



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LA AMPLIACIÓN A DOS PISOS DE
UNA VIVIENDA PARA USO RESIDENCIAL EN BOGOTÁ.**

Silva, Córdoba Jeferson.

Cleves, Olaya Juan Manuel.

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2021

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LA AMPLIACIÓN A DOS PISOS DE
UNA VIVIENDA PARA USO RESIDENCIAL EN BOGOTÁ.**

Silva, Córdoba Jeferson.

Cleves, Olaya Juan Manuel.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Ing. Orlando German Posso Arevalo

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2021

Dedicatoria

Ofrendo este trabajo investigativo principalmente a Dios, por brindar la oportunidad y darme la abnegación necesaria para llegar hasta este instante tan significativo de mi formación; y a su vez dedico esta investigación a mis padres y esposa por el apoyo incondicional en todo momento.

Juan Manuel Cleves Olaya

Dedicó este trabajo a mi Hija Julieta Silva Luna, quien ha nacido mientras estudiaba y se ha convertido en el ser más importante de mi vida, ella es mi futuro y los frutos de mis proyectos serán mi legado

Jeferson Silva Córdoba

Agradecimientos

A mis superiores que me brindaron la oportunidad de sacar adelante esta meta tan importante y a todo el equipo de docentes que hicieron parte coactiva de mi formación profesional, quienes orientaron y promovieron en mí, el objetivo de esta investigación, basada en principios y valores, fundamentales en el actuar de un Ingeniero Civil.

Juan Manuel Cleves Olaya

Quiero agradecer a Dios por sus bendiciones y tenernos en esta instancia de la vida, que toda la Gloria sea para Él. A mi madre Judhit Córdoba Piamba, por todos sus esfuerzos realizados a lo largo de la vida, a mi padre Alfonso Silva Ramírez, por sus enseñanzas y esa sabiduría que ha obtenido a través de los años. A mi compañero de trabajo Juan Manuel Cleves Olaya por hacer parte de este proyecto, por último, agradezco a Magda Luna Cuellar quien es mi compañera de viaje y ha estado presente en toda la carrera.

Jeferson Silva Córdoba

Contenido

Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción	13
2. Planteamiento del Problema.....	14
3. Objetivos	15
3.1. Objetivo General	15
3.2. Objetivos Específicos	15
4. Antecedentes de la Investigación	17
5. Marco de Referencia	19
6. Metodología de Investigación	20
7. Localización de la Edificación	21
8. Antecedentes de la Edificación	22
8.1. Descripción Histórica e Indagación de la Construcción	22
8.2. Descripción Arquitectónica.....	23
8.3. Descripción Estructural	24
8.4. Clasificación de la Edificación.....	26
9. Trabajo en Campo	27
9.1. Levantamiento Estructural	29
9.2. Verificación del Refuerzo	30
9.3. Investigación del Subsuelo.....	31
9.4. Topografía del Terreno.....	31
9.5. Geología	32
9.6. Geomorfología	32
9.7. Exploración del Subsuelo	32
9.7.1. Caracterización Geomecánica	34
9.7.2. Ensayos de Laboratorio del Suelo	35
9.7.2.1. Humedad Natural	35
9.7.2.2. Límites de Consistencia:.....	35
9.7.2.3. Distribución Granulométrica.	36
9.7.2.4. Peso Unitario.....	36
9.8. Caracterización del Perfil del Suelo	36
9.9. Aspectos Sísmicos del Subsuelo	38
10. Capacidad Portante y Análisis de Asentamientos	40

10.1.	Capacidad Portante.....	40
10.2.	Análisis de Asentamientos.....	44
10.3.	Conclusiones y Recomendaciones de Análisis del Suelo	47
11.	Ensayos Realizados al Concreto de la Estructura	48
11.1.	Resistencia a la Compresión del Concreto	48
11.2.	Ensayo de Carbonatación	49
11.2.1.	Análisis de Resultados de los Ensayos con Fenolftaleína.....	51
12.	Patología Estructural de la Edificación	52
12.1.	Inspección Visual de la Estructura y Calidad de los Materiales	52
13.	Trabajo de Oficina.....	53
13.1.	Modelación Estructural	53
13.2.	Bases de Cálculo	53
13.3.	Modelo Matemático	54
13.4.	Propiedad de los Materiales	54
13.5.	Parámetros de Calidad de Diseño y Construcción	55
13.5.1.	Calificación de las Estructuras.....	55
13.5.2.	Parámetros Sísmicos de Diseño y Ubicación en el Mapa de Zona de Amenaza Sísmica	56
13.6.	Coeficientes de Disipación de Energía.....	58
13.7.	Combinaciones de Carga.....	59
13.7.1.	Combinaciones Para Derivas.....	59
13.7.2.	Combinaciones Para Diseño.....	60
13.8.	Valoración de Cargas	61
13.8.1.	Carga Muerta.....	62
13.8.2.	Carga Viva.....	62
13.8.3.	Cargas de Viento	63
13.9.	Solicitudes Sísmicas.....	63
13.10.	Índices de Vulnerabilidad Sísmica.....	63
13.10.1.	Índices de Flexibilidad	63
13.10.2.	Índices de Sobre esfuerzo.....	68
14.	Análisis de Vulnerabilidad.....	69
14.1.	Diagnóstico del Estado Actual de la Estructura y Condiciones Para Soportar Sismos	69
14.1.1.	Primer Nivel – Estructura Año 1994.....	69
15.	Alternativa de Intervención.....	71

15.1. Intervención del Sistema Estructural (Alternativas de Reforzamiento).....	71
15.1.1. Encamisado de Columnas	72
15.1.2. Encamisado de Vigas	73
16. Presupuesto.....	75
17. Requerimientos de Licencia de Construcción.....	76
Conclusiones	77
Recomendaciones.....	78
Bibliografía	79

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Localización general sitio de estudio.....	21
Ilustración 2 - Fachada de la Edificación.....	22
Ilustración 3 - Planta Arquitectónica.....	23
Ilustración 4 - Registro Fotográfico Edificación.....	24
Ilustración 5 - Planta Estructural.....	25
Ilustración 6 - Planta Estructural de Cimentación.....	25
Ilustración 7 - Clasificación de la edificación de acuerdo al reglamento NSR-10	26
Ilustración 8 - Fotografías Trabajos de Campo.....	28
Ilustración 9 - Fotografía Trabajo de Campo.....	33
Ilustración 10 - Variación De La Humedad En Función De La Profundidad.....	35
Ilustración 11 - Carta De Plasticidad	36
Ilustración 12 - Perfil Estratigráfico.....	38
Ilustración 13 - Registro Fotográfico Ensayos Realizados	49
Ilustración 14 - Espectro de diseño.....	58
Ilustración 15 - Modelación	64
Ilustración 16 - Modelación Deformación Máxima.....	66
Ilustración 17 - Apartado C.5.6.5 del título C de la NSR-10.....	72
Ilustración 18 - Mampostería Reforzada.....	73
Ilustración 19 - Encamisado de Columnas y Vigas	74

Índice de Tablas

Tabla 1- Áreas Construidas Existentes.	23
Tabla 2 - Sistema Estructural y de Cimentación.....	26
Tabla 3 - Relación Actividades de Campo.....	30
Tabla 4 - Distribución del Acero en Elementos Estructurales	31
Tabla 5 - Parámetros Sísmicos.....	38
Tabla 6 – Clasificación del Suelo.....	39
Tabla 7 - Coeficiente de Amplificación	39
Tabla 8 - Capacidad Portante Para Cimientos Cuadrados Método De Terzaghi	42
Tabla 9 - Capacidad Portante Para Cimientos Rectangulares Método De Terzaghi.....	42
Tabla 10 - Capacidad Portante Para Cimientos Cuadrados Método De Meyerhof.....	43
Tabla 11 - Capacidad Portante Para Cimientos Rectangulares Método De Meyerhof	43
Tabla 12 - Asentamiento elástico Para Cimientos Cuadrados	45
Tabla 13 - Asentamiento elástico Para Cimientos Cuadrados	46
Tabla 14 - Resultados de Resistencia a Compresión del Concreto	48
Tabla 15 - Resultados de Carbonatación.....	50
Tabla 16 - Descripción Estructural (Estado Actual)	53
Tabla 17 - Resumen Propiedades Materiales Utilizados.....	54
Tabla 18 - Coeficientes de Reducción de Resistencia Estructuras	55
Tabla 19 - Coeficientes Espectrales de Diseño	56
Tabla 20 - Periodo de la Estructura.....	58
Tabla 21 - Coeficiente de Disipación de Energía.....	59
Tabla 22 - Combinaciones de Carga Utilizadas	60

Tabla 23 - Distribución Cargas Vivas	62
Tabla 24 - Resumen Índices de Flexibilidad.....	64
Tabla 25 - Presupuesto	75

Resumen

Se presentará la siguiente investigación, la cual busca realizar un análisis de la vulnerabilidad sísmica y la respuesta estructural para la construcción de un segundo nivel en una residencia situada en la ciudad de Bogotá la cual fue edificada previamente de la implementación de las norma de construcción sismo resistente NSR-10, planteando una alternativa de intervención si la estructura lo requiere, para tal efecto el trabajo se dividirá en dos etapas, trabajos de campo y oficina, en la primera etapa se recopilara información del predio, se realizaran levantamientos topográficos, arquitectónicos, estudio de suelos, se identificarán los elementos estructurales y no estructurales se definirá su situación patológica mediante la recuperación de muestras de la estructura y del suelo, se realizaran ensayos de laboratorio a fin de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales recuperados.

Con la indagación y datos recogidos en campo se realizará en la oficina el diagnóstico de vulnerabilidad de la estructura existente y se procederá a realizar el diseño de reforzamiento y el tipo de intervención para cumplir con la NSR-10, teniendo en cuenta la adición del segundo nivel. Se pretende que esta metodología se pueda replicar en edificaciones de características similares, que han sido construidas en sectores vulnerables y sin tener en cuenta las normas NSR-10.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, patología estructural, edificaciones, construcción, reforzamiento estructural, sistemas estructurales, espectro de diseño, diagnóstico.

Abstract

The following work aims to analyze the seismic vulnerability and the structural response for the construction of a second level in a house located in the city of Bogotá which was built before the implementation of the NSR-10 earthquake resistant construction standard, proposing An alternative intervention if the structure requires it, for this purpose the work will be divided into two stages, field work and office, during the field work information on the property will be collected, topographic and architectural surveys will be carried out, soil studies will be carried out. Structural and non-structural elements will be identified, their pathological situation will be defined by recovering samples of the structure and soil, and laboratory tests will be carried out in order to know the physical and mechanical characteristics of the recovered materials.

With the information collected in the field will carry out in the office the vulnerability diagnosis of the existing structure and the reinforcement design and type of intervention will be carried out to comply with NSR-10, taking into account the addition of the second level. It is intended that this methodology can be replicated in buildings with similar characteristics, which have been built in vulnerable sectors and without taking into account the NSR-10 standards.

Keywords: Seismic vulnerability, structural pathology, buildings construction, structural reinforcement, structural systems, design spectrum, diagnosis.

1. Introducción

El presente trabajo se realiza como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil, en donde se aplican conceptos, normas y aprendizajes que fueron vistos a lo largo de la carrera en las diferentes materias que la componen y donde se ponen en práctica muchos de los temas aprendidos.

El tema escogido en este trabajo abarca diferentes ramas de la ingeniería y la vivienda motivo de investigación en este trabajo se encuentra en la ciudad de Bogotá, la cual fue optada dadas sus condiciones actuales y las de su construcción los cuales presentan diferentes retos para el análisis y ejecución de este trabajo.

La construcción de viviendas que avalen la seguridad de sus inquilinos y visitantes es una premisa para los diseñadores y constructores, en este trabajo se analizara una estructura construida antes de las normas establecidas en Colombia, para evaluar sus condiciones y seguridad dado que se pretende ampliar en altura, es por ello que se establecerá una metodología y seguirán los lineamientos de la NSR-10, para su evaluación y las recomendaciones para su intervención.

2. Planteamiento del Problema.

Las edificaciones deben ser estables y seguras para que brinden condiciones favorables para sus usuarios, sin embargo, con el pasar del tiempo, estas sufren afecciones por parte de ciertas patologías de diferente clase, estas se presentan por diversas razones que pueden ser producto de su proceso constructivo o por el paso del tiempo, las cuales pueden llegar a afectar el funcionamiento de las estructuras. Según (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Todas las lesiones afectan considerablemente las propiedades y capacidades de la estructura de la edificación. Por esta razón se hace indispensable conocer el estado y comportamiento estructural de las edificaciones para poder determinar las causas de las lesiones”, interpretar los resultados de las evaluaciones, las cuales nos proporcionará un informe como producto final y así dar una opción de mejora para poder intervenirlas.

El estudio de la estructura del inmueble como promesa de esta investigación corresponde a una vivienda unifamiliar de 142 m², construida en el año de 1994 con columnas y vigas cuadradas de 0,20 x 0,20 m, que conforman un sistema de pórticos y complementada con muros de mampostería, a la cual el propietario manifiesta su intención de ampliar el inmueble en altura y que a su vez esta se de una manera segura, dado que por la antigüedad de la vivienda es consciente del tiempo de vetustez en el que se encuentra y proporcionó las autorizaciones para el estudio, evaluación y demás actividades que demande y finalmente poder dar un concepto del estado de la estructura y su comportamiento con la ampliación proyectada.

¿Qué viabilidad tiene ampliar la estructura de la vivienda en aguas claras al sur de Bogotá, construida antes de la implementación de la NSR-10?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar el estudio de vulnerabilidad sísmica y estructural para la ampliación a dos pisos de una vivienda ubicada en el Barrio Aguas Claras, localidad de San Cristóbal sur en la ciudad de Bogotá, con el fin de que esta cumpla con la Norma de Construcción vigente NSR-10.

3.2. Objetivos Específicos

Analizar la información existente de la edificación, tanto arquitectónica como estructural, mediante inspección visual y reconocimientos de los elementos que la conforman y en el caso de no existir, realizar los levantamientos arquitectónicos y estructurales para su construcción.

Efectuar una inspección visual y registro fotográfico para identificar el tipo de estructura objeto de estudio y con ello determinar los diferentes elementos estructurales y no estructurales y poder establecer las causas de las afecciones físicas y mecánicas que puedan tener la vivienda.

Determinar mediante ensayos realizados a la estructura las causas de las diferentes lesiones encontradas y así establecer el estado real en el estudio de vulnerabilidad.

Registrar los estudios de suelos realizados con apiques y sondeos que permitan determinar las características del suelo para determinar la capacidad portante y su conformación.

Interpretar la evaluación de las condiciones estructurales de la edificación teniendo en cuenta la época de construcción y la norma vigente con la cual se construyó y las condiciones actuales y la intervención de ampliación que se pretende realizar.

Categorizar la estructura existente y su ampliación para que los trabajos realizados permitan cumplir con las condiciones de resistencia sísmica que se ajusten a lo exigido por la NSR-10.

4. Antecedentes de la Investigación

De acuerdo a varias investigaciones realizadas según (GALVIS HERNÁNDEZ, 2013) “16.45 millones de colombianos de 553 de los 1126 municipios del país se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta, es decir el 39.7% de la población nacional; 19.62 millones de habitantes de 431 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia, equivalentes al 47.3% de la población del país; y 5.39 millones de habitantes en 139 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica baja, es decir el 13% del total de la población nacional según la última información suministrada por el DANE proveniente del censo de 2005”

La ocurrencia de eventos naturales de índole catastrófico como los terremotos han permitido que el concepto de vulnerabilidad sísmica haya sido ampliamente desarrollado en diferentes investigaciones. Teniendo en cuenta que la vivienda es una necesidad básica del ser humano, la cual debe ser estable y segura, es por ello que se han desarrollado técnicas para lograr este objetivo. En Colombia, antes de la ocurrencia del terremoto de 1983 en la ciudad de Popayán existía la AIS 100-81 documento que reglamentaba la construcción en Colombia, el cual trataba de una adaptación al contexto de nuestro país del documento de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) –por sus siglas en inglés– que, en 1974 se publicó una nueva versión de Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, actualizada, a raíz del temblor de 1971 en San Fernando, un suburbio de Los Ángeles, CA.

Este documento contaba con la primera zonificación sísmica adelantada en nuestro país, de este documento y gracias a mejoras hechas con el apoyo de planeación nacional se obtuvo un documento que como resultado creo la Norma AIS 100-83 “Requisitos Sísmicos para

Edificaciones “cuyo resultado era la ampliación de la norma AIS 100-81. A causa del terremoto de Popayán, el 31 de marzo de 1983 se generó la necesidad de ampliar el alcance de la AIS-100-83 para que incluyera reglamentación para edificaciones de uno a dos pisos y construcciones de mampostería estructural.

Es así como se obtuvo a partir de diferentes investigaciones y documentos consolidar el primer Código Colombiano de Construcción, los cuales se fueron integrando dando continuidad y un contexto hasta que se convirtió en el primer reglamento de construcción, según (Granados, Callejas, & Cifuentes, 2018) “la primera norma de Sismo Resistencia Colombiana se expidió por medio del Decreto 1400 de 1984. Este fue un decreto de facultades extraordinarias, expedido al amparo de la Ley 11 de 1983 que hablaba sobre la reconstrucción de Popayán, que después tuvo dos versiones adicionales la Ley 400 de 1997 y bajo su ella se expide en 1998 la Norma Sismo Resistente NSR-98 de 1998 y luego en el 2010, la NSR-10”.

Durante los últimos años se implementó en Colombia la necesidad de repotenciar las estructuras existentes para llevarlas a cumplir con la reglamentación y la expedición de licencias urbanísticas, esto ha generado múltiples investigaciones y trabajos al respecto, de los cuales cabe destacar los que se enfocan en la altísima cantidad de construcciones informales que se realizaron en el país sin tener en cuenta las normas, (Valbuena, 2013), Los proyectos investigativos consultados pretenden determinar el verdadero estado estructural de las edificaciones, basándose en inspecciones visuales, ensayos de laboratorio y modelación estructural, con los cuales se pretenden determinar su estado frente a los requisitos mínimos de la norma de sismo resistencia NSR – 10. (Lopez Carlina, 2019).

5. Marco de Referencia

Para la realización del presente trabajo se orientó nuestra investigación inicialmente según lo estipulado en la ley 400 del 19 de agosto de 1997 “*Por la cual se adoptan normas sobre las construcciones Sismos Resistentes*” donde se inició a reglamentar las construcciones en Colombia, con esto se expidió en reglamento de construcción sismo resistente NSR-98.

Posteriormente se realizó la actualización a la norma de evaluación e intervención para las estructuras, y construcciones y se expidió **El Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente NSR-10** y con mayor énfasis en su **Capítulo A-10** que cita la “Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento”, en donde se establecen los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes diseñadas y construidas con anterioridad. (NSR-10) (Valbuena, 2013). a su vez se tendrá en cuenta lo estipulado en el decreto 1077 de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio” expedido por el Ministerio De Vivienda, Ciudad y Territorio.

Para tal efecto cabe resaltar que la edificación objeto del presente estudio es de uso residencial, de propiedad del señor José Freddy González Garzón, quien autorizo la intervención al inmueble para tener un concepto técnico de las condiciones reales de su vivienda ante la intención de ampliarla en altura y que se encuentre acorde a lo reglamentado en la NSR10 (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010) .

6. Metodología de Investigación

Para la realización de esta investigación se utilizó un modelo de tipo cuantitativo que permitiría evaluar los elementos estructurales y no estructurales y a su vez lograr identificar posibles patologías que pueden implicar algún problema sobre la estructura, importantes en la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica, con el fin de determinar si la estructura objeto del estudio cumple con los parámetros establecidos en el capítulo A-10 de la norma sismo resistente NSR-10.

Para tal efecto se realizaran actividades tales como la georreferenciación para determinar la ubicación del inmueble, la recopilación de información existente para conocer los antecedentes de la misma acompañado de una inspección visual, se realizara un levantamiento topográfico, arquitectónico y estructural, posterior a esto se realizara una exploración geotécnica con el fin de tomar las muestras necesarias para el estudio de suelo y conocer las cimentaciones existentes y a su vez con ensayos destructivos explorar la calidad del concreto existente y determinar la presencia de posibles patologías y las afecciones que pueden producir al concreto tales como el daño por carbonatación.

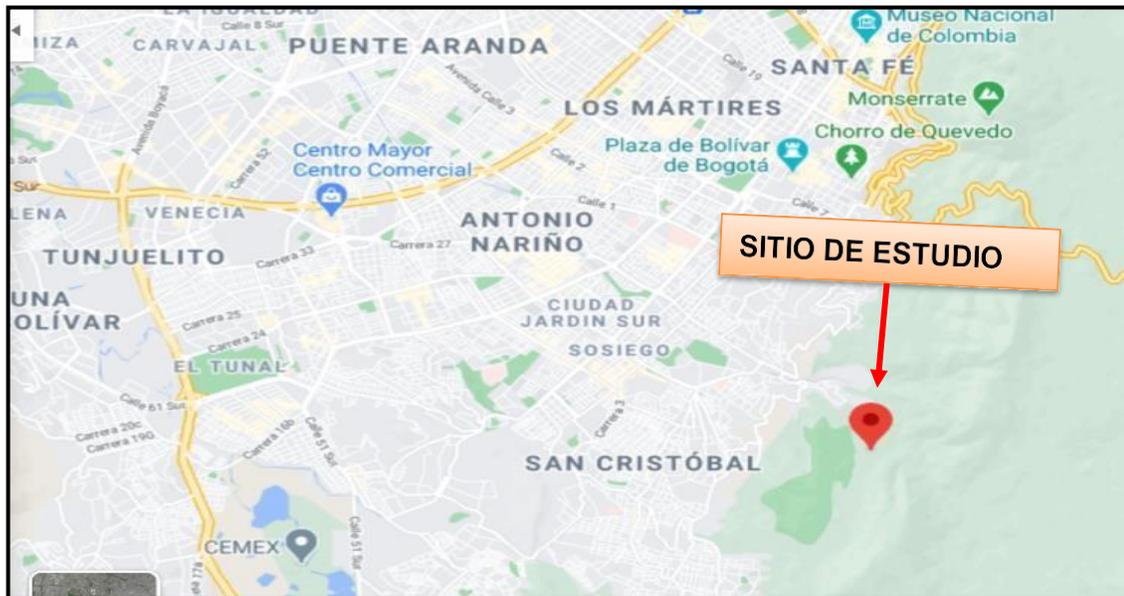
Así mismo el presente trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad y presentar los resultados obtenidos en el estudio de vulnerabilidad sísmica y análisis estructural para la ampliación a dos pisos de una vivienda ubicada en el Barrio Aguas Claras, localidad de San Cristóbal sur en la ciudad de Bogotá. teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las estructuras frente al sismo de diseño, teniendo como referencia la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10).

7. Localización de la Edificación

“El predio objeto del trabajo se encuentra localizado en la ciudad de Bogotá, en la localidad de San Cristóbal al sur de la ciudad”, en la Calle 17 sur No. 24C – 22 Este; esta unidad cuenta con un área construida de 141,61 m². Se encuentra a una altura promedio de 2620 m.s.n.m. y la temperatura promedio es de 17°C. En la Ilustración 1 se presenta la ubicación del área de desarrollo de la investigación.

Figura 1

Localización general sitio de estudio.



Nota: Adoptado de (Google Maps, 2020)

8. Antecedentes de la Edificación

8.1. Descripción Histórica e Indagación de la Construcción

La edificación fue construida aproximadamente en el año de 1994 por el señor Alfonso González Rodríguez inicialmente pretendía ser una bodega para una empresa de fabricación de muebles, posteriormente fueron construidos muros divisorios en mampostería conformando una vivienda unifamiliar, el barrio donde se encuentra ubicada la vivienda se fundó finalizando la década del 80 y fue legalizado recientemente, esta información fue suministrada por el actual propietario el señor José Freddy González Garzón hijo del fallecido señor González. Quien manifiesta la intención de ampliar la edificación en un nivel más de altura queriendo dejarlo como sitio de habitación siguiendo la misma geometría del primer piso y creciendo los elementos estructurales para tal fin.

Ilustración 2

Fachada de la Edificación.



8.2. Descripción Arquitectónica

La estructura presenta una unidad de vivienda unifamiliar con garaje y patio. Está dividida por muros de mampostería que conforman las habitaciones y zonas comunes.

Ilustración 3

Planta Arquitectónica.

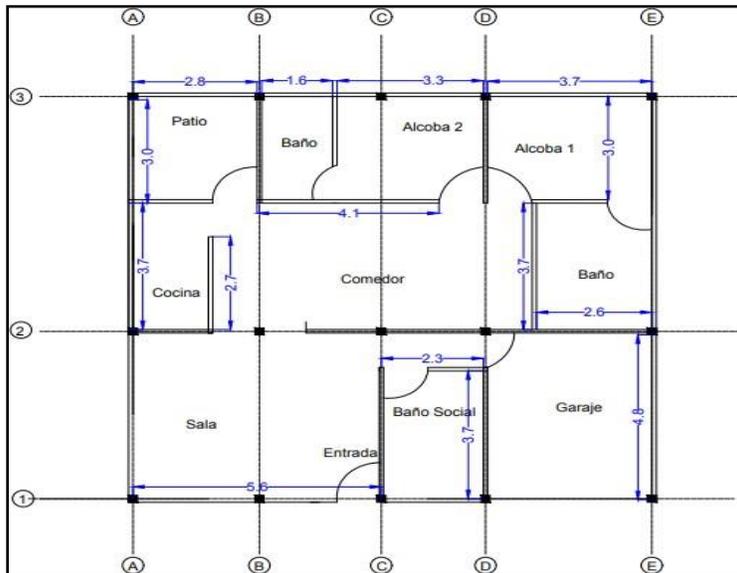


Tabla 1

Áreas Construidas Existentes.

Uso o Condición	Nivel	Área (M2)
Garaje, vivienda.	1	144
Área Total Construida		144

Se presenta el registro fotográfico de fachada y espacios internos de la edificación en estudio.

Ilustración 4*Registro Fotográfico Edificación***8.3. Descripción Estructural**

De acuerdo al levantamiento estructural realizado, se logró establecer que la construcción posee un sistema estructural de pórticos, y dentro de las actividades de levantamiento estructural se lograron establecer las siguientes características:

- Las columnas son cuadradas y tienen una sección de 0.20 x 0.20 m.
- Todas las vigas tienen una sección de 0.20 x 0.20 m.
- El sistema de cimentación es de tipo superficial, conformado por zapatas cuadradas a una profundidad de 1.00 m medidos a partir del nivel de piso, con secciones en planta de 1.00 x 1.00 m con una altura de 0.60 m, unidas con vigas de amarre de sección 0.20 x 0.20 m.
- A continuación, se ilustra lo descrito anteriormente.

Ilustración 5

Planta Estructural.

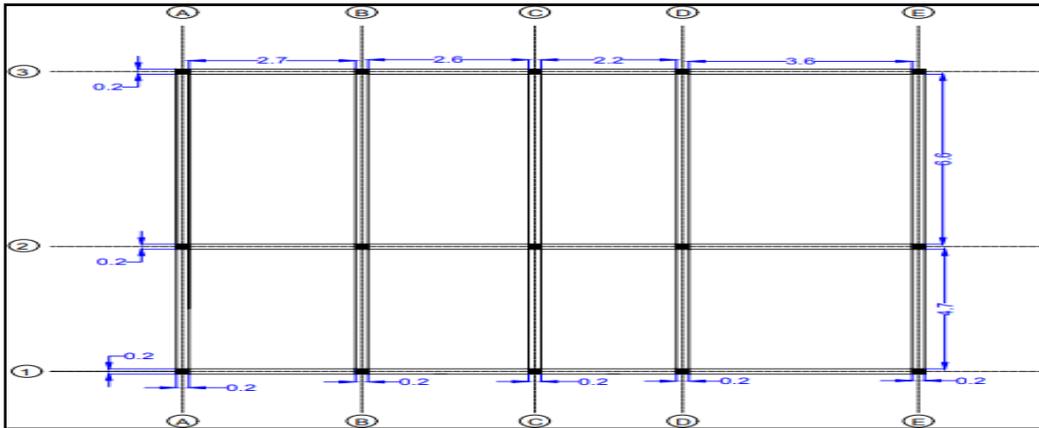
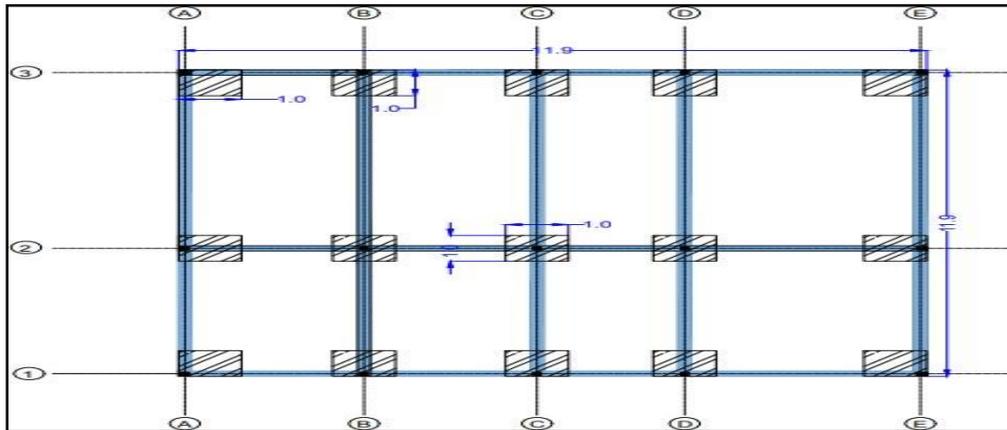


Ilustración 6

Planta Estructural de Cimentación.



En la siguiente tabla se presenta el cuadro resumen indicando el sistema estructural encontrado, año de construcción y tipo de cimentación.

Tabla 2*Sistema Estructural y de Cimentación*

N° Pisos	Sistema Estructural	Año	Tipo De Cimentación
1	Pórticos De Concreto	1994	Zapatas y Vigas de Amarre

8.4. Clasificación de la Edificación

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Esta clasificación se realiza con base en el tipo de uso y ocupación que se le esté dando a la edificación; para el caso en estudio la edificación pertenece al grupo de uso I que son estructuras de ocupación normal”. A continuación, se extrae el artículo A.2.5.1.4 del reglamento NSR-10.

Ilustración 7

Clasificación de la edificación de acuerdo al reglamento NSR-10

<p>A.2.5.1.4 — Grupo I — Estructuras de ocupación normal — Todas la edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.</p>	
<p>A.2.5.2 — COEFICIENTE DE IMPORTANCIA — El Coeficiente de Importancia, I, modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación para tomar en cuenta que para edificaciones de los grupos II, III y IV deben considerarse valores de aceleración con una probabilidad menor de ser excedidos que aquella del diez por ciento en un lapso de cincuenta años considerada en el numeral A.2.2.1. Los valores de I se dan en la tabla A.2.5-1.</p>	
<p>Tabla A.2.5-1 Valores del coeficiente de importancia, I</p>	
Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Nota: Adaptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010)

9. Trabajo en Campo

Con el fin de determinar las condiciones actuales de la edificación, se desarrollaron las labores necesarias para establecer el sistema estructural, el estado en que se encuentra la construcción y las propiedades de los materiales estructurales; igualmente se han efectuado las actividades de exploración y trabajos de campo, dentro de los cuales se encuentra, levantamiento estructural, medidas de alturas y secciones, distribución del acero de refuerzo, entre otros donde se realizaron las siguientes actividades y ensayos en la estructura:

- Entrevista a los propietarios.
- Inspección visual y registro fotográfico.
- Levantamiento arquitectónico.
- Levantamiento estructural, definiendo el sistema estructural y presencia de posibles asentamientos.
- Verificación del refuerzo de los elementos estructurales mediante la realización de ensayos destructivos (regatas)
- Evaluación de la calidad del concreto, mediante la extracción de núcleos en vigas y columnas, para determinar la resistencia a compresión del concreto.
- Ensayos de profundidad de carbonatación, realizados sobre regatas y núcleos.
- Inspección de la cimentación existente.
- Exploración geotécnica para determinar la capacidad portante del suelo donde está construida la edificación.

Ilustración 8

Fotografías Trabajos de Campo



Fotografía 6 Exploración estructural en columna



Fotografía 7 Tipo de mampostería zona de patio.



Fotografía 8 Aceros de columna expuestos en muro externo.



Fotografía 9 Bloque deteriorado con pérdida de material .



Fotografía 10 Cubierta zona de habitación.



Fotografía 11 Columnas de 0.20 x 0.20



Fotografía 12 Aplicación de fenoltaleína sobre superficie de concreto



Fotografía 13 Levantamiento estructural



Fotografía 14 Verificación de la cimentación



Fotografía 15 Viga de cimentación sobre ciclópeo

9.1. Levantamiento Estructural

Para determinar la cantidad, distribución y recubrimiento tanto del refuerzo longitudinal como transversal, en los componentes estructurales que conforman la vivienda, se ejecutaron ensayos destructivos; así mismo se realizó la extracción de núcleos para evaluar la resistencia y calidad del concreto, se llevaron a cabo apiques y sondeos con el fin de verificar la cimentación e identificar las características del suelo donde está apoyada la edificación.

- Ejecución de diferentes regatas en columnas y vigas donde se pudo establecer las características de los refuerzos.

- Se tomaron muestras de seis (6) núcleos para determinar las características de resistencia del concreto, estos núcleos fueron extraídos de columnas y vigas.
- Con el fin de determinar y confirmar las características de la cimentación se realizaron dos (2) apiques.
- El número de ensayos fue adoptado de acuerdo a las características encontradas en la edificación, tales como; secciones típicas, número de elementos, tipo de estructura, condiciones que fueron evaluadas durante los trabajos de campo. Específicamente se realizó lo siguiente:

Tabla 3

Relación Actividades de Campo

Ítem	No. Ensayos Destructivos	No. De Núcleos Extraídos	No. Apiques Realizados
Ensayos	3 columnas 3 vigas	6	2
TOTAL ENSAYOS	6	6	2

9.2. Verificación del Refuerzo

Para determinar las características del acero de refuerzo, se realizaron pequeñas demoliciones denominadas “regatas” en columnas y vigas, para conocer el diámetro del refuerzo tanto longitudinal como transversal de los elementos estructurales.

En la siguiente tabla se presenta de manera general las secciones típicas y distribución de aceros encontrados.

Tabla 4*Distribución del Acero en Elementos Estructurales*

Ítem	Elemento	Sección (Cm)	Acero Longitudinal Diámetro (In)	Calidad	Acero Transversal Diámetro (In)	Calidad
Estructura	Columnas	20x20	½	Corrugado	3/8	Corrugado
	Vigas	20x20	½	Corrugado	3/8	Corrugado

9.3. Investigación del Subsuelo

El objetivo del estudio de suelos es establecer las condiciones de trabajo de la cimentación que está soportando la estructura y verificar su comportamiento, con base en los resultados de la evaluación de la estructura y del análisis geotécnico. Para la investigación del subsuelo y análisis de la cimentación para determinar características geomorfológicas y geológicas del área del terreno, se localizaron los sitios de perforación, y realizaron la exploración del subsuelo mediante la ejecución de tres (3) sondeos y posteriormente el análisis mediante ensayos de laboratorio que determina las propiedades geotécnicas de los materiales que constituyen el subsuelo y así sobre la información que se obtiene estimar los parámetros geotécnicos de la cimentación.

9.4. Topografía del Terreno

El predio está ubicado en una zona a media ladera de pendiente general de 9%, la construcción está sobre cortes de pendientes muy bajas a nulas.

9.5. Geología

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre la unidad geológica denominada Formación Bogotá, esta sucesión es predominante blanda y arcillosa, de morfología relativamente suave a excepción de la arenisca de la formación cacho, la cual forma algunas colinas alargadas, en las laderas de los cerros orientales se han acumulado depósitos coluviales y otros aluviales asociados a diferentes quebradas que bajan de los cerros, las partes más bajas corresponden a rellenos cuaternarios recientes.

9.6. Geomorfología

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre un tipo de sistema morfo génico de Montaña Estructural Plegada y específicamente hace parte del Espinazo Anticlinal constituyen el factor dominante en el control de la topografía.

9.7. Exploración del Subsuelo

Los trabajos de campo consistieron en la inspección y reconocimiento del área donde se localiza la edificación y como resultado de esta etapa se realizaron 3 sondeos manuales, que se clasificaron e identificaron, con el fin de facilitar la ejecución de un programa de ensayos de laboratorio que permitiera conocer sus características geomecánicas.

Ilustración 9

Fotografía Trabajo de Campo



Fotografía 16 Apique



Fotografía 17 ejecución sondeo zona de patio.



Fotografía 18 Muestra de 0,50 a 0,90 sondeo 1



Fotografía 19 Zona sondeo 2.



Fotografía 20 Extracción SPT



Fotografía 21 Sondeo 3



Fotografía 22 Material en Sondeo 3



Fotografía 23 verificación de vigas cimentación



Fotografía 24 Viga cimentación sobre ciclópeo



Fotografía 25 Muestra SPT

9.7.1. Caracterización Geomecánica

En el siguiente aparte se presenta la caracterización de las diferentes propiedades geotécnicas de los materiales encontrados dentro de la exploración del subsuelo, se determinó el perfil promedio del subsuelo y con base en los ensayos de laboratorio se definieron los parámetros de resistencia y deformabilidad del suelo. Dadas las características del suelo encontrado, en el laboratorio se realizaron ensayos de humedad natural, límites de consistencia, granulometría por tamizado y peso unitario con el fin de clasificar el suelo.

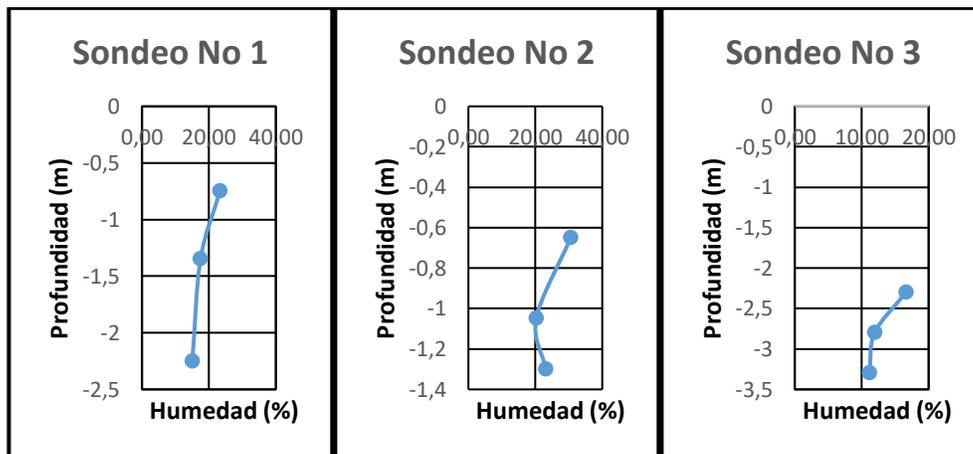
9.7.2. Ensayos de Laboratorio del Suelo

9.7.2.1. Humedad Natural

En general, se aprecian porcentajes cercanos al 20% en la totalidad de las muestras ensayadas y valores de humedad máximos de 30.57 % los cuales decrecen con la profundidad en todos los sondeos.

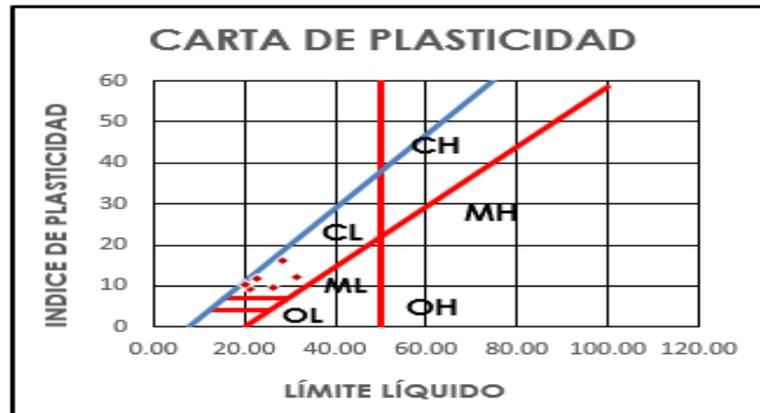
Ilustración 10

Variación De La Humedad En Función De La Profundidad



9.7.2.2. Límites de Consistencia:

De acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande, los ensayos muestran que se presentan materiales identificados como arcillas de baja plasticidad (CL).

Ilustración 11*Carta De Plasticidad*

Nota: Adaptado de (Diccionario Geotecnia, 2020)

9.7.2.3. Distribución Granulométrica.

Las muestras recuperadas presentan un predominio de partículas del tamaño fino, en este caso concuerda con las arcillas de baja compresibilidad CL.

9.7.2.4. Peso Unitario.

Los materiales presentan pesos unitarios totales de 19.07 kN/m³, teniendo presente que fueron determinados a partir de muestras alteradas tipo cuchara partida.

9.8. Caracterización del Perfil del Suelo

Con los resultados de las actividades anteriores se adelantó la interpretación y análisis de la exploración, se delimitaron y caracterizaron las diferentes capas que constituyen el perfil estratigráfico y se calcularon los parámetros de resistencia y compresibilidad del suelo.

El perfil estratigráfico encontrado en los sondeos realizados muestra variabilidad en cuanto a la distribución espacial de los materiales como se describe a continuación:

- a. Desde la superficie actual del terreno y hasta una profundidad variable promedio de 0.10 m

y 0.20 m se encuentran los acabados de pisos que varían en tipo de materiales encontrando baldosa sobre placa de concreto, placa de concreto sin material cerámico u otro tipo de acabado.

- b. Luego del estrato anterior y hasta una profundidad variable encontrándose hasta profundidades de 0.50 m a 1m se encuentra una capa de material de relleno constituido por material granular y matriz orgánica y arcillosa.
- c. Luego del estrato anterior y hasta una profundidad variable promedio de exploración de hasta 1.20 m a 2.5 m se encuentra un estrato constituido por una arcilla de color café con trazas grises, vetas de oxidación de plasticidad media a baja y consistencia firme, las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- ✓ Humedad natural (w_n): entre 17.49% y 23.14%.
- ✓ Límite Líquido (LL): entre 20.29 y 28.43
- ✓ Límite Plástico (LP): entre 9.96% y 12.38%
- ✓ Granulométrica: Gravas: 0.0%, Arenas: 15.7%, Finos: 84.3%.
- ✓ Peso unitario total (γ_t): entre 1.5 y 1.8 Tn/m³.

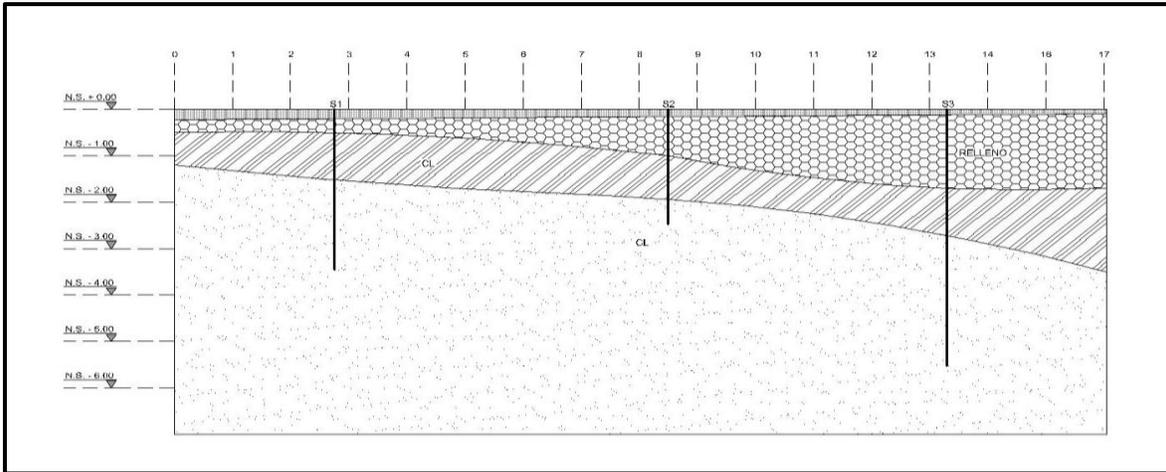
- d. A continuación del estrato anterior y hasta la profundidad máxima explorada se encuentra un estrato constituido por una arcilla de color gris con trazas amarillas, vetas de oxidación de plasticidad baja y consistencia dura que va aumentando su dureza teniendo que las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- ✓ Humedad natural (w_n): entre 11.18% y 15.04%.
- ✓ Límite Líquido (LL): entre 21.14 y 31.53
- ✓ Límite Plástico (LP): entre 12.06% y 19.38%
- ✓ Granulométrica: Gravas 0%, Arenas: 14.4%,
- ✓ Finos: 85.6%.
- ✓ Peso unitario total (γ_t): entre 1.6 y 1.9 Tn/m³.
- ✓ Cohesión: 3.5 Kpa
- ✓ Angulo: $\phi=25^\circ$

En las perforaciones realizadas no se registró nivel freático.

Ilustración 12

Perfil Estratigráfico



9.9. Aspectos Sísmicos del Subsuelo

A partir de los resultados obtenidos de la investigación del subsuelo y de acuerdo con lo establecido en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10) determinamos los siguientes aspectos:

La estructura de la edificación se clasifica dentro del **grupo de uso I**, definido de acuerdo la NSR-10 (A.2.5).

Localizando la construcción dentro de los mapas de zonificación sísmica dados en el Capítulo A.2 de la NSR-10, la zona se define como una zona de amenaza sísmica intermedia con los valores de parámetros sísmicos que se presentan a continuación:

Tabla 5

Parámetros Sísmicos

Municipio	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
BOGOTÁ	0.15	0.20	Intermedia

Nota: Adoptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010)

Para la definición del tipo de perfil de suelo se tiene en cuenta los parámetros de clasificación correspondientes a los 30 m superiores del perfil de la zona de estudio, en cuanto al valor de resistencia media al corte, velocidad de onda cortante, límites de consistencia y humedad. De acuerdo a los criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles del suelo (Tabla A.2.4-2, NSR-10), el perfil se define como tipo D.

Tabla 6

Clasificación del suelo

Tipo de Perfil	Vs	N o Nch	Su
D	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 Kpa ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)

Nota: Adoptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010) Tabla A.2.4-2

Con base en lo anterior, se determinan los siguientes valores de los coeficientes de amplificación Fa y Fv

Tabla 7

Coefficiente de Amplificación

Fa	Fv
1,2	1,6

Nota: Adoptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010)

10. Capacidad Portante y Análisis de Asentamientos

Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, características de la edificación y la cimentación encontrada, así como la resistencia del subsuelo, se establece para el análisis de fundación una cimentación de tipo superficial conformada por zapatas aisladas y conectadas entre sí con vigas de amarre.

10.1. Capacidad Portante

La evaluación de la capacidad portante se analizó a partir de las propiedades geotécnicas encontradas para el material y dado que el tipo de cimentación existente es superficial, es adecuado utilizar el método propuesto por Terzaghi el cual ofrece buenos resultados en este tipo de cimientos, y Meyerhoff para condiciones de carga no drenada el cual incluye factores de corrección por forma y profundidad de la cimentación.

Los cálculos de capacidad portante de cimentaciones superficiales por el método de Terzaghi y Meyerhof, se presentan a continuación:

Método de Terzaghi

$$Qu = 1.3 \cdot C \cdot N_c + q \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \text{ (Cimiento cuadrado)}$$

$$Qu = C \cdot N_c + q \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \text{ (Cimiento continuo)}$$

Método de Meyerhof

$$Qu = C \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d}$$

Dónde:

C	:	Cohesión del suelo
γ	:	Peso unitario del suelo
B	:	Ancho de la cimentación
Q	:	Sobrecarga del suelo sobre el nivel de cimentación ($\gamma \cdot D_f$)
N_i	:	Factores de capacidad de carga en función de ϕ (N_c, N_q, N_γ)
ϕ	:	Angulo de fricción interno del suelo
F_{is}	:	Factores de corrección por forma ($F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$)
F_{id}	:	Factores de corrección por profundidad ($F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$)

Para la evaluación de capacidad portante, se utilizó una hoja de cálculo con el fin de obtener resultados con parámetros variables como el ancho de la cimentación y generar con esto ábacos de los cimientos en función de la magnitud de las cargas esperadas. Para la determinación de la capacidad portante admisible del suelo se empleó un factor de seguridad de 3.0.

Los parámetros geotécnicos para capacidad portante son:

- ✓ Cu: 8 kPa
- ✓ Angulo de fricción: 25°
- ✓ Peso Unitario: 1.90 t/m³ (19.0 kN/m³)

Parámetros de la Cimentación

- ✓ Nivel de Cimentación (D_f): 1.0 m
- ✓ Ancho de cimentación (B): 1.0 m.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de capacidad portante para una cimentación cuadrada, utilizando el método de Terzaghi y Meyerhof.

Método De Terzaghi

La capacidad portante admisible para cimientos cuadrados se encuentra entre 183.52 kPa y 209.93 KPa, con promedio de 192.3 KPa (19.2 t/m²), para un ancho de cimentación entre 0.5 y 2.0 m

Tabla 8

Capacidad Portante Para Cimientos Cuadrados Método De Terzaghi

Cu (Kpa)	Ø (°)	B (m)	Df (m)	γ1 (KN/m3)	Nc	Nq	Nγ	Qu (KPa)	Qadm (KPa)	Padm (KPa)
8	25	0,50	1,00	19	25,13	12,72	8,34	534,72	178,24	44,56
8	25	0,75	1,00	19	25,13	12,72	8,34	550,57	183,52	103,23
8	25	1,00	1,00	19	25,13	12,72	8,34	566,42	188,81	188,81
8	25	1,25	1,00	19	25,13	12,72	8,34	582,26	194,09	303,26
8	25	1,50	1,00	19	25,13	12,72	8,34	598,11	199,37	448,58
8	25	2,00	1,00	19	25,13	12,72	8,34	629,80	209,93	839,73

La capacidad portante admisible para cimientos rectangulares se encuentra entre 160.52 kPa y 200.39 KPa, con promedio de 178.4 KPa (17.8 t/m²), para un ancho de cimentación entre 0.5 y 2.0 m

Tabla 9

Capacidad Portante Para Cimientos Rectangulares Método De Terzaghi

Cu (Kpa)	Ø (°)	B (m)	Df (m)	γ1 (KN/m3)	Nc	Nq	Nγ	Qu (KPa)	Qadm (KPa)	Padm (KPa)
8	25	0,50	1,00	19	25,13	12,72	8,34	482,34	160,78	40,19
8	25	0,75	1,00	19	25,13	12,72	8,34	502,14	167,38	94,15
8	25	1,00	1,00	19	25,13	12,72	8,34	521,95	173,98	173,98
8	25	1,25	1,00	19	25,13	12,72	8,34	541,76	180,59	282,17
8	25	1,50	1,00	19	25,13	12,72	8,34	561,57	187,19	421,17
8	25	2,00	1,00	19	25,13	12,72	8,34	601,18	200,39	801,57

Método de Meyerhof

La capacidad portante admisible para cimientos cuadrados se encuentra entre 179.4 kPa y 190.2 KPa, con promedio de 180.4 KPa (18 t/m²), para un ancho de cimentación entre 0.5 y 2.0 m

Tabla 10

Capacidad Portante Para Cimientos Cuadrados Método De Meyerhof

Cu (Kpa)	Ø (°)	B (m)	Df (m)	γ1 (KN/m3)	Nc	Nq	Nr	Qu (KPa)	Qadm (KPa)	Padm (KPa)
8	25	0,50	1,00	19	20,72	10,66	10,88	538,19	179,40	44,85
8	25	0,75	1,00	19	20,72	10,66	10,88	526,81	175,60	98,78
8	25	1,00	1,00	19	20,72	10,66	10,88	528,87	176,29	176,29
8	25	1,25	1,00	19	20,72	10,66	10,88	536,31	178,77	279,33
8	25	1,50	1,00	19	20,72	10,66	10,88	546,44	182,15	409,83
8	25	2,00	1,00	19	20,72	10,66	10,88	570,73	190,24	760,97

La capacidad portante admisible para cimientos rectangulares se encuentra entre 160.78 kPa y 200.39 KPa, con promedio de 178.4 KPa (19.2 t/m²), para un ancho de cimentación entre 0.5 y 2.0 m

Tabla 11

Capacidad Portante Para Cimientos Rectangulares Método De Meyerhof

Cu (Kpa)	Ø (°)	B (m)	L (m)	Df (m)	γ1 (KN/m3)	Nc	Nq	Nr	Qu (KPa)	Qadm (KPa)	Padm (KPa)
8	25	0,50	1,0	1,00	19	25,13	12,72	8,34	482,34	160,78	40,19
8	25	0,75	1,0	1,00	19	25,13	12,72	8,34	502,14	167,38	94,15
8	25	1,00	1,5	1,00	19	25,13	12,72	8,34	521,95	173,98	173,98
8	25	1,25	1,5	1,00	19	25,13	12,72	8,34	541,76	180,59	282,17
8	25	1,50	2,0	1,00	19	25,13	12,72	8,34	561,57	187,19	421,17
8	25	2,00	2,5	1,00	19	25,13	12,72	8,34	601,18	200,39	801,57

10.2. Análisis de Asentamientos

En la inspección no se determinaron muestras visibles de asentamientos sin embargo se calcula teniendo en cuenta las nuevas cargas que pueda aportar la ampliación.

Para el cálculo del asentamiento que generara la estructura, dada la tipología de material se establece el correspondiente análisis, y de acuerdo a la teoría de deformaciones en materiales finos se tiene en cuenta que las deformaciones a presentar en la estructura están dadas por la suma de asentamiento por deformación elástica y asentamiento por consolidación primaria, descartando el componente por consolidación secundaria de acuerdo a la siguiente expresión:

$$S_T = S_e + S_{cp} + S_{cs}$$

Donde:

S_T : Asentamiento Total

S_e : Asentamiento Elástico

S_{cp} : Asentamiento por consolidación primaria

S_{cs} : Asentamiento por consolidación secundaria

La expresión que utilizaremos

$$S_e = q_0(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f^{*0.93}$$

Donde:

q_0 : presión neta aplicada sobre la cimentación.

α : 4 (Factor de ubicación de cálculo).

B' : factor de corrección por ancho de cimentación.

μ_s : Relación de Poisson del suelo

E_s : Modulo de elasticidad promedio del suelo bajo la cimentación.

I_s : Factor de Forma (Steinbrenner, 1934)

I_f : Factor de profundidad (Fox, 1984)

De igual manera de acuerdo a la tipología de material encontrado este corresponde a un material normalmente consolidado, por lo tanto, para determinar el asentamiento por consolidación primaria se tiene en cuenta la siguiente expresión:

$$\delta_c = \sum \frac{C_c * H_c}{1 + e_0} * \log_{10} \left(\frac{\sigma'_o * \Delta\sigma}{\sigma'_o} \right)$$

Donde:

C_c : Índice de compresión

H_c : Espesor del estrato de compresible

e_0 : Relación de vacíos inicial.

σ'_c : Presión efectiva promedio del estrato.

Δ_c : Incremento de la presión causado por la cimentación

Por lo tanto, en las siguientes tablas, se muestra los resultados de asentamiento elástico a tener en cuenta en los cimientos cuadrados y rectangulares.

Para una cimentación cuadrada rígida, los asentamientos inmediatos en función de la carga varían entre 10 mm y 66 mm para una zapata de 1x1, en un ancho de cimentación comprendido entre los 0.5 m y 2.0 m.

Tabla 12

Asentamiento elástico Para Cimientos Cuadrados

Ancho (m)	Profundidad. (m)	Asentamiento elástico en mm, según condiciones de la carga				
		Carga aplicada en (kN)				
		100	200	300	500	700
0,50	1,0	15	27	43	67	92
0,75	1,0	13	23	34	56	79
1,00	1,0	10	19	28	47	66
1,25	1,0	8	16	24	40	56
1,50	1,0	7	12	18	29	41
2,00	1,0	5	9	13	22	35

Para una cimentación rectangular rígida, los asentamientos inmediatos varían entre 10 mm y 66 mm para una zapata de 1x1, en un ancho de cimentación comprendido entre los 0.5 m y 2.0 m.

Tabla 13

Asentamiento elástico Para Cimientos Cuadrados

Dimensiones (m)			Profundidad. (m)	Asentamiento elástico en mm, según condiciones de la carga				
				Carga aplicada en (kN)				
				100	200	300	500	700
0,50	*	0,75	1,0	12	23	38	60	83
0,75	*	1,00	1,0	10	19	29	49	70
1,00	*	1,25	1,0	9	18	23	40	57
1,25	*	1,50	1,0	7	14	19	33	47
1,50	*	1,75	1,0	6	11	13	22	32
1,75	*	2,00	1,0	4	7	8	15	26

En las anteriores tablas se presentan los valores estimados para diferentes cargas, sin embargo, se presentan una serie de resultados, los cuales en el momento de realizar el análisis estructural deben ser verificados en función de las cargas reales que serán aplicadas.

10.3. Conclusiones y Recomendaciones de Análisis del Suelo

Las características de los suelos encontrados en el sitio de estudio permiten establecer una serie de conclusiones y recomendaciones que se deben tener en cuenta en el transcurso de la evaluación e intervención de la estructura.

- a.** El suelo que sirve de apoyo a la estructura, corresponde según la clasificación unificada de suelos a un suelo CL, arcilla de baja plasticidad consistencia media.

- b.** El nivel de cimentación se establece en 1.00 metro bajo el nivel final actual de la edificación, esto fue verificado en las excavaciones y se determinó que están sobre el material de arcilla antes mencionado; en esta profundidad se determinó el valor de capacidad portante.

- c.** La capacidad portante se calculó para diferentes dimensiones de la cimentación, con el fin que si la estructura requiere cambio de sección se seleccione la opción más apropiada según las cargas que presente, en la investigación del subsuelo no se encontró la presencia de niveles de aguas freáticas, condición que fue tomada en cuenta para el análisis.

11. Ensayos Realizados al Concreto de la Estructura

11.1. Resistencia a la Compresión del Concreto

Con el fin de determinar la resistencia a compresión del concreto, se han realizado ensayos de compresión sobre núcleos extraídos de los elementos estructurales, siguiendo el proceso descrito en la norma ASTM C-42-94; la ubicación de los núcleos se presenta en la tabla siguiente.

A continuación, se presentan los resultados de concretos para la estructura correspondiente al estudio, tanto para columnas y vigas.

Tabla 14

Resultados de Resistencia a Compresión del Concreto

Núcleo	Elemento	Eje	Resistencia. Kg/ cm²
1	Columna	A-2	185
2	Columna	D-3	201
3	Columna	E-2	196
4	Viga	D-(1-2)	198
5	Viga Cimentación	3(C-D)	183
6	Viga	3(A-B)	197

Ilustración 13

Registro Fotográfico Ensayos Realizados



Fotografía 26 Cilindro con regular gradación y algunos sobre tamaños



Fotografía 27 Tamaño máximo de los agregados gruesos de 7/8"



Fotografía 28 Muestras después de ensayo de carbonatación



Fotografía 29 Muestra fallada durante el proceso de extracción

11.2. Ensayo de Carbonatación

De los resultados del ensayo de carbonatación, presentados se evidencia un concreto de buena durabilidad ante los efectos de la carbonatación, en consecuencia, el acero de refuerzo aun no presenta lesiones ocasionadas por la corrosión.

El ensayo de carbonatación consiste en aplicar fenolftaleína al concreto para evidenciar presencia de concreto carbonatado, la fenolftaleína es un reactivo líquido para medir PH que

toma un color púrpura en concretos sanos e incoloro en concretos carbonatados, el concreto es un medio alcalino con un PH aproximadamente de doce (12), que recubre y protege al acero de refuerzo de los agentes del medio ambiente.

La carbonatación se produce cuando se presenta la acción de cloruros, sulfatos o dióxido de carbono en el concreto, esto genera una reacción química que deja como consecuencia porosidad del concreto y afecta la protección del concreto al acero, iniciando así procesos de corrosión en el acero de refuerzo al quedar expuesto a los agentes del medio ambiente.

Por otra parte, el concreto carbonatado pierde las características de resistencia con el paso del tiempo ya que es similar a un cáncer que debilita la estructura es decir es una degradación química del concreto.

Tabla 15*Resultados de Carbonatación*

Elemento	Eje	Profundidad de carbonatación en mm
Columna	A-2	20
Columna	D-3	15
Columna	E-2	18
Viga	D-(1-2)	20
Viga cimentación	3(C-D)	15

11.2.1. Análisis de Resultados de los Ensayos con Fenolftaleína

De acuerdo a los ensayos de carbonatación realizados a los núcleos de concreto se tiene lo siguiente:

Según lo enunciado en otra investigación por (Otalora Suarez , 2013) “Las muestras presentan una carbonatación con valores desde los 15 mm alcanzando valores máximos de 20 mm de profundidad, estos resultados desde el punto de vista estructural indican una durabilidad aceptable de los concretos ante los efectos de la carbonatación, en consecuencia, el acero de refuerzo aun no presenta lesiones ocasionadas por la corrosión, toda vez que el promedio de la profundidad de carbonatación de los elementos de concreto es de 15 mm y que la mayoría de los elementos tienen un recubrimiento de 30 mm”.

$$X = K * \sqrt{t} \text{ ley de fick}$$

Dónde:

K: Coeficiente que engloba todas las características del concreto penetrado y la agresividad del ambiente.

X: Carbonatación (mm).

t₁: Edad aproximada de la edificación

12. Patología Estructural de la Edificación

12.1. Inspección Visual de la Estructura y Calidad de los Materiales

Durante la inspección visual de la estructura se pudo evidenciar que:

- En general las secciones de columnas son cuadradas de 20x20cm; el refuerzo es con barras longitudinales de acero corrugado #4.
- El refuerzo transversal de columnas está conformado por flejes #3 corrugados con separaciones de 20cm en zonas de confinamiento y 20cm en el centro de la longitud, por lo cual no se cumplen los parámetros de diseño del código NSR-10.
- Las secciones de vigas son de 20x20cm, el refuerzo es con barras longitudinales de acero corrugado #4, en cuanto al refuerzo transversal se presentan flejes #3 corrugados con separaciones de 20cm en zonas de confinamiento y 20cm en el centro de la luz por lo cual no se cumplen los parámetros de diseño del código NSR-10.

13. Trabajo de Oficina

13.1. Modelación Estructural

“El modelamiento de la edificación, se realizó utilizando el programa de elementos finitos SAP 2000, teniendo en cuenta el sistema estructural que presenta la edificación, su estado actual y las diferentes cargas a la que está sometida” según (Otalora Suarez , 2013). Lo anterior se indica en la tabla 16.

Tabla 16

Descripción Estructural (Estado Actual)

Ítem	Nº De Pisos	Sistema Estructural (Actual)
Vivienda	1	Pórticos de concreto resistentes a momentos

Esta edificación será modelada según lo indicado por (Otalora Suarez , 2013) “con el fin de establecer los índices de sobreesfuerzos y flexibilidad tanto por derivas como por deflexiones”. Este cálculo se hará con la supuesta ampliación que quiere realizarse siguiendo la misma geometría y secciones de los elementos del primer piso.

13.2. Bases de Cálculo

Para llevar a cabo el modelo y análisis de la estructura, los índices de flexibilidad fueron calculados a partir del espectro de diseño (derivas), por otra parte, el cálculo de los índices de vulnerabilidad teniendo en cuenta los sobreesfuerzos en cada elemento, se realizó solamente para el espectro de diseño.

13.3. Modelo Matemático

Esta estructura se modeló de acuerdo a las condiciones que pueda tener con la ampliación propuesta, teniendo en cuenta la geometría de la estructura de acuerdo al levantamiento estructural y teniendo en cuenta las cargas presentes y futuras en la edificación.

13.4. Propiedad de los Materiales

Con base en las acciones realizadas y la inspección en los elementos se han determinado las propiedades mecánicas de los materiales, de acuerdo al estado actual, calidad de construcción y época de construcción, por lo tanto, se presentan los siguientes valores adoptados para los elementos de las estructuras:

Tabla 17

Resumen Propiedades Materiales Utilizados

Ítem	Nivel	f'_c (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	f_y longitudinal (kg/cm ²)	f_y transversal (kg/cm ²)
Vivienda	1	193	209775.90	4200	4200
	2	210	218819.78	4200	4200

Los valores de resistencia a la compresión del concreto (f'_c) están basados para el primer piso en el promedio de los resultados de los núcleos fallados y para el segundo nivel la resistencia se asume de 21 MPa.

13.5. Parámetros de Calidad de Diseño y Construcción

13.5.1. Calificación de las Estructuras.

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019)“Con el fin de determinar la resistencia efectiva de los elementos, ha sido necesario dar una calificación a la estructura tanto por la calidad de diseño y construcción, como por el estado en que se encuentra”, teniendo en cuenta la inspección de campo realizada. La calificación de estos dos aspectos se presenta a continuación:

Tabla 18

Coefficientes de Reducción de Resistencia Estructuras

Ítem	Nivel	Estado del Sistema Estructural	Factor de Reducción
Vivienda	1 Estructura existente	Diseño y construcción: Buena	$\phi_c = 1.0$
		Estado estructura: Buena	$\phi_e = 1.0$
	2 Estructura nueva	Diseño y construcción: Se asume buena.	$\phi_e = 0.8$
		Estado estructura: Se asume buena.	$\phi_e = 0.8$

Estos factores de reducción son los que permiten calcular la resistencia efectiva, utilizando la siguiente ecuación:

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

Dónde:

N_{ef} = Resistencia efectiva

ϕ_c = Coeficiente de reducción de resistencia por calidad de diseño y construcción de la estructura.

ϕ_e = Coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura.

N_{ex} = Resistencia existente.

Para concreto reforzado la resistencia existente de la estructura se define como la máxima capacidad de los elementos estructurales para resistir solicitaciones individuales o combinadas de

momentos flectores, fuerzas cortantes y axiales, de acuerdo con la geometría de los elementos y las características mecánicas de los materiales que la conforman.

La resistencia efectiva de los elementos se determinará afectando el N_{ef} de los momentos nominales de resistencia de vigas y columnas por el producto entre ϕ_c y ϕ_e .

13.5.2. Parámetros Sísmicos de Diseño y Ubicación en el Mapa de Zona de Amenaza Sísmica

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Para hacer el análisis de la vulnerabilidad ante eventos sísmicos se ha utilizado el método de análisis dinámico elástico espectral, en donde se ha determinado el espectro de diseño mediante los coeficientes espectrales proporcionados por el reglamento NSR-10”.

En la Tabla 19 se presentan los coeficientes utilizados en la generación del espectro de diseño de acuerdo a los parámetros sísmicos.

Tabla 19

Coefficientes Espectrales de Diseño

TIPO DE SUELO: Tipo D		
PARAMETRO	VALOR	DESCRIPCION
Aa=	0.10 g	Aceleración horizontal pico efectiva de diseño
Av=	0.15 g	Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño
Fa=	1.60	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos
Fv=	2.25	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios
I=	1.10	Coefficiente de importancia (GRUPO II). DISEÑO
I=	1.00	Coefficiente de importancia (GRUPO I). DERIVAS
T0=	0.21 s	Periodo inicial para la zona de aceleraciones constantes
Tc=	1.01 s	Periodo corto
Tl=	5.40 s	Periodo largo
Sa=	0.440 g	Aceleración espectral MAXIMA (g)

Nota: Adoptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010)

Dónde:

Período de vibración aproximado (T_a): Se adquiere a partir de las propiedades de resistencia sísmica en la dirección bajo consideración de acuerdo a la dinámica estructural. Este valor se ha determinado a partir de la ecuación proporcionada por la norma NSR-10:

$$T_a = C_t h_n^{0.9}$$

Período fundamental del edificio determinado según A.4.2 (NSR-10):

$$T = C_u * T_a$$

Donde C_u y T_a se calculan por medio de las ecuaciones descritas en la NSR-10:

$$C_u = 1.75 - 1.2 A_v * F_v$$

Donde:

A_v : Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño

F_v : Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios

C_T : Coeficiente para calcular el módulo de la estructura y es igual a 0,047 para pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado

h_n : Altura total del edificio

Nota: El valor de T no puede exceder el máximo de $C_u * T_a$ y C_u no puede ser menor de 1.2

Ilustración 14

Espectro de diseño

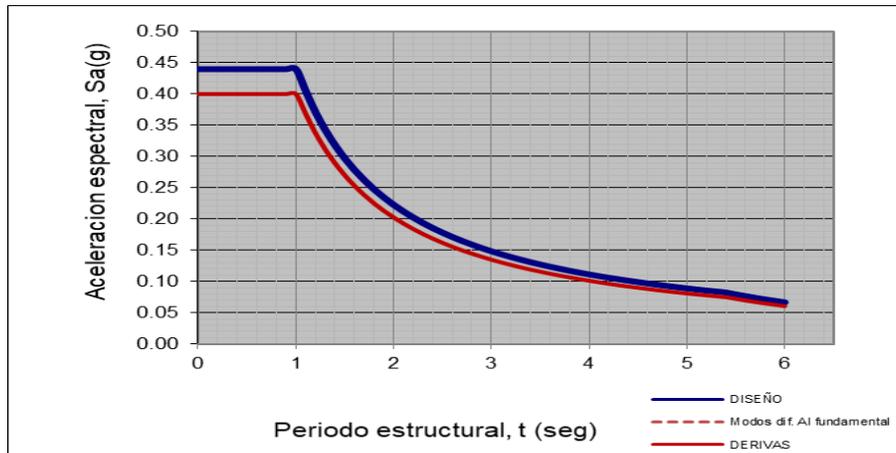


Tabla 20

Periodo de la Estructura

Ítem	N° de Pisos	Nsr-10		Vulnerabilidad (Modelo Computacional)	
		Ta (S)	T (S)	Tx (S)	Ty (S)
Vivienda	2	0.240	0.322	0.427	0.432

13.6. Coeficientes de Disipación de Energía

Se logró determinar que la estructura tiene un sistema estructural de pórticos de concretos resistentes a momentos, de acuerdo al levantamiento y exploraciones realizadas se cumplen parcialmente los requerimientos de una estructura DMO, por lo tanto, el valor asumido para el coeficiente básico de capacidad de disipación de energía (R'_{o}) es de 5.

De igual forma se tuvo en cuenta lo mencionado en capítulo A.10.4.2.4 párrafo (b) “Cuando no se disponga de buena información sobre el diseño original, o ésta sea incompleta o fragmentada, el ingeniero que lleve a cabo la evaluación debe definir un valor de R' de acuerdo con su mejor criterio”. Acorde a esto y teniendo en cuenta la información obtenida de las

actividades de campo y en los ensayos de laboratorio el valor adoptado para las estructuras fue el siguiente:

$$R_o = 5.0 \text{ (capítulo A-3 NSR-10) DMO}$$

$$R'o = 4.0 \text{ (Adoptado vulnerabilidad)}$$

Para la estructura en estudio se han considerado diferentes factores de reducción del coeficiente de disipación de acuerdo a:

$$(R' = R'o \times \phi_a \times \phi_p \times \phi_r)$$

Tabla 21

Coficiente de Disipación de Energía

Ítem	Nº De Pisos	R _o	R _o '	Ø _p	Ø _a	Ø _r	R'
Vivienda	2	5.0	4.0	0.90	1.00	1.00	3.60

13.7. Combinaciones de Carga

13.7.1. Combinaciones Para Derivas

Para la verificación de las derivas obtenidas de las deflexiones horizontales causadas por el sismo de diseño, deben utilizarse los requisitos del Capítulo A.6 de la Norma NSR-10, los cuales exigen que las derivas se verifiquen para las fuerzas sísmicas $F_s=S$, en cualquiera de las direcciones en estudio, sin haber sido divididas por R.

Comb1 – 1.4 D

Comb2 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 L_r

Comb3 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 G

Comb4 – 1.2 D + 1.6 L_r + 1 L

Comb5 – 1.2 D + 1.6 G + 1.0 L

Comb6 – 1.2 D ± 1.0 S_x + 1.0 L

Comb7 – 1.2 D ± 1.0 Sy + 1.0 L

Comb8 – 0.9 D ± 1.0 Sx

Comb9 – 0.9 D ± 1.0 Sy

13.7.2. Combinaciones Para Diseño

Las combinaciones de carga utilizadas para el análisis de las estructuras son las siguientes según (Otalora Suarez , 2013) así:

Tabla 22

Combinaciones de Carga Utilizadas

DISEÑO A FLEXION Y FLEXOCOMPRESIÓN	DISEÑO A CORTANTE
<p>Comb1 – 1.4 D Comb2 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 Lr Comb3 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 G Comb4 – 1.2 D + 1.6 Lr + 1 L Comb5 – 1.2 D + 1.6 G + 1.0 L CMD6 – 1.2 D ± 1.0 Ex + 1.0 L CMD7 – 1.2 D ± 1.0 Ey + 1.0 L CMD8 – 0.9 D ± 1.0 Ex CMD9 – 0.9 D ± 1.0 Ey</p> <p>Para el diseño de vigas se utilizó la envolvente de diseño de todos los combos anteriores. ENVDIS.</p> <p>Para el diseño de columnas se utilizaron todas las combinaciones por separado.</p>	<p><u>DISEÑO DE VIGAS</u> Comb1 – 1.4 D Comb2 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 Lr Comb3 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 G Comb4 – 1.2 D + 1.6 Lr + 1 L Comb5 – 1.2 D + 1.6 G + 1.0 L CMV6 – 1.2 D ± 2.0 Ex + 1.0 L CMV7 – 1.2 D ± 2.0 Ey + 1.0 L CMV8 – 0.9 D ± 2.0 Ex CMV9 – 0.9 D ± 2.0 Ey</p> <p>Para el diseño de vigas se utilizó la envolvente de diseño de todos los combos anteriores. ENVVIG.</p> <p><u>Diseño De Columnas</u> Comb1 – 1.4 D Comb2 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 Lr Comb3 – 1.2 D + 1.6 L + 0.5 G Comb4 – 1.2 D + 1.6 Lr + 1 L Comb5 – 1.2 D + 1.6 G + 1.0 L CMC6 – 1.2 D ± 3.0 Ex + 1.0 L CMC7 – 1.2 D ± 3.0 Ey + 1.0 L CMC8 – 0.9 D ± 3.0 Ex CMC9 – 0.9 D ± 3.0 Ey</p>

	Para el diseño de columnas se utilizó la envolvente de diseño de todos los combos anteriores. ENVCOL.
--	---

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Es necesario reducir la fuerza sísmica (F_s) dividiéndola por el coeficiente de capacidad de disipación de energía y multiplicando por el coeficiente de sobre-resistencia”:

$$E = \frac{F_s}{R} \Omega$$

Teniendo así:

F_s : Fuerza sísmica

R: Coeficiente de capacidad de disipación de energía

Ω : coeficiente de sobre-resistencia

Para el diseño a CORTANTE DE COLUMNAS se tiene un valor de $\Omega = 3.00$

$$E = \frac{F_s}{R} * 3$$

Para el Diseño a Cortante de Vigas se considera E como el doble

$$E = \frac{F_s}{R} * 2$$

Lo anterior para los valores utilizados en las combinaciones para el cálculo de diseño.

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019)“Para las cargas sísmicas se tuvo en cuenta la consideración del 100% del sismo en un sentido y 30% en el otro sentido”.

13.8. Valoración de Cargas

Según (Borda & Manrique Blanco, 2019)“Se han evaluado todas las cargas que pueden afectar la estructura, teniendo en cuenta el uso que se le dará”.

13.8.1. Carga Muerta

Según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019)“Para determinar esta carga se ha tenido en cuenta el peso de los elementos no estructurales, al igual que todos los acabados, tanto de piso como de cielorraso, muros y fachada, el peso propio correspondiente a los elementos estructurales lo calcula automáticamente el programa”.

13.8.2. Carga Viva

Según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019) “La carga viva se ha seleccionado de los valores proporcionados por la norma NSR-10, teniendo en cuenta el uso que se le dé a la edificación; para este caso se ha tomado la carga de 200 kg/m² vivienda, 500 kg/m² sala y comedor, 600 kg/m² lavado y zonas comunes, 300 kg/m² para corredores y escaleras, y finalmente para la cubierta un valor de 180kg/m² y 50kg/m², los anexos presentan de manera detallada los valores de las cargas vivas existentes en cada uno de los pisos que conforman la estructura, con lo cual se ha cargado el respectivo modelo”.

Tabla 23

Distribución Cargas Vivas

Distribución de Cargas Vivas				
Ítem	N° De Pisos	Uso	Niveles	Cubierta
Vivienda	2	Habitación Corredores y escaleras Sala y comedor Lavado y zonas comunes	200 kgf/m ² 300 kgf/m ² 500 kgf/m ² 500 kgf/m ²	50 kgf/m ² 180 kgf/m ²

13.8.3. Cargas de Viento

No se considera este tipo de cargas ya que las estructuras son de concreto, de poca altura y rígidas, en donde la carga de viento no es crítica, por otra parte, estas edificaciones no poseen estructura metálica de cubierta que requiera de estas cargas. Finalmente se considera que las cargas de sismo son más críticas y por ende no se ha considerado el viento.

13.9. Solicitudes Sísmicas

Según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Por medio del programa de análisis, se han determinado estas solicitaciones, el cual introduce una aceleración a los elementos de la estructura y con base en las fuerzas inerciales calculadas se obtienen las fuerzas internas de los elementos que conforman la estructura”.

13.10. Índices de Vulnerabilidad Sísmica

Estos índices permiten determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

13.10.1. Índices de Flexibilidad

Según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019) “Los índices de flexibilidad se han determinado para los efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas y las permitidas por el reglamento; igualmente se ha determinado un índice de flexibilidad para efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales obtenidas mediante análisis y las permitidas por la norma NSR-10”.

A continuación, se presentan los esquemas e índices de flexibilidad de la estructura a manera de resumen por derivas en diseño (los datos completos de la estructura modelada se presentan en los anexos):

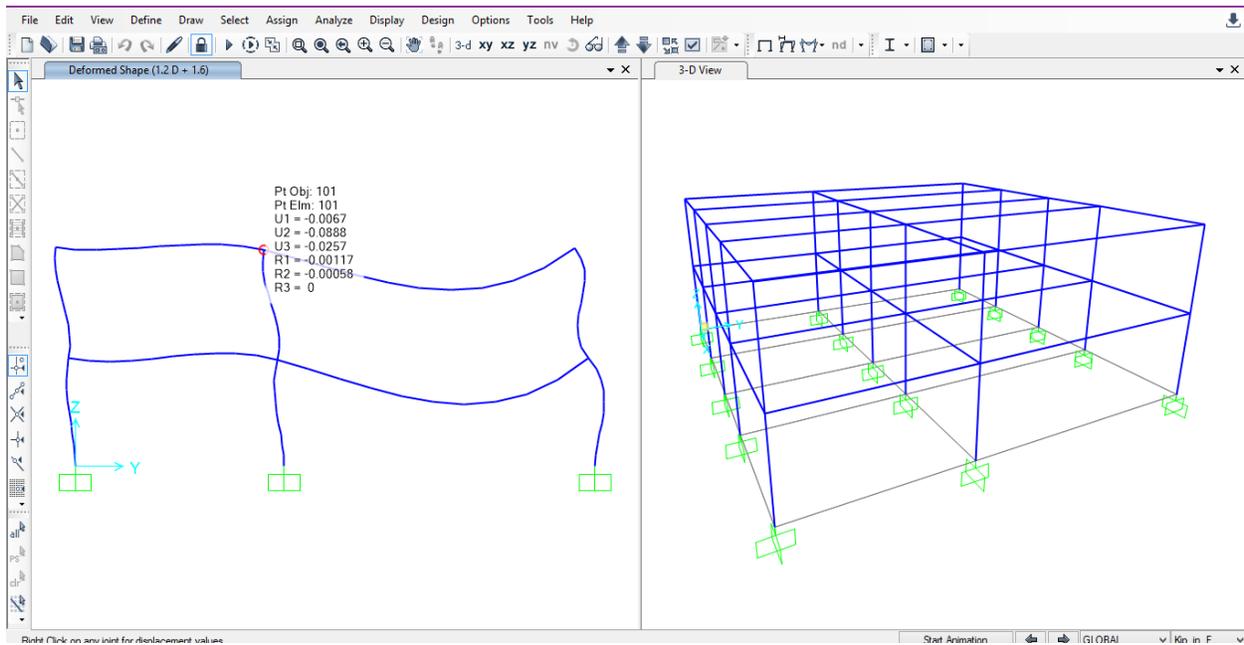
Tabla 24

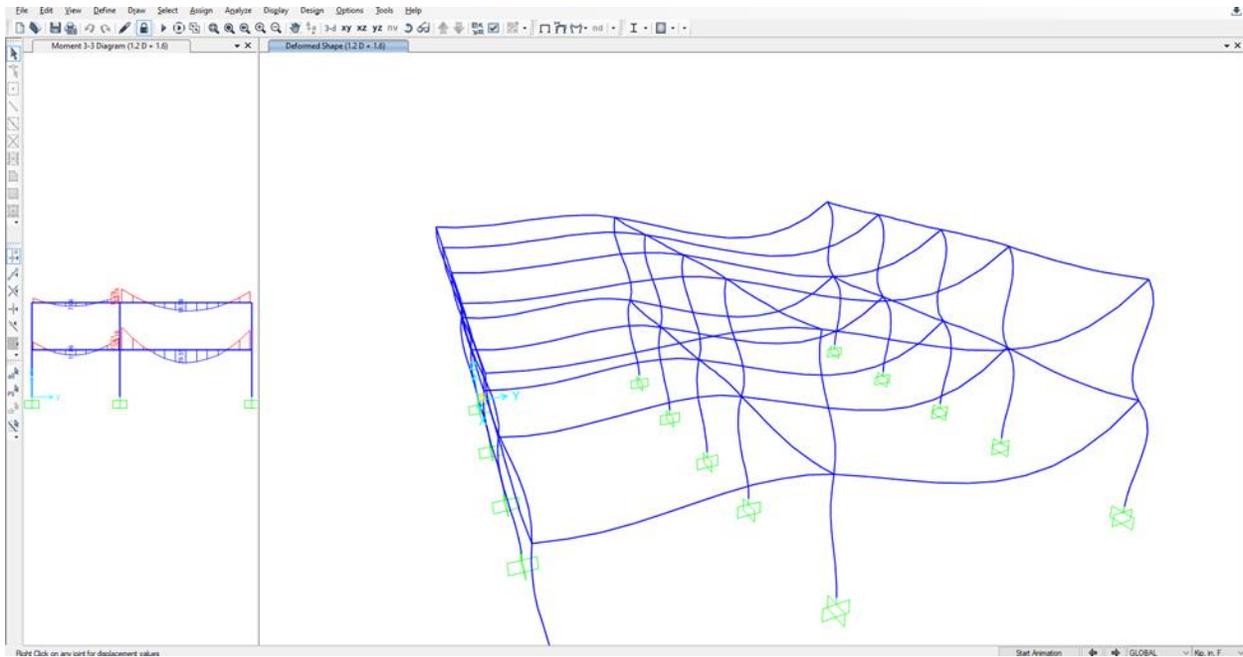
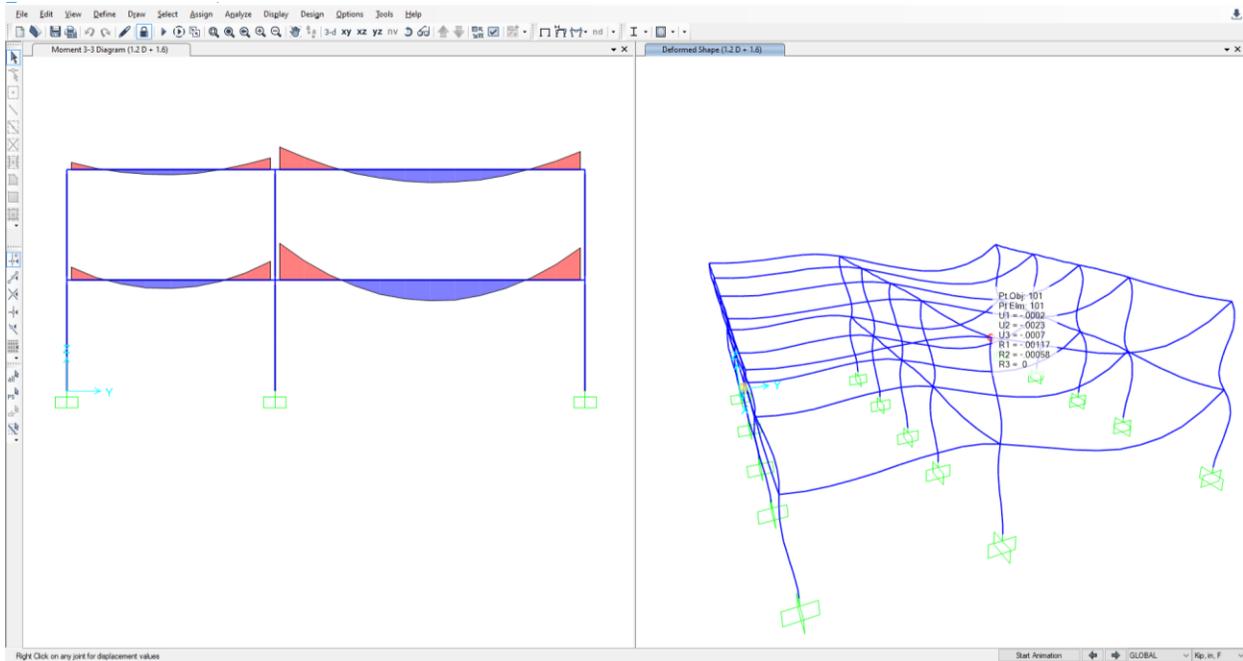
Resumen Índices de Flexibilidad

Ítem	N° de Pisos	Derivas Espectro de Diseño (If)	Deflexiones Verticales (If)	Observación
Vivienda	2	0.0023	0.0257	CUMPLE

Ilustración 15

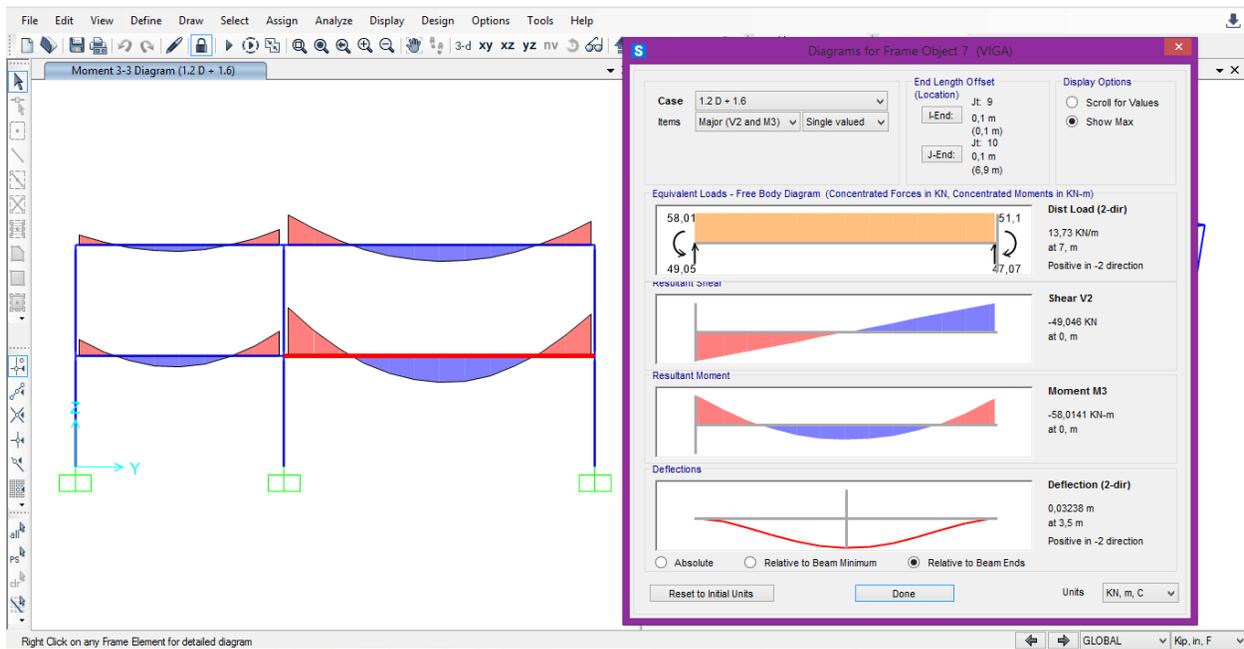
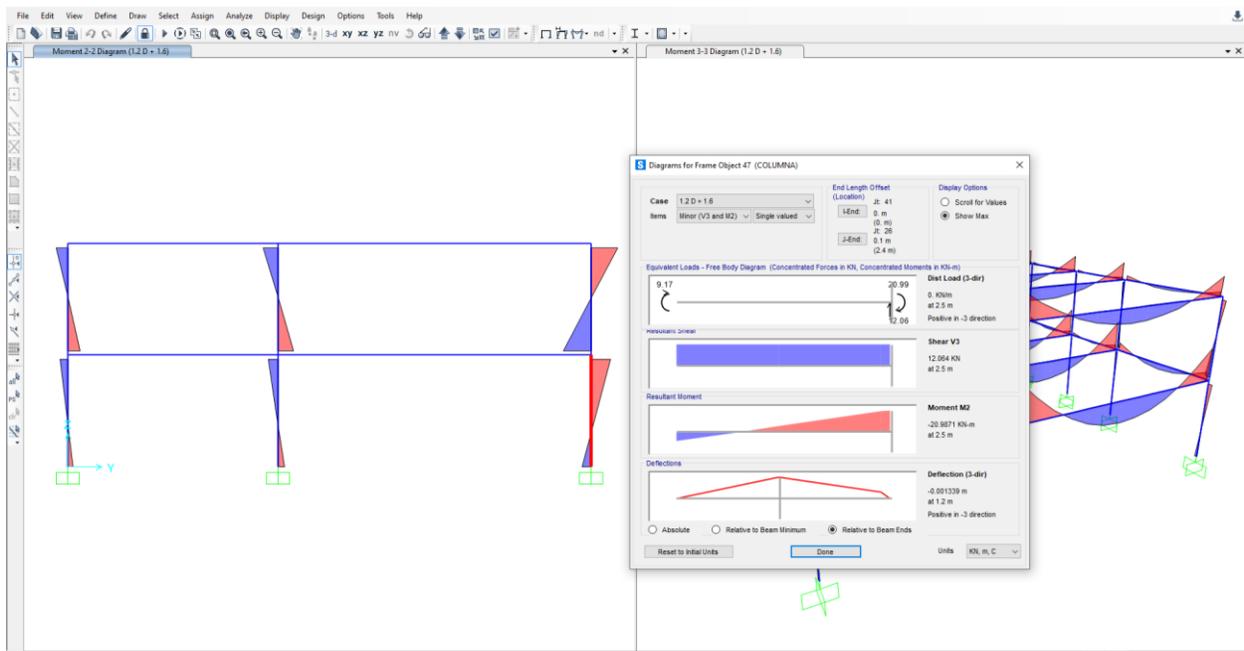
Modelación





Se evidencia un cumplimiento en cuanto a derivas de la estructura, sin embargo, se deben considerar las condiciones cercanas al límite que se presentan, posiblemente por la excesiva elasticidad de los elementos, lo cual se considera puede obedecer al dimensionamiento de los elementos estructurales tanto horizontales como verticales.

Ilustración 16
Modelación Deformación Máxima



Como se evidencia en el modelo, la deformación máxima en elementos verticales (Columnas) es de 0.001339 m, mientras que en elementos horizontales (Vigas) es de 0.03238 m, lo cual es considerablemente alto, teniendo en cuenta los límites expuestos en C.9.5(b) para

elementos de entrepiso o cubiertas ligados a elementos no estructurales susceptibles de daño. Donde la deflexión máxima admisible, será $L/480$.

Según informe de levantamiento de campo se evidencian daños en los muros existentes lo cual es acorde a las deflexiones en elementos estructurales en combinación con un posible sistema constructivo, que no consideró dilataciones que permitieran un movimiento natural en la estructura, por lo cual dichos muros deben ser reemplazados en su totalidad.

Se debe considerar que este comportamiento es acorde como se mencionó, a las dimensiones de los elementos estructurales los cuales son de 0.2 m x 0.2 m, dimensiones asignadas de forma arbitraria sin tener en cuenta las condiciones de carga, longitud de vanos y proyección de ampliación; con base en esto, se considera acertado implementar el uso de muros fabricados en mampostería estructural en los diversos vanos, los cuales aportaran capacidad portante al sistema actual y permiten un mejor comportamiento ante solicitaciones como cargas vivas, cargas de sismo y otros eventos con potencial para dañar el conjunto de elementos estructurales y no estructurales

Adicional a esto se tiene que los elementos en mampostería estructural según la ubicación del proyecto constituyen una solución además de técnica, económicamente viable ya que en dicho sector la consecución de elementos de mampuesto tanto de arcilla como de concreto facilitan las obras de reforzamiento.

13.10.2. Índices de Sobre esfuerzo

Los índices de sobre esfuerzo no fueron posibles calcularlos ante la imposibilidad de acceder al programa DC-CAD, el cual diseña las secciones utilizando el modelo de WHITNEY, que se basa en considerar la sección de concreto reforzado en su estado límite de resistencia como una sección compuesta de acero a tracción en su punto de fluencia y de concreto con un esfuerzo máximo equivalente de resistencia a los 28 días a la compresión uniaxial de un cilindro de concreto simple.

14. Análisis de Vulnerabilidad

De acuerdo a la calidad de los materiales, secciones, resistencias, distribución de refuerzos y geometría de las edificaciones, se cumplen parcialmente los requisitos establecidos para sistemas estructurales de moderada capacidad de disipación de energía (DMO), sin embargo, la estructura presenta las siguientes características:

Para la estructura existente.

- Bajo cargas de servicio la estructura es estable.
- Se presentan resistencias a la compresión de los concretos ensayados, con un valor promedio de 193 kg/cm².
- La estructura del primer nivel fue construida bajo los parámetros sísmicos del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (Decreto Ley 1400 de 1984).
- El cálculo de las derivas y deflexiones de la estructura indica que la edificación posee la suficiente rigidez ante el sismo de diseño y ante las cargas de servicios.
- En conclusión, este nivel de la estructura presenta un **Nivel Bajo de Vulnerabilidad Sísmica**.

14.1. Diagnóstico del Estado Actual de la Estructura y Condiciones Para Soportar Sismos

Para la estructura analizada de acuerdo con la exploración, patología y análisis de vulnerabilidad se puede concluir lo siguiente:

14.1.1. Primer Nivel – Estructura Año 1994

Los índices para cargas de servicio son inferiores a la unidad, por lo que se puede decir que la estructura es estable mientras no ocurran sismos importantes.

Las derivas calculadas para el sismo de diseño son inferiores a la unidad, por lo que no es necesario rigidizar la estructura en ese aspecto.

Algunas vigas de entrepiso presentan índices de sobreesfuerzo superiores a la unidad, por lo que es necesario reforzarlas.

No se cumple la normativa en cuanto al concepto de columna fuerte – viga débil dado en el apartado C.21.3.6 del reglamento NSR-10, por lo que es necesario encamisar las columnas para darles mayor resistencia.

La calidad y resistencia a la compresión del concreto (F'_c), para la estructura construida originalmente en el año 1994 es en promedio de 193 kg/cm^2 , valor que se encuentra por debajo de los 21 MPa.

Con base en los análisis realizados en el capítulo de patología, los muros no estructurales del primer nivel presentan fisuras y grietas causadas por pequeños asentamientos. Estos muros construidos en mampostería no reforzada no tienen la capacidad de soportar las tensiones producidas por el movimiento del suelo.

En conclusión, el primer piso de la estructura demuestra un nivel moderado de vulnerabilidad sísmica, y según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019) ya que no cumplen en su totalidad con la capacidad de soportar las cargas dinámicas laterales impuestas por el sismo de diseño.

15. Alternativa de Intervención

De acuerdo al análisis de vulnerabilidad sísmica y a las patologías de la estructura, se indican a continuación las alternativas de intervención adoptadas para el cumplimiento del reglamento NSR-10 para el uso proyectado de la edificación.

15.1. Intervención del Sistema Estructural (Alternativas de Reforzamiento)

Una vez realizado el análisis de vulnerabilidad, se concluyó que la estructura no cumple en su totalidad con los requisitos mínimos contemplados en el código de sismo resistencia correspondiente al año 2010 (NSR-10) según lo anunciado por (Borda & Manrique Blanco, 2019).

De acuerdo a lo anterior es necesario realizar las siguientes intervenciones:

Se debe ejecutar la **construcción de la ampliación siguiendo las normas descritas en la NSR-10.**

En el primer nivel según el reglamento NSR-10, título C, numeral “C.5.6.5 Investigación de los resultados de ensayos con baja resistencia”, el concreto se considera estructuralmente adecuado si el promedio de la resistencia obtenida de los ensayos de laboratorio a la compresión es por lo menos igual al 85% de $f'c$ y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de $f'c$.

A continuación, se extrae el artículo de la norma NSR-10:

Ilustración 17

Apartado C.5.6.5 del título C de la NSR-10.

C.5.6.5 — Investigación de los resultados de ensayos con baja resistencia

C.5.6.5.4 — El concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85 por ciento de f'_c , y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75 por ciento de f'_c .

Nota: Adoptado de (Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2010)

Teniendo en cuenta lo anterior el reglamento NSR-10, título C, numeral “C.21.1.4 Concreto en estructuras con capacidad de disipación moderada de energía (DMO)”, exige una resistencia mínima a la compresión del concreto de f'_c no menor de **210kg/cm² (21MPa)**, es decir:

Resistencia de diseño requerida según C.21.1.4	210 kg/cm ² (21MPa)
Resistencia de diseño mínima según C.5.6.5.4 (85%)	178.5kg/cm ² (17.85MPa)
<u>Resistencia del concreto obtenida de los ensayos</u>	<u>193 kg/cm² (19.3MPa)</u>

19.3 MPa > 17.85 MPa **CUMPLE NSR-10!**

Se plantea el **encamisado de columnas y vigas del primer piso** según la nueva distribución de cargas.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

15.1.1. Encamisado de Columnas

Se plantea el encamisado de columnas para subsanar los problemas planteados en el capítulo diagnóstico de la estructura para soportar sismos; el procedimiento que se debe seguir es demoler perimetralmente las columnas a encamisar (según sección de encamisado) hasta

encontrar aceros y posteriormente encamisar perimetralmente colocando refuerzo longitudinalmente y transversalmente.

15.1.2. Encamisado de Vigas

Se plantea el encamisado de las vigas que presentan deformaciones demasiado altas, siguiendo el mismo procedimiento planteado en el encamisado de las columnas.

Se debe ejecutar la **demolición de los muros no estructurales del primer piso** y posteriormente se deben reconstruir en mampostería reforzada en las secciones donde se presenten vanos demasiado largos. Esto en razón de que los elementos mencionados presentan grietas evaluadas en daños estructurales graves y moderados, que pueden comprometer la seguridad de los ocupantes durante la ocurrencia de un sismo.

Ilustración 18

Mampostería Reforzada



Nota: Adoptado de (i.ytimg.com, 2020)

Ilustración 19

Encamisado de Columnas y Vigas



Nota: Adoptado de (pbs.twimg.com, 2021)

16. Presupuesto

El alcance del presupuesto es para el reforzamiento y la construcción de la estructura nueva y mampostería reforzada del primer en las secciones donde se presentan vanos demasiados largos y construcción en el segundo nivel, este presupuesto no incluye acabados ni costos de tramites de licencias. Está basado en precios del mercado para la ciudad de Bogotá a marzo de 2021.

Tabla 25
Presupuesto

PRESUPUESTO CASA					
N°	DESCRIPCION	UND	CANT	UNIT	TOTAL
1,0 EXCAVACION Y DEMOLICION					
1,1	DEMOLICION REFORZAMIENTO COLUMNAS Y VIGAS	ml	134,00	\$ 34.500	\$ 4.623.000,00
1,2	DEMOLICION MUROS	m2	50,00	\$ 20.300	\$ 1.015.000,00
			Sub total		\$ 5.638.000,00
2,0 ESTRUCTURAS EN CONCRETO Y MANPOSTERIA					
2,1	CONCRETO REFORZAMIENTO COLUMNAS	m3	2,40	\$ 480.000	\$ 1.152.000,00
2,2	CONCRETO REFORZAMIENTO VIGAS	m3	4,50	\$ 510.000	\$ 2.295.000,00
2,2	MANPOSTERIA REFORZADA	m3	144,0	\$ 85.000	\$ 12.240.000,00
2,3	MANPOSTERIA NO REFORZADA SEGUNDO NIVEL	m3	210,0	\$ 35.000	\$ 7.350.000,00
2,4	CONCRETO COLUMNAS SEGUNDO NIVEL	m3	2,70	\$ 480.000	\$ 1.296.000,00
2,5	CONCRETO VIGAS SEGUNDO NIVEL	m3	6,8	\$ 510.000	\$ 3.468.000,00
2,6	PLACA	m2	144	\$ 130.000	\$ 18.720.000,00
2,7	ESCALERA	m2	6	\$ 130.000	\$ 780.000,00
			Sub total		\$ 47.301.000
3,0 ACERO					
3,1	ACERO DE REFUERZO	KG	2400	\$ 5.500	\$ 13.200.000
			Sub total		\$ 13.200.000
			Costo directo		\$ 66.139.000
			ADMINISTRACION 10%		\$ 6.613.900
			IMPREVISTOS 1%		\$ 661.390
			UTILIDAD 5%		\$ 3.306.950
			IVA 19%		\$ 628.321
			TOTAL		\$ 77.349.561

17. Requerimientos de Licencia de Construcción

Todas las actuaciones y requisitos referentes a la licencia de construcción, ampliación deben estar sujetas a la resolución 0463-del 13 de julio de 2017, expedida por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio, la cual establece las directrices para este trámite.

Los componentes que deben acompañar la solicitud son los siguientes”:

- “Diligenciar el Formulario Único Nacional para la solicitud de licencias urbanísticas”.
- “Copia del Certificado de tradición y libertad del inmueble o inmuebles objeto de la solicitud, expedido antes de un mes de la fecha de la solicitud”.
- “Copia del documento de identidad del solicitante cuando se trate de personas naturales o certificado de existencia y representación legal, cuya fecha no sea superior a un mes”.
- “Poder especial debidamente otorgado, ante notario o juez de la República, cuando se actúe mediante apoderado o mandatario, con la correspondiente presentación personal”.
- “Copia del documento o declaración privada del impuesto predial del último año en relación con el inmueble o inmuebles objeto de la solicitud, donde figure la nomenclatura alfanumérica o identificación del predio. (no se exigirá cuando exista otro documento oficial con base en el cual se pueda establecer la dirección del predio o predios)”.
- “La relación de la dirección de los predios colindantes al proyecto objeto de la solicitud”.
- “Copia de matrícula profesional de los profesionales intervinientes en el trámite y copia de las certificaciones que acrediten su experiencia, para los trámites que así lo requieran”.
- “Memoria de los cálculos y diseños estructurales”.
- “Memoria de diseño de los elementos no estructurales”.
- “Los estudios geotécnicos y de suelos”.
- “Planos estructurales y arquitectónico del proyecto” (Colegio Nacional de Curadores Urbanos, 2015).

Conclusiones

De acuerdo al capítulo de intervención del sistema estructural y al estado normativo arquitectónico de la edificación se concluye lo siguiente:

- Se consiguió determinar que la edificación fue construida mucho antes de la implementación de la normatividad vigente y a su vez se logró identificar que no se han realizado intervención con el fin de mejorar la calidad de la estructura.
- Gracias a los registros realizados al estudio de suelo se pudo determinar que este cuenta con unas condiciones óptimas y con ello se pudo constatar que la cimentación existente de acuerdo a su geometría y sus dimensiones es acorde con la capacidad portante.
- Se logró evidenciar de la edificación una estructura de pórticos y zapatas, encontrándola estructuralmente en buenas condiciones gracias a los ensayos de laboratorios realizados, pero se logró identificar que los elementos no estructurales (muros) se encuentra en un alto estado de deterioro.
- Los resultados del estudio de vulnerabilidad nos permitieron categorizar la estructura en una vivienda tipo I (uso residencial) y con ello determinar que se hace necesario realizar encamisado de vigas y columnas con el fin de obtener mayor resistencia a la estructura en caso de presentarse un sismo de gran magnitud.
- Se debe ejecutar la construcción de los elementos estructurales y no estructurales de la ampliación siguiendo lo consignado en la NSR-10.

Recomendaciones

- Se plantea el encamisado de columnas y vigas del primer piso para darle más rigidez a la estructura ya que según la modelación estructural, se encuentran muy cercanas las derivas al límite y se logró determinar que las deformaciones en las vigas son demasiado altas lo que comprometería la estabilidad de la estructura en la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.
- Se debe ejecutar la demolición de los muros no estructurales del primer piso que se encuentran en mal estado fisurados, con nula resistencia en el bloque de arcilla y en las secciones donde se presentan vanos demasiados largos y posteriormente se deben reconstruir en mampostería estructural.
- Dado lo anterior se pudo identificar que muchas construcciones y en especial aquellas edificaciones en barrios vulnerables son construidas sin tener en cuenta las solicitaciones de la Norma Sismo Resistente NSR-10 y sus decretos modificatorios, ya que muchas de estas edificaciones fueron construidas mucho antes de la implementación del reglamento, lo que nos indica que el grado de vulnerabilidad sísmica en estas edificaciones puede ser muy alto, esta problemática se repite en todos los municipios del país, lo que nos muestra que no se ha realizado una buena socialización y concientización de la importancia del reglamento de construcción, ya que esto se puede observar como una imposición por parte de las curadurías y secretarías de planeación, mas no por una conciencia por el bienestar y seguridad de la sociedad colombiana.

Bibliografía

- Andes, U. d. (2014). *Revista de Ingeniería*, 40, 82-84.
- Aponte, K. B. (2017). *Diseño del Reforzamiento del Edificio de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali*. Cali.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Borda, Y., & Manrique Blanco, C. (02 de Septiembre de 2019). <https://1library.co>. Obtenido de <https://1library.co/document/lzgodmnq-estudio-patologico-propuesta-intervencion-vivienda-unifamiliar-bogota.html>
- Colegio Nacional de Curadores Urbanos. (2015). *Decreto 1077 de 2015 - Título 6*. Bogotá: Colegio Nacional de Curadores Urbanos.
- Diccionario Geotecnia. (08 de Junio de 2020). *Diccionario.geotecnia.online*. Obtenido de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/carta-de-plasticidad-de-casagrande/>
- GALVIS HERNÁNDEZ, L. M. (01 de Junio de 2013). *unipiloto.edu.co*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001193.pdf>
- Google Maps. (5 de Octubre de 2020). *Google*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@4.5632694,-74.0717368,15.5z?hl=es>
- Granados, Y., Callejas, L., & Cifuentes, C. (05 de Octubre de 2018). <https://1library.co>. Obtenido de <https://1library.co/document/4yr7xwoq-estudio-patologico-culvert-ubicado-calle-carrera-ciudad-bogota.html>
- i.ytimg.com*. (12 de Mayo de 2020). Obtenido de <https://i.ytimg.com/vi/7VioNXel4cU/maxresdefault.jpg>
- Ingeniería., R. d. (2005). Memoria: El inicio de la sismología en Colombia. *Revista de ingeniería*, 21, 120-124.

- Juliana Gómez Echavarría, E. E. (2011). *Principales causas y posibles soluciones de las reclamaciones a nivel patológico en sistemas de edificaciones aporricadas*. Medellín: Universidad de Medellín Especialización Gerencia de Construcciones.
- Lopez Carlina, M. D. (2019). *Estudio Patológico y Propuesta de intervención de una Vivienda Unifamiliar Ubicada en la Urbanización Palos Verdes en la Ciudad de Tunja*.
- Milton Mena Serna, S. G. (2015). *Patología constructiva en vivienda popular Identificación, tratamiento y estudios de caso*. Bogotá.
- Otalora Suarez , L. (01 de Abril de 2013). *unimilitar.edu.co*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/9353>
- pbs.twimg.com*. (14 de Junio de 2021). Obtenido de <https://pbs.twimg.com/media/B5VARORIMAAX1Ka.jpg>
- Roa Muñoz, F. J., & Rodríguez, G. A. (2015). *Compendio Historico Legal de las Licencias Urbanísticas y/o de Construcción*. Bogotá.: Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Derecho.
- Sergio Giovanni Valbuena Porras, M. M. (2013). *Características típicas de la vivienda en sectores de población vulnerable en Bogotá*. Bogotá.
- Sísmica, A. C. (2010). *AIS*.
- Territorial, Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10*.
- Valbuena, S. G. (2013). Características típicas de la vivienda en sectores de población vulnerable en Bogotá. *Tecnura*, 17, 113-121.