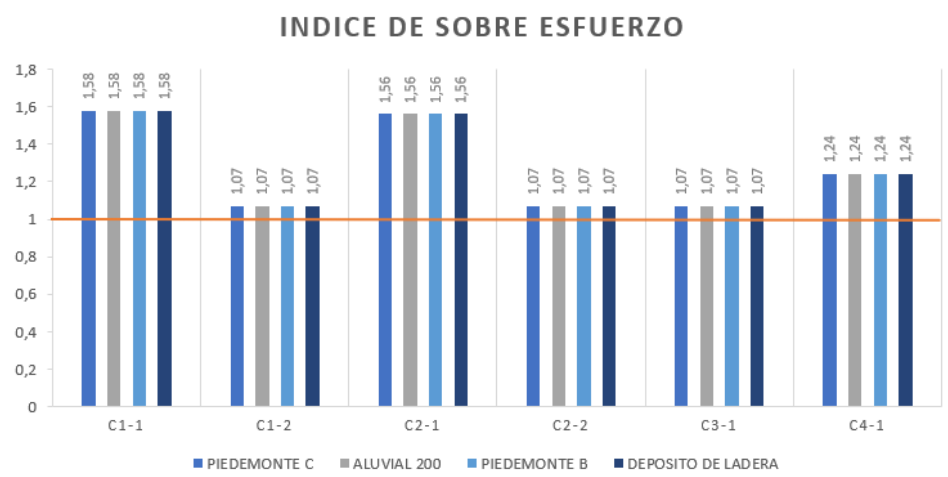


Fuente. Autor


2.4.4 Análisis de vulnerabilidad simplificada en columnas

Los índices de sobre esfuerzo, indican el mal dimensionamiento de columnas, elementos diseñados mediante el método convencional.

Ilustración 35. Índices de sobre esfuerzo.



Fuente. Autor

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

La metodología **pushover** busca determinar el comportamiento después de sobrepasar el rango elástico hasta el momento de falla de la estructura.

El propósito del presente proyecto de grado fue analizar el grado de precisión en el diseño propuesto por la Caja de la Vivienda Popular y así determinar el nivel de daño de la estructura mediante la curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal.


Observando detalladamente los resultados obtenidos mediante los valores de desempeño y la formación de rotulas plásticas a medida que se incrementaban los ciclos de carga, se pudo evidenciar que una vez se sobrepaso el rango elástico, la estructura dio inicio a la degradación. Permitiendo observar que una vez los elementos principales pierden resistencia, transfieren sus solicitaciones a otros elementos en mejor estado para lograr que la estructural global conserve de algún modo su estabilidad. Al alcanzar el punto de desempeño la estructura se hace inestable y es necesario intervenir para evitar pérdidas tanto de vidas, como económicas.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Se puede concluir que las rotulas plásticas en general se presentan inicialmente en las plantas inferiores, lo que lleva a pensar que, aunque por normativa se debe reforzar la estructura cumpliendo con todos los requerimientos sísmicos en todos los elementos, en realidad con este tipo de análisis se pueden localizar estos detalles y reducir costos al solo reforzar los elementos que así se requiere.

El método pushover valida la capacidad que tiene como herramienta para la realización de un diseño sismorresistente, ya que es un método que permite analizar el comportamiento de la estructura frente a diferentes demandas sísmicas, como se pudo evidenciar en las cuatro diferentes zonas de microzonificación a estudio (Aluvial 200 (Bosa), Piedemonte C (Ciudad Bolívar), Piedemonte B (San Cristóbal), Deposito Ladera(Usme)) a partir de la curva pushover y de la secuencia de plastificación.

Estos resultados fueron mas precisos que los que permite detectar el análisis estático lineal, evidenciando daños como: mecanismos de piso blando, desplazamientos excesivos o comportamientos frágiles de los elementos estructurales.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|


3.2 RECOMENDACIONES

Para que la propuesta investigativa tenga una adecuada aplicación y buen funcionamiento, es recomendable que todos los participantes a futuro en el desarrollo del proceso de diseño, puedan comprender la metodología del análisis estático no lineal, como se indico en el desarrollo del proyecto y verificar a que tipos de estructura se quiere aplicar el método pushover y ver si el proyecto amerita la modelación.

Es recomendable que los resultados del análisis y la verificación de los componentes del modelo matemático de la estructura sean presentados en anexos que faciliten el desarrollo de la misma.


Recopilar un numero mas alto de edificaciones irregulares en diferentes zonas de microzonificación y evaluar el estado de daño, analizando mas detalladamente la secuencia de formación de rotulas plásticas a medida que se incrementan los ciclos de car.

Se recomienda a la Caja de la Vivienda Popular realizar una minuciosa revisión del método de diseño convencional aplicado actualmente en materia de reforzamiento estructural para viviendas en estado de vulnerabilidad ya que dentro de los resultados obtenidos en el presente informe se pudo visualizar la ocurrencia

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

de inadvertencias que mediante la evaluación por desempeño pudieron ser corregidas.

Se recomienda que dentro del plan de estudios sea incluido en la materia de análisis estructural la evaluación por desempeño debido a que es un método de evaluación estructural mucho más efectivo que el método convencional, ya que da un nivel de seguridad elevado proporcionando diseños más óptimos que aseguren la seguridad de vida.

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ—CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

BIBLIOGRAFÍA

Ley 400. (1997, agosto 19). *Por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes*. Bogotá D.C., Colombia: Congreso de la Republica.

Decreto 596. (2006, febrero 24). *Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos; a la legalización de asentamientos humanos constituidos por viviendas*. Bogotá D.C., Colombia: Presidencia de la Republica.

Portafolio. (2010, Marzo 25). Obtenido de Portafolio: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/cerca-80-viviendas-bogota-cumplen-normas-sismorresistencia-475326>


Decreto 1077. (2015, mayo 26). *Por medio del cual se expide el Decreto Unico Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Bogotá D.C., Colombia: Presidencia de la Republica.

Decreto 080. (2016, febrero 22). *Por medio del cual se actualizan y unifican las normas comunes a la reglamentación de las unidades de Planeamiento Zonal y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia: Alcaldia Mayor de Bogotá D.C.

Decreto 564. (2016, febrero 24). *Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos; a la legalización de asentamientos humanos contituidos por viviendas*. Bogotá D.C., Colombia: Presidencia de la republica.

Decreto 624. (2016, diciembre 26). *Por medio del cual se reglamenta el Acuerdo 644 de 2016*. Bogotá D.C., Colombia: Alcaldia Mayor de Bogotá D.C.

Caja de la Vivienda Popular. (2018, Febrero 22). Recuperado el Marzo 04, 2018, de <http://www.cajaviviendapopular.gov.co/?q=Nosotros/mision-y-vision>

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ-CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

A, T. G. (2004). "On the use of spectra to establish damage control in regular frames during global predesing". *Earthquake Spectra*, 1-26.

American Society of Civil Engineers. (2013). *ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia: Coryght 2014 by the American Society of Civil Engineers.

Aycardi, I. L. (2017). Una catástrofe sísmica en nuestro país puede estar cercana. *ANALES DE LA INGENIERIA*, 80-83.

Cardona, O. D. (s.f.). *EVALUACIÓN DE LA AMENAZA, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO*. Obtenido de "Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo":
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

Carrillo, J. (2007, Diciembre 26). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

EPN *SEGURIDAD*. (s.f.). Obtenido de http://epn.gov.co/elearning/distinguidos/SEGURIDAD/13_riesgo_amenaza_y_vulnerabilidad.html


Espinoza, V. T. (2011). *La ingeniería sísmica basada en desempeño*. Peru.

Federal Emergency Management Agency FEMA. (2010). *FEMA 424 Design guide for improving school safety in Earthquakes, floods and High Winds*.

García, L. X. (2011). *Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigon armado, mediante codigos FEMA, utilizando ETAPS*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.

Gómez García, M. (2009). *Diccionario de uso del medio ambiente Eunsa*. Universidad de Navarra, S.A.

Gonzales, J. (2013, JULIO 12). Obtenido de www.murosdecontencion2013.blogspot.com/.../historia-de-los-muros-de-contencion.html

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

Hernández, E. I. (2010). *Diseño sísmico basado en desempeño y confiabilidad de sistemas marco-muro*. México: Universidad Autónoma de México.

IDIGER. (2018, Marzo 23). *El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático*. Obtenido de IDIGER: <http://www.idiger.gov.co/rmovmasa>

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (s.f.). *DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO*. ALFA OMEGA.

Ministerio de Vivienda, C. y. (2012, Junio 25). Resolución 0379. Bogotá D.C.

Mohd. Zameeruddin, K. K. (2016). review on Recent developments in the performance-based seismic design of reinforced concrete structures. *Elsevier*, 15.


Navia Llorente, J. A., & Barrera Roa, E. M. (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la Ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle.

Palomino, I. C. (2017). Cómo diseñar estructuras estables. *ANALES DE INGENIERÍA*, 22-27.

Planeación, S. D. (2009). *Conociendo la localidad de San Cristobal*. Obtenido de Diagnostico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos. : <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/San%20Cristobal/Monograf%EDa/04%20Localidad%20de%20San%20Crist%F3bal.pdf>

Planeación, S. D. (2011). *21 Monografías de las localidades*. Obtenido de Diagnostico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011: <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/Localidad%2019%20Ciudad%20Bol%EDvar/Monografia/19%20Ciudad%20Bolivar%20monografia%202011.pdf>

Planeación, S. D. (2011). *21 Monografías de las localidades Localidad de Usme*. Obtenido de Diagnostico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos : <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/Inf>

| | | |
|---|---|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | <p>EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME.</p> | <p>FECHA: 2018 VERSIÓN 1.0</p> |
|---|---|--|

ormacionDescargableUPZs/Localidad%205%20Usme/Monograf%EDa/5%20USME%20monografia%202011.pdf


Planeación., S. D. (2009). *Conociendo la localidad de Bosa*. Obtenido de Diagnostico de los aspectos fisicos, demograficos y socioeconomicos: <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/Localidad%207%20Bosa/Monografia/07%20Localidad%20de%20Bosa.pdf>

Ramírez, A. R. (2017). Legalización urbanística y reforzamiento estructural. *ANALES DE INGENIERIA*, 76-79.

Sanchez Badillo , A., & Téran Gilmore , A. (2008). Diseño por desempeño de estructuras dúctiles de concreto reforzado ubicadas en la zona del lago del distrito federal: Ejemplo de aplicación. *Revista de Ingeniería Sísmica No. 78*, 47-71.

Scott, R., & M J N , P. (1982). "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops ot low and high strain rates". *ACI Journal*, 13-27.

Spence, R. (11990). *"Seismic Risk Modelling - A review of Methods", contribution to "Velso il New Planning"*. Cambridge: University of Naples, Papers of Martin Centre for Architectural and Urban Studies.

| | | |
|---|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p> | EVALUACIÓN POR DESEMPEÑO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD ALTA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ–CASO DE ESTUDIO LOCALIDADES DE: BOSA, CIUDAD BOLIVAR, SAN CRISTOBAL Y USME. | <p>FECHA: 2018</p> <p>VERSIÓN 1.0</p> |
|---|--|---|

ANEXOS

Anexo 1. Información del proyecto a estudio.

Anexo 2. Memorias de cálculo.

Anexo 3. Modelo matemático SAP2000.

Anexo 4. Presupuestos reforzamiento estructural.

Anexo 5. Scanner del soporte de aprobación de los cambios realizados en base al anteproyecto presentado.

Anexo 6. Formato de seguimiento trabajo de grado docente-estudiante.