



**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SISMO RESISTENTE DEL CENTRO DE
EDUCACION PERMANENTE (CEP) UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ**

**CARLOS DANIEL FORERO POMAR
MIGUEL ALFONSO CARDENAS MORENO
IVAN SANTIAGO BONILLA BARCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
IBAGUÉ, 2019**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SISMO RESISTENTE DEL
CENTRO DE EDUCACION PERMANENTE (CEP) UNIVERSIDAD DE
IBAGUÉ**

CARLOS DANIEL FORERO POMAR

MIGUEL ALFONSO CARDENAS MORENO

IVAN SANTIAGO BONILLA BARCO

**TRABAJO DE GRADO QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL TITULO DE: INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

INGENIERO CIVIL

NESTOR LUIS GURRERO CHAVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

IBAGUÉ – TOLIMA

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

IBAGUÉ, TOLIMA _____ DE 2019

Dedicatorias

Dedicatoria de Daniel

A mis padres Astrid Pomar Ortiz y Carlos Forero Bustos, a mis hermanos por ser las personas que han estado conmigo apoyándome y guiándome en este proceso, por ser el ejemplo de vida de que los sueños con trabajo se pueden alcanzar, por su esfuerzo diario con el fin de brindarme las oportunidades que vivo a día de hoy, por su incondicional amor y enseñanzas.

Dedicatoria de Iván

A Dios, por regalarme cada día las bendiciones para salir adelante. A mi madre Luz Mery Barco Ortegón por su incansable motivación. A mi padre Ramón Elías Bonilla Alba por sus sabios consejos y sabiduría. A mi hermana Nadia Catherine por enseñarme el significado de la perseverancia.

Dedicatorio Miguel

A mi familia, por todo el apoyo en estos años de estudio, a mi madre por todos los esfuerzos y paciencia, a mi padre por sacarme adelante en la carrera, a ellos dos por brindarme todo el apoyo que me brindaron día a día en la culminación de mi carrera universitaria, a mis hijos por darme la motivación para culminarla y ser un ejemplo para ellos, gracias a todas

las personas que me apoyaron para lograr convertirme en lo que soy hoy en día.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al alma mater, a los docentes que hacen e hicieron parte de la facultad de ingeniería y al programa de ingeniería civil por haber brindado a cada uno de nosotros la educación necesaria y de buena calidad durante los años de formación en la universidad. Al ingeniero Néstor Luis Guerrero Chávez por su constante dedicación, apoyo y conocimientos como director del presente trabajo de grado.

A todo el cuerpo administrativo de la universidad, a cada uno de los compañeros, amigos y personas que fueron parte de este proceso y contribuyeron de manera indirecta o directa en el camino para la obtención de este título profesional.

INDICE

1.	INTRODUCCION.....	14
2.	JUSTIFICACIÓN.....	15
3.	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
	CAPÍTULO I	17
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
	CAPÍTULO II.....	19
5.	MARCO DE REFERENCIA	19
5.1.	Vulnerabilidad sísmica	19
5.2	Sismo	20
5.3	Estudio de vulnerabilidad sísmica.....	21
5.4	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10	21
5.5	Pórtico resistente a momentos	21
5.6	Capacidad de disipación de energía	22
5.7	Capacidad de disipación de energía moderada DMO	22
5.8	Cargas muertas	22
5.9	Cargas vivas	23
5.10.	Fuerzas sísmicas	24
5.11.	Desplazamientos horizontales de diseño	24
5.12.	Deriva de piso	24
5.13	Ensayos no destructivos.....	25
5.14	Ensayo de esclerómetro INV E-413-13.....	25
5.15	Ensayo de ferrosacan.....	25
5.16	Software ETABS.....	25

6.	MARCO CONTEXTUAL	26
	CAPÍTULO III.....	28
7.	MARCO METODOLÓGICO	28
7.1	Recolección de información	28
7.2	Evaluación cualitativa FEMA P-154.....	28
7.2.1	Características generales de la edificación	30
7.2.2	Levantamiento preliminar.....	31
7.2.3	Parámetros de evaluación	31
7.2.3.1	Golpeo.....	32
7.2.3.2	Irregularidades verticales	32
7.2.3.3	Irregularidades horizontales	33
7.2.4	Calificación de la estructura de acuerdo al FEMA P-154	33
7.3.	Levantamiento arquitectónico.....	34
7.4	Levantamiento estructural	35
7.5	Verificación de cumplimiento de secciones mínimas para DMO.....	35
7.6	Ensayos no destructivos.....	37
7.6.1	Ensayo de esclerometría	37
7.6.2	Ensayo de ferrosacan.....	39
7.7	Evaluación de cargas y espectro diseño.....	39
7.7.1	Avalúos de cargas muertas.....	39
7.7.2	Avalúo de cargas vivas	41
7.7.3	Espectro de diseño.....	42
7.8.1	Determinación de desplazamientos horizontales y derivas de piso	53
	CAPÍTULO IV	55
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
8.1	Recolección de información.....	55
8.2	Levantamiento arquitectónico y estructural.....	55
8.3	Evaluación cualitativa.....	59
8.4	Verificación de cumplimiento de secciones mínimas	62
8.4.1	Verificación de columnas	62

8.4.2 Verificación de vigas	65
8.5 Resultados de ensayos no destructivos	66
8.5.1 Ensayo de esclerometría	66
8.5.2 Ensayo de ferrosacan.....	67
8.5.2.1 Verificación del refuerzo transversal.....	68
8.5.2.2 Refuerzo transversal	69
8.4.2.3. Recubrimiento	71
8.6. Determinación de desplazamientos horizontales y chequeo derivas	71
CAPITULO V.....	77
9. CONCLUSIONES.....	77
10. RECOMENDACIONES.....	79
11. BIBLIOGRAFÍA.....	80
Ilustración 1. Formato para recolección de datos	29
Ilustración 2. Formato empleado para la puntuación de la evaluación	30
Ilustración 3. Valores de aceleración y velocidad pico efectiva A_a y A_v para la ciudad de Ibagué	30
Ilustración 4. Definición del nivel de amenaza sísmica para la evaluación visual	31
Ilustración 5. Pounding.....	32
Ilustración 6. Irregularidades verticales	33
Ilustración 7. Irregularidades horizontales	33
Ilustración 8. Puntaje básico para calificación de la estructura	34
Ilustración 9. Avalúo de carga muerta losa aligerada de entrepiso.....	40
Ilustración 10. Avalúo de carga muerta para escaleras	41
Ilustración 11. Avalúo de carga muerta para cubierta.....	41
Ilustración 12. Cargas vivas para salones de clase, corredores y escaleras.....	41
Ilustración 13. Cargas vivas para cubierta.....	42
Ilustración 14. Valores del coeficiente F_a según A_a y el tipo de perfil de suelo.....	44
Ilustración 15. Valores del coeficiente F_v según A_v y el tipo de perfil de suelo	44

Ilustración 16. Valores del coeficiente de importancia I.....	45
Ilustración 17. Valores de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado. ..	46
Ilustración 18. Valor del factor R_o para pórticos resistentes a momentos con capacidad de disipación de energía especial DES	47
Ilustración 19. Planta estructural piso 2 ETABS	49
Ilustración 20. Planta 2 piso (B)	49
Ilustración 21. Planta estructural piso 3 ETABS	50
Ilustración 22. Planta 3 piso y cercha ETABS.....	50
Ilustración 23. Cubierta y cercha ETABS	51
Ilustración 24. Cubierta cafetería ETABS	52
Ilustración 25. Simulación modelo matematico.....	53
Ilustración 26. Deriva máxima.....	54
Ilustración 27. Captura del levantamiento arquitectónico piso 1 en el software AutoCAD .	56
Ilustración 28. Captura del levantamiento arquitectónico piso 2 en el software AutoCAD ..	56
Ilustración 29. Captura del levantamiento arquitectónico piso 3 en el software AutoCAD .	57
Ilustración 30. Ilustración del levantamiento estructural en el software AutoCAD.	57
Ilustración 31. Planta estructural piso 2	58
Ilustración 32. Planta estructural 3 piso	58
Ilustración 33. Planta estructural cubierta	59
Ilustración 34. Columna C1	63
Ilustración 35. Columna C2.....	64
Ilustración 36. Características columna C9	65
Ilustración 37. Máximo desplazamiento pórtico 1	73
Ilustración 38. Pórtico 1 sin deformar	74
Ilustración 39. Pórtico 3 deformado	75
Ilustración 41. Pórtico 3 sin deformar	75

Tabla 1. Restricción al uso de sistemas	35
Tabla 2. Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios	36
Tabla 3. Zona de amenaza sísmica de la ciudad de Ibagué	43
Tabla 4. Valores obtenidos para realización del espectro elástico de diseño	45
Tabla 5. Irregularidades para el caso de estudio	47
Tabla 6. Coeficientes de afectación para el CEP.	59
Tabla 7. Formulario FEMA P-154 para la evaluación	60
Tabla 8. Puntaje obtenido por la edificación	61
Tabla 9. Verificación de puntaje mínimo requerido	61
Tabla 10. Verificación de cumplimiento de columna típica para DMO	62
Tabla 11. Verificación de cumplimiento de columna típica para DES	63
Tabla 12. Verificación de cumplimiento de viga típica para DMO	65
Tabla 13. Verificación de cumplimiento de viga típica para DES	66
Tabla 14. Resistencia del concreto estimada con el ensayo INV E -413-13	67
Tabla 15. Verificación de separación máxima permitida de estribos en los extremos para DMO	70
Tabla 16. Verificación de separación máxima permitida de estribos en los extremos de la columna	71
Tabla 17. Máximos desplazamientos y derivas de la edificación	72
Fotografía 1. Esclerómetro empleado para la realización del ensayo INV E-413-13	37
Fotografía 2. Preparación de la superficie de ensayo	38
Fotografía 3. Disposición del acero longitudinal	68
Fotografía 4. Estimación de la disposición del acero longitudinal para la columna C-1869	
Fotografía 5. Disposición del acero transversal	70

RESUMEN

El presente trabajo de grado presenta una evaluación sismo resistente de uno de los edificios más emblemáticos de la universidad de Ibagué (Centro de educación permanente) empleando las metodologías del Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook del reglamento Federal Emergency Management Agency - FEMA P-154 del año 2014 y del análisis estático lineal por elementos finitos. Para la realización de la investigación se tuvo como base los parámetros de construcción establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del año 2010 - NSR 10 y la Federal Emergency Management Agency FEMA P-154.

El estudio consta de 5 fases; Se inició con una recolección de los datos arquitectónicos y estructurales existentes de la edificación que se encontraban en el registro de la universidad, en segundo lugar, se desarrolló una valoración cualitativa siguiendo los lineamientos del reglamento FEMA P-154. En tercer lugar, se elaboró un levantamiento arquitectónico y estructural en el software AutoCAD con las medidas reales tomadas en la zona de interés a la cual se le realizó un chequeo para verificar el cumplimiento de las secciones mínimas de miembros estructurales de acuerdo a como lo establece el título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Así mismo se realizaron ensayos no destructivos de esclerómetro y ferrosacan con el objetivo de determinar la disposición del acero y las propiedades mecánicas del concreto utilizado para la construcción de los elementos tipo columna. Para finalizar se elaboró un

modelo matemático en un software comercial donde se obtuvo los distintos desplazamientos horizontales y las derivas de piso para realizar la comparación con las máximas admitidas por la NSR-10. Los resultados obtenidos permitieron fijar un diagnóstico que estableció la vulnerabilidad sísmica del centro de educación permanente (objeto de estudio).

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, sismo resistencia, levantamiento, destructivos, no destructivos.

ABSTRACT

The present degree work presents a qualitative and quantitative evaluation of the use of one of the most emblematic buildings of the University of Ibagué (Center for permanent education) using the methodologies of the rapid visual examination of buildings for potential seismic hazards: a manual of the Agency regulation Federal Emergency Management - FEMA P-154 of 2014 and static linear analysis by finite elements. For the conduct of the investigation, the construction parameters were based on the Colombian Construction Regulations.

The study consists of 5 phases; It began with a collection of the architectural data and the results of the building that was found in the university registry, in the second place a qualitative qualification was developed following the guidelines of the FEMA P-154 regulation. In the third place, an architectural and structural survey was developed in the AutoCAD software with the actual measurements in the area of interest while performing a check for compliance with the minimum sections of the members according to what is refers to Title C of the Colombian Regulation of Construction Earthquake Resistant NSR-10.

Likewise, non-destructive sclerometer and ferroskan tests were carried out in order to determine the arrangement of the steel and the mechanical properties of the concrete for the construction of the column type elements. ETABS 2016 has been published in the ETABS 2016 software in which the different horizontal displacements and floor drifts have been included to make the comparison with the maximum admissions of the NSR-10. The results were allowed. **Keywords:** Seismic vulnerability, earthquake resistance, lifting, destructive.

1. INTRODUCCION

La presente monografía es un trabajo resultado de la investigación realizada en la universidad de Ibagué que tuvo como finalidad realizar una evaluación para determinar la vulnerabilidad sísmica del centro de educación permanente de la universidad. Los estudios necesarios que se requieren para poder estimar el comportamiento sísmico de estructuras ya existentes básicamente se denotan en la ingeniería sísmica y el análisis dinámico estructural. La vulnerabilidad de una estructura es una característica propia y depende únicamente de la forma en la que esta fue diseñada.

El estudio realizado se divide en dos tipos de análisis, el primero se realizó a partir de la metodología planteada en el reglamento estadounidense FEMA P-154 del año 2014, la cual conlleva una evaluación cualitativa de la edificación y consiguiente a esto se utilizó la metodología cuantitativa expuesta por el reglamento de construcción sismo resistente colombiano NSR-10 (Análisis estático lineal por elementos finitos).

La edificación sobre la cual se basó el proceso de investigación cuenta con un sistema estructural tipo pórtico resistente a momentos en concreto reforzado, cuenta con tres niveles divididos en 5 ejes y un área total construida de 2022,7 m²

2. JUSTIFICACIÓN

El diseño con el cual se construyó el centro de educación permanente de la universidad de Ibagué se realizó en base a al código colombiano de construcción sismo resistente del año de 1984, el cual tuvo vigencia hasta agosto de 1997 y fue renovado por el reglamento colombiano de construcción sismo resistente del año de 1998 (NSR-98) posterior a esto se realizó una última actualización de la norma la cual entro a regir desde el año 2010 y es con la cual se trabaja a día de hoy (NSR-10).

Así mismo, el artículo A.10.9.2.1 del NSR-10 establece que las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, enumeradas en el artículo A.2.5.1.1, independientemente de la época de construcción deben cumplir con los requisitos establecidos en el artículo A.10.4.2.1, con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

El centro de educación permanente de la universidad de Ibagué cuenta con casi ya 30 años de construido y en el cual su vida útil ha servido para albergar estudiantes, docentes, administrativos y demás personal de la universidad, con el objetivo de brindarles y garantizar la integridad física en su estadía en el campus. Teniendo en cuenta que su diseño se estableció con un reglamento que dejo de regir hace ya más de dos décadas y que la ciudad de Ibagué es una zona de amenaza sísmica importante, se desarrolló el presente trabajo de grado con el fin de determinar las características de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

3.1.1 Evaluar la vulnerabilidad sísmica del centro de educación permanente (CEP) de la Universidad de Ibagué de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1 Identificar el potencial de vulnerabilidad ante acciones sísmicas estimadas para la zona mediante una evaluación cualitativa.

3.2.2 Evaluar las características geométricas con respecto a lo estipulado en el NSR-10.

3.2.3 Analizar la vulnerabilidad sismo resistente del edificio mediante simulación numérica.

CAPÍTULO I

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La universidad de Ibagué fue fundada el 27 de agosto de 1980, donde anteriormente era conocida legalmente por el nombre de Corporación universitaria de Ibagué y la cual inicio su vida institucional en febrero del año de 1981 mediante la resolución 1867 expedida por el ministerio de educación nacional. Actualmente el centro universitario brinda 16 programas académicos agrupados en 5 facultades: Ingeniería, Ciencias Económicas y Administrativas, Derecho y Ciencias políticas, Humanidades, Artes y Ciencias Sociales y Ciencias Naturales y Matemáticas; la universidad cuenta con una planta física compuesta por 20 edificaciones que albergan más de 103 aulas escolares, 27 laboratorios, 7 salas de cómputo, 4 auditorios, 3 salas audio – visuales, 2 bibliotecas, 14 unidades sanitarias, 6 cafeterías y 3 porterías.

Colombia es un país que se localiza dentro de una de las zonas sísmicas más activas del planeta, pues en la región donde se encuentra ubicada convergen tres placas tectónicas conocidas como Nazca, Caribe las cuales se encuentran contra la placa suramericana, la interacción continua entre sí ha producido la formación de montañas, cordilleras y fallas geológicas.

En la costa pacífica se presenta un proceso de subducción en el cual Nazca se introduce debajo de la placa suramericana, el material rocoso entra de nuevo en el manto que se encuentra a altas temperaturas y allí se funde para luego volver a salir a través de los volcanes

tales como los de la cordillera central del territorio colombiano. Dando paso a una intensa actividad sísmica en el territorio colombiano (Instituto distrital de gestión de riesgos y cambios climáticos, 2019).

La ciudad cuenta con una falla geológica conocida como La falla geológica de Ibagué y es una de las principales estructuras transcurrentes activas del país, esta cruza la parte central de la cordillera central la cual hacia el este se extiende en dirección del valle del río Magdalena, su importancia radica que la gran falla pasa por el lecho del río Cocora el cual controla el valle del río Cocora en la cordillera. Luego al salir de la cordillera su trazo cruza en dirección noreste la ciudad de Ibagué y se prolonga en dirección a la población de Piedras cerca del río Magdalena la cual es cortada por los sistemas de fallas de Cambao. La falla de Ibagué es una de las 32 fuentes sismo tectónicas que se contemplaron en la determinación del mapa de amenaza sísmica de Colombia (1998) donde se puede observar que Ibagué presenta una amenaza sísmica intermedia. (Irania Hernández Romero para el Nuevo Día, 2018)

Al conocer la situación sismológica de la zona donde se encuentra ubicada la universidad de Ibagué se convierte necesario conocer el comportamiento de la infraestructura física de las edificaciones ubicadas en la universidad con el fin de proteger la integridad de la comunidad universitaria y de su patrimonio. Teniendo en cuenta el contexto anteriormente expuesto, **¿El centro de educación permanente de la universidad de Ibagué se encuentra en un estado de vulnerabilidad sísmica frente a las amenazas naturales de los sismos?**

CAPÍTULO II

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Vulnerabilidad sísmica

Se denomina vulnerabilidad sísmica al grado de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. De este modo las estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico.

Es preciso resaltar que existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características.

La vulnerabilidad estructural se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o daños son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran columnas, vigas, diafragmas, mampostería, etc.

Es por ello que un buen diseño estructural sismo resistente es la clave para la que integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos. Por ejemplo, se ha evidenciado que los mayores daños en edificios educativos tras un sismo se

deben a esquemas estructurales lejanos a formas y esquemas estructurales simples. El sismo castiga fuertemente dichas irregularidades.

Desafortunadamente en países como Ecuador, muchos casos del pasado constatan que las normas y criterios de diseño sismo resistente no se han aplicado efectivamente.

Además, la vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos pueden presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por el colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc. mientras s la estructura permanece en pie. (Adalberto Campos, 2016.)

5.2 Sismo

Es un temblor o una sacudida de la tierra por causas internas. El término es un sinónimo de terremoto, estos movimientos se producen por el choque de las placas tectónicas. La colisión libera energía mientras los materiales de la corteza terrestre se reorganizan para volver a alcanzar el equilibrio mecánico. (Julián Pérez, 2010)

Un terremoto es la vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía a causa del deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La energía liberada se propaga en todas las direcciones desde su origen (foco o hipocentro) en forma de ondas. Imagine las ondas producidas cuando se lanza una piedra en un estanque o cae una gota de lluvia en este. Al igual que el impacto de la piedra o de la gota provoca un movimiento de ondas en el agua del estanque, el terremoto produce ondas sísmicas que se propagan en la Tierra. Aunque la energía liberada por la “ruptura” (las ondas) se disipa rápidamente al

alejarse del foco, es posible registrar el movimiento en cualquier punto de la Tierra por medio de aparatos suficientemente sensibles. (Universidad de Costa Rica, 2015)

5.3 Estudio de vulnerabilidad sísmica

Un estudio de vulnerabilidad sísmica busca determinar la estabilidad actual de la edificación ante el sismo de diseño con el objetivo de prevenir afectaciones por acción de la naturaleza. Este estudio está vinculado a tres factores fundamentales: la severidad del movimiento, las características de la estructura y su vulnerabilidad sísmica. (Juan Valbuena, 2017).

5.4 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10

Norma sismo resistente que presenta requisitos mínimos, que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte. La primera reglamentación sismo resistente nacional fue expedida por el gobierno nacional por medio del decreto 1400 de 7 de junio de 1984, la primera actualización, correspondiente al reglamento NSR-98, fue expedida por medio del decreto 33 del 9 de enero de enero de 1998 y la segunda actualización, correspondiente al reglamento NSR-10, se expidió por medio del decreto 926 del 19 de marzo de 2010. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.5 Pórtico resistente a momentos

Pórtico en el cual los elementos y los nudos resisten las fuerzas a través de la flexión, cortante y fuerza axial. Los pórticos resistentes a momentos designados como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas, se clasifican en pórtico especial resistente a

momentos, pórtico intermedio resistente a momentos y pórtico ordinario resistente a momentos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.6 Capacidad de disipación de energía

Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su Resistencia. Se cuantifica por medio de la energía de deformación que el sistema, elemento o sección es capaz de disipar en ciclos histeréticos consecutivos. Cuando hace referencia al sistema de resistencia sísmica de la edificación como un todo, se define por medio del coeficiente de capacidad de disipación de energía R . El grado de capacidad de disipación de energía se clasifica como especial (DES), moderado (DMO) y mínimo (DMI). (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.7 Capacidad de disipación de energía moderada DMO

Cuando los elementos de concreto estructural se diseñan de acuerdo con los requisitos de los capítulos C.1 a C.19 y además cumplen los requisitos especiales que para estructuras con capacidad de disipación de energía moderada prescribe el capítulo C.21 del reglamento NSR-10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.8 Cargas muertas

La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

son los componentes con un mismo peso, que se aplican a la estructura como el yeso y al material de la propia estructura. Por lo general son relativamente constantes durante toda la vida de la estructura, por lo que también se conocen como cargas permanentes.

El diseñador también puede estar relativamente seguro de la magnitud de la carga, ya que está estrechamente vinculada a la densidad del material, que contiene una variante y es normalmente responsable de las especificaciones del componente.

Las cargas muertas incluyen también las fuerzas creadas por los cambios irreversibles en las limitaciones de una estructura. Por ejemplo, las cargas debidas a la solución, los efectos del pre-estrés o debido a la contracción y la influencia en el hormigón. (Orlando Garza, 2015)

5.9 Cargas vivas

Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo. Las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la edificación debido al uso que ésta va a tener. En ningún caso estas cargas vivas pueden ser menores que las cargas vivas mínimas que se dan en las tablas B.4.2.1-1 y B. 4.2.1-2. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Las cargas vivas, denominadas también cargas probables, incluyen todas las fuerzas que son variables dentro de un mismo ciclo.

La presión de los pies en la escalera de peldaños (variable en función del uso y tamaño).
Carga de viento (si la escalera llega a estar fuera).

Cargas en vivo (techo) producido (1) durante el mantenimiento de los trabajadores, equipos y materiales y (2) durante la vida de la estructura de los objetos móviles, tales como las macetas y por las personas.

Carga Viva (Puente), producida por los vehículos que circulen sobre la superficie del puente. (Orlando Garza, 2015)

5.10. Fuerzas sísmicas

Son las fuerzas dinámicas producidas por un sismo que afectan la edificación prescritas en el título A del reglamento NSR-10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.11. Desplazamientos horizontales de diseño

Desplazamientos laterales esperados para el sismo de diseño, según lo requerido por el título A del reglamento NSR-10. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.12. Deriva de piso

Se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

5.13 Ensayos no destructivos

Son exámenes o pruebas utilizados para detectar discontinuidades internas y/o superficiales o para determinar propiedades selectas en materiales, soldaduras, partes y componentes; usando técnicas que no alteran el estado físico o constitución química, dañen o destruyan a los mismos. (Universidad nacional experimental Rafael María Baralt, 2012)

5.14 Ensayo de esclerómetro INV E-413-13

Método que establece el procedimiento para determinar el índice esclerométrico o de rebote del concreto endurecido empleando un martillo de acero impulsado por un resorte. La prueba se realiza con el fin de determinar zonas de concreto pobre y para estimar la resistencia del concreto, por lo tanto el ensayo no es alternativo a ninguno de los ensayos normales de compresión y tracción, y en ningún caso se debe emplear como base para la aceptación o rechazo del concreto. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

5.15 Ensayo de ferroscañ

Método no destructivo empleado para la detección de acero en el concreto reforzado, sirve para encontrar la localización del acero, espesor de recubrimiento y diámetro de las varillas. Su uso es muy práctico y sencillo ya que no se requiere extraer el revestimiento para determinar la ubicación del acero. (Instituto Politécnico Nacional, 2011).

5.16 Software ETABS

ETABS es un programa de análisis y diseño estructural desarrollado específicamente para sistemas de edificaciones, el cual permite simular los más grandes y complejos modelos de

edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo una de las herramientas predilectas para el análisis y diseño estructural en la industria de la construcción.

6. MARCO CONTEXTUAL

La evaluación de vulnerabilidad sísmica de las estructuras frente a amenazas sísmicas busca garantizar los mejores niveles de seguridad para prevenir cualquier tipo de riesgo tanto como para personas y la estructura misma. El diseño previo a la construcción se realiza a partir de normas que son comprobadas en distintas situaciones y complicaciones reales, lo cual permite que los distintos proyectos puedan cumplir y garantizar estándares adecuados de seguridad. En un caso aparte, al realizar evaluaciones de estructuras existentes se puede observar cómo se practican estudios de mayor cobertura, de una complejidad mayor y los cuales son realizados por personal totalmente capacitado en este sector de seguridad.

En el estudio de vulnerabilidad sísmica y patológica de la Institución Universitaria, Tecnológico de Antioquia, analizan el comportamiento que tendrá una estructura ante posibles eventos geológicos o naturales. Así mismo no solo resaltan la importancia que tiene el diseño estructural sino también otros aspectos de igual de importancia a este, como por ejemplo lo es el uso que se le dé a la edificación, la calidad de los materiales, la ubicación del edificio y la calidad de los distintos diseños. (Institución Universitaria, Tecnológico de Antioquia, 2011)

La vulnerabilidad estructural está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de una edificación, a sufrir daño debido a un sismo, lo que se ha llamado "daño sísmico estructural". El mismo comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema resistente o estructura de la Edificación (OPS, 2000).

El nivel de daño que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como local de la estructura. Está relacionado con la calidad de los esquemas resistentes y obviamente, con las cargas actuantes. La naturaleza y grado de daño estructural pueden ser descritos en términos cualitativos o cuantitativos, y constituye un aspecto de primordial importancia para verificar el nivel de deterioro de una edificación, así como su situación relativa con respecto al colapso estructural, que representa una situación límite donde se compromete la estabilidad del sistema (Safina, 2002).

CAPÍTULO III

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Recolección de información

En esta etapa se inicia con la recolección de datos ya existentes en el registro de planta física de la universidad de Ibagué como datos estructurales, arquitectónicos y toda información relacionada a la edificación del centro de educación permanente y así lograr corroborar la similitud entre todos los diseños estructurales, características de materiales y geometría de la edificación y la realidad de la estructura.

7.2 Evaluación cualitativa FEMA P-154

Se utilizó la metodología del “Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards; A handbook” propuesta en el reglamento de la “Federal Emergency Management Agency” FEMA P-154 2014. La evaluación inicia a partir de un análisis visual que permite se identifiquen parámetros establecidos y evaluados por la normatividad anteriormente nombrada, los cuales se regulan en un formato estándar que puede ser aplicado a cualquier tipo de estructura que haya sido construidas con materiales tipo: concreto, acero, madera y mampostería.

El formato empleado para la evaluación se muestra en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 1. Formato para recolección de datos

<p>6.2.2</p> <p>PHOTOGRAPH</p>	Address: _____ _____ _____ Zip: _____ Other Identifiers: _____ Building Name: 6.2.1 Use: _____ Latitude: _____ Longitude: _____ S ₁ : _____ S ₂ : _____ Screener(s): _____ Date/Time: _____
	No. Stories: Above Grade: _____ Below Grade: _____ Year Built: _____ <input type="checkbox"/> EST Total Floor Area (sq. ft.): _____ Code Year: _____ Additions: <input type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/> Yes, Year(s) Built: _____ Occupancy: Assembly Commercial Emer. Services <input type="checkbox"/> Historic <input type="checkbox"/> Shelter Industrial Office School <input type="checkbox"/> Government Utility Warehouse Residential # Units: _____ Soil Type: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> DNK Hard Avg Dense Stiff Soft Poor If DNK, assume Type D. Rock Rock Soil Soil Soil Soil Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK Adjacency: <input type="checkbox"/> Pounding <input type="checkbox"/> Falling Hazards from Taller Adjacent Building Irregularities: <input type="checkbox"/> Vertical (type/severity) _____ <input type="checkbox"/> Plan (type) _____ Exterior Falling Hazards: <input type="checkbox"/> Unbraced Chimneys <input type="checkbox"/> Heavy Cladding or Heavy Veneer <input type="checkbox"/> Parapets <input type="checkbox"/> Appendages <input type="checkbox"/> Other: _____
<p>SKETCH</p>	COMMENTS: <p style="text-align: center;">6.2.3</p> <input type="checkbox"/> Additional sketches or comments on separate page

Fuente: FEMA P-154

Ilustración 2. Formato empleado para la puntuación de la evaluación

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1}																		
FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BF)	S3 (JM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SM)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		5.1	4.5	3.8	2.7	2.6	3.5	2.5	2.7	2.1	2.5	2.0	2.1	1.9	2.1	2.1	1.7	2.9
Severe Vertical Irregularity, V_{LI}		-1.4	-1.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1.4	-1.1	-1.2	-1.1	-1.2	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1	-1.1	-1.0	NA
Moderate Vertical Irregularity, V_{LI}		-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	NA
Plan Irregularity, P_{LI}		-1.4	-1.3	-1.2	-1.0	-0.9	-1.2	-0.9	-0.9	-0.8	-1.0	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	NA
Pre-Code		-0.3	-0.5	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.5
Post-Benchmark		1.4	2.0	2.5	1.5	1.5	0.8	2.1	NA	2.0	2.3	NA	2.1	2.5	2.3	2.3	NA	1.2
Soil Type A or B		0.7	1.2	1.8	1.1	1.4	0.6	1.5	1.6	1.1	1.5	1.3	1.6	1.3	1.4	1.4	1.3	1.6
Soil Type E (1-3 stories)		-1.2	-1.3	-1.4	-0.9	-0.9	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-1.0	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.9
Soil Type E (> 3 stories)		-1.8	-1.6	-1.3	-0.9	-0.9	NA	-0.9	-1.0	-0.8	-1.0	-0.8	NA	-0.7	-0.7	-0.8	-0.6	NA
Minimum Score, S_{min}		1.6	1.2	0.9	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	1.5
FINAL LEVEL 1 SCORE, $S_{L1} \geq S_{min}$:										6.2.4								

Fuente: FEMA P-154

7.2.1 Características generales de la edificación

Esta tabla contiene información general como la ubicación y nombre de la edificación, las características sísmicas de la zona, para la determinación de éste primer parámetro se procederá a identificar la zona de amenaza sísmica de la ciudad de Ibagué empleando la tabla A.2.3-2 del NSR-10 de donde se determinan los valores de A_a y A_v que representan la velocidad y aceleración pico efectiva, los valores se encuentran en la tabla 1 presentada a continuación.

Ilustración 3. Valores de aceleración y velocidad pico efectiva A_a y A_v para la ciudad de Ibagué

IBAGUE	
Zona sísmica	Intermedia
A_a	0,2
A_v	0,2

Los términos S_s y S_1 son equivalentes a los términos aceleración espectral para periodos cortos y largos, para la obtención de este valor se usará como base el valor de A_a el cual define

la aceleración pico efectiva para la zona donde se realizó el estudio. Con los valores obtenidos y al emplear la tabla A- 1 del reglamento FEMA, se clasifica el nivel de amenaza sísmica de acuerdo al formato de evaluación, como se muestra en la ilustración 3.

Ilustración 4. Definición del nivel de amenaza sísmica para la evaluación visual

Seismicity Region		Spectral Acceleration Response, S_s (short-period, or 0.2 seconds)	Spectral Acceleration Response, S_l (long-period, or 1.0 second)
Low	Low	less than 0.250g	less than 0.100g
Moderate	Moderate	greater than or equal to 0.250g but less than 0.500g	greater than or equal to 0.100g but less than 0.200g

Fuente: FEMA P-154

7.2.2 Levantamiento preliminar

Con el objetivo de reconocer los aspectos físicos de la estructura a intervenir se realizó un registro fotográfico, el cual se anexa al formato FEMA en la sección “Photograph”, del mismo modo se realizó un levantamiento preliminar de la estructura con el único fin de determinar la ubicación de los elementos estructurales presentes, a su vez se encuentra en un anexo del formato denominado “Sketch” el cual debe contener medidas de los elementos, zonas de referencia, entre otros.

7.2.3 Parámetros de evaluación

Para esta parte, se registra información básica de la estructura como por ejemplo el número de pisos, área total construida, ocupación, si ha sido intervenido en alguna ocasión, así mismo prosigue a determinar el tipo de perfil de suelo, análisis de irregularidades, riesgos de caída de elementos no estructurales, entre otros. La clasificación del tipo de perfil de suelo se puede determinar mediante exploraciones de campo y estudios, o a través investigaciones previas

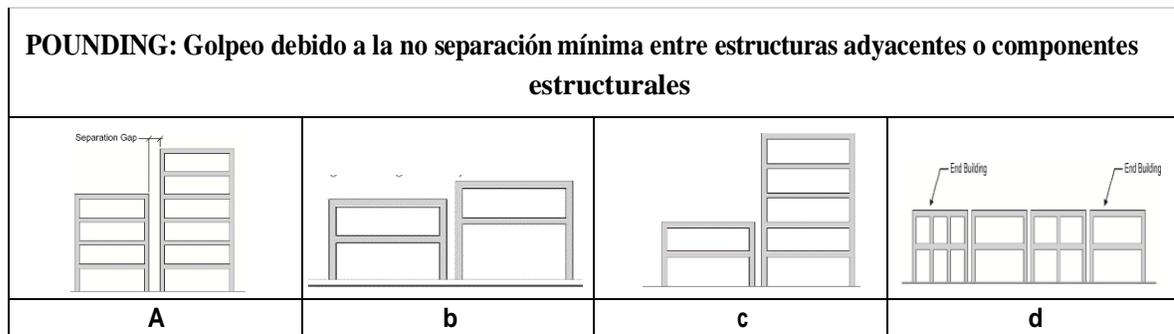
que se hayan realizado en la zona de estudio.

Por otra parte el análisis de irregularidades verticales y en planta, se realizará siguiendo las especificaciones contempladas en las tablas B-3, B-4 y B-5 del Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook.

7.2.3.1 Golpeo

Esta irregularidad sucede cuando no se respeta la dilatación mínima o junta de separación bien sea entre edificaciones adyacentes o componentes estructurales la separación sísmica debe ser igual o superior a 2 pulgadas.

Ilustración 5. Pounding

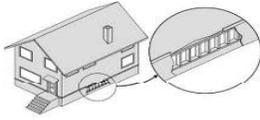
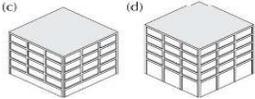
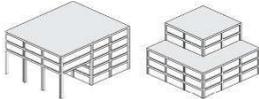
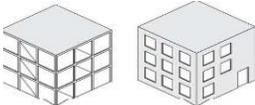
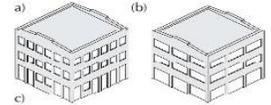
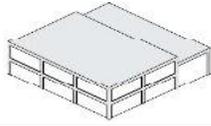


Fuente: FEMA P-154

7.2.3.2. Irregularidades verticales

Las irregularidades en altura permiten que el comportamiento ante sismos sea diferente, al presentar alguna de estas se castiga la resistencia de la estructura debido a problemas de torsión que se pueden generar. Podemos observar en la siguiente ilustración los tipos de irregularidades presentes en el reglamento.

Ilustración 6. Irregularidades verticales

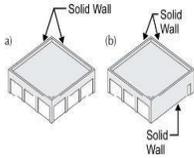
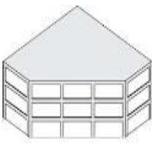
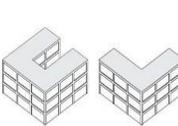
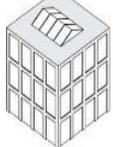
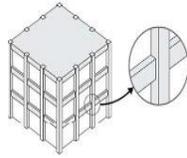
Irregularidades verticales		
		
Muro debilitado	Piso débil y piso fuerte	Retroceso
		
Elementos diagonales	Columna corta	Niveles divididos

Fuente: Tabla B-5 FEMA P-154

7.2.3.3 Irregularidades horizontales

Estas irregularidades se presentan en la geometría, masa o elementos presentes en la estructura, y castigan el comportamiento de la estructura ante eventuales sismos.

Ilustración 7. Irregularidades horizontales

Irregularidades horizontales				
				
Muros rígidos	Sistema no paralelo	retroceso en esquinas	Diafragma abierto	Elementos desalineados

Fuente: Tabla B-5 FEMA P-154

7.2.4 Calificación de la estructura de acuerdo al FEMA P-154

Finalmente, de acuerdo al tipo de sistema estructural de la edificación y el nivel de

sismicidad obtenido de acuerdo a la tabla A-1 establecida por el FEMA P-154, se determina el puntaje básico sobre el que va a ser calificada la edificación, para ello se emplea la tabla 3-1 del mismo reglamento como se aprecia en la siguiente ilustración:

Ilustración 8. Puntaje básico para calificación de la estructura

<p>C1 Concrete moment-resisting frames</p>		<p>(VH) = 1.0 (H) = 1.5 (MH) = 1.7 (M) = 2.1 (L) = 3.3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • All exposed concrete frames are reinforced concrete (not steel frames encased in concrete). • A fundamental factor governing the performance of concrete moment-resisting frames is the level of ductile detailing. • Large spacing of ties in columns can lead to a lack of concrete confinement and shear failure. • Lack of continuous beam reinforcement can result in hinge formation during load reversal. • The relatively low stiffness of the frame can lead to substantial nonstructural damage. • Column damage due to pounding with adjacent buildings can occur.
---	--	--	--

Fuente: Tabla 3-1 del FEMA P-154

Al momento de realizar el análisis se obtiene el puntaje final de la edificación, se tienen en cuenta las penalizaciones de la estructura las cuales disminuyen el puntaje inicial con los valores que están dentro de los parámetros establecidos. Este resultado final se compara con un valor mínimo definido para cada zona de amenaza sísmica, si el resultado obtenido es menor que el valor mínimo contemplado se concluye que la edificación presenta alta vulnerabilidad sísmica y es necesario realizar un análisis más profundo.

7.3. Levantamiento arquitectónico

Para la realización del levantamiento arquitectónico se realizaron mediciones en planta y en altura, al exterior y al interior del centro de educación permanente para determinar

distancias dentro de todo el perímetro de la zona de estudio, y a partir de esto plantear una planta arquitectónica actualizada.

7.4 Levantamiento estructural

Al finalizar con el levantamiento arquitectónico se procede a realizar un levantamiento estructural, esto con el objetivo de determinar la ubicación de los elementos estructurales medibles de la edificación para así obtener la geometría de las secciones de estos mismos.

Posterior a esto se realiza un chequeo de los elementos para determinar el cumplimiento de las secciones construidas con respecto a los diseños estructurales, se procede a utilizar el software de AutoCAD para realizar el levantamiento.

7.5 Verificación de cumplimiento de secciones mínimas para DMO.

La ciudad de Ibagué se encuentra localizada en una zona con amenaza sísmica intermedia, de acuerdo a como lo establece la tabla A.2.3-2 del NSR-10, la siguiente ilustración define la capacidad de disipación de energía con la que se debe diseñar de acuerdo a la zona de amenaza sísmica:

Tabla 1. Restricción al uso de sistemas

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA		
	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
MINIMA (DMI)	SI	X	X
MODERADA (DMO)	SI	SI	X
ESPECIAL (DES)	SI	SI	SI

Fuente: NSR-10

Para una zona de amenaza sísmica intermedia es necesario diseñar a partir de una disipación de energía moderada (DMO), De igual manera se debe tomar en cuenta que Ibagué

es una zona cercana a territorios con amenaza sísmica alta, por ende, se procederá a analizar la estructura para capacidad de disipación de energía moderada DMO.

Tabla 2. Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios

Elemento	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyado	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
	Elementos que soportan o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles a dañarse debido a deflexiones grandes			
vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

Fuente: NSR-10

Igualmente, la verificación se realizará tomando como referencia los títulos C.21.3.5.1, C.10.3.2.1, C.21.6.1.1 y C.21.6.1.2 para las columnas con capacidad de disipación de energía moderada DMO, dichos requerimientos establecen que para columnas en DMO la sección menor del elemento debe ser como mínimo de 250 mm, a su vez definen que la altura de la columna debe ser mayor o igual a su base y que la relación base - altura debe ser mayor o igual a 0.4.

Para las vigas también se verificarán los títulos C.21.3.4.1, C.21.5.1.3 y C.21.5.1.4 del NSR-10 para ambos casos.

7.6 Ensayos no destructivos

En etapa se realizaron únicamente dos tipos de ensayos no destructivos, esclerometría y ferroscañ para así poder determinar las propiedades del concreto y la distribución del acero en los elementos estructurales.

7.6.1 Ensayo de esclerometría

El ensayo de esclerometría INV E-413-13 permite obtener el índice de rebote y la resistencia estimada del concreto mediante la utilización de un martillo de acero impulsado denominado esclerómetro. El ensayo tiene como fin establecer zonas de concreto pobre o deteriorado y estimar la resistencia del concreto.

Fotografía 1. Esclerómetro empleado para la realización del ensayo INV E-413-13



Para el procedimiento inicialmente se debe seleccionar la superficie a ensayar, en éste caso el ensayo solamente se realizará en columnas debido a la dificultad de practicarlo en las vigas.

La sección de la superficie a ensayar debe tener un espesor igual o mayor de 100 mm, debe ser del mismo tipo, tener aproximadamente la misma edad y condición de humedad y

deben haber sido elaborados con los mismos materiales (cementos, agregados y aditivos). (Instituto Nacional de Vías, 2013).

En primera instancia se realiza la demarcación del área sobre la cual se realizará el ensayo garantizando los estándares requeridos para iniciar con este, seguidamente se hace el retiro de todo el revoque del miembro hasta encontrar la superficie del concreto, como se aprecia en la siguiente fotografía:

Fotografía 2. Preparación de la superficie de ensayo



La superficie de ensayo debe quedar lo más prolija y limpia posible, acto seguido se prepara la superficie demarcando el área seleccionada en subdivisiones a manera de cuadrícula. De acuerdo a la norma los resultados obtenidos son aceptados si un total de 10 o más ensayos, no difieren del promedio de golpes en ± 6 unidades del índice de rebote (IRB), de no ser así la norma dicta que el ensayo no es válido y debe repetirse.

Los ensayos se desarrollan en dos superficies diferentes en la misma columna, se

ensayaron un total de 7 columnas, 5 en el primer piso de la edificación y dos en el segundo. Para el análisis de los resultados se toman los valores del índice de rebote (IRB) el cual es un valor adimensional y los valores de resistencia estimada a la compresión (CCS) en unidad de N/mm^2 , los resultados obtenidos por el esclerómetro serán analizados para la determinación de la resistencia del concreto.

7.6.2 Ensayo de ferroscañ

El ensayo de ferroscañ se realiza con el fin de determinar la posición del acero de refuerzo transversal en miembros de concreto reforzado, de esta manera se pueden determinar características como lo son el espesor de recubrimiento, separación de las barras y diámetro de las mismas.

La metodología se realiza desplazando el escáner de cara a cara de la sección a ensayar de manera horizontal y verticalmente, a medida que se identifica el acero de refuerzo se marca su ubicación y se determina inmediatamente la separación de las barras presentes en el elemento.

7.7 Evaluación de cargas y espectro diseño

Al definir el levantamiento estructural donde se estableció la geometría real de las secciones de los elementos presentes en la edificación y la resistencia del concreto, se procede a determinar los respectivos avalúos de cargas de servicio y la elaboración del espectro elástico de diseño.

7.7.1 Avalúos de cargas muertas

Siguiendo los lineamientos del título B del NSR-10 se procede a estimar las distintas so-

licitaciones estáticas que van a ser aplicadas sobre la estructura. Los avalúos serán realizados en unidad de KN/m^2 y se evaluarán las cargas permanentes que soportarán la placa de entrepiso, escaleras y la cubierta, la carga de los elementos estructurales como vigas y columnas será determinada por el software empleado para la simulación.

Ilustración 9. Avalúo de carga muerta losa aligerada de entrepiso

PISO 2		
AVALUO DE CARGA MUERTA LOSA ALIGERADA		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m ²)
Loseta inferior y superior	$0,06\text{m} * 24\text{KN/m}^3$	1,44
Viguetas	$(0,10\text{m} * 0,47\text{m} * 24\text{KN/m}^3) / 0.6\text{m}$	1,88
Muros Divisorios	$(274,065\text{m} * 2,7\text{m} * 2,5\text{KN/m}^2) / 652,94\text{m}^2$	2,833244632
Terminado arquitectonico	$0,041\text{m} * 22,5 \text{KN/m}^3$	0,9225
Bloque de cemento aligerado		0,38
CARGA MUERTA TOTAL		7,46

Para el avalúo de carga muerta de las escaleras se tendrá en cuenta el valor de la losa y el terminado arquitectónico, como se puede apreciar a continuación:

Ilustración 10. Avalúo de carga muerta para escaleras

AVALUO DE CARGA MUERTA ESCALERA		
Item	Calculos	Valor(KN/m²)
Losa	0,08m*24kN/m ³	1,44
Terminado arquitectonico	0,03m*22,5kN/m ³	0,675
Carga muerta total		2,115

Para la cubierta se determinará la carga muerta de acuerdo a la tabla B.3.4.1-4, la cubierta encontrada en inspecciones realizadas obedece a cubierta de teja de arcilla.

Ilustración 11. Avalúo de carga muerta para cubierta

CUBIERTA		
AVALUO DE CARGA MUERTA CUBIERTA		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m²)
Teja de arcilla		0,8
CARGA MUERTA TOTAL		0,8

7.7.2 Avalúo de cargas vivas

De acuerdo a como lo establecen la tabla B.4.2.1-1 y B.4.2.1-1 del NSR-10, se toman los valores de cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas en unidad de KN/m², para el caso de estudio se determinarán las cargas establecidas para salones de clase, corredores y escaleras; para la cubierta se tomará el valor de carga viva con pendiente menor de 15°.

Ilustración 12. Cargas vivas para salones de clase, corredores y escaleras

<i>Educativos</i>	Salones de clase	2.0
	Corredores y escaleras	5.0
	Bibliotecas	
	Salones de lectura	2.0
	Estanterías	7.0

Fuente: Tabla B. 2.4.1-1 NSR-10

Ilustración 13. Cargas vivas para cubierta

Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50
---	------

Fuente: Tabla B. 2.4.1-2 NSR-10

7.7.3 Espectro de diseño

El espectro de diseño se realizará mediante el método de la fuerza horizontal equivalente con un cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico. Este se elabora determinando inicialmente la zona de amenaza sísmica del área de estudio como lo establece la tabla A.2.3-2 del NSR-10.

Tabla 3. Zona de amenaza sísmica de la ciudad de Ibagué

IBAGUE	
Zona sísmica	Intermedia
Aa	0,2
Av	0,2

Posterior a esto se procede a determinar el tipo de perfil de suelo de la zona de estudio, tomando como guía los valores establecidos por la NSR-10 y así determinando que este presenta un tipo de perfil de categoría D en la caracterización geotécnica de los suelos de la universidad de Ibagué.

Seguidamente se determinan los valores de los coeficientes que afectan la aceleración en las zonas de periodos cortos e intermedios del espectro F_a y F_v de acuerdo a las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 del NSR-10.

Ilustración 14. Valores del coeficiente F_a según A_a y el tipo de perfil de suelo

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: Tabla A.4.2-3 NSR-10

Ilustración 15. Valores del coeficiente F_v según A_v y el tipo de perfil de suelo

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: Tabla A.4.2-3 NSR-10

Posterior a esto se identifica el grupo de uso en el que clasifica la estructura mediante el título A.2.5.1 del NSR-10 y con base en él se determina empleando la tabla A.2.5-1 el valor del coeficiente de importancia I , para éste caso el coeficiente de importancia es equivalente a 1.25 debido a que el grupo de uso de la estructura es educativo (Grupo de uso III).

Ilustración 16. Valores del coeficiente de importancia I

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente: Tabla A.2.5-1 NSR10

A continuación, se presentan los valores obtenidos por la estructura para realizar el espectro de aceleraciones de diseño en el rango elástico, donde se contiene los valores obtenidos en el procedimiento expuesto anteriormente.

Tabla 4. Valores obtenidos para realización del espectro elástico de diseño

IBAGUE	
Zona sísmica	Intermedia
Aa	0,2
Av	0,2
Coficiente de importancia	1,25
Tipo de suelo	C
Fa	1,2
Fv	1,6

Una vez determinados estos, se continúa con la determinación del periodo fundamental aproximado de la estructura (T_a) empleando la ecuación A.2.4-3 y la tabla A.4.2-1 del NSR-10.

Ecuación 1. Periodo fundamental de la estructura

$$T_a = C_t * h^a$$

T_a = Período fundamental de la estructura

C_t = Coeficiente del sistema estructural

h = altura de la estructura

a = Parametro del sistema estructural

Fuente: NSR-10

Ilustración 17. Valores de los parámetros C_t y a para el cálculo del periodo aproximado.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente: NSR-10

Del mismo se procede a determinar el análisis de irregularidades de la estructura para la reducción del espectro de diseño al rango inelástico, siguiendo los lineamientos de las tablas A.3-6 y A.3-7, se definen los tipos de irregularidades en planta ϕ_p y en altura ϕ_a , para la edificación estudiada,

Tabla 5. Irregularidades para el caso de estudio

φ_p	0.9
φ_a	0.9
φ_r	1

Por su parte la tabla A.3-3 del NSR-10 define los valores del coeficiente R_0 para sistemas estructurales de pórticos resistentes a momentos, como se observa en la siguiente figura:

Ilustración 18. Valor del factor R_0 para pórticos resistentes a momentos con capacidad de disipación de energía especial DES

C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite

Fuente: NSR-10

Para la modelación se tomará el caso apropiado a la amenaza sísmica de la zona, por el cual corresponde a capacidad de disipación de energía moderada DMO, una vez definidos los parámetros de reducción del espectro, se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Factor de reducción R

$$R = \varphi_a * \varphi_p * R_0$$

R = factor de reducción del espectro

φ_a = Irregularidades en altura

φ_p = irregularidades en planta

φ_r = irregularidad por ausencia de redundancia

R_0 = Irregularidad por ausencia de redundancia

Fuente: NSR-10

De esta manera se obtiene el valor del coeficiente R que reducirá el sismo; finalmente, con la obtención de todos los datos recopilados se procede a elaborar el espectro de aceleración de diseño en el rango elástico e inelástico con un coeficiente del cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico para zonas de periodos iniciales (T_0), periodos cortos (T_c) y periodos largos (T_L), determinando para cada periodo el valor de la aceleración espectral (S_a) expresada como una fracción de la gravedad. La elaboración del espectro de diseño se elabora siguiendo las ecuaciones y secuencia planteada en el título A.2.6 del NSR-10.

Al determinar la geometría de la edificación, secciones de los elementos estructurales, características del material estructural, y las solicitaciones estáticas y dinámicas, se procede a elaborar el modelo matemático que permitirá obtener los desplazamientos horizontales y las derivas de piso de la edificación mediante el uso del programa ETABS 2016.

Para iniciar con el modelo, se inicia plasmando los ejes que se encuentran ubicados en los planos estructurales, proseguimos definiendo las alturas de los pisos de la edificación con la respectiva resistencia del concreto utilizado posteriormente se definen las alturas de los pisos y la resistencia del material estructural; siguiente a esto se definen las secciones de los elementos estructurales como losa, columnas, viga y viguetas y se ubican conforme al plano estructural.

Posteriormente se definen los tipos de cargas que afectarán la edificación, como muertas, vivas, y sísmicas, Acto seguido se definen los valores de las cargas muertas, vivas y sísmicas determinadas en el capítulo anterior

Ilustración 19. Planta estructural piso 2 ETABS

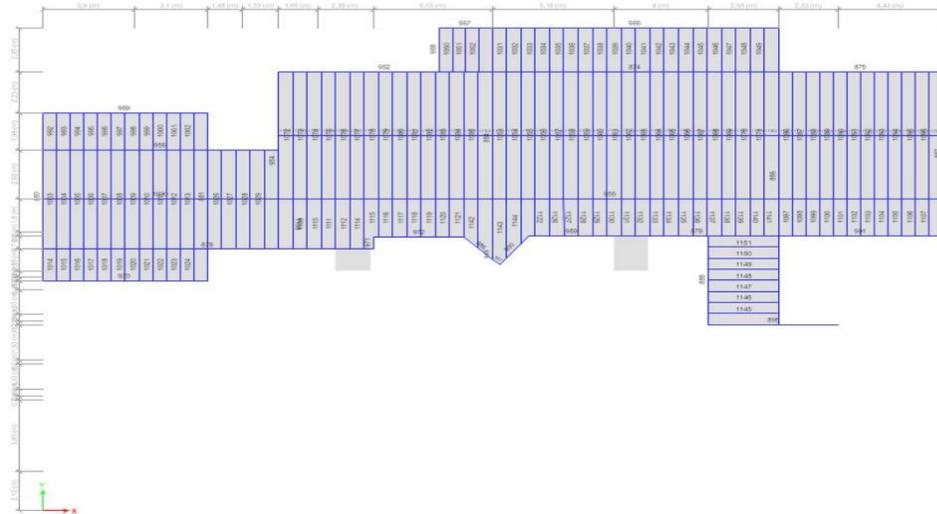


Ilustración 20. Planta 2 piso (B)

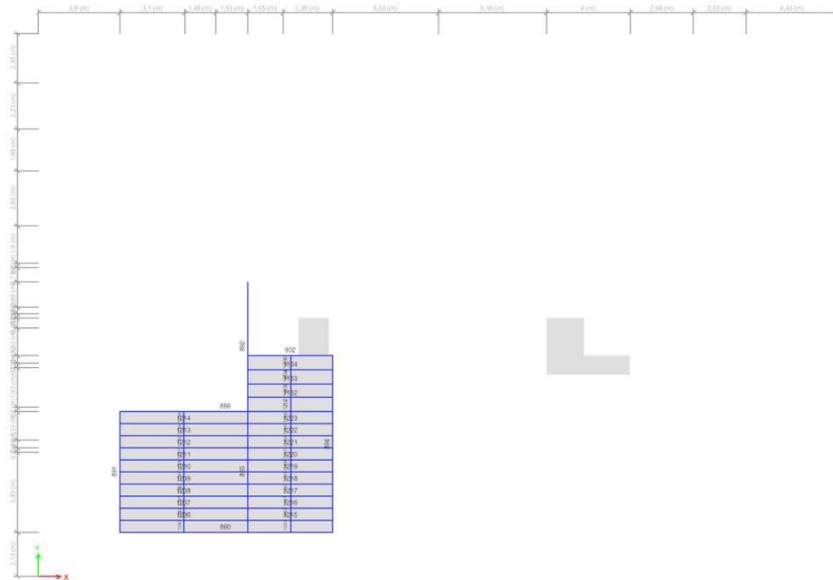


Ilustración 21. Planta estructural piso 3 ETABS

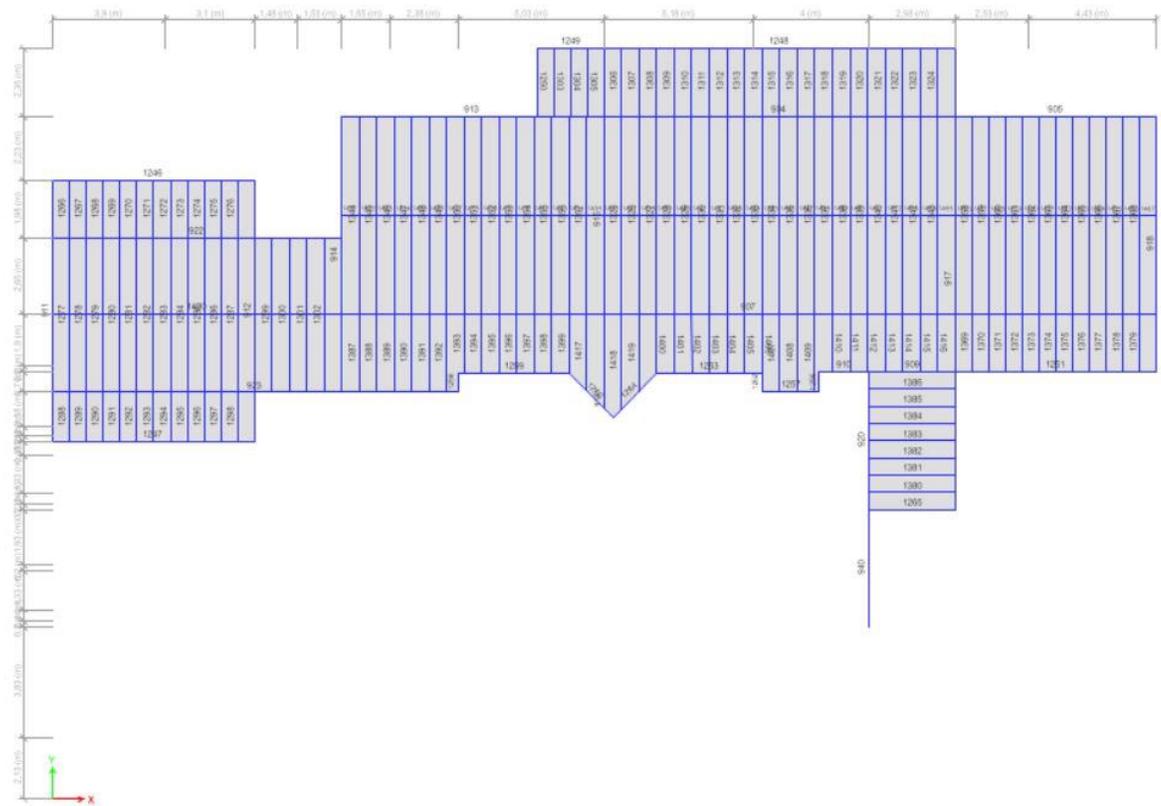


Ilustración 22. Planta 3 piso y cercha ETABS

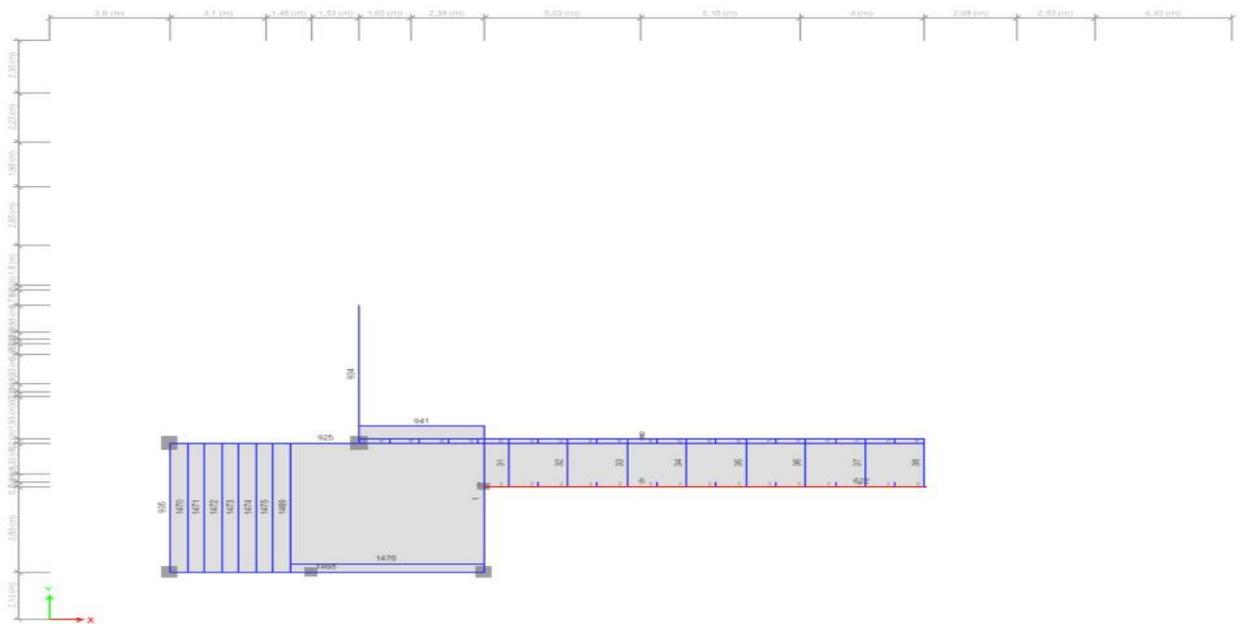


Ilustración 23. Cubierta y cercha ETABS

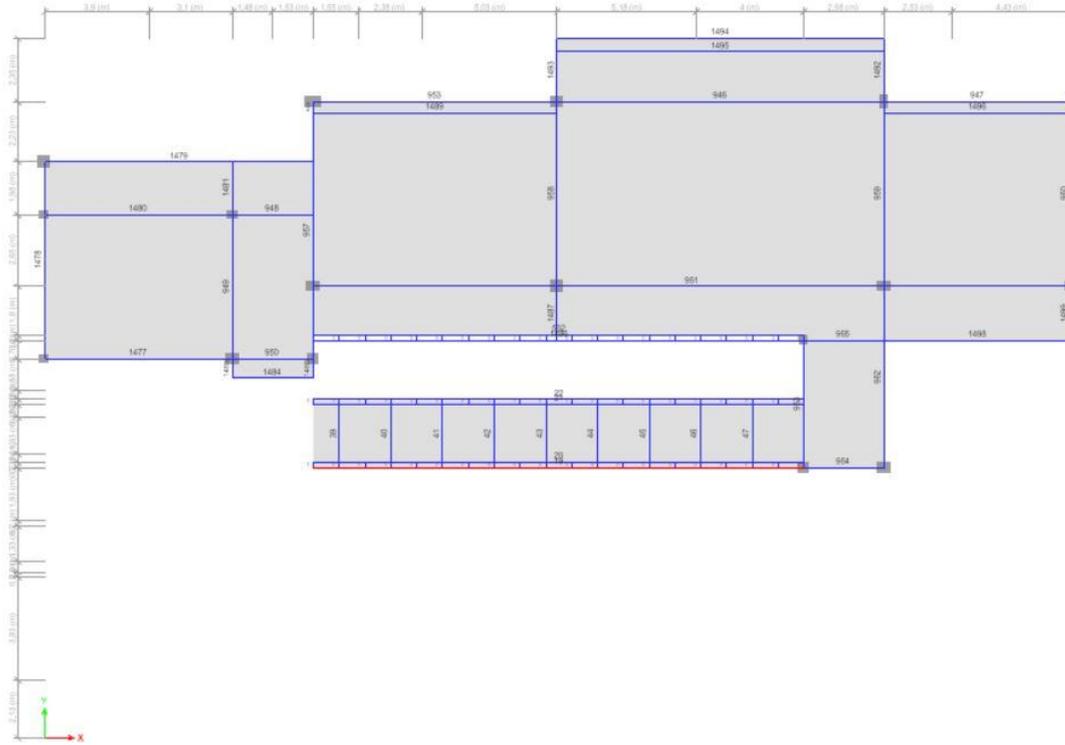
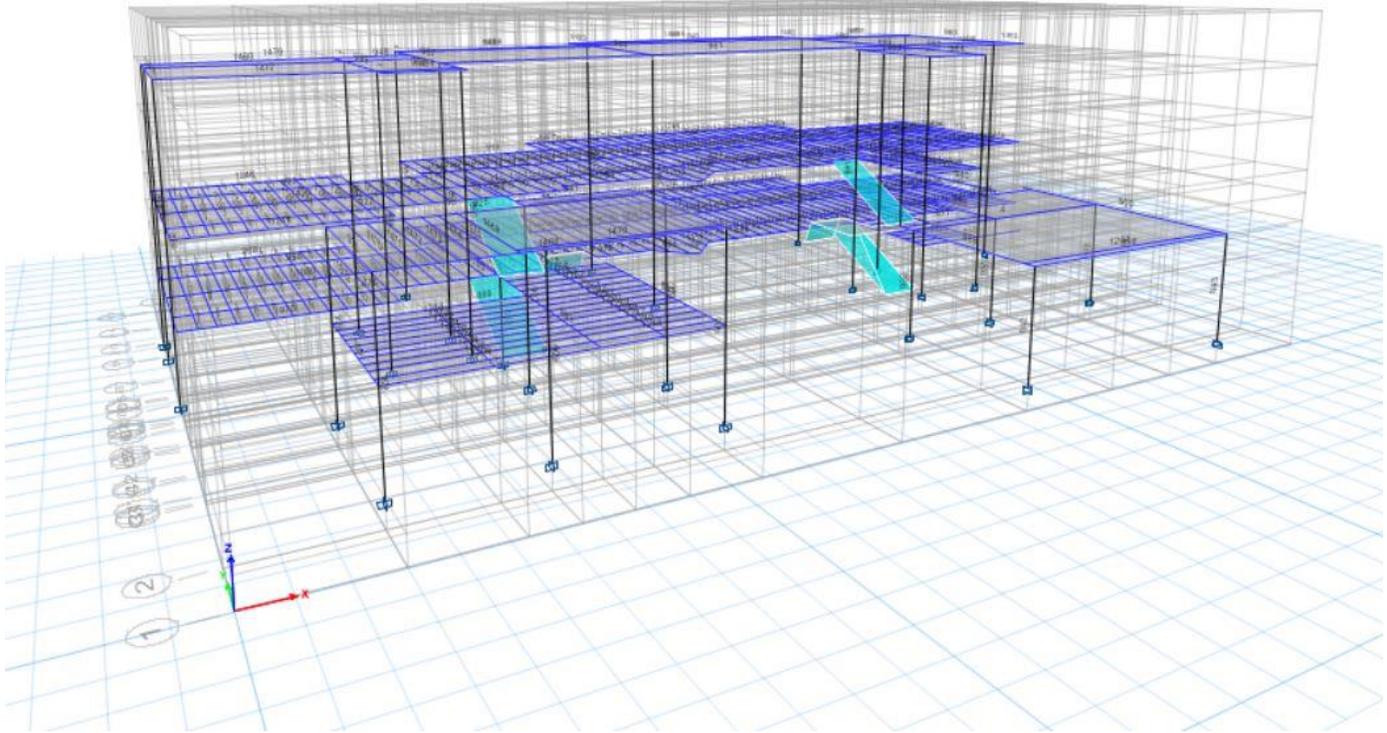


Ilustración 25. Simulación modelo matemático



7.8.1 Determinación de desplazamientos horizontales y derivas de piso

El reglamento sismo resistente de Colombia (NSR-10) señala la necesidad de controlar los desplazamientos horizontales, con el fin de poder disminuir el daño que se puede presentar a elementos no estructurales o estructurales que no hagan parte del sistema de resistencia sísmica. Por lo tanto, establece unos desplazamientos horizontales máximos, expresados como un porcentaje de la altura de cada piso. A estos desplazamientos relativos de cada piso se les denomina derivas de piso (Naranjo, 2011).

En el marco de referencia se definió la deriva de piso como la diferencia entre los desplazamientos horizontales de los niveles entre los cuales está comprendido el piso.

El capítulo A.6 del NSR-10, especifica las derivas máximas permisibles para edificaciones dependiendo del material estructural empleado.

Ilustración 26. Deriva máxima

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Fuente: NSR-10

Una vez obtenidas las derivas por el programa ETABS 2016, se realizará el chequeo para verificar si dichos desplazamientos causados ante la afectación de las fuerzas sísmicas son admisibles conforme como lo establece el NSR-10.

CAPÍTULO IV

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Recolección de información.

Al revisar la base de datos de la universidad, se encontraron distintos planos de la edificación, entre ellos planos eléctricos, arquitectónicos y estructurales. Los cuales sirvieron como referencia para el levantamiento de los planos arquitectónicos y estructural; al examinar detalladamente la información recolectada en planta física se encontró que en dos de los planos se encontraba información detalladas de los elementos tipo columna y viga de la edificación, con sus respectivos despieces.

8.2 Levantamiento arquitectónico y estructural

A partir de los datos recolectados en planta física de la universidad de Ibagué, de las distintas revisiones e inspecciones en la zona y las mediciones tomadas en campo, se obtuvieron los reales levantamientos arquitectónicos y estructurales de la edificación los cuales fueron elaborados gracias a la ayuda de la herramienta de AutoCAD, en las plantas arquitectónicas definidas se establece la geometría encontrada del centro de educación permanente, los planos se muestran en las siguientes ilustraciones.

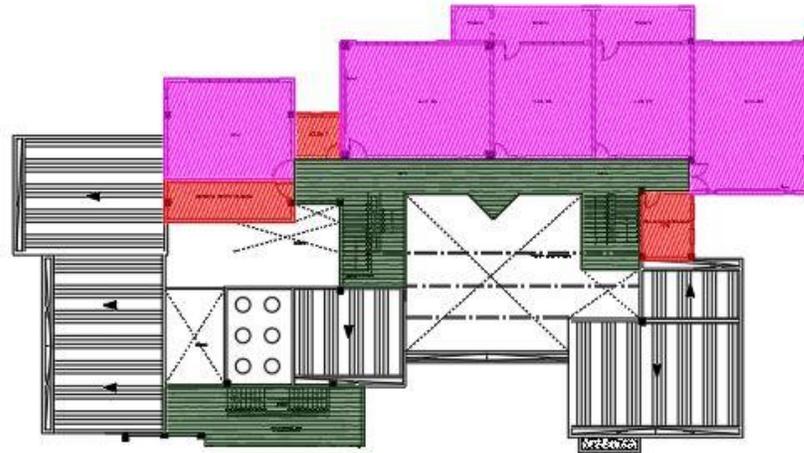
Ilustración 27. Captura del levantamiento arquitectónico piso 1 en el software AutoCAD



Ilustración 28. Captura del levantamiento arquitectónico piso 2 en el software AutoCAD



Ilustración 29. Captura del levantamiento arquitectónico piso 3 en el software AutoCAD



Los distintos levantamientos utilizados para el desarrollo de esta investigación se entregarán a la base de datos de la planta física de la universidad con el fin de que la información pueda ser reutilizada en futuros estudios e investigaciones.

Ilustración 30. Ilustración del levantamiento estructural en el software AutoCAD.

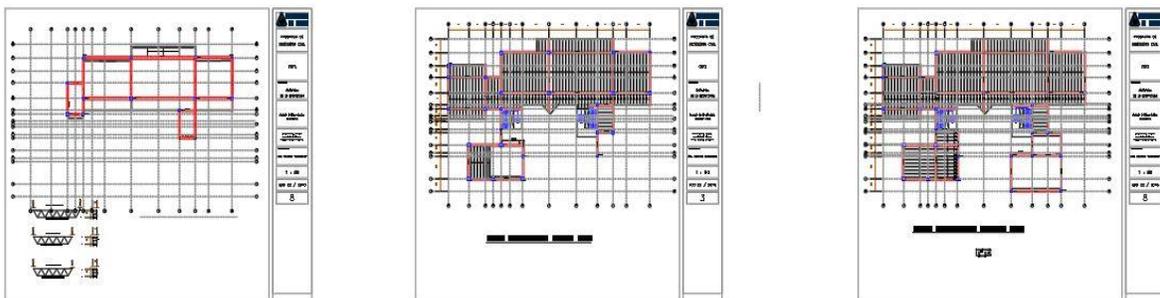


Ilustración 31. Planta estructural piso 2

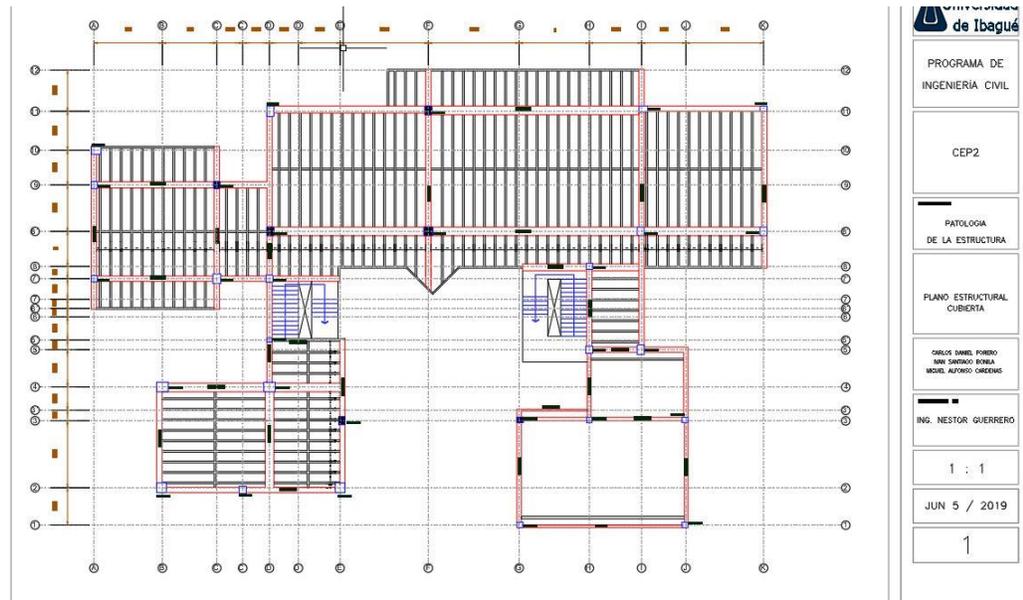


Ilustración 32. Planta estructural 3 piso

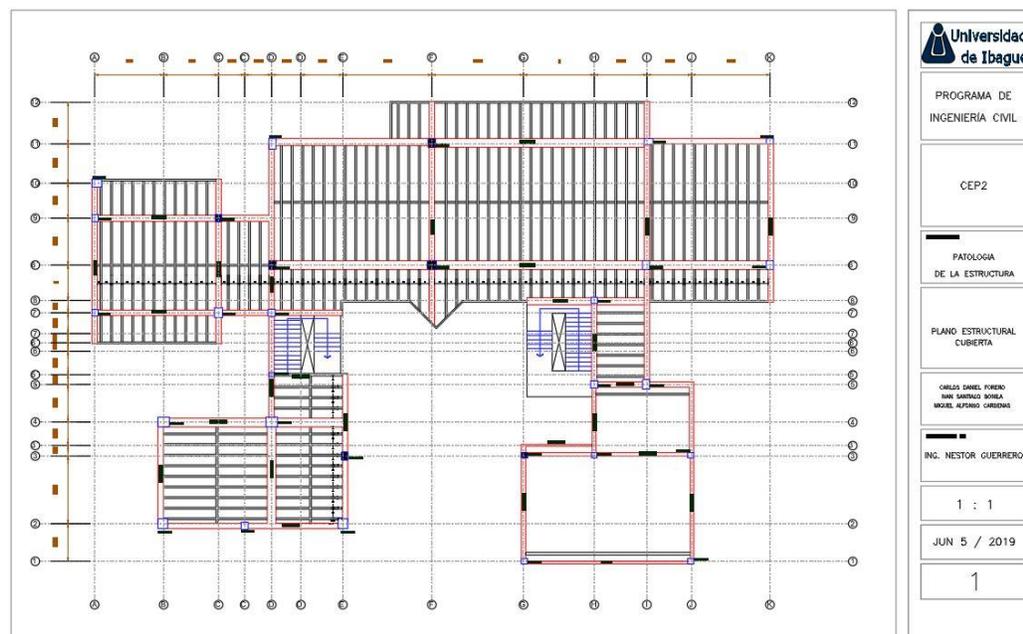
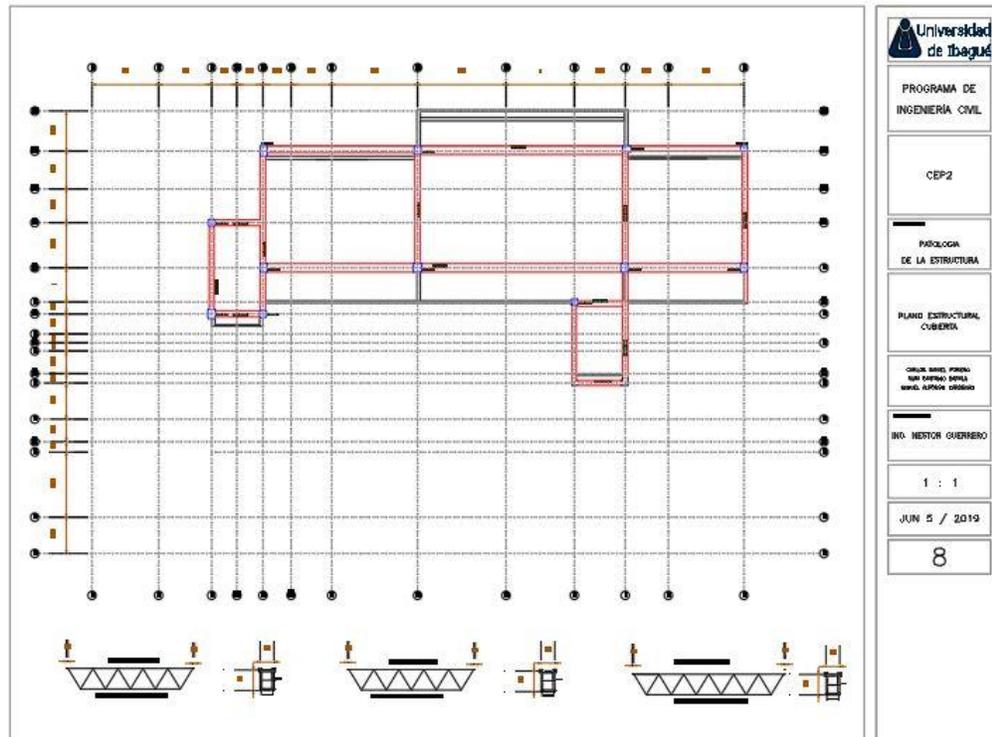


Ilustración 33. Planta estructural cubierta



PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

 CEP2

 PSICOLOGÍA DE LA ESTRUCTURA

 PLANO ESTRUCTURAL CUBIERTA

ORIGEN: BASES PLANOS DEL CENTRO DE EDUCACIÓN PERMANENTE DE LA UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ

 ING. NESTOR GUERRERO

 1 : 1

 JUN 5 / 2019

 8

8.3 Evaluación cualitativa

De la evaluación cualitativa se obtiene que el puntaje de la estructura en términos de vulnerabilidad sísmica se ve afectada negativamente por dos tipos de coeficientes, el primero es afectado por la irregularidad vertical debido a que se encuentra construida en niveles divididos, la segunda es la irregularidad en planta por regresión de esquinas.

Tabla 6. Coeficientes de afectación para el CEP.

Altura	Planta
Niveles divididos	Retroceso en esquina

Dichos valores serán los principales parámetros de penalización para la edificación.

Tabla 7. Formulario FEMA P-154 para la evaluación

ADDRESS	CARRERA 22 CALLE 67 B/AMBALA		
ZIP	730002		
USER	UNIVERSIDAD DE IBAGUE		
LATITUDE	4°27'0.197"	LONGITUDE	75°11'58.039"
Ss	0,2	S1	0,2
SCREENER	CARLOS DANIEL FORERO POMAR MIGUEL ALFONSO CARDENAS MORENO IVAN SANTIAGO BONILLA BARCO	DATE/TIME	16/06/2018

FEMA P-154 RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS LEVEL 1				
PHOTO	ADDRESS	CARRERA 22 CALLE 67 B/AMBALA		
	ZIP	730002		
	USER	UNIVERSIDAD DE IBAGUE		
	LATITUDE	4°27'0.197"	LONGITUDE	75°11'58.039"
	Ss	0,2	S1	0,2
	SCREENER	CARLOS DANIEL FORERO POMAR MIGUEL ALFONSO CARDENAS MORENO IVAN SANTIAGO BONILLA BARCO	DATE/TIME	16/06/2018
	# STORIES			
	ABOVE GRADE	3	BELOW GRADE	0
TOTAL FLOOR AREA (m2)		1032,21		
YEAR BUILT	1989	CODE YEAR	NSR-10	
ADDITIONS				
NONE	<input type="checkbox"/>	YES, YEAR	SI, PRECOZ	
OCCUPANCY				
ASSEMBLY	<input type="checkbox"/>	EMERGENCY	<input type="checkbox"/>	
INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>	SCHOOL	<input checked="" type="checkbox"/>	
UTILITY	<input type="checkbox"/>	RESIDENTIAL	<input type="checkbox"/>	
COMMERCIAL	<input type="checkbox"/>	HISTORIC	<input type="checkbox"/>	
OFFICE	<input checked="" type="checkbox"/>	GOVERNMENT	<input type="checkbox"/>	
WAREHOUSE	<input type="checkbox"/>	SHELTER	<input type="checkbox"/>	
SOIL TYPE				
A (HARD ROCK)	<input type="checkbox"/>	D (STIFF SOIL)	<input type="checkbox"/>	
B (AVG ROCK)	<input type="checkbox"/>	E (SOFT SOIL)	<input type="checkbox"/>	
C (DENSE SOIL)	<input checked="" type="checkbox"/>	F (POOR SOIL)	<input type="checkbox"/>	
IF DNK ASSUME TYPE D				
GEOLOGIC HAZARDS				
LIQUEFACTION		YES / NO / DNK	YES / NO x / DNK	
LANDSLIDE		YES / NO / DNK	YES / NO x / DNK	
SURFACE RUPTURE		YES / NO / DNK	YES / NO x / DNK	
ADJACENCY				
POUNDING			<input checked="" type="checkbox"/>	
FALLING HAZARDS TALER ADJ. BUILDING			<input type="checkbox"/>	
IRREGULARITIES				
VERTICAL TYPE/SEVERITY			PRESENTA	
PLAN TYPE			PRESENTA	
EXTERIOR FALLING HAZARDS				
UNBRACED CHIMNEYS			NO PRESENTA	
PARAPETS			PRESENTA	
HEAVY CLADDING			NO PRESENTA	
APPENDAGES			PRESENTA	
OTHER				
COMMENTS				
La estructura presenta irregularidades tanto en planta como en alzada, estas se determinan por medio de la norma Nsr-10 capitulo A-3.				
ADDITIONAL COMMENTS ON SEPARATED PAGE				

De esta manera se obtiene un puntaje básico de la edificación, afectando los parámetros que regula el formato FEMA P-154 para la zona de amenaza sísmica del área de estudio

Tabla 8. Puntaje obtenido por la edificación

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, SL1																	
FEMA BUILDING TYPE	W1	W1A	W2	S1 (MR F)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (UR MIN F)	C1 (MR F)	C2 (SW)	C3 (UR MIN F)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
BASIC SCORE	5,1	4,5	3,8	2,7	2,6	3,5	2,5	2,7	2,1	2,5	2	2,1	1,9	2,1	2,1	1,7	2,9
SEVERE VERT. IRREGULARITY VL1	-1,4	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,4	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1	-1,1	-1	-1,1	-1,1	-1	NA
MODERATE VERT. IRREGULARITY, VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	NA
PLAN IRREGULARITY, PL1	-1,4	-1,3	-1,2	-1	-0,9	-1,2	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	NA
PRE - CODE	-0,3	-0,5	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5
POST - BENCHMARK	1,4	2	2,5	1,5	1,5	0,8	2,1	NA	2	2,3	NA	2,1	2,5	2,3	2,3	NA	1,2
SOIL TYPE A OR B	0,7	1,2	1,8	1,1	1,3	0,6	1,5	1,6	1,1	1,5	1,3	1,6	1,3	1,4	1,4	1,3	1,6
SOIL TYPE E (1-3 STORIES)	-1,2	-1,3	-1,4	-0,9	-0,9	-1	-0,9	-0,9	-0,7	-1	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6	-0,9
SOIL TYPE E (>3 STORIES)	-1,8	-1,6	-1,3	-0,9	-0,9	NA	-0,9	-1	-0,8	-1	-0,8	NA	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	NA
MINIMUM SCORE, Smin	1,6	1,2	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	1,5
FINAL LEVEL 1 SCORE SL1 > Smin SL1 = 0.3																	

El puntaje obtenido por la estructura cumple el mínimo requerido por el FEMA P-154. Se puede decir en términos generales que la estructura cumple con la calificación mínima para una estructura en zona de amenaza moderada según el FEMA P-154, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 9. Verificación de puntaje mínimo requerido

TOTAL	0.3
MINIMUM SCORE, S min	0.3
Verificación	CUMPLE

Fuente: FEMA P-154

No obstante, cabe resaltar que al encontrarse Ibagué en una zona de amenaza sísmica considerable es conveniente no dejar como garantía únicamente el puntaje mínimo obtenido en la sección anterior, ya que no garantiza el correcto funcionamiento de la estructura frente a amenazas sísmicas.

Así mismo, en el estudio se pudo determinar que la edificación de uso escolar cuenta con otros riesgos, como elementos que ante eventos sísmicos pueden generar accidentes en los

usuarios producto de su caída al exterior o al interior de la edificación como muros, ventiladores, elementos de video, estantería, entre otros.

Igualmente, durante la evaluación no se determinaron daños patológicos o estructurales en la edificación.

8.4 Verificación de cumplimiento de secciones mínimas

Al realizarse la evaluación de los elementos estructurales del centro de educación permanente se determina que las dimensiones de estos cumplen con los criterios de capacidad de disipación de energía moderada y de disipación de energía especial.

8.4.1 Verificación de columnas

La edificación cuenta con un total de 28 columnas las cuales se dividen en varios tipos debido a que sus dimensiones son distintas. A continuación, se realiza la verificación de cumplimiento mínimo de dimensión para las mismas para capacidad de disipación de energía moderada DMO y especial DES.

Tabla 10. Verificación de cumplimiento de columna típica para DMO

C1-A-10			
bc (cm)	55	V	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	45		PANTALLA
hc/bc	0,81818		COLUMNA
Ac [T, C, I (cm²)]	2475	V	CUMPLE C.21.3.5.1

Para el caso de disipación de energía moderada DMO, cumple el requerimiento establecido por el título C.21.3.5.1 el cual define que la sección menor debe ser de 250 mm o más.

Tabla 11. Verificación de cumplimiento de columna típica para DES

C1-A-10			
bc (cm)	55		CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	45		0,25
bc/hc	1,222222222		CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	2475		CUMPLE C.21.6.1.1

Así mismo, de acuerdo a los títulos C.21.6.1.1 y C.21.6.1.2 la sección de columna diseñada para el centro de educación permanente cumple para capacidad de disipación de energía especial DES, ya que como define el primer título la sección mínima del elemento debe ser igual o mayor a 300 mm, así mismo la relación mínima entre la sección menor y la sección mayor del elemento cumple que debe ser mayor o igual a 0.4 cumple.

Ilustración 34. Columna C1

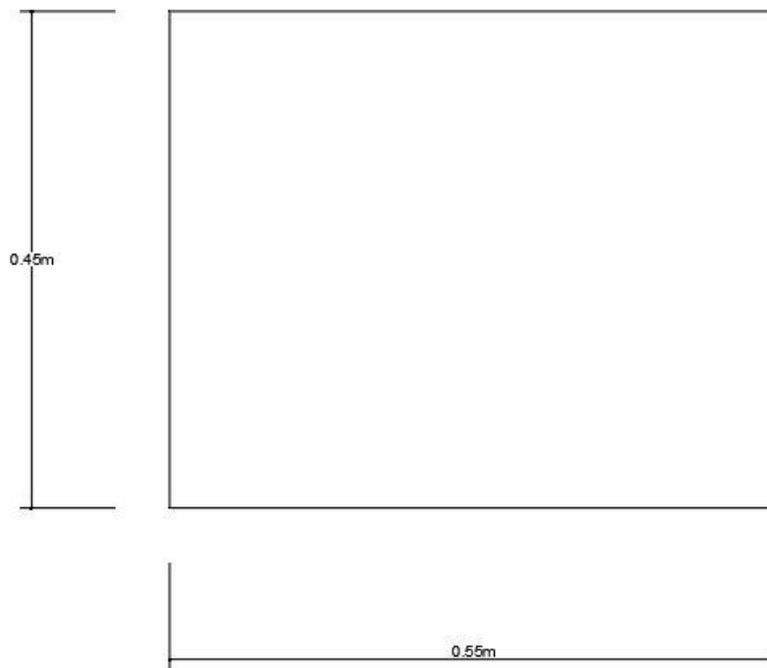


Ilustración 35. Columna C2

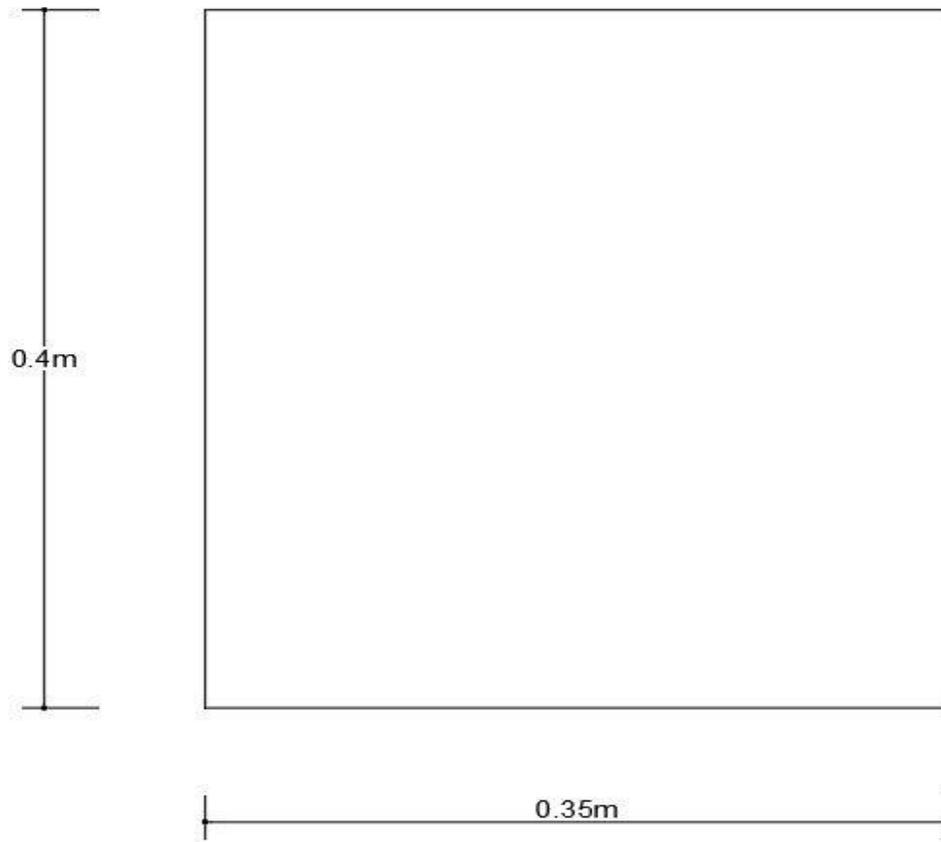
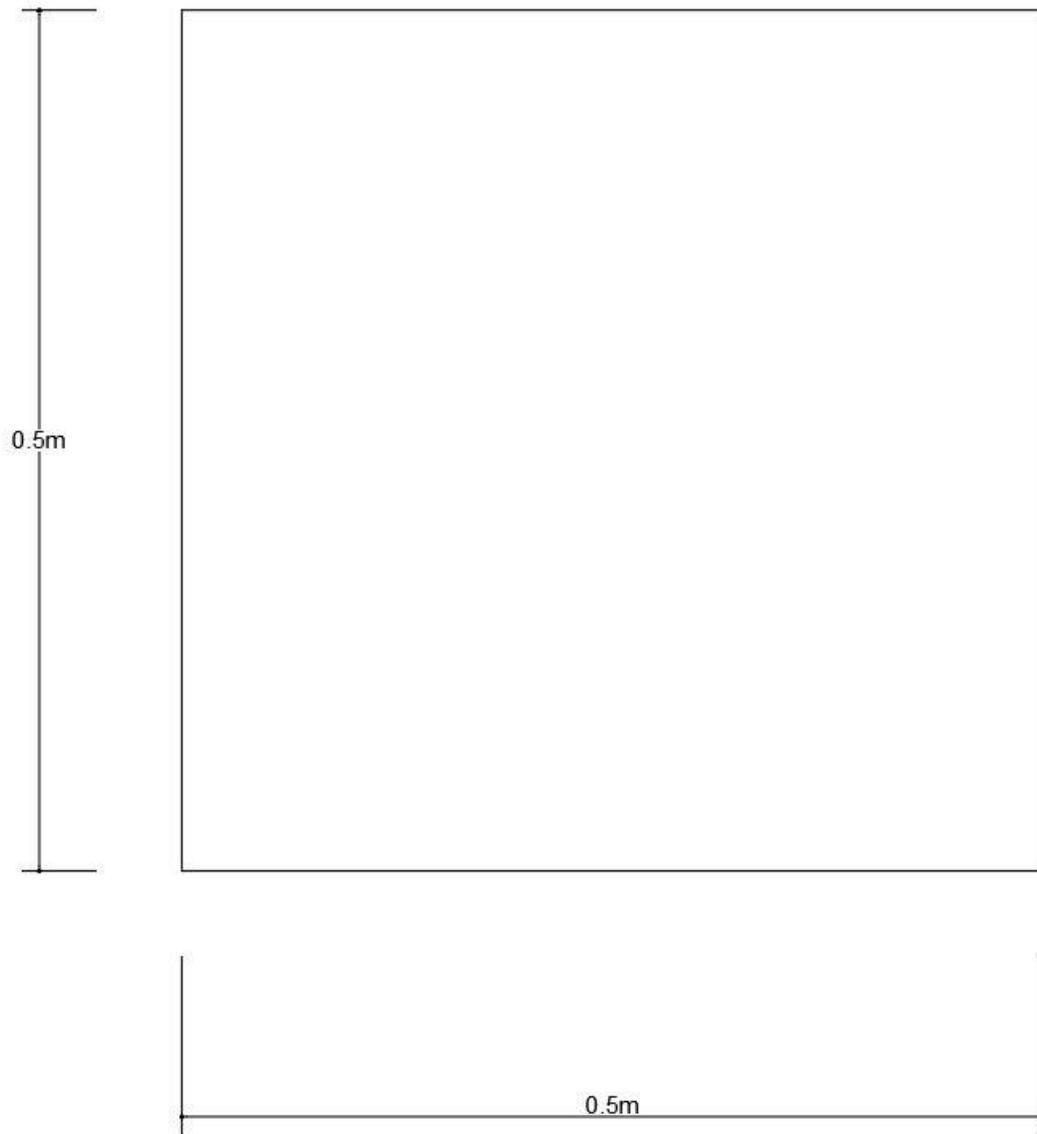


Ilustración 36. Características columna C9



8.4.2 Verificación de vigas

Tabla 12. Verificación de cumplimiento de viga típica para DMO

CD-1		
h (cm)	50	VIGA COMUN
bw (cm)	40	CUMPLE C.21.3.4.1

Se puede observar de la tabla anterior que la sección de viga en este caso para capacidad

de disipación de energía moderada DMO cumple con la altura mínima y ancho mínimo según el título C.21.3.4.1 del NSR-10 respectivamente.

Tabla 13. Verificación de cumplimiento de viga típica para DES

CD-1		
h (cm)	50	VIGA COMUN
c2 (cm)		50
c1 (cm)		40
bw (cm)	40	CUMPLE C.21.5.1.3
		CUMPLE C.21.5.1.4

Se encuentra que la viga tipo cumple los requerimientos mínimos de sección impuestos por los numerales C.21.05.1.3 y C.21.5.1.4 para DES, en conclusión, la estructura cumple con los parámetros mínimos de sección de vigas para capacidad de disipación de energía especial y moderada.

8.5 Resultados de ensayos no destructivos

8.5.1 Ensayo de esclerometría

Se obtiene entonces la resistencia de concreto a compresión “F’c”, ensayando un total de 7 columnas, los ensayos de esclerometría arrojan valores entre los 21 y 40 MPa. En promedio la estructura muestra valores de resistencia a la compresión de 23,43 MPa o 3500 psi estimativamente, una resistencia muy alta para el tipo de estructura de análisis.

Tabla 14. Resistencia del concreto estimada con el ensayo INV E -413-13

C18-3-E							
UBICACION	N°	Indice de Rebote (iRbm)	CCs (N/M2)	MEDIA	CHEQUEO ASTM C805	F' C	F' C PROMEDIO MPA
PARTE MEDIA	1,00	36,70	28,00	37,15	CUMPLE	22,88	23,43
PARTE MEDIA	2,00	36,20	28,00		CUMPLE	22,25	
PARTE MEDIA	3,00	39,00	32,00		CUMPLE	25,75	
PARTE MEDIA	4,00	36,00	28,00		CUMPLE	22,00	
PARTE MEDIA	5,00	37,00	29,00		CUMPLE	23,25	
PARTE MEDIA	6,00	41,00	35,00		CUMPLE	28,25	
PARTE MEDIA	7,00	34,00	25,00		CUMPLE	19,50	
PARTE MEDIA	8,00	33,00	24,00		CUMPLE	18,25	
PARTE MEDIA	9,00	36,00	28,00		CUMPLE	22,00	
PARTE MEDIA	10,00	39,00	32,00		CUMPLE	25,75	
PARTE ALTA	1,00	37,00	29,00		CUMPLE	23,25	
PARTE ALTA	2,00	36,00	28,00		CUMPLE	22,00	
PARTE ALTA	3,00	42,00	36,00		CUMPLE	29,50	
PARTE ALTA	4,00	37,00	29,00		CUMPLE	23,25	
PARTE ALTA	5,00	36,00	28,00		CUMPLE	22,00	
PARTE ALTA	6,00	38,00	31,00		CUMPLE	24,50	
PARTE ALTA	7,00	37,00	29,00		CUMPLE	23,25	
PARTE ALTA	8,00	35,00	26,00		CUMPLE	20,75	
PARTE ALTA	9,00	38,00	31,00		CUMPLE	24,50	
PARTE ALTA	10,00	39,00	32,00		CUMPLE	25,75	

Los resultados obtenidos permiten determinar que las columnas existentes en la edificación cuentan con un concreto de alta resistencia aun después de casi 30 años de su construcción, el cual no presentaba ningún tipo de fisura ni grietas, en todas las columnas ensayadas se hallaron superficies de muy buena calidad.

En el momento que se realizaron los ensayos se puede resaltar que los valores obtenidos son válidos ya que fueron muy pocos los disparos descartados debido a que diferían en valores grandes el promedio del índice de rebote. Por tanto, se tomaron valores de las resistencias promedios de las superficies de las columnas ensayadas.

Los resultados completos del ensayo de esclerometría se encuentran contenidos en la carpeta “Anexos” en la subcarpeta “Ensayo de esclerometría”.

8.5.2 Ensayo de ferroscañ

La disposición del acero de refuerzo dentro de elementos estructurales, debe estar bien configurado para que funcione de la manera esperada, por ende, se verifica la disposición del acero longitudinal y transversal.

8.5.2.1 Verificación del refuerzo transversal

Los ensayos de ferroscañeros arrojaron una gran cantidad de disposición de acero longitudinal, esto debido a que la edificación cuenta con 17 tipos de columnas, por lo que la distribución cambiaba en cada una.

Fotografía 3. Disposición del acero longitudinal



Con los datos obtenidos se realizó un detalle aproximado de la disposición del acero de refuerzo transversal para realizar la verificación y así como el chequeo de las separaciones máximas establecidas por el NSR-10 para capacidad de disipación de energía moderada DMO y especial DES.

Fotografía 4. Estimación de la disposición del acero longitudinal para la columna C-18



Se definió entonces, un recubrimiento que se encuentra entre los 4 y los 5 cm debido a la cantidad de columnas de tipos distintos.

8.5.2.2 Refuerzo transversal

El refuerzo transversal no presentó variaciones significativas de espaciamiento en las zonas de confinamiento, pero hay que resaltar que en las zonas intermedias si encontraron variaciones significativas. Se encontró que los estribos de 3/8" tienen una separación que ronda entre los 7 cm y 10 cm en la zona de confinamiento a diferencia de la zona intermedia que presentan separaciones entre los 15 cm y 80 cm.

Fotografía 5. Disposición del acero transversal



Las separaciones encontradas se compararon con las máximas permitidas por los numerales C.21.3.5.6 y C.21.6.4.3 para DMO y DES respectivamente, esto se pudo ver en las tablas 24 y 25 presentadas a continuación.

Tabla 15. Verificación de separación máxima permitida de estribos en los extremos para DMO.

SEPARACIÓN REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS DMO C.21.3.5.6	
Condición C	150 mm
Nota: no debe exceder el menor de C	

Tabla 16. Verificación de separación máxima permitida de estribos en los extremos de la columna

SEPARACIÓN REFUERZO TRANSVERSAL COLUMNAS DES C.21.6.4.3	
Condición A	1/4 dimensión mínima
Nota: no debe exceder el menor de A	

Para capacidad de disipación moderada la separación entre estribos de confinamiento no debe exceder la menor de las condiciones (A), (B) y (C) mostradas en la tabla 24. La menor de ellas define que la separación debe ser igual o mayor a 7.5 cm, teniendo en cuenta que se encontraron separaciones mayores.

8.4.2.3. Recubrimiento

El valor del recubrimiento obtenido a partir del ensayo de ferroscaño varío entre los 4 cm y 5 cm de espesor, valores que están por encima del mínimo exigido por el numeral C.7.7.1 de la NSR-10, el cual establece que éste debe ser mayor o igual a 4 cm, por ende, dicho parámetro cumple a satisfacción.

8.6. Determinación de desplazamientos horizontales y chequeo derivas

Una vez realizada la simulación en el programa, se procedió a obtener los desplazamientos de la edificación.

Tabla 17. Máximos desplazamientos y derivas de la edificación

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z	CHEQUEO
CAFETERIA- C1	FX1	X	0,002	1	33,76	0	4,9	OK
CAFETERIA- C1	FX2	X	0,002	1	33,76	0	4,9	OK
CUBIERTA 3- C4	FX1	X	0,001	387	38,19	23,64	10,825	OK
CUBIERTA 3- C4	FX2	X	0,001	387	38,19	23,64	10,825	OK
CUBIERTA 3- C4	FY1	Y	0,001	392	38,19	16,78	10,825	OK
CUBIERTA 3- C4	FY2	Y	0,001	392	38,19	16,78	10,825	OK
C2	FX1	X	0,001	401	10,01	14,08	6,875	OK
C2	FX2	X	0,001	401	10,01	14,08	6,875	OK
C2	FY1	Y	0,001	401	10,01	14,08	6,875	OK
CAFETERIA- C1	FX1	Y	0,001	24	24,25	5,96	4,9	OK
CAFETERIA- C1	FX2	Y	0,001	24	24,25	5,96	4,9	OK
CAFETERIA- C1	FY1	Y	0,001	24	24,25	5,96	4,9	OK
CAFETERIA- C1	FY2	Y	0,001	24	24,25	5,96	4,9	OK
PISO 2 B	FX1	X	0,001	787	10,01	10,57	3,9	OK
PISO 2 B	FX2	X	0,001	787	10,01	10,57	3,9	OK
PISO 2 B	FY1	Y	0,001	787	10,01	10,57	3,9	OK
C2	FY2	Y	0,0004769	401	10,01	14,08	6,875	OK
PISO 2 B	FY2	Y	0,0004349	787	10,01	10,57	3,9	OK
CAFETERIA- C1	FY1	X	0,0002467	23	33,76	5,96	4,9	OK
C2	FX1	Y	0,0002005	3	3,9	2,13	6,875	OK
C2	FX2	Y	0,0002005	3	3,9	2,13	6,875	OK
CAFETERIA- C1	FY2	X	0,000199	23	33,76	5,96	4,9	OK
PISO 2 B	FX1	Y	0,0001349	787	10,01	10,57	3,9	OK
PISO 2 B	FX2	Y	0,0001349	787	10,01	10,57	3,9	OK

En la anterior ilustración se pudieron apreciar las derivas máximas de la edificación en orden descendente, la mayor deriva total que se identificó fue de 0.002 mm, esto se debe a que los elementos estructurales tienen secciones geométricas considerablemente grandes, lo que genera una rigidez bastante alta, de esta manera restringe los movimientos y deformaciones ante los eventos sísmicos, es decir, se necesitan fuerzas, en este caso cargas, de mayor magnitud a las que actúan sobre el edificio, para que la estructura se vea alterada en cuanto a sus desplazamientos; además, de acuerdo con los planos estructurales,

existen una gran cantidad de elementos estructurales en las losas, conocidos como viguetas, las cuales permiten que la distribución de cargas en cada uno de los elementos estructurales principales sea menor, por lo tanto el recorrido de cada una de las fuerzas entre viguetas, vigas y columnas es menor, y además cada uno de ellos posee anchos de referencia pequeños.

Ilustración 37. Máximo desplazamiento pórtico 1

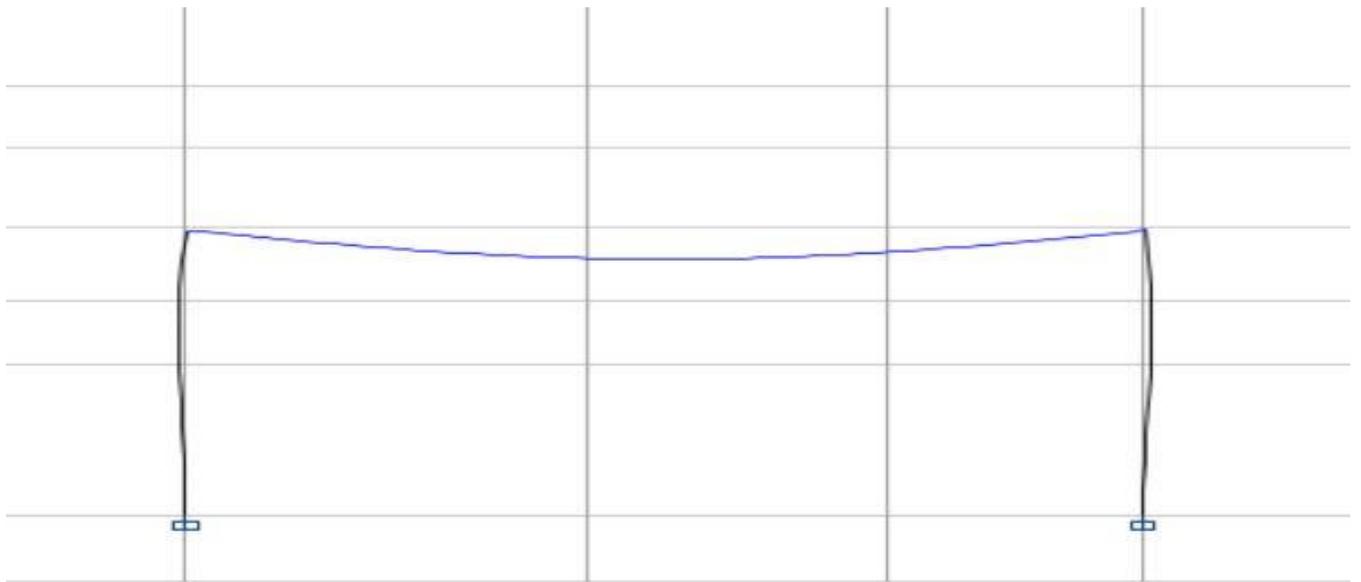
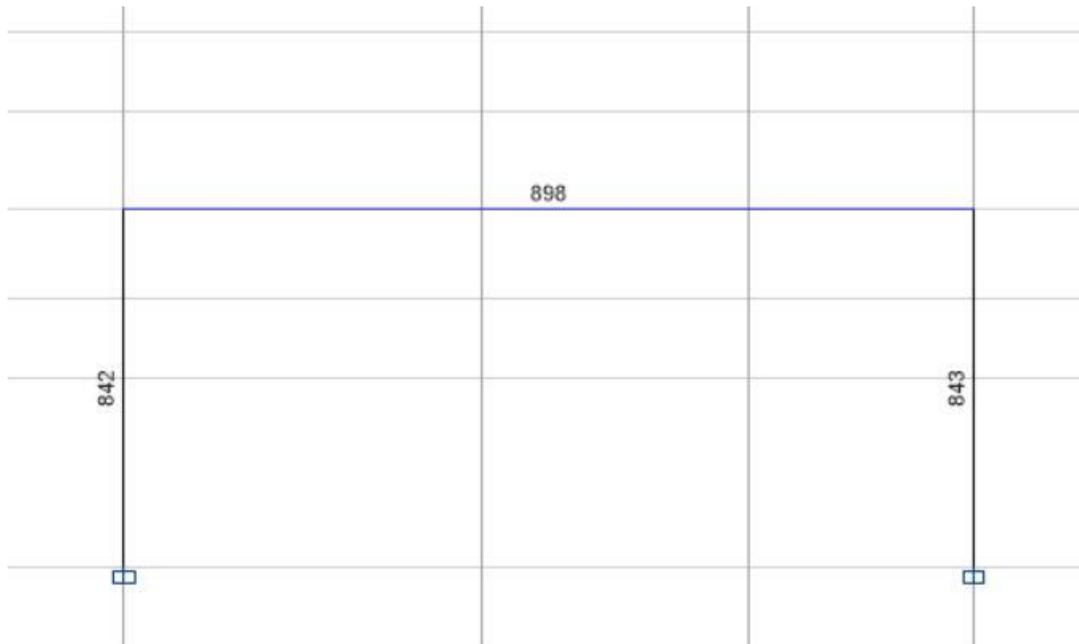


Ilustración 38. Pórtico 1 sin deformar



Por otra parte, la deriva máxima mencionada anteriormente se encuentra a una altura de 4.9 m. Con base en esto, podemos analizar que el desplazamiento máximo se encuentra un poco más arriba de la mitad del edificio, esto nos indica que es allí donde se concentran la mayor cantidad de cargas y fuerzas que afectan la estructura.

Ilustración 39. Pórtico 3 deformado

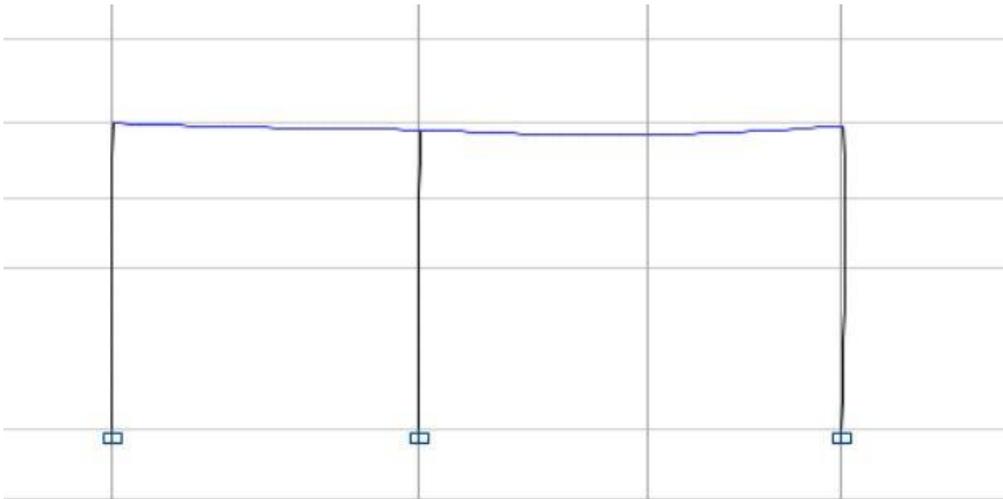
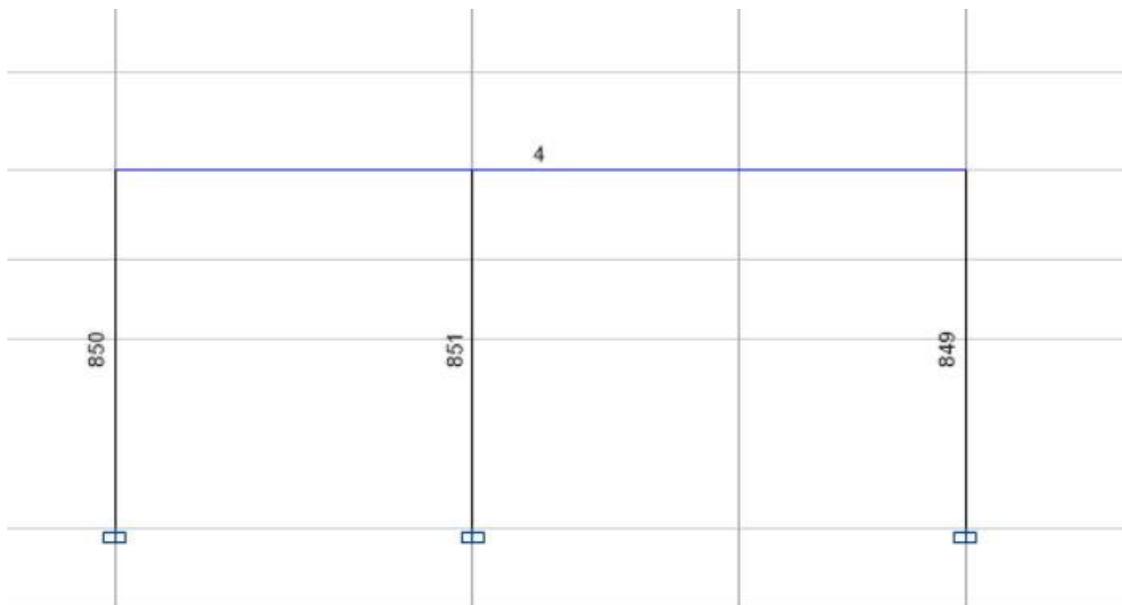


Ilustración 40. Pórtico 3 sin deformar



Fuente: Modelo Matematico

Según las dos ilustraciones anteriores, podemos observar el antes y el después de la deformación del pórtico ubicado sobre el eje 3, donde se puede evidenciar que la estructura presenta desplazamientos considerables, pero gracias a la rigidez de sus elementos, estas no superan el 1% de altura de entrepiso.

Por lo anterior se determina que, al cumplir con el chequeo de derivas, la estructura cumple con las deformaciones admisibles por parte de la norma y así mismo se define que la edificación se encuentra bien rigidizada. Esto debido a que al realizar la evaluación se detectó que la distribución del material estaba de manera correcta, las secciones de los elementos cumplían con la norma. Por tanto, la estructura presenta un comportamiento adecuado en cuanto a las solicitaciones dinámicas y estáticas que la perturban, lo cual permite deducir que no existe riesgo a que se presenten daños en elementos estructurales o no estructurales que hacen parte del sistema de resistencia sísmica.

CAPITULO V

9. CONCLUSIONES

Se determina que la unidad del centro de educación permanente CEP de la universidad de Ibagué cumple con los requisitos exigidos por la NSR-10 tanto en geometría como en el chequeo de derivas.

A partir del método de evaluación cualitativo se logra determinar que el resultado fue satisfactorio, esto debido a que en el momento de realizar el chequeo a la estructura se encontró que esta misma estaba en un excelente estado físico, no presentaba ningún tipo de fisuras o agrietamiento en los elementos estructurales ni daños que pudieran poner en riesgo la estructura ni riesgo para las personas.

De igual manera al realizar los ensayos no destructivos permitieron establecer que el concreto utilizado en la construcción se encuentra en buenas condiciones ya que no se encontraron zonas de resistencia baja.

Aunque la disposición de los elementos estructurales no se llevó a cabo como los planos indicaban, estos se encargaron de que su construcción estuviera acorde a los requerimientos contemplados en la norma NSR-10.

Se concluye que los desplazamientos horizontales y las derivas de piso encontradas no superan el máximo permitido por la norma, debido a esto se determina que la estructura se encuentra rigidizada bajo los estándares de seguridad necesarios.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en la investigación permiten determinar el comportamiento adecuado de la estructura sin necesidad de una

intervención.

10. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios e investigaciones en el centro de educación permanente se recomienda implementar mayor cantidad de ensayos no destructivos tanto como destructivos, esto con el fin de determinar con mayor precisión las propiedades mecánicas del concreto y evitar la variación de resultados obtenidos a lo largo de la investigación. Se recomienda para futuros estudios, realizar ensayos destructivos para determinar con mayor precisión las propiedades mecánicas del concreto y de esa manera no tener valores tan variables como los que se obtuvieron en esta investigación.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente*. Bogotá D.C.
- Federal Emergency Management Agency. (2014). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Washington, D.C: Nehr.
- Herrera, S. (1986). Riesgo sísmico de edificaciones. Barcelona, Cataluña, España.
- Naranjo, Carlos A. (2011). *Análisis estructural sísmico de un edificio de cinco pisos*. Ibagué: Notas Universitarias.
- Osorio N., J. A., & all, e. (2008). *Paleosismología de la falla de Ibagué*. Ibagué: Ingeominas.
- Peña, E. L. (2014). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas en la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). *Glosario Sismología*. Bogotá D.C.
- Universidad de Ibagué. (2009). *Plan urbanístico y arquitectónico de la universidad de Ibagué*. Ibagué.
- Universidad nacional de Colombia, Facultad de minas (2011). *Estudio de vulnerabilidad sísmica y patológico de la institución universitaria, tecnológico de Antioquia*.
- Audri Victoria Camacho Villegas (2011). *Vulnerabilidad sísmica estructural de los edificios principales de la facultad de ingeniería civil de la universidad nacional de ingeniería de Perú*.

