



**Evaluación de vulnerabilidad sísmica para el edificio de dos
pisos de la Biblioteca Central de la Universidad de Ibagué**

**Wendy Dayanna Ricardo Quesada
Ana Camila Rubio Susunaga**

**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Ibagué, 2019**

Evaluación de vulnerabilidad sísmica para el edificio de dos pisos de la Biblioteca Central de la Universidad de Ibagué

**Wendy Dayanna Ricardo Quesada
Ana Camila Rubio Susunaga**

**Trabajo de grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. Néstor Luis Guerrero Chávez.**

**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Ibagué, 2019**



NOTA DE ACEPTACIÓN

FRIMA DEL PRESIDENTE DE JURADO

FRIMA DEL JURADO

FRIMA DEL JURADO

IBAGUÉ, TOLIMA _____ DE 2019



DEDICATORIAS

Dedicatoria

Wendy Quesada

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien como guía me inspiró y me brindó salud, fortaleza y capacidad para continuar en este proceso tan importante de mi formación profesional. A mi madre Martha Quesada, la cual no encuentro las palabras necesarias para expresar todo mi amor, gratitud y sacrificio en todos estos años, ya que gracias a ella he llegado a culminar un peldaño más de mi vida.

A mis hermanos Brayan y Hamilton por brindarme su cariño y apoyo incondicional durante este proceso. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, nunca me dejaron decaer y siempre me indujeron a ser perseverante y cumplir mis ideales.

A mis amigos y compañeros quienes durante estos cinco años compartieron su conocimiento, alegrías, tristezas y estuvieron a mi lado apoyándome sin esperar nada a cambio, logrando que este sueño se haga realidad.

Dedicatoria

Ana Camila Rubio

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino aquellas personas que con su apoyo y compañía me han permitido culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Papas gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mi hermanita Vanessa, por estar conmigo, y brindarme todo su cariño.

A Javier y sus padres, por compartir momentos significativos conmigo y por estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento.



Agradecimientos

En primer lugar, gracias a Dios por sus bendiciones, fortaleza y sabiduría para superar todos los obstáculos y dificultades en nuestro proceso de formación.

A nuestros padres y familiares por el apoyo fiel e incondicional durante todos estos años de esfuerzo y dedicación.

Agradecemos a la universidad de Ibagué y a todo el equipo de docentes del programa de ingeniería civil que nos proporcionaron una educación de calidad durante los años de la carrera profesional. Igualmente, al Ingeniero Néstor Luis Guerrero Chávez director de proyecto y del programa de Ingeniería Civil, por su amabilidad, colaboración y sabiduría para el desarrollo del presente trabajo de grado.

Gracias a todo el grupo administrativo de la universidad, compañeros y amigos que aportaron recurso humano y material para la elaboración del presente proyecto.

Resumen

El presente informe contiene los resultados de la evaluación de vulnerabilidad sísmica para el edificio de la biblioteca Central ubicada en la Universidad de Ibagué. Allí se identifica por medio de un análisis cuantitativo, si la estructura es potencialmente vulnerable ante posibles sismos estimados para la zona según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Adicionalmente se verifica si los elementos constitutivos (Vigas y columnas) cumplen con lo dispuesto en el NSR-10 relativo a zonas confinadas, donde por medio de simulaciones numéricas se analiza la vulnerabilidad sísmica.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, elementos estructurales, análisis cualitativo, análisis cuantitativo, ensayos no destructivos.



Abstract

This report contains the results of the seismic vulnerability assessment for the Central Library building located at the University of Ibagué. There it is identified by means of a quantitative analysis if the structure is potentially vulnerable before possible earthquakes estimated for the zone according to the Colombian Regulation of Construction Seismic Resistant NSR-10.

Additionally, it is verified if the constituent elements (beams and columns) comply with the NSR-10 relative to confined zones, where by means of numerical simulations the seismic vulnerability is analyzed.

Keywords: seismic vulnerability, structural elements, qualitative analysis, quantitative analysis.

Contenido

	Pág.
Introducción	20
Planteamiento del problema	22
1. Capítulo I	23
1.1 Objetivos	23
1.1.1 Objetivo General	23
1.1.2 Objetivos específicos	23
1.2 Alcances y limitaciones	24
1.3 Justificación	25
2. Capítulo II	26
2.1 Marco teórico	26
2.1.1 Referentes teóricos	26
2.1.2 Definiciones	27
2.1.2.1 Vulnerabilidad sísmica	27
2.1.2.1.1 Vulnerabilidad Estructural	27
2.1.2.1.2 Vulnerabilidad No Estructural.	27
2.1.2.1.3 Vulnerabilidad Funcional	28
2.1.2.2 Importancia de conocer el grado de vulnerabilidad sísmica en una edificación	28
2.1.2.3 Metodologías aplicadas para el estudio de la vulnerabilidad sísmica.	28
2.1.2.3.1 Método Cuantitativo	28
2.1.2.3.2 Método NSR-10	29
2.1.2.3.2 Método Cualitativo	29
2.1.2.4 Ensayos no destructivos	29
2.1.2.4.1 Ensayo de esclerómetro INV E-413-13	29
2.1.2.4.2 Ensayo de Ferro-Scan	30
2.1.2.6 Capacidad de disipación de energía sísmica	30
3. Capítulo III	32



3.1 Metodología	32
Etapa 1	32
3.1.1 Localización del objeto de estudio	32
3.1.2 Descripción arquitectónica	33
3.1.3 Descripción Estructural	33
Etapa 2	34
3.1.4 Análisis cualitativo	34
3.1.4.1 Parámetros y características a tener en cuenta para el análisis cualitativo	35
3.1.4.2 Análisis de Adyacencia	36
3.1.4.3 Análisis de Irregularidades	36
3.1.4.3.1 Irregularidad vertical	36
3.1.4.3.2 Irregularidad en planta	37
3.1.4.4 Puntaje de la estructura	37
3.1.4.5 Verificación de cumplimiento de secciones mínimas para DMO y DES	38
Etapa 3	40
3.1.5 Análisis Cuantitativo	40
3.1.5.1 Levantamiento plani altimétrico	40
3.1.5.2 Levantamiento estructural	42
Etapa 4	46
3.1.5.3 Implementación de ensayos no destructivos	46
3.1.5.3.1 Ensayo de esclerometría	46
3.1.5.3.2 Ensayo de Ferro-Scan	47
Etapa 5	49
3.1.5.4 Avalúo carga muerta	49
3.1.5.5 Avalúo de Cargas vivas	51
3.1.5.6 Nivel de amenaza sísmica	51
3.1.5.7 Determinación del espectro elástico de diseño.	53
3.1.5.8 Simulación Etabs	59
4. CAPITULO IV	63
4.1 Análisis de resultados	63
4.1.1 Análisis cualitativo	63

4.1.2 Análisis Cuantitativo	65
4.1.2.1 Verificación de secciones mínimas para DMO Y DES	65
4.1.2.2 Comparación de las relaciones geométricas de vigas y columnas	65
4.1.2.2.1 Verificación de columnas para DMO	66
4.1.2.2.2 Verificación de columnas para DES	68
4.1.2.2.3 Verificación de Vigas para DMO	70
4.1.2.2.4 Verificación de Vigas para DES	70
4.1.2.3 Verificación de acero de refuerzo transversal	70
4.1.2.3.1 Verificación de disposición de acero de refuerzo transversal para columnas (DMO)	74
4.1.2.3.2 Verificación de disposición del refuerzo transversal de vigas para disipación de energía moderada (DMO)	77
4.1.2.3.3 Verificación de disposición del refuerzo transversal de columnas para disipación de energía especial (DES)	78
4.1.2.3.4 Verificación de disposición del refuerzo transversal de vigas para disipación de energía especial (DES).	80
4.1.2.4 Estimado de la resistencia del hormigón mediante el ensayo de Esclerometría	80
4.1.2.5 Método de la fuerza horizontal equivalente	83
4.1.2.6 Chequeo de derivas	84
4.1.2.7 Índice de flexibilidad	88
4.1.2.8 Análisis de vulnerabilidad	89
4.1.2.9 Análisis dinámico	89
5. Capítulo V	90
5.1 Conclusiones	90
5.2 Recomendaciones	92
5.3 Anexos	93
Bibliografía	94



Lista de figuras

	Pág.
Figura 1- 1 Localización Falla de Ibague	22
Figura 2- 1: Ferro-Scan empleado para el ensayo de Pachometría.....	30
Figura 2- 2: Grados de capacidad de disipación de energía en función a la amenaza sísmica establecida por la NSR10.....	30
Figura 3- 1: Localización de la Universidad de Ibagué.....	32
Figura 3-2: Formulario de recolección de datos para evaluación cualitativa.	34
Figura 3-3: Formulario de recolección de datos para evaluación cualitativa parte 2.	35
Figura 3-4: Irregularidad Pounding o golpeo.....	36
Figura 3-5: Irregularidad Vertical.	37
Figura 3- 6: Irregularidades en planta.....	37
Figura 3-7: Descripción del tipo de edificio, puntuaciones básicas y rendimiento en terremotos	38
Figura 3- 8: Especificaciones para análisis de capacidad de disipación de energía.	39
Figura 3-9: Plano arquitectónico de la Biblioteca Central.....	41
Figura 3-10: Plano estructural de la Biblioteca Central Nivel 1.	43
Figura 3-11: Plano estructural de la Biblioteca Central Nivel 2.	45
Figura 3-12: Manejo de la herramienta (Esclerómetro).....	47
Figura 3-13: Ensayo Ferro-scan.	48
Figura 3-14: Avalúo de carga muerta de la Biblioteca.....	51
Figura 3-15: Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.	52
Figura 3-16: Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento.....	53
Figura 3-17: Parámetros para el cálculo del periodo aproximado.	55
Figura 3-18: Ilustración que presenta la irregularidad en planta.	56
Figura 3-19: Parámetros para definir Ro para sistema de pórticos resistentes a momentos.	57
Figura 3-20: Espectro de aceleraciones de diseño para la edificación.....	59
Figura 3-21: Combinaciones de carga para diseño.	61
Figura 3-22: Combinaciones de carga para diseño –Continuación.....	62

Figura 4- 1: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de pachometría Nivel 1	72
Figura4- 2: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de pachometría Nivel 2.	73
Figura4- 3: Repartición del acero transversal de la columna A4	74
Figura4- 4: Verificación de Acero transversal en Columna B10.	76
Figura4- 5: Partición del acero de refuerzo transversal de la Viga C8-C6.....	77
Figura 4- 6: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de esclerometría Nivel 1.	81
Figura4- 7: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de esclerometría Nivel 2.	82
Figura4- 8: Representación gráfica de las fuerzas laterales de la estructura.	84
Figura4- 9: Derivas máximas permitidas	85
Figura4- 10: Definición de derivas de piso.....	85
Figura4- 11: Deformación máxima del edificio correspondiente a sala 1 y 4.....	87



Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Distribución de espacios y áreas de la Biblioteca Central.	33
Tabla 3-2: Valores correspondientes a la carga muerta de losa aligerada Nivel 1.	49
Tabla 3-3: Valores correspondientes a la carga muerta de los acabados.	50
Tabla 3-4: Valores correspondientes a la carga muerta de cubierta.	50
Tabla 3-5: Valores correspondientes a la carga muerta de escaleras.	50
Tabla 3-6: Avalúo de carga viva.	51
Tabla 3-7: Valor de coeficiente de importancia I.	53
Tabla 3-8: Valores del coeficiente F_a , para la zona de períodos cortos del espectro.	54
Tabla 3-9: Valores del coeficiente F_v para la zona de períodos intermedios del espectro.	54
Tabla 3-10: Coeficientes de Aceleración y Sitio.	54
Tabla 3-11: Irregularidades de la estructura.	56
Tabla 4-1: Datos recolectados para evaluación cualitativa.	63
Tabla 4-2: Resultados análisis cualitativo.	64
Tabla 4-3: Verificación de columna A2 para DMO.	66
Tabla 4-4: Verificación de columna A4 para DMO.	66
Tabla 4-5: Verificación de columna B10 para DMO.	66
Tabla 4-6: Verificación de columna C6 para DMO.	66
Tabla 4-7: Verificación de columna D10 para DMO.	66
Tabla 4-8: Verificación de columna F6 para DMO.	67
Tabla 4-9: Verificación de columna G2 para DMO.	67
Tabla 4-10: Verificación de columna G4 para DMO.	67
Tabla 4-11: Verificación de columna H1 para DMO.	67
Tabla 4-12: Verificación de columna J7 para DMO.	67
Tabla 4-13: Verificación de columna A2 para DES.	68
Tabla 4-14: Verificación de columna A4 para DES.	68
Tabla 4-15: Verificación de columna B10 para DES.	68
Tabla 4-16: Verificación de columna C6 para DES.	68
Tabla 4-17: Verificación de columna D10 para DES.	68
Tabla 4-18: Verificación de columna F6 para DES.	69
Tabla 4-19: Verificación de columna G2 para DES.	69
Tabla 4-20: Verificación de columna G4 para DES.	69
Tabla 4-21: Verificación de columna H1 para DES.	69
Tabla 4-22: Verificación de columna J7 para DES.	69

Tabla 4-23: Verificación de Viga Tipo A2-C2 para DMO	70
Tabla 4-24: Verificación de Viga Tipo A2-C2 para DES.....	70
Tabla 4-25: Datos preliminares de separación de refuerzo transversal columna A4	75
Tabla 4-26: Chequeo de separación de refuerzo transversal en zona de confinamiento para columnas DMO	75
Tabla 4-27: Datos preliminares de las especificaciones del refuerzo transversal de la columna B10.	76
Tabla 4-28: Chequeo de separación de refuerzo transversal en zona de confinamiento para columnas DMO	77
Tabla 4-29: Información preliminar de la VG C8-C6 para la verificación de espaciamiento de refuerzo transversal.....	77
Tabla 4-30: Verificación de separación de acero de refuerzo transversal de la VG C8-C6 para disipación de energía moderada C21.3.4.6	78
Tabla 4- 31: Información preliminar acerca de las especificaciones de la Columna A4 ..	78
Tabla 4-32: Verificación de la separación del acero de refuerzo transversal de la Columna C11 para disipación de energía especial (DES).	78
Tabla 4- 33: Promedio de valores del índice de esclerometría por columna y resistencia	79
Tabla 4-34: Verificación de la separación del acero de refuerzo transversal de la Columna C28 para disipación de energía especial (DES).	79
Tabla 4- 35: Información preliminar de la VG C8-C6 para la verificación de espaciamiento de refuerzo transversal.....	80
Tabla 4-36: Verificación de separación de acero de refuerzo transversal de la VG C8-C6 para disipación de energía especial C21.5.3.2	80
Tabla 4-37: Promedio Datos número de Rebote.....	83
Tabla 4-38: Distribución de la fuerza sísmica en los niveles del edificio.	84
Tabla 4-39: Derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 1 y 4.....	86
Tabla 4-40: Derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 2 y 3.....	86
Tabla 4-41: Chequeo de derivas máximas de la edificación correspondiente a sala 1 y 4.	87
Tabla 4-42: Chequeo de derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 1 y 4.	88
Tabla 4-43: Chequeo de derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 2 y 3.	88



Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>Aa</i>	<i>Aceleración</i>	1	NSR-10 Tabla A. 2.3-2
<i>Av</i>	<i>Velocidad pico efectiva</i>	1	NSR-10 Tabla A. 2.3-2
<i>bc</i>	<i>Base de la columna</i>	m	NSR -10 C. 21.6.1.1
<i>bw</i>	<i>Base de la viga</i>	m	Medición en campo
CCS	<i>Resistencia del concreto en modo experimental</i>	N/mm ²	Equipo: Esclerómetro
<i>Ct</i>	<i>Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura</i>	1	NSR -10 A. 4.2.2
<i>Fa</i>	<i>Coeficiente de amplificación de la aceleración en periodos cortos</i>	1	NSR-10 Tabla A. 2.4- 3
<i>Fs</i>	<i>Fuerza Horizontal</i>		
<i>Fv</i>	<i>Coeficiente de amplificación de la aceleración en periodos intermedios</i>	1	NSR-10 Tabla A. 2.4- 4
<i>g</i>	<i>Aceleración de la gravedad</i>	ms ²	
<i>h</i>	<i>Altura de la viga u Altura del edificio</i>	m	Medición en campo
<i>hc</i>	<i>Altura de la columna</i>	m	Medición en campo
<i>I</i>	<i>Coeficiente de importancia</i>	1	NSR-10 Tabla A. 2.5- 1
IRB	<i>Numero de rebote</i>	1	Equipo: Esclerómetro
<i>k</i>	<i>Exponente relacionado con el periodo fundamental de la edificación.</i>	1	NSR - 10 A. 4.3.2
<i>L0</i>	<i>Zona de confinamiento</i>	m	NSR -10 C. 21
<i>M</i>	<i>Masa total de la edificación</i>	kg	
<i>R</i>	<i>Coeficiente de disipación de energía de diseño</i>	1	NSR -10 C. 21
<i>Ro</i>	<i>Coeficiente de disipación de energía básico</i>	1	NSR -10 C. 21
<i>Sa</i>	<i>Aceleración espectral de diseño</i>	1	NSR - 10 C. A. 3.6 - 3
<i>So</i>	<i>Separación estribos en zona de confinamiento en columnas</i>	m	NSR -10 C. 21
<i>Ta</i>	<i>Periodo fundamental aproximado</i>	s	NSR - 10 A. 4.2
<i>Tc</i>	<i>Periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos.</i>	s	NSR - 10 A. 2.6

TL	<i>periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largos.</i>	s	NSR – 10 A. 2.6
T_0	<i>Periodo de vibración al inicia la zona de aceleraciones.</i>	s	NSR – 10 A. 2.6 – 6
V_s	<i>Cortante basal</i>	kN	NSR – 10 A. 4.3

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Φ_a	<i>Coeficiente de reducción por irregularidad en altura</i>	1	NSR-10 A.3.3.3
Φ_p	<i>Coeficiente de reducción por irregularidad en planta.</i>	1	NSR-10 A.3.3.3
Φ_r	<i>Coeficiente de reducción por ausencia de redundancia.</i>	1	NSR-10 A.3.3.3
Δ_{max}	<i>Deriva máxima</i>	m	NSR-10 A.6.3-1

Abreviaturas

Abreviatura	Término
NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente
DMO	Capacidad de disipación de energía moderada
DES	Capacidad de disipación de energía especial



Introducción

El análisis del riesgo en una ciudad o una región es la base fundamental para una adecuada planificación urbana que se ajuste a las características o condiciones propias del sector. El riesgo se genera con la unión de dos características de una estructura urbana, la amenaza o probabilidad de la ocurrencia de un fenómeno natural y la vulnerabilidad de los componentes propensos a sufrir daños y causar pérdidas económicas y de vidas humanas.

El presente estudio de Vulnerabilidad Sísmica tiene como objetivo identificar en la Biblioteca Central, características, propiedades y patologías que amenazaría la estabilidad de la estructura durante un sismo. El análisis de vulnerabilidad se les atribuye a los miembros estructurales como columnas, vigas, losas, etc., y para los no estructurales como muros, equipos, tuberías, vidrios, etc.

La evaluación de edificaciones existentes no prevalece hoy en día en los ingenieros del país, ya que se hace énfasis en el cálculo estructural y construcción de nueva infraestructura, descuidando aquellas edificaciones en funcionamiento, que alojan a muchas personas.

La Biblioteca Central de la Universidad de Ibagué proporciona importantes servicios que fomenta los procesos de enseñanza, aprendizaje e investigación, garantizando el libre acceso a la información y a ejecutar actividades destinadas a la promoción de la lectura, la escritura y la cultura como alternativas de disfrute del tiempo libre de la comunidad universitaria. La biblioteca funciona en una edificación distribuida en dos estructuras, la primera de dos plantas y la segunda de una sola, ubicada en la ciudad de Ibagué, capital del Tolima.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica que se expone a continuación fue realizado a la estructura de dos plantas, con el motivo de contribuir en el plan de desarrollo físico de la universidad, haciendo uso del entendimiento sobre dichos temas y la debida aplicación de lo estipulado en el Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica,2010).

Para determinar la vulnerabilidad sísmica de la estructura se desarrollaron dos tipos de análisis, uno cualitativo con base a la metodología de "*Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazard: A Handbook*" del reglamento "*Federal Emergency Management Agency*" FEMA P-154/2015 el cual a partir de observaciones al edificio en estudio y las mismas permiten identificar las diferentes irregularidades, tanto en planta como en elevación, presentes y obtener una puntuación final que permita decidir la necesidad o no de tomar acciones inmediatas.



Además del análisis cualitativo, se realiza un análisis cuantitativo, previo al levantamiento plani altimétrico de la estructura, implementando ensayos no destructivos como esclerometría para determinar el índice esclerométrico y un valor estimado de la resistencia del concreto. El ensayo Ferro-Scan que permite localizar el acero de refuerzo del concreto tanto transversal como longitudinalmente en los miembros estructurales del sistema porticado.

El análisis estructural se desarrolló por medio de un modelo matemático para el cual fue necesario definir inicialmente qué tipo de sistema estructural presenta, la información pertinente como: planos arquitectónicos y geotecnia de la edificación que se encuentra disponible en las oficinas de planta física de la universidad de Ibagué. Puesto que en la documentación existente no se dispone de información acerca del diseño estructural, fue necesario la reconstrucción de planos estructurales a partir de la configuración evidenciada a simple vista, con el fin de emprender con la definición del modelo matemático.

Obtenidos los resultados del modelo matemático, se realizó el chequeo de desplazamientos de acuerdo a los parámetros establecidos en la NSR-10, para así determinar la magnitud de vulnerabilidad de la estructura y designar la intervención más apropiada sujeta a las características propias.

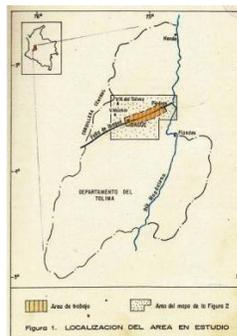
Para concluir, el presente proyecto es una herramienta clave que proporciona una base a los futuros diseños de intervención, que tengan como objetivo implementar la norma vigente en la edificación existente.

Planteamiento del problema

La Falla de Ibagué como se ilustra en la Figura 1-1, es una de las principales estructuras transcurrentes activas del país, la cual atraviesa la Cordillera Central por su zona céntrica y hacia el Este se dirige en dirección N 70°E hasta el valle del río Magdalena [2]; adicionalmente, según el estudio paleo sísmológico realizado en la falla de Ibagué, concluyó que Ibagué presenta contundentes rasgos de actividad geotectónica asociados con la falla la cual la define como una estructura potencialmente productora de grandes sismos. De acuerdo al NSR-10 y a estudios de microzonificación sísmica de la Alcaldía Municipal de Ibagué (Alcaldía de Ibagué, 2006), la Universidad de Ibagué se encuentra ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia a 2.3 kilómetros aproximadamente de La Falla, en una línea perpendicular a esta.

La universidad de Ibagué se encuentra ubicada hacia el norte de la ciudad de Ibagué en el departamento del Tolima, en la carrera 22 calle 67 del barrio Ambalá, fue fundada el 27 de agosto de 1980, este centro educativo inicia a operar el 07 de febrero de 1981 mediante la resolución No. 1867 expedida por el Ministerio de Educación Nacional. Hoy en día la Universidad cuenta con 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. [3] Esta universidad cuenta con una planta física compuesta por 20 edificaciones la mayoría de estas estructuras están construidos antes de la entrada en vigencia de los reglamentos de Construcción Sismo Resistente NSR-10, por lo tanto, el análisis y diseño de muchos de ellos no están acorde a la normativa vigente. Por tal motivo estas estructuras fueron seleccionadas para la realización del estudio de vulnerabilidad sísmica debido a que se encuentran clasificadas en el grupo III dado a que son los principales centros de acopio y resguardo.

Figura 1- 1 Localización Falla de Ibaque



Fuente: El Nuevo Día



Partiendo del planteamiento desarrollado anteriormente se propone la siguiente pregunta, ¿Es el edificio de Biblioteca Central de la universidad de Ibagué de acuerdo a las directrices que se plantean en la Norma Sismo Resistente Colombiana vulnerable?

1. Capítulo I

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la vulnerabilidad Sismo Resistente del edificio de la Biblioteca de la Universidad de Ibagué siguiendo lo estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar la vulnerabilidad sísmica de la estructura mediante un análisis cualitativo.
- Comparar la información relativa a geometría y calidad de materiales de la estructura con lo especificado en la NSR-10.
- Realizar simulación numérica del comportamiento estructural por medio de un software comercial implementando los lineamientos exigidos por la NSR-10.

1.2 Alcances y limitaciones

El presente trabajo permite con limitaciones de tiempo y recursos, determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de la Biblioteca de la Universidad de Ibagué, de la mano de la información obtenida por la oficina de planta física, como planos arquitectónicos de la estructura. Debido a esto, se pretende realizar un análisis cualitativo y cuantitativo a la estructura teniendo en cuenta las normas que proponen estos dos estudios como lo es el NSR-10 y la FEMA P154.

Considerando que el NSR10 plantea 12 etapas para desarrollar el proceso de evaluación e intervención de edificaciones existentes y atendiendo a que el objetivo principal de este estudio es la evaluación de vulnerabilidad sismo resistente de la Biblioteca, se abarcan solamente las primeras 10 etapas que comprenden la información preliminar y la evaluación de la estructura existente donde se tienen como limitaciones, la falta de información acerca del sistema de cimentación original, el desconocimiento del acero de refuerzo que impide conocer el valor del índice de sobre esfuerzo.

A pesar de no emplear ensayos destructivos fue posible obtener la información necesaria para este análisis, el cual permitió realizar una simulación sísmica para evaluar la vulnerabilidad de la estructura según los parámetros establecidos en la NSR-10.

Como bien se conoce, esta investigación se les realiza a edificaciones que fueron construidas antes de que se implementaran medidas para cualquier tipo de riesgo u implementación del nuevo reglamento de construcción, por lo que los resultados en general obtenidos, enmarcan la incapacidad de las estructuras para resistir algún tipo de daño causado por algún agente externo. No se determina el riesgo en el que se encuentra sometida la estructura ya que la amenaza ante un evento sísmico no es el objetivo de este proyecto. Es pertinente aclarar que el desarrollo de este proyecto es netamente un estudio previo con miras a una segunda fase en la que se propongan posibles intervenciones o modificaciones en la estructura.



1.3 Justificación

A medida que pasa el tiempo, la humanidad ha entendido la importancia de estar preparados ante cualquier evento externo que pueda afectar nuestro bienestar, hechos adversos que son prácticamente imposibles de predecir cómo, huracanes, sismos, etc. Los grandes terremotos son considerados por muchos como las más grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad. [1]

Debido a la complejidad de predecir estos eventos, se debe estar totalmente preparados para afrontar con prontitud todo lo que esto conlleva; de este modo se refleja la importante labor de los Ingenieros, ya que es nuestro deber, asegurar que dichas estructuras ya edificadas puedan sobrellevar estos eventos y puedan prestar los servicios para las cuales fueron concebidas.

El estudio de vulnerabilidad sísmica de un edificio existente es de vital importancia, debido a que el reglamento con el cual se construyó inició a ejecutarse desde el año 1998 teniendo modificaciones en el año 2010, trayendo consigo una mejoría al conocimiento del diseño sísmico en cuanto a criterios, comportamiento y respuesta no lineales del edificio.

La presente evaluación de vulnerabilidad sísmica permite conocer las condiciones en las cuales se encuentra una edificación frente a la presencia de un evento sísmico de intensidad moderada, con el fin de reforzar, intervenir y mejorar su comportamiento estructural y operativo; además permite observar que tanto interactúan los distintos elementos que conforman la estructura y el daño que pueden causar al edificio y a los ocupantes de éste, si colapsa la estructura debido a esta interacción no deseada y al comportamiento sísmico no esperado.

La evaluación de vulnerabilidad sismo resistente de la Biblioteca de la universidad de Ibagué, se desarrolla con la finalidad de prever posibles daños en la edificación que afectan directamente a todos aquellos que suelen concurrir el lugar como estudiantes, administrativos, personal de seguridad y mantenimiento, ocasionando en ellos pérdidas económicas, lesiones físicas o en el peor de los casos la pérdida de vidas.

2. Capítulo II

2.1 Marco teórico

2.1.1 Referentes teóricos

Para el presente proyecto se tomó como referencia los siguientes estudios relacionados con el análisis de vulnerabilidad sísmica.

En la ciudad de Cartagena se le realizaron estudios de vulnerabilidad sísmica a los edificios Con casa y Banco del estado realizando una metodología contemplada en los reglamentos Fema, ATC - 40 y NSR-10 con el fin de determina el comportamiento de estas edificaciones al momento de ser expuestas a un sismo. El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente; primero recolectaron una base de datos de primera mano los cuales fueron planos, despieces e inspección visual de las estructuras, seguidamente se modelaron los datos anteriormente tomados en el software ETABS. Luego se aplicaron los estándares exigidos por los lineamientos planteados por la FEMA, ATC - 40 e ingresarlos en la nueva modelación obteniendo un análisis el cual establece que estas edificaciones contienen zonas vulnerables las cuales al momento de un sismo puedan sufrir un colapso o pérdida de su funcionalidad. [4]

En la Capital de Colombia se realizó una evaluación de vulnerabilidad sísmica del hospital San Ignacio y su rehabilitación basados en curvas de fragilidad que para su desarrollo se recurrió a la elaboración de los modelos estructurales, Calibración de los modelos desarrollados, Elección de fuente de excitación externa, Cuantificación del daño estructural, sufrido como respuesta a la excitación externa y tanto desarrollo como cálculo de las matrices de probabilidad de daño y curvas de fragilidad del sistema, con esto se hace mención a las matrices de probabilidad de daño y estados de funcionamiento de la estructura que en conjunto desarrollan las curvas de fragilidad, cumpliendo como función ilustrar la probabilidad de falla ante un evento sísmico, tomando como entrada la reacción que tiene la estructura ante la excitación externa, esta reacción es medida por un parámetro de la edificación que puede ser cuantificado y corroborado, en este caso en particular la deriva de entrepiso de la estructura. [5]



2.1.2 Definiciones

2.1.2.1 Vulnerabilidad sísmica

A partir de las experiencias de los terremotos ya originados se ha detallado que ciertas estructuras dentro de la misma tipología estructural, experimentan un daño más severo que otras a pesar de estar ubicadas en la misma zona; este grado de daño proporcionado por un sismo de determinadas características se le denomina vulnerabilidad.

Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad que posee una estructura es una propiedad intrínseca a sí misma y es independiente de la peligrosidad ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. [6] En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con una determinada amenaza sísmica. 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.

2.1.2.1.1 Vulnerabilidad Estructural

Los elementos estructurales son aquellos elementos que equilibran una edificación y son los encargados de resistir y transmitir las fuerzas causadas por el peso del edificio a la cimentación; así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de corte, etc. para ello es fundamental realizar un buen diseño estructural ya que es la clave para que la integridad del edificio sobreviva ante eventos severos como son los terremotos. Desafortunadamente en muchos países como Colombia, traen consigo una reputación donde las normas y criterios de diseño sismo resistente no se han aplicado efectivamente las edificaciones.

2.1.2.1.2 Vulnerabilidad No Estructural.

Sabemos que, ante la presencia de un sismo, la estructura puede quedar inhabilitada debido a los daños no estructurales. Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que presentan estos elementos, los cuales pueden verse afectados por sismos moderados, en el diseño sísmico de estructuras se concede

generalmente poca importancia a estos elementos, provocando un perjuicio a la integridad de las personas.

2.1.2.1.3 Vulnerabilidad Funcional

La vulnerabilidad funcional, evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, son las partes más vulnerables durante la presencia de un sismo, viéndose afectado las tuberías de alcantarillado, gas y combustible, etc. para el estudio de estos aspectos funcionales se incluye un análisis más detallado de las áreas externas de una estructura, vías de acceso a exteriores y su conexión con el resto de la ciudad, analizando la posibilidad de inutilización de ascensores, acumulación de escombros en escaleras y pasillos, como así también el atascamiento de puertas. [7]

2.1.2.2 Importancia de conocer el grado de vulnerabilidad sísmica en una edificación

La vulnerabilidad sísmica es uno de los componentes para la determinación del riesgo sísmico, además es una herramienta clave para los planes de mitigación ante desastres. Existen dos alternativas que permiten reducir el riesgo sísmico, uno de ellas es que al momento de construir una edificación se realice en una zona de baja peligrosidad sísmica ya que se puede llevar a cabo mediante una planificación física y urbana adecuada, con ayuda de estudios de microzonificación. La segunda alternativa para reducir el riesgo sísmico es reducir la vulnerabilidad de la estructura, puesto que en el caso de estructuras que hasta ahora se van a ejecutar, la reducción puede realizarse mediante el mejoramiento de los códigos y por medio de una supervisión estricta de sus procesos constructivos; [8] por consiguiente la reducción de la vulnerabilidad sísmica en estructuras existentes podrían efectuarse mediante reforzamientos adecuados de las mismas, luego de que un profesional capacitado realice los estudios y recomendaciones pertinentes. En el caso de estructuras que obtengan alta peligrosidad sísmica y en que la medida anterior no arroje resultados satisfactorios o resulten antieconómicos, la edificación debería ser demolida.

2.1.2.3 Metodologías aplicadas para el estudio de la vulnerabilidad sísmica.

El análisis de vulnerabilidad sísmica se desarrolla por medio de los siguientes métodos.

2.1.2.3.1 Método Cuantitativo

El método cuantitativo se basa a partir de los procedimientos de análisis y diseño sísmico recomendados por las normas modernas (OPS, 2004). Basado en un modelo numérico que tiene en cuenta el análisis estático de la estructura, que permite conocer cómo interactúa la estructura frente a un evento sísmico. Entre los métodos más usados en el medio, está el Método NSR-10, el cual está descrita a continuación:



2.1.2.3.2 Método NSR-10

En el capítulo A10 de la Norma Colombiana de Diseño y construcción Sismo Resistente, NSR- 10, se presenta el método cuantitativo y los requerimientos que establece para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha norma. Para llevar a cabo una evaluación de Vulnerabilidad empleando este método, se debe realizar un análisis estático de la estructura, que permita estudiar cómo interactúa la estructura ante eventos sísmicos y saber si cumple los requisitos exigidos por la norma sísmica vigente. Con los resultados obtenidos de este análisis y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calculan los índices de sobre-esfuerzo y los índices de flexibilidad de los pisos, cuyos valores inversos definirán el grado de vulnerabilidad de la estructura. [9]

2.1.2.3.2 Método Cualitativo

Los métodos cualitativos se diseñan para evaluar de forma breve y simple un grupo de edificaciones diversas para así seleccionar aquellas que ameriten un análisis más detallado. Estos métodos se utilizan primordialmente para la evaluación masiva de las estructuras con fines de cuantificación del riesgo sísmico en una región amplia de una ciudad y sus resultados, para el análisis de este método se implementa un formulario que contempla una descripción de la edificación donde incluye: localización, número de pisos, año de construcción, área de construcción, nombre del edificio, uso, foto de la edificación, un espacio para esquematizar irregularidades tanto en planta como en elevación.

2.1.2.4 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son ensayos que se realizan (según el criterio), con el propósito de determinar las características que contiene los materiales y/o estructuras sin realizar ningún daño al elemento que se desean inspeccionar, no alterando de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales; este tipo de ensayo no destructivo implica un daño imperceptible o nulo.

Los ensayos que permiten identificar de manera preliminar el estado y la caracterización de una edificación son:

2.1.2.4.1 Ensayo de esclerómetro INV E-413-13

Este ensayo se desarrolla con el objetivo de determinar zonas de concreto pobre y para estimar la resistencia del concreto; se debe realizar en elementos secos y pulidos, con un espesor mínimo de 10 centímetros y con un ángulo de 90°. Es importante realizarlo en elementos con más de 3 días de vaciado, 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.

2.1.2.4.2 Ensayo de Ferro-Scan

Este método no destructivo es muy primordial para la detección de acero de refuerzo en el concreto, su posición y diámetro, recubrimiento de las barras, y ubicación de los estribos. Su uso es muy práctico y sencillo ya que no se requiere extraer el revestimiento para determinar la ubicación del acero, siendo útil en patologías de estructuras antiguas donde no se tiene la presencia de planos o memorias gráficas.

Su funcionamiento se basa en que el escáner se desplaza directamente sobre la superficie del elemento de construcción como se muestra en la Figura 2-1, los datos obtenidos se almacenan hasta que se puedan transferir al monitor. La herramienta se emplea para recolectar grandes volúmenes de datos y poderlos visualizar; de este modo, los datos también se pueden llevar a la oficina y descargarlos mediante el software. A continuación, se muestra la herramienta empleada para el ensayo de Ferro-Scan.

Figura 2- 1: Ferro-Scan empleado para el ensayo de Pachometría.



Fuente: Autor

2.1.2.6 Capacidad de disipación de energía sísmica

Con el propósito de reducir las pérdidas humanas y materiales ante la presencia de un sismo, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR10, establece requisitos mínimos de diseño para elementos constitutivos, en función del sistema estructural, materiales empleados, desempeño sísmico y el nivel de amenaza sísmica. A la hora de diseñar, la práctica común consiste en seleccionar los requisitos mínimos de disipación exigidos para un nivel de amenaza sísmica dado. Por ejemplo, en ciudades con amenaza sísmica moderado, como Ibagué, generalmente se emplean requisitos de disipación de energía moderada, aunque siempre se debe diseñar y/o analizar bajo las siguientes grados de capacidad de disipación. (DMO).

Figura 2- 2: Grados de capacidad de disipación de energía en función a la amenaza sísmica establecida por la NSR10.



Tabla 1. Opciones de grados de capacidad de disipación de energía en función de la amenaza sísmica establecidos en NSR-10

Capacidad de disipación de energía	Zona de amenaza sísmica		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Mínima (DMI)	✓		
Moderada (DMO)	✓	✓	
Especial (DES)	✓	✓	✓

Fuente: AIS (2012).

3. Capítulo III

3.1 Metodología

Etapa 1

3.1.1 Localización del objeto de estudio

Ibagué se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia presentado por eventos sísmicos y volcánicos, al igual con los estudios que se le han realizado a esta zona se identifica que la mayor parte se encuentra asentada sobre depósitos de suelos variables entre estratos de arenas y limos arcillosos con algunos estratos de arcillas o arcillas limosas, este tipo de suelo fue clasificado de acuerdo a la Norma NSR-10 como tipo de suelo C, con base a esta información se le realizó el estudio a la biblioteca ya que es de vital importancia realizar el análisis a una edificación ya que el fin de este, tomándolo desde la filosofía de diseño sismo resistente es evitar obtener pérdidas de vidas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños en una propiedad.

La Biblioteca Central se encuentra ubicado en la Universidad de Ibagué en la carrera 22 con calle 67 en la avenida Ambalá como se aprecia en la Figura 3-1, contando con un área aproximada de 436,05 m². La estructura está dividida en dos partes, la primera de dos plantas y la segunda de una sola donde este espacio se encuentra ocupado por los estudiantes y docentes de la Universidad con el fin de utilizar los recursos necesarios para el aprendizaje y al igual que obtengan un acceso a la cultura que influirá en su desarrollo personal y su vinculación social.

Figura 3-1: Localización de la Universidad de Ibagué.



Fuente: Google Maps



3.1.2 Descripción arquitectónica

La Biblioteca de la Universidad de Ibagué está edificada en 2 pisos, estos se encuentran subdivididos en 2 salas respectivamente que contemplan varias zonas funcionales como en la literatura y en la práctica profesional, la edificación cuenta con una altura de 8.5 mts y un área total construida de 848,16 m², esta edificación tiene un uso académico para estudiantes, docentes y administrativos. La edificación de la Biblioteca de la universidad de Ibagué, cuenta con la siguiente distribución en espacios y áreas en cuestión de cantidad de salas y área construida por piso (ver Tabla).

Tabla 3-1: Distribución de espacios y áreas de la Biblioteca Central.

CUADRO DE AREAS	
Área piso 1	
Área de pasillos	75,55 m ²
Área de escaleras	16,58 m ²
Área sala 1	167,21 m ²
Área sala 2	164,74 m ²
<i>Área parcial construida</i>	424,08 m ²
Área piso 2	
Área de pasillos	75,55 m ²
Área de escaleras	16,58 m ²
Área sala 1	167,21 m ²
Área sala 2	164,74 m ²
<i>Área parcial construida</i>	424,08 m ²
AREA TOTAL CONSTRUIDA	848,16 m²

Fuente: Autor

3.1.3 Descripción Estructural

El sistema estructural de la Biblioteca de la Universidad de Ibagué es de pórticos en concreto reforzado, con una capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO). El tipo de análisis estructural que se emplea es el análisis estático lineal, con un método de diseño de estructuras tridimensionales a porticadas, y un sistema de entrepiso de losa aligerada con casetón no removible.

Se determinó por medio del Índice martillo de acero en el índice esclerométrico que la resistencia del concreto es aproximadamente de 28 Mpa (280kg/cm², 4000 PSI), se utilizó este concreto para las columnas, las vigas y placas. Para el acero de refuerzo fue nula la obtención de su resistencia, por lo cual se trabajará con lo mínimo establecido en la NSR-10 y la distribución establecida en el ensayo de pachometría.

Etapa 2

3.1.4 Análisis cualitativo

El análisis cualitativo se desarrolla por medio de un instrumento de medición propuesto por la FEMA P-154 mediante una inspección visual. La siguiente plantilla asigna una puntuación base en función de las características de la estructura, el tipo de suelo de fundación, las estructuras aledañas, sus respectivas modificaciones, sus irregularidades y la zona de amenaza sísmica en la cual se encuentra la misma.

FEMA P-154 RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS LEVEL 1			
FOTOGRAFIA	DIRECCION		
	CODIGO POSTAL		
	USO		
	LATITUD	LONGITUD	
	Ss	S1	
	INSPECTOR	HORA/FECHA	
	NIVELES		
	NUMERO DE PISOS	NUMERO DE SOTANOS	
	AREA TOTAL (m2)		
	AÑO DE CONSTRUCCION	CODIGO DEL AÑO	
ADICIONES			
NINGUNA	<input type="checkbox"/>	SI, AÑO	<input type="checkbox"/>
OCUPACION			
FOTOGRAFIA	LUGAR DE REUNION	<input type="checkbox"/>	EMERGENCIA <input type="checkbox"/>
	INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>	ESCUELA <input type="checkbox"/>
	UTILIDAD	<input type="checkbox"/>	RESIDENCIAL <input type="checkbox"/>
	COMERCIAL	<input type="checkbox"/>	HISTORICO <input type="checkbox"/>
	OFICINA	<input type="checkbox"/>	OFICINA PUBLICA <input type="checkbox"/>
	ALMACEN	<input type="checkbox"/>	LUGAR DE REFUGIO <input type="checkbox"/>
	TIPO DE SUELO		
	A (ROCA DURA)	<input type="checkbox"/>	D (SUELO RESISTENTE) <input type="checkbox"/>
	B (ROCA AVG)	<input type="checkbox"/>	E (SUELO SUAVE) <input type="checkbox"/>
	C (SUELO DENSO)	<input type="checkbox"/>	F (SUELO POBRE) <input type="checkbox"/>
SI NO LO SABE ASUME TIPO D			
PELIGROS GEOLOGICOS			
LICUEFACCION	YES <input type="checkbox"/> /NO <input type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
DESIZAMIENTO DE TIERRA	YES <input type="checkbox"/> /NO <input type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
RUPTURA DE SUPERFICIE	YES <input type="checkbox"/> /NO <input type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
ADYACENCIAS			
GOLPETEO	<input type="checkbox"/>		
PELIGRO DE CAIDAS DE CONSTRUCCIONES ADYACENTES	<input type="checkbox"/>		
IRREGULARIDADES			
TIPO VERTICAL			
TIPO PLANTA			
RIESGOS DE CAIDAS EN EL EXTERIOR			
TUBO DE CHIMENEA			
PARAPETOS			
REVESTIMIENTO PESADO			
APENDICES			
OTROS			
OBSERVACIONES			
ADDITIONAL COMMENTS ON SEPARATED PAGE <input type="checkbox"/>			
BOSQUEJO			

Figura 3-2: Formulario de recolección de datos para evaluación cualitativa.



Fuente: FEMA P-154 LEVEL 1

Figura 3-3: Formulario de recolección de datos para evaluación cualitativa parte 2.

PUNTUACION BASICA. MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																													
TIPO DE EDIFICIO SEGÚN FEMA P154	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RCS W)	S5 (URMI NF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMI NF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH												
PUNTUACION BASICA	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												
IRREGULARIDAD VERTICAL SEVERA 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												
IRREGULARIDAD VERTICAL MODERADA , 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												
IRREGULARIDAD EN PLANTA, 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												
CODIGO INICIAL	-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 - EVALUACIÓN COMPARATIVA	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												
TIPO DE SUELO A O 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												
TIPO DE SUELO E (1-3 PLANTAS)	-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												
TIPO DE SUELO E (>3 PISOS)	-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												
PUNTUACIÓN MÍNIMA, 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												
PUNTAJE FINAL NIVEL 1 SL1>Smin																													
OTROS PELIGROS									EXTENT OF REVIEW																				
PTENCIAL DE GOLPES (SI SL2>PARAR)									<input type="checkbox"/>		EXTERIOR		PARCIAL		TODO		AERIA												
PELIGROS DE CAIDA DESDE EL EDIFICIO ADYACENTE									<input type="checkbox"/>																				
PELIGROS GEOLOGICOS O TIPO DE SUELO F									<input type="checkbox"/>		INTERIOR		NINGUNA		VISIBLE		ENTRO												
DAÑOS/ DTERIORO SIGNIFICATIVO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL									<input type="checkbox"/>																				
ACCION REQUERIDA									REVISION DE PLANOS																				
TIPO DE EDIFICIO DECONOCIDO DE FEMA U OTRO EDIFICIO									<input type="checkbox"/>				SI		<input type="checkbox"/>		NO		<input type="checkbox"/>										
SI, LA PUNTUACION ES MENOR									<input type="checkbox"/>		ORIGEN DEL TYPO DE SUELO						C												
SI, OTROS PELIGROS PRESENTES									<input type="checkbox"/>		FUENTE DE PELIGRO GEOLOGICO																		
NO									<input type="checkbox"/>		PERSONA DE CONTACTO																		
SE RECOMIENDA UNA EVALUACION NO ESTRUCTURAL DETALLADA (MARQUE UNA)									NIVEL 2 CHEQUEO REALIZADO																				
SÍ, PELIGROS NO ESTRUCTURALES IDENTIFICADOS QUE DEBEN EVALUARSE									<input type="checkbox"/>		SI, PUNTAJE FINAL LVL2, SL2				<input type="checkbox"/>														
NO, EXISTEN PELIGROS NO ESTRUCTURALES QUE PUEDEN REQUERIR MITIGACIONES, PERO									<input type="checkbox"/>		NO, NO ES NECESARIO				<input type="checkbox"/>														
NO, NO SE IDENTIFICARON PELIGROS NO ESTRUCTURALES									<input type="checkbox"/>		PELIGROS NO ESTRUCTURALES																		
									<input type="checkbox"/>		SI <input type="checkbox"/>				NO <input type="checkbox"/>														
CUANDO NO SE PUEDA VERIFICAR LA INFORMACIÓN, EL EVALUADOR TOMARÁ NOTA DE LO SIGUIENTE EST = ESTIMADO O DNK = DO NOT KNOW(NO LO SE)																													
<table border="0"> <tr> <td>LEGEND</td> <td>MRF = MOMENT-RESISTING FRAME</td> <td>SW = SHEAR WALL</td> <td>MR = MANUFACTURED HOUSING</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BR = BRACED FRAME</td> <td>URM INF = UNREFORCED LASORRY INTILL</td> <td>LM = LIIGTH METAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td>RC = REINFORCED CONCRETE</td> <td>TU = TIT UP</td> <td>FD = FLEXIBLE DIAPHRAGM</td> </tr> </table>																		LEGEND	MRF = MOMENT-RESISTING FRAME	SW = SHEAR WALL	MR = MANUFACTURED HOUSING		BR = BRACED FRAME	URM INF = UNREFORCED LASORRY INTILL	LM = LIIGTH METAL		RC = REINFORCED CONCRETE	TU = TIT UP	FD = FLEXIBLE DIAPHRAGM
LEGEND	MRF = MOMENT-RESISTING FRAME	SW = SHEAR WALL	MR = MANUFACTURED HOUSING																										
	BR = BRACED FRAME	URM INF = UNREFORCED LASORRY INTILL	LM = LIIGTH METAL																										
	RC = REINFORCED CONCRETE	TU = TIT UP	FD = FLEXIBLE DIAPHRAGM																										

Fuente: FEMA P-154 LEVEL 1 continuación

Para realizar la evaluación cualitativa de forma correcta se desarrolló el siguiente procedimiento en el cual se describen las pautas a seguir conforme a los formularios correspondientes a la Figura 3-2 y Figura 3-3.

3.1.4.1 Parámetros y características a tener en cuenta para el análisis cualitativo

Inicialmente se adquiere información básica de la estructura como número de pisos, área construida, intervenciones realizadas y ocupación, para así posteriormente definir el tipo

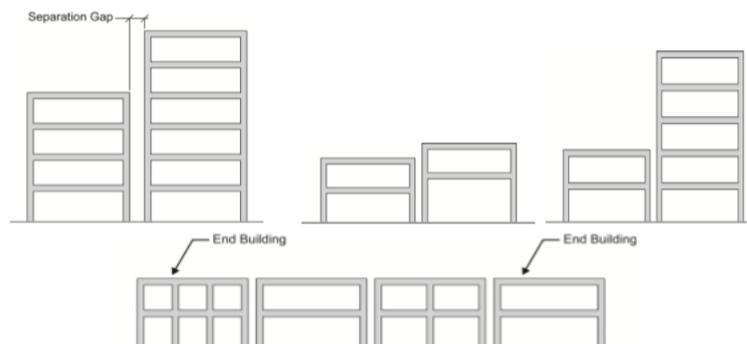
de perfil de suelo, riesgos geológicos, análisis de adyacencia, análisis de irregularidades, peligros de caídas en el exterior, entre otros.

La clasificación del tipo de perfil de suelo se determina mediante exploraciones de campo y estudios que se hayan realizado antes en la zona de estudio. Por su parte, el análisis de adyacencia y de irregularidades verticales y en planta, se determina 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 del FEMA P-154 2014.

3.1.4.2 Análisis de Adyacencia

Esta irregularidad se presenta cuando no se tiene en cuenta la dilatación mínima o junta de separación bien sea entre edificaciones adyacentes o componentes estructurales, por lo tanto, según el FEMA P-154 36 y como se ilustra en la Figura 3-4, la Biblioteca de la universidad de Ibagué no presenta separaciones puesto que no se ve la presencia de construcciones aledañas a esta.

Figura 3-4: Irregularidad Pounding o golpeo.



Fuente: Fema P-154 36

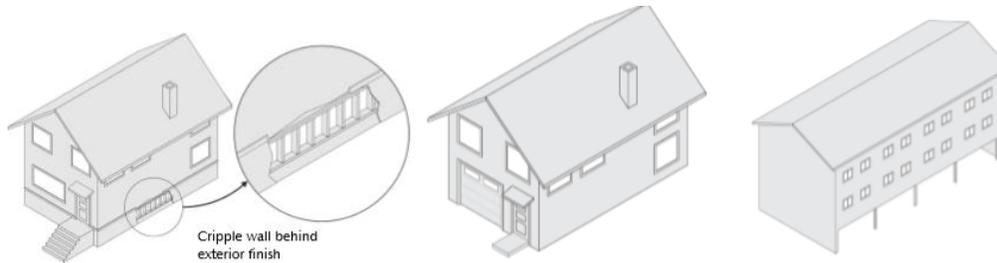
3.1.4.3 Análisis de Irregularidades

3.1.4.3.1 Irregularidad vertical

La presencia de irregularidades en altura permite que el comportamiento ante eventos sea diferente, ya que la existencia de éstas castiga la resistencia de la estructura debido a los problemas de torsión que puede generar, en la figura 3-5 se evidencian los tipos de irregularidades verticales contemplados por el reglamento utilizado para la evaluación.



Figura 3-5: Irregularidad Vertical.

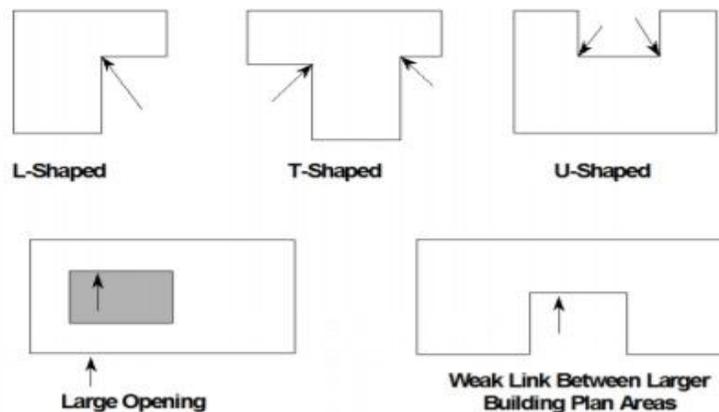


Fuente: Fema P-154

3.1.4.3.2 Irregularidad en planta

Este tipo de irregularidad presentan discontinuidades en geometría, masa o elementos que se evidencian en la estructura, estas irregularidades castigan el comportamiento de la estructura ante la presencia de eventos. Por consiguiente, en la Biblioteca de la Universidad de Ibagué presenta irregularidad horizontal debido a retroceso en las esquinas. en la figura 3-6 se presenta la clasificación de las irregularidades en planta establecida por la norma de referencia.

Figura 3- 6: Irregularidades en planta.



Fuente: Fema P-154

3.1.4.4 Puntaje de la estructura

Considerando que la Biblioteca Central está edificada con un sistema estructural compuesto por pórticos resistentes a momentos, se selecciona el puntaje base de 2,1 teniendo en cuenta que Ibagué se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia.

A partir del anterior puntaje mencionado se penaliza la estructura con valores predefinidos (Figura 3-2) de acuerdo a las características propias que hacen vulnerable la estructura, en este caso se evidenciaron irregularidades en planta con retroceso en las esquinas, irregularidades en altura, presencia de parapetos y por ende columnas cortas.

Este puntaje final se compara con el puntaje mínimo establecido para cada zona de amenaza sísmica y si el resultado llegase a ser menor que el valor anterior la estructura presenta alta vulnerabilidad sísmica de modo que se sugiere una evaluación más precisa.

Figura 3-7: Descripción del tipo de edificio, puntuaciones básicas y rendimiento en terremotos

Table 3-1 FEMA Building Type Descriptions, Basic Scores, and Performance in Past earthquakes (continued)

FEMA Building Type	Photograph	Basic Score	Characteristics and Performance
C1 Concrete moment-resisting frames		(VH) = 1.0 (H) = 1.5 (MH) = 1.7 (M) = 2.1 (L) = 3.3	<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: FEMA P-154 Tabla 3-1

3.1.4.5 Verificación de cumplimiento de secciones mínimas para DMO y DES

Como lo establece la norma sismo resistente Nsr-10 en el capítulo A tabla A.2.3.2, la ciudad de Ibagué se encuentra localizada en una zona con amenaza sísmica intermedia, por lo tanto, es conveniente que las estructuras estén diseñadas como mínimo con capacidad de disipación de energía (DMO) moderado y (DES) especial, lo cual le permitirá a la estructura responder ante la ocurrencia de un sismo, en el rango inelástico de respuesta y cumplir con los objetivos de las normas sismo resistentes.

Por lo tanto, es fundamental realizar la verificación del cumplimiento de las secciones mínimas para el diseño de estructuras de concreto como se muestra en la figura 3-8



dispuestas en el edificio de Biblioteca de la Universidad de Ibagué para corroborar que las dimensiones de los elementos estructurales cumplan para ambos casos.

Figura 3- 8: Especificaciones para análisis de capacidad de disipación de energía.

Componentes que resisten los efectos sísmicos, a menos que se indique de otro modo	Capacidad de disipación de energía		
	Mínima (DMI)	Moderada (DMO)	Especial (DES)
Requisitos de análisis y diseño	C.21.1.2	C.21.1.2, C.21.1.3	C.21.1.2, C.21.1.3
Materiales	Ninguna	C.21.1.4 a C.21.1.7	C.21.1.4 a C.21.1.7
Elementos de pórtico	C.21.2	C.21.3	C.21.5, C.21.6, C.21.7, C.21.8
Muros estructurales y vigas de acople	Ninguna	C.21.4	C.21.9
Muros estructurales prefabricados	Ninguna	C.21.4	C.21.4, † C.21.10
Diafragmas y cerchas estructurales	Ninguna	Ninguna	C.21.11
Cimentaciones	Ninguna	Ninguna	C.21.12
Elementos de pórtico que no se han diseñado para resistir fuerzas inducidas por movimientos sísmicos	Ninguna	Ninguna	C.21.13
Anclajes	Ninguna	C.21.1.8	C.21.1.8

Fuente: NSR10 Título C, Capítulo C.21

Etapas 3

3.1.5 Análisis Cuantitativo

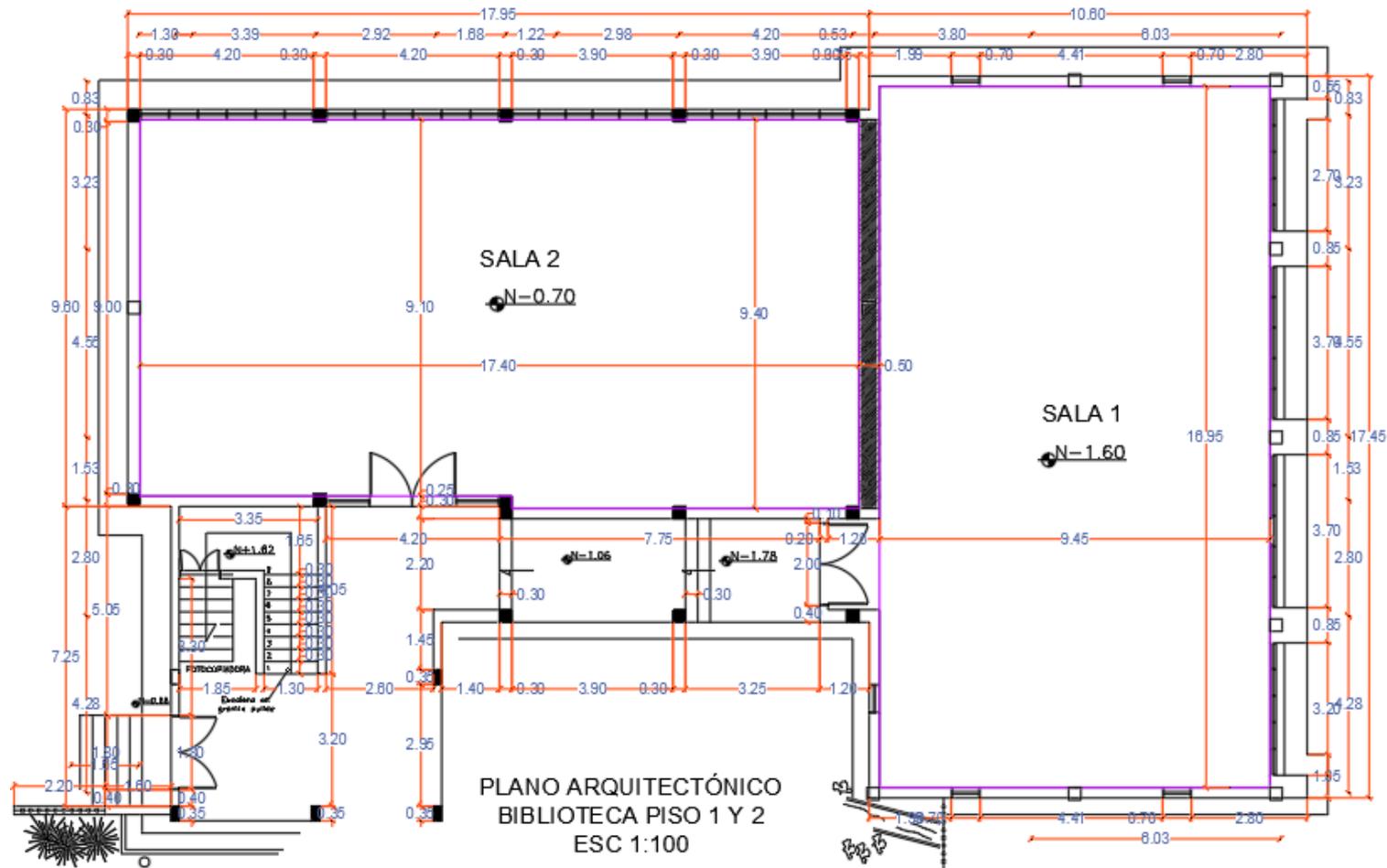
Este método es más completo que el método cualitativo, ya que se encarga de determinar todas aquellas características propias de los elementos que componen la estructura, como la resistencia de los materiales (concreto y acero), el tipo y cantidad de acero en los elementos, las características dinámicas entre otras cosas. [11]

3.1.5.1 Levantamiento plani alimétrico

Debido a las incongruencias encontradas al realizar la verificación de dimensiones y áreas con respecto al plano suministrado por la oficina de planta física, se decidió levantar un plano arquitectónico actualizado a partir de mediciones en planta y en altura, al exterior y al interior de la zona de la biblioteca correspondiente a 2 pisos, con el fin de determinar distancias dentro de todo el perímetro que abarca el área de estudio.



Figura 3-9: Plano arquitectónico de la Biblioteca Central.



3.1.5.2 Levantamiento estructural

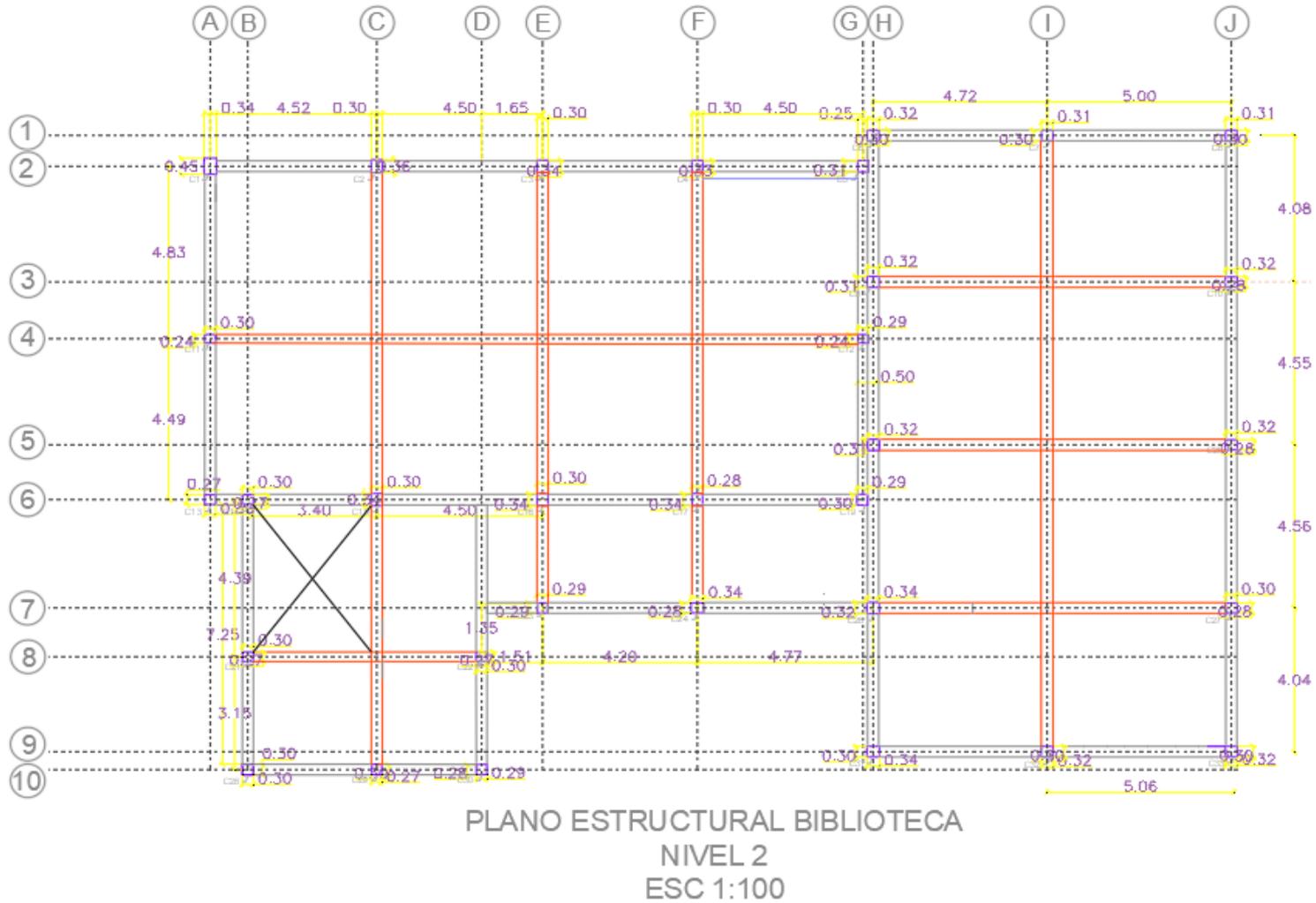
Puesto que en la documentación existente en la oficina de planta física de la universidad de Ibagué no se dispone de información acerca del diseño estructural, fue necesario la reconstrucción de planos estructurales a partir de la configuración evidenciada a simple vista, con el fin de emprender con la definición del modelo matemático.



Figura 3-10: Plano estructural de la Biblioteca Central Nivel 1.



Figura 3-11: Plano estructural de la Biblioteca Central Nivel 2.



Etapa 4

3.1.5.3 Implementación de ensayos no destructivos

Los ensayos destructivos de materiales se utilizan para verificar que las propiedades de los materiales cumplan estas especificaciones de diseño y debido a la complejidad de realizar estos ensayos en la edificación por el riesgo de extraer muestras en los miembros estructurales, se realizaron únicamente ensayos no destructivos como el de esclerometría y ferro-scan.

3.1.5.3.1 Ensayo de esclerometría

El ensayo de esclerometría INV E-413-13 se realiza a las estructuras con fin de obtener un indicador referencial acerca de la calidad de concreto que se emplea, además de darnos una idea de la uniformidad del concreto. Permite obtener el índice de rebote y la resistencia estimada mediante la utilización de un martillo de acero impulsado denominado esclerómetro.

El ensayo se ejecuta siguiendo debidamente los parámetros exigidos por la norma anteriormente mencionada.

Procedimiento

- Selección de la superficie a ensayar:

Los concretos por comparar deben ser del mismo tipo, tener aproximadamente la misma edad, condición de humedad y haber sido elaborados con los mismos materiales (cemento, agregados y aditivo). Para la estructura trabajada inicialmente se seleccionó la superficie a ensayar, donde se realizaron los ensayos únicamente en columnas debido a la dificultad de realizarlos en las vigas. Se evitaron las áreas atípicas que presenten nidos de piedra, escamaduras, texturas ásperas o alta porosidad.

- Preparación de la superficie por ensayar

Se marca el área seleccionada por ensayar creando una superficie cuadrada de menos de 200 mm por lado, distribuida en forma de cuadrícula de 16 espacios, en cada una de las columnas seleccionadas para este ensayo.

- Ensayos

Se sujeta firmemente el instrumento en una posición que permita golpear perpendicularmente la superficie por ensayar como se muestra en la figura 3-12, la posición normal de trabajo de este instrumento es horizontal aumentando gradualmente la presión hasta que se dispare. Después de cada impacto, se debe examinar la superficie y descartar la lectura si el impacto produce trituración superficial o rotura a



través de un hueco de aire superficial; en caso contrario se registra el valor de rebote, aproximando a la menor división de la escala del aparato. Se debe repetir la operación efectuando impactos uniformemente repartidos en la superficie de ensayo.

Figura 3-12: Manejo de la herramienta (Esclerómetro).



Fuente: Autor

Los ensayos se desarrollan en una superficie, se ensayaron un total de 5 columna entre el piso 1 y 2 de la edificación. 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/m². Los resultados obtenidos en este ensayo serán analizados para la determinación de la resistencia del concreto principalmente, analizar si existen zonas de concreto pobre o débil y determinar problemas como hormigqueo o corrosión.

3.1.5.3.2 Ensayo de Ferro-Scan

El sistema Ferro-scan PS 200 es un sistema de medición de prueba no destructiva que se emplea para detectar la posición, la profundidad y estimar el diámetro del acero presente en la estructura, trabajando en base con un sistema de detección magnética.

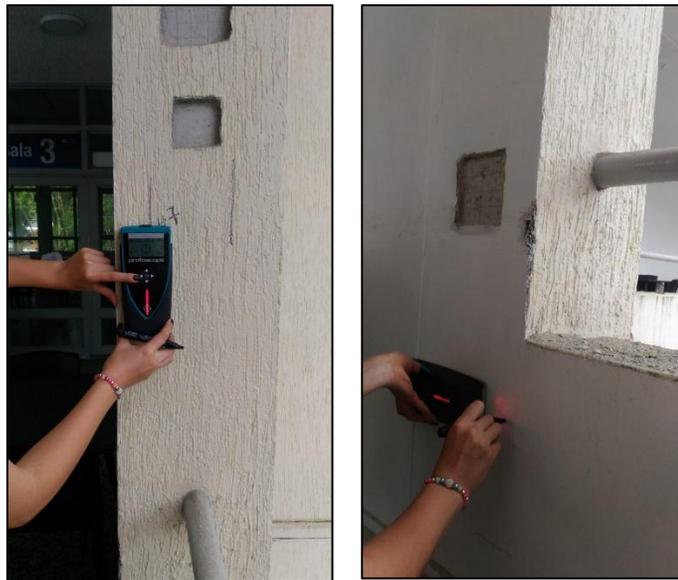
Funcionamiento:

El sistema está basado en el desplazamiento directo del escáner sobre la superficie de la obra. Los datos se almacenan en el escáner hasta que puedan transferirse al monitor. El monitor puede almacenar grandes volúmenes de datos para poderlos visualizar. Además, se puede utilizar para el análisis. Los datos pueden descargarse en la PC. El software ofrece opciones de análisis avanzadas y la posibilidad de imprimir rápidamente informes completos. [12] A continuación, se describe el procedimiento de escaneos en campo:

- Procedimiento

Se desplaza el escáner de cara a cara de la sección del elemento a ensayar horizontal y verticalmente, conforme a que se localice el acero de refuerzo se marca su posición y se precisa inmediatamente el diámetro de la barra y se continúa sucesivamente hasta completar el ensayo en toda la complejión del elemento ensayado. El ensayo brinda valores precisos si el proceso se desarrolla de manera adecuada, esta herramienta se debe calibrar cada 5 minutos acorde a lo establecido en el manual de uso.

Figura 3-13: Ensayo Ferro-scan.



Fuente: Autor



Etapa 5

Posteriormente de realizar el levantamiento del sistema estructural en el que se precisa las dimensiones de los elementos estructurales, la configuración de la edificación y la resistencia del concreto estimada de acuerdo a los resultados de esclerometría, se continúa con el cálculo de avalúos de cargas de servicio y la elaboración del espectro elástico de diseño, para finalmente desarrollar el modelo digital del edificio de la Biblioteca Central.

3.1.5.4 Avalúo carga muerta

La carga muerta cubre las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, muros, pisos, cubierta, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que nos son causadas por la ocupación y uso de la edificación.

Siguiendo los lineamientos del título B del NSR-10 [13] se procede a estimar las distintas sollicitaciones estáticas que van a ser aplicadas sobre la estructura. Los avalúos serán realizados en unidad de KN/m², la carga de los elementos estructurales como vigas y columnas será determinada por el software empleado para la simulación.

A continuación, se presentan los respectivos avalúos de carga muerta para la losa aligerada (ver Tabla 3-2), carga muerta para acabados (ver Tabla 3-3), Carga muerta para cubierta (ver Tabla 3-4) y carga muerta para escaleras (Ver Tabla 3-5).

Tabla 3-2: Valores correspondientes a la carga muerta de losa aligerada Nivel 1.

CARGA MUERTA LOSA ALIGERADA NIVEL 1		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m²)
Loleta inferior y superior	0.08m*24KN/m ³	1,92
Viguetas	(0.15m*0.4m*24KN/m ³)/0,64m	2,25
Muros Divisorios	(144,8m*2,8m*2,5KN/m ²)/436,05m ²	2,32
Terminado arquitectónico		1,10
Casetón de guadua		0,38
<i>CARGA MUERTA TOTAL</i>		7,97

Fuente: Autor.

CARGA MUERTA ACABADOS		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m2)
Pisos	Baldosa cerámica (20mm) sobre 25 mm de mortero	1,10
Cielo raso	Fibras acústicas	0,10
CARGA MUERTA TOTAL		1,20

Tabla 3-3: Valores correspondientes a la carga muerta de los acabados.

Fuente: Autor.

Tabla 3-4: Valores correspondientes a la carga muerta de cubierta.

CARGA MUERTA CUBIERTA		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m2)
Cubierta	Teja corrugada de asbesto cemento	0,20
Muro antepecho de cubierta	$(0,8m * 100,6m * 2,5) / 436,05$	0,46
CARGA MUERTA TOTAL		0,66

Fuente: Autor.

Tabla 3-5: Valores correspondientes a la carga muerta de escaleras.

CARGA MUERTA ESCALERAS		
ITEM	CALCULOS	VALOR(KN/m2)
Placa de escaleras	e=15 cm	0,15
Huella		0,25
Contra huella		0,18
Longitud	"Ancho de la escalera"	1,50
Area triangulo escalon	$(0,18m * 0,25m) / 2$	0,02
Cantidad escalones		16,00
Gama del concreto	KN/m3	24,00
Area que abarca la esclaera	"Area tomada del plano"	13,60
CARGA MUERTA TOTAL	$(0,15 m * 24 KN/m3) + ((1,5m * 0,02 m2 * 24 KN/m3 * 16)) / 13,6m2$	4,55

Fuente: Autor.



3.1.5.5 Avaluó de Cargas vivas

Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso ocupacional de la edificación no adicionando cargas ambientales como sismos y vientos.

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 los salones de lectura, estantería, corredores y escaleras como lo muestra la Figura 3-13, para la cubierta. A continuación, se puede observar el avalúo de cargas vivas para la biblioteca (ver Tabla 3-14)

Figura 3-14: Avalúo de carga muerta de la Biblioteca.

Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700

Fuente: Título B NSR-10

Tabla 3-6: Avalúo de carga viva.

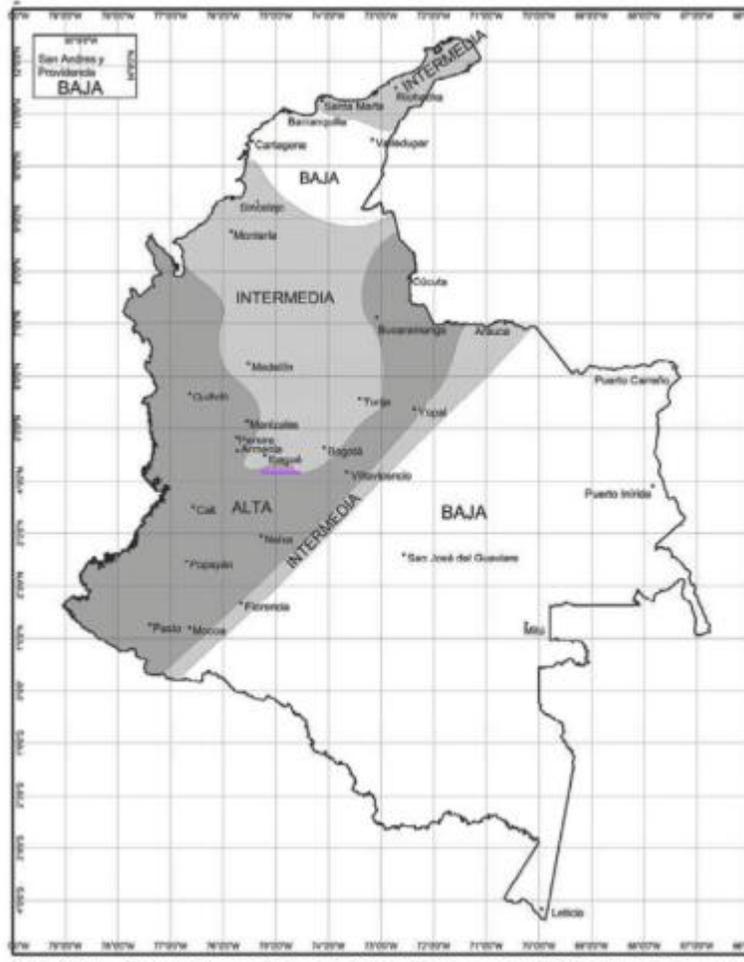
AVALUO CARGAS VIVAS		
CARGAS VIVAS NIVEL 1		
ITEM	VALOR	
Estantería	7	KN/m ²
Salones de lectura	2	KN/m ²
CARGA VIVA TOTAL	9	KN/m ²
CARGAS VIVAS CORREDORES Y ESCALERAS		
ITEM	VALOR	
Corredores y escaleras	5	KN/m ²
CARGA VIVA TOTAL	5	KN/m ²

Fuente: Autor

3.1.5.6 Nivel de amenaza sísmica

Para la determinación del nivel de amenaza sísmica se identifican unos parámetros estipulados en la NSR-10 título A, teniendo en cuenta que la zona en donde se encuentra ubicado la estructura de la Biblioteca de la universidad de Ibagué es en la ciudad de Ibagué. Por tanto, de acuerdo a los mapas de zonificación sísmica disponibles en el capítulo A.2 del NRS-10 y la información presentada en la tabla de A.2.3-2 del NRS-10 la zona corresponde a un nivel de amenaza sísmica intermedia.

Figura 3-15: Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.



Fuente: Capítulo A.2.3 de la NSR-10

De acuerdo a la zonificación sísmica asignada se establece el valor de 0,2 para los coeficientes que representan la aceleración (A_a) y velocidad horizontal pico efectiva (A_v) (ver Tabla 3-16).



Figura 3-16: Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: Capítulo A.2.3 de la NSR-10

3.1.5.7 Determinación del espectro elástico de diseño.

Previamente identificados los coeficientes A_a y A_v , se define el coeficiente de importancia (I) que es un indicador del grupo de uso al que pertenece la estructura, para este caso aplica al grupo III – Estructuras de tipo esencial que corresponde a un valor de 1.25 (Ver Tabla 3-7).

Tabla 3-7: Valor de coeficiente de importancia I .

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

Fuente: Capítulo A.2.5 de la NSR-10

Para determinar los coeficientes de amplificación que afectan la aceleración en la zona de períodos cortos e intermedios es necesario conocer el tipo de perfil de suelo donde se encuentra cimentada la estructura, el cual, según estudios previos de la zona, corresponde a un suelo tipo C por consiguiente empleando la Tabla A.2.4-3 y Tabla A.2.4-4 los valores correspondientes al tipo de suelo son 1.2 para Fa y 1.6 para Fv.

Tabla 3-8: Valores del coeficiente Fa, para la zona de períodos cortos del espectro.

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: Capítulo A.2.4 de la NSR-10

Tabla 3-9: Valores del coeficiente Fv para la zona de períodos intermedios del espectro.

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: Capítulo A.2.4 de la NSR-10

Tabla 3-10: Coeficientes de Aceleración y Sitio.

COEFICIENTES DE ACELERACIÓN Y DE SITIO	
Aa	0.2
Av	0.2
Fa	1.2
Fv	1.6

Fuente: Autor

▪ **Determinación del periodo fundamental de la edificación**

El valor el periodo fundamental de la edificación T, debe obtenerse a partir de las propiedades de sistema de resistencia sísmica de acuerdo con los principios de la dinámica estructural utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura Nsr-10 A.4.2.1



Alternativamente el valor de T puede ser igual al período fundamental aproximado T_a obteniéndose a partir de la siguiente ecuación (Ver Ecuación 3.1)

$$T_a = C_t h^\alpha \quad (3.1)$$

El valor obtenido para el periodo aproximado de la estructura (T) es:

$$T_a = 0.047 * 6^{0.9}$$

$$T_a = 0.235$$

Donde C_t y α son parámetros encontrados en la tabla A.4.2-1 de la figura 3-16 del NSR-10 y h es la altura del edificio.

Figura 3-17: Parámetros para el cálculo del periodo aproximado.

Tabla A.4.2-1
Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a

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: NSR10 Titulo A.4.2-1

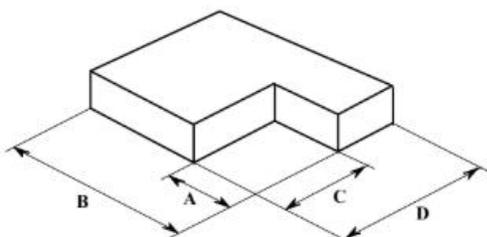
Para definir el coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía se tiene en cuenta los siguientes coeficientes:

- Irregularidad en planta ϕ_p : Debido a que la estructura presenta retrocesos en las esquinas, se le asigna un ϕ_p de 0.9 como se especifica en la Tabla A.3-6 Irregularidades en planta en la NSR-10.

Figura 3-18: Ilustración que presenta la irregularidad en planta.

Tipo 2P — Retrocesos en las esquinas — $\phi_p = 0.9$

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



Fuente: NSR10 Capitulo A

- Irregularidad en Altura ϕ_a : El coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura toma valor de 1.0, ya que no se presenta irregularidades en altura de los tipos 1aA, 1bA, 2A, ó 3A, tal como se definen en la tabla A.3-7 de la NSR-10.
- Irregularidad Causada por ausencia de redundancia ϕ_r : Ya que el cortante basal en el último piso no supera el 35% de la cortante basal total el coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía, causada por ausencia de redundancia ϕ_r , toma un valor de 0.75.

Tabla 3-11: Irregularidades de la estructura.

Tipo de Irregularidades	
Irregularidad en planta ϕ_p	0.9
Irregularidad en altura ϕ_a	1.0
Irregularidad A. de redundancia ϕ_r	0.75

Fuente: Autor

Determinación del coeficiente de capacidad de disipación de energía de diseño R

Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de R_0 se multiplica por $a\phi$, $p\phi$ y $r\phi$, para obtener R como se evidencia en la ecuación 3.2 .

$$R = \phi_a * \phi_p * \phi_r * R_0 \quad [3.2]$$

$$R = 1.0 * 0.9 * 0.75 * 5.0$$

$$R = 3.375$$

Teniendo en cuenta que, para un sistema estructural de pórticos resistentes a momentos, que se ubica en la zona de amenaza sísmica intermedia, el NRS-10 data una capacidad



de disipación de energía moderada (DMO), por lo que se define un coeficiente de capacidad de disipación de energía básico R_0 de 5.0, según lo establecido en la tabla A.3-3 del NRS-10.

Figura 3-19: Parámetros para definir R_0 para sistema de pórticos resistentes a momentos.

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
2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)									
a. De concreto (DMI)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DMI)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DMI)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	3.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	6.0	3.0	no se permite		si	30 m	si	50 m
e. De acero con cerchas no dúctiles	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	12 m
f. De acero con perfiles de lámina doblada en frío y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos de F.2.2.4 para perfiles no esbeltos (nota 6)	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
g. Otras estructuras de celosía tales como vigas y cerchas		No se pueden usar como parte del sistema de resistencia sísmica, a no ser que tengan conexiones rígidas a columnas, en cuyo caso serán tratadas como pórticos de celosía							

Fuente: NSR-10 capítulo A.3-3

Teniendo en cuenta lo anterior se determina el periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones (T_0), siguiendo con el cálculo del periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo (T_c) y el cálculo del periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos (T_l). En las siguientes ecuaciones se observa el resultado del cálculo de los periodos: (Ver Ecuación 3.3, 3.4 y 3.5)

$$T_0 = 0.1 * \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a} \quad (3.3)$$

$$T_0 = 0.14 \text{ Seg}$$

$$T_c = 0.48 \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a} \quad (3.4)$$

$$T_c = 0.66 \text{ Seg}$$

$$T_L = 2.4 \times FV \quad (3.5)$$

$$T_L = 3.96 \text{ Seg}$$

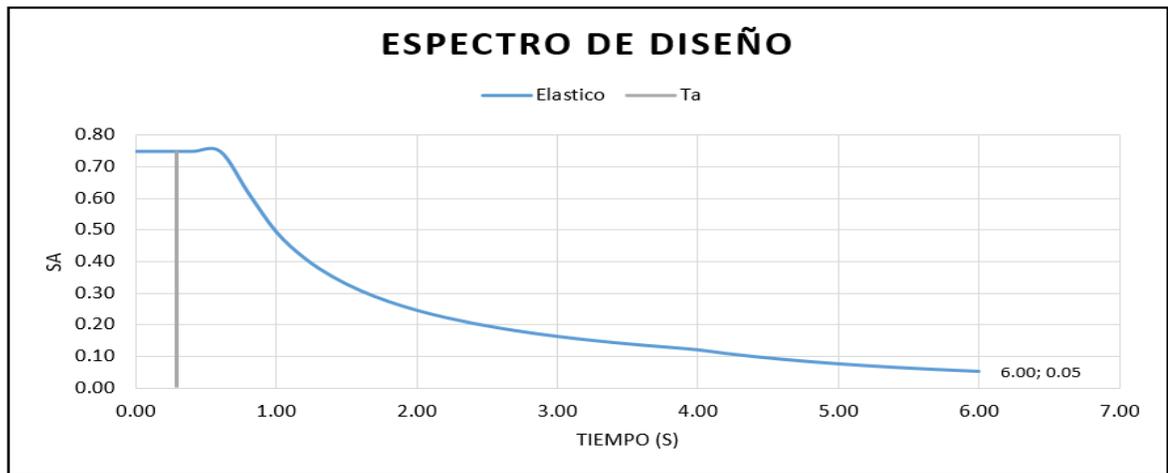
A Causa de que el periodo de la estructura tiene una coordenada espectral en la meseta entre el valor de T_0 y T_c , correspondiente a la zona de periodos cortos, se usa la siguiente fórmula para determinar el valor de la pseudo aceleración S_a .

$$S_a = 2.5 \times A_a \times F_a \times I \quad (3.6)$$
$$S_a = 0.75$$

Por lo tanto, el valor de la coordenada espectral (S_a) que intercepta en el período fundamental de la estructura es de 0,75 g veces la aceleración de la gravedad, como se muestra en la Figura 3-20.



Figura 3-20: Espectro de aceleraciones de diseño para la edificación.



Fuente: Autor

3.1.5.8 Simulación Etabs

Una vez determinada la geometría de la estructura teniendo en cuenta su composición y elementos estructurales, se procede a hacer uso del programa de análisis estructural Etabs que permite la modelación matemática de la edificación, a partir de un análisis estático lineal de las condiciones de cargas propias de la Biblioteca Central.

A continuación, se describen los pasos que se llevaron a cabo para desarrollar la modelación matemática:

Paso1. Definición de ejes en planta y en altura

Inicialmente se representan los ejes de la estructura a partir de la herramienta “Add Grid Lines” de acuerdo a las características como altura de entrepiso y separación entre columnas, información previamente establecida en planos estructurales.

Paso 2. Definición de materiales y propiedades de elementos.

Previamente a realizar el modelo se asignan las propiedades y dimensiones de los elementos estructurales mediante la opción “*Material properties*” se ingresa el tipo de material empleado “*Concrete*”, su peso específico y el Modulo de elasticidad con base a

la resistencia estimada en los ensayos de esclerometría, para este caso se trabajó con un concreto de resistencia de 28 Mpa (4000 Psi).

A demás, con la ayuda de la herramienta “*Section Properties*” se incorporan las dimensiones de las vigas, columnas, losa y cerchas.

Paso 3. Modelación de estructura.

- Columnas: Mediante la herramienta de Dibujo “*Quick Draw Columns*” se modelan las columnas teniendo como guía los ejes definidos.
- Vigas: Estos elementos estructurales se modelan por medio de la opción “*Draw Beam*” seleccionando la sección según corresponda.
- Viguetas: Con la ayuda del Botón de Dibujo “*Quick Draw Secondary Beams*” se insertan las viguetas definiendo su separación máxima con base a los planos estructurales de la edificación.
- Losa de entrepiso: Este elemento estructural se define por medio de la herramienta “*Draw Floor*” asignándole el espesor y material que lo conforma.
- Cerchas: Se crea un nuevo elemento a partir de la herramienta “*Frame Section*” en el cual se traza en un formato en blanco la sección teniendo en cuenta su material (metálica) y dimensión (20x45).

Paso 4. Definición del espectro elástico

Luego de modelar la estructura se procede a ingresar los valores relacionados a la función espectral con base a los lineamientos establecidos por la NSR-10 y los parámetros que allí se definirán, son los obtenidos en la información previa en la Tabla 3-10.

Paso 5. Definición de casos de carga

Para el análisis sísmico del edificio de la Biblioteca Central es importante el uso de distintos casos de carga, estos se clasifican en dos tipos: lineales estáticos y respuesta al espectro. El tipo de carga está directamente relacionado al análisis que se requiera; las cargas utilizadas se constituyen desde el peso propio de la estructura (Dead), carga viva (Life), carga sísmica estática (SY1, SX1) y carga sísmica como respuesta al espectro elástico definido (SX2, SY2).

Con la ayuda de la herramienta “*Load Cases*” se ingresa cada uno de los casos de carga anteriormente mencionados.

Paso 6. Inserción de combinaciones de carga

Las combinaciones de carga son la representación de la acción sísmica, se denominan combinaciones dado que se asumen a partir de porcentajes de las cargas designadas y de las direcciones de los planos de acción, para el análisis del comportamiento de la estructura.



Las combinaciones de carga se insertan por medio de la opción “*Load Combinations*”, para este caso se implementaron los combos presentados en la Figura 3-20 y 3-21.

Figura 3-21: Combinaciones de carga para diseño.

Tipo elemento	Combo	Factor	Tipo de carga		Factor	Tipo de carga		Factor	Tipo de carga		Factor	Tipo de carga
Vigas Columnas	1	1.40	D	+								
	2	1.20	D	+	1.60	L						
Vigas	3	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ex1			
	4	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ex1			
	5	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ey1			
	6	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ey1			
	7	0.90	D	+	1.00	Ex1						
	8	0.90	D	-	1.00	Ex1						
	9	0.90	D	+	1.00	Ey1						
	10	0.90	D	-	1.00	Ey1						
Columnas	11	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ex1	+	0.30	Ey1
	12	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ex1	-	0.30	Ey1
	13	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ex1	+	0.30	Ey1
	14	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ex1	-	0.30	Ey1
	15	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ey1	+	0.30	Ex1
	16	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ey1	-	0.30	Ex1
	17	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ey1	+	0.30	Ex1
	18	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ey1	-	0.30	Ex1
Columnas	19	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ex2	+	0.30	Ey2
	20	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ex2	-	0.30	Ey2
	21	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ex2	+	0.30	Ey2
	22	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ex2	-	0.30	Ey2
	23	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ey2	+	0.30	Ex2
	24	1.20	D	+	1.00	L	+	1.00	Ey2	-	0.30	Ex2
	25	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ey2	+	0.30	Ex2
	26	1.20	D	+	1.00	L	-	1.00	Ey2	-	0.30	Ex2
	27	0.90	D	+	1.00	Ex1	+	0.30	Ey1			
	28	0.90	D	+	1.00	Ex1	-	0.30	Ey1			
	29	0.90	D	-	1.00	Ex1	+	0.30	Ey1			
	30	0.90	D	-	1.00	Ex1	-	0.30	Ey1			

Fuente: Carlos Naranjo-Notas Universitarias Análisis estructural sísmico de una edificación de cinco pisos.

Figura 3-22: Combinaciones de carga para diseño –Continuación.

Columnas	31	0.90	D	+	1.00	Ey1	+	0.30	Ex1			
	32	0.90	D	+	1.00	Ey1	-	0.30	Ex1			
	33	0.90	D	-	1.00	Ey1	+	0.30	Ex1			
	34	0.90	D	-	1.00	Ey1	-	0.30	Ex1			
	35	0.90	D	+	1.00	Ex2	+	0.30	Ey2			
	36	0.90	D	+	1.00	Ex2	-	0.30	Ey2			
	37	0.90	D	-	1.00	Ex2	+	0.30	Ey2			
	38	0.90	D	-	1.00	Ex2	-	0.30	Ey2			
	39	0.90	D	+	1.00	Ey2	+	0.30	Ex2			
	40	0.90	D	+	1.00	Ey2	-	0.30	Ex2			
	41	0.90	D	-	1.00	Ey2	+	0.30	Ex2			
	42	0.90	D	-	1.00	Ey2	-	0.30	Ex2			

Fuente: Carlos Naranjo-Notas Universitarias Análisis estructural sísmico de una edificación de cinco pisos.

Paso 7. Asignación de cargas

Se sitúan las cargas determinadas en el avalúo realizado previamente en el título 3.1.5.4 sobre los elementos correspondientes; se asigna tanto la carga muerta como carga viva en las áreas de losa aligerada, losa de escalera y cubierta para el caso en estudio. La inserción de dichas cargas se realiza mediante la herramienta “*Shell Loads*” ingresando los valores de cargas correspondientes.

Paso 8. Asignación de diafragma de la estructura

Mediante la opción “*Diaphragms*” se define y se asigna el punto donde se concentrará el centro de masa de la estructura, y este se aplica para cada planta.

Paso 9. Ejecución del análisis

Finalmente, después de desarrollar los pasos anteriormente descritos, se lleva a cabo la ejecución del análisis por medio de la herramienta “*Run Analysis*” o tecla *F5*, para que el programa determine la respuesta sísmica de la estructura y de esta manera adquirir información útil para complementar el análisis de resultados. (ver Anexo D)



4. CAPITULO IV

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Análisis cualitativo

El estudio cualitativo de la Biblioteca de la Universidad de Ibagué se ejecuta empleando el presentado en el código FEMA P-154 como se muestra en la tabla a continuación, la cual ha sido desarrollado con el fin de identificar los edificios que presenten riesgos potenciales ante eventualidades sísmicas.

FEMA P-154 RAPID VISUAL SCREENING OF FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS					
PHOTO 		DIRECCION	Carrera 22 Calle 67 B/Ambalá		
		CODIGO POSTAL	730002		
PHOTO 		USO	BIBLIOTECA		
		LATITUD	4°26'58.7" N	LONGITUD	75°11'57.2" W
SKETCH 		Ss	0,2	S1	0,2
		INSPECTOR	ANA CAMILA RUBIO SUSUNAGA WENDY DAYANNA RICARDO QUESADA	HORA/FECHA	14/06/2018
# STORIES					
NUMERO DE PISOS	2	NUMERO DE SOTANOS	0		
TOTAL FLOOR AREA (m2)		436,05 m2			
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1985	CODIGO DEL AÑO			
Ocupacion					
LUGAR DE REUNION	<input type="checkbox"/>	EMERGENCIA	<input type="checkbox"/>		
INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>	ESCUELA	<input checked="" type="checkbox"/>		
UTILIDAD	<input type="checkbox"/>	RESIDENCIAL	<input type="checkbox"/>		
COMERCIAL	<input type="checkbox"/>	HISTORICO	<input type="checkbox"/>		
OFICINA	<input type="checkbox"/>	OFICINA PUBLICA	<input type="checkbox"/>		
ALMACEN	<input type="checkbox"/>	LUGAR DE REFUGIO	<input type="checkbox"/>		
TIPO DE SUELO					
A (ROCA DURA)	<input type="checkbox"/>	D (SUELO RESISTENTE)	<input type="checkbox"/>		
B (ROCA AVG)	<input type="checkbox"/>	E (SUELO SUAVE)	<input type="checkbox"/>		
C (SUELO DENSO)	<input checked="" type="checkbox"/>	F (SUELO POBRE)	<input type="checkbox"/>		
IF DNK ASUME TYPE D					
PELIGROS GEOLÓGICOS					
LICUEFACCIÓN	YES <input type="checkbox"/> /NO <input checked="" type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>				
DESIZAMIENTO DE TIERRA	YES <input type="checkbox"/> /NO <input checked="" type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>				
RUPTURA DE SUPERFICIE	YES <input type="checkbox"/> /NO <input checked="" type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>				
ADYACENCIAS					
GOLPETEO	<input type="checkbox"/>				
FALLING HAZARDS TALER ADJ. BUILDING	<input type="checkbox"/>				
IRREGULARIDADES					
VERTICAL	<input checked="" type="checkbox"/>				
TIPO DE PLANTA	<input checked="" type="checkbox"/>				
RIESGOS DE CAÍDAS EN EL EXTERIOR					
TUBO D ECHIMENEA	<input type="checkbox"/>				
PARAPETOS	<input checked="" type="checkbox"/>				
REVESTIMIENTO PESADO	<input type="checkbox"/>				
APENDICES	<input type="checkbox"/>				
OTROS	<input type="checkbox"/>				
OBSERVACIONES					
ADDITIONAL COMMENTS ON SEPARATED PAGE <input type="checkbox"/>					

Tabla 4-1: Datos recolectados para evaluación cualitativa.

Fuente: Autor

Este estudio en términos de la vulnerabilidad sísmica se manifiesta negativamente en la edificación, debido a que los coeficientes de afectación se ven presentes en la irregularidad vertical moderada debido a que la estructura se encuentra construida en una topografía que presenta un desnivel, la irregularidad en planta por retroceso en las esquinas y su elaboración debido a que se construyó antes de la norma que actualmente se encuentra en vigencia.

Teniendo en cuenta lo anterior, el tipo de material y el valor de aceleración pico efectiva dada por la zona donde se encuentra ubicada la estructura a estudiar, en este caso Ibagué clasificada en una zona de amenaza sísmica intermedia tabla A.2.3-2 de la NSR-10, se penaliza la estructura con valores predefinidos de acuerdo a las características propias que hacen vulnerable la estructura.

Tabla 4-2: Resultados análisis cualitativo.

PUNTAJACION BASICA. MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																				
TIPO DE EDIFICIO SEGÚN FEMA P154	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RCSW)	S5 (URMINF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMINF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH			
PUNTAJACION BASICA	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			
IRREGULARIDAD VERTICAL SEVERA 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			
REGULARIDAD VERTICAL MODERADA , V	-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			
IRREGULARIDAD EN PLANTA, 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			
CODIGO INICIAL	-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 - EVALUACIÓN COMPARATIVA	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			
TIPO DE SUELO A O 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			
TIPO DE SUELO E (1-3 PLANTAS)	-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			
TIPO DE SUELO E (>3 PISOS)	-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			
PUNTAJACIÓN MÍNIMA, 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			
PUNTAJACION(ESTRUCTURA VULNERABLE)	Se obtiene un resultado de -0,1 por lo que se debe adoptar el MINIMUM SCORE de 0,3 como lo indica la norma FEMA																			
PUNTAJE FINAL NIVEL 1 SL1>Smin																				
OTROS PELIGROS									EXTENSION DE LA REVISION											
PTENCIAL DE GOLPES (SI SL2>PARAR)									EXTERIOR			PARCIAL			TODO			AERIA		
PELIGROS DE CAIDA DESDE EL EDIFICIO ADYACENTE									EXTERIOR			NINGUNA			VISIBLE			ENTRO		
PELIGROS GEOLOGICOS O TIPO DE SUELO F									EXTERIOR			NINGUNA			VISIBLE			ENTRO		
DAÑOS/ DTERIORO SIGNIFICATIVO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL									EXTERIOR			NINGUNA			VISIBLE			ENTRO		
ACCION REQUERIDA									REVISION DE PLANOS			SI			NO			NO		
TIPO DE EDIFICIO DECONOCIDO DE FEMA U OTRO EDIFICIO									SI			ORIGEN DEL TYPO DE SUELO			C					
SI, LA PUNTAJACION ES MENOR									SI			FUENTE DE PELIGRO GEOLOGICO								
SI, OTROS PELIGROS PRESENTES									SI			PERSONA DE CONTACTO								
NO									NO			PERSONA DE CONTACTO								
SE RECOMIENDA UNA EVALUACION NO ESTRUCTURAL DETALLADA (MARQUE UNA)									NIVEL 2 CHEQUEO REALIZADO											
SI, PELIGROS NO ESTRUCTURALES IDENTIFICADOS QUE DEBEN EVALUARSE									SI			PUNTAJE FINAL LVL2, SL2			NO			NO		
NO, EXISTEN PELIGROS NO ESTRUCTURALES QUE PUEDEN REQUERIR MITIGACIONES, PERO UNA									NO			NO, NO ES NECESARIO			NO			NO		
NO, NO SE IDENTIFICARON PELIGROS NO ESTRUCTURALES									NO			PELIGROS NO ESTRUCTURALES			SI			NO		
NO, NO SE IDENTIFICARON PELIGROS NO ESTRUCTURALES									NO			PELIGROS NO ESTRUCTURALES			SI			NO		
CUANDO NO SE PUEDA VERIFICAR LA INFORMACIÓN, EL EVALUADOR TOMARÁ NOTA DE LO SIGUIENTE EST = ESTIMADO O DNK = DO NOT KNOW(NO LO SE)																				

Fuente: Autor



Como parte de la evaluación cada estructura recibe una puntuación que determina si la misma requiere una evaluación más detallada, en este caso la estructura recibe un valor de 2.1 para Basic score donde se penaliza los valores de irregularidad vertical severa con un valor de -1.1 y en planta con un valor de 0.8; también se tiene en cuenta el valor de PRE- COD de -0.3 para obtener como un total de Basic Score de -0.1, por lo que se debe adoptar el MINIMUM SCORE de 0,3 ya que el obtenido es menor que el mínimo como lo indica la norma FEMA P154.

Como el valor de SI_1 es menor que el S_{min} se afirma que la estructura es vulnerable a eventualidades sísmicas, de acuerdo a lo que establece la evaluación visual de edificios para posibles riesgos sísmicos FEMA P-154 del 2015, teniendo en cuenta que probablemente fue diseñado y construido antes de la utilización del nuevo código de construcción para sismos.

4.1.2 Análisis Cuantitativo

4.1.2.1 Verificación de secciones mínimas para DMO Y DES

Como punto de referencia, para la comprobación de la resistencia sísmica de una estructura existente y su verificación de secciones mínimas, se debe de seguir las indicaciones que se rigen en el actual reglamento colombiano de construcción Sismo resistente Nsr-10, donde contiene unos parámetros mínimos para el diseño de estructuras de concreto como se muestra en la figura 3-8 que resume las aplicaciones de las disposiciones del capítulo C.21 de cómo se deben emplear cuando se usan los requisitos mínimos en las diversas capacidades de disipación de energía.

4.1.2.2 Comparación de las relaciones geométricas de vigas y columnas

A partir de lo establecido al levantamiento plani altimétrico de la Biblioteca de la Universidad de Ibagué se procede a realizar una tabla que contenga las características correspondientes a las secciones transversales de todos los elementos presentes en el sistema estructural de la construcción; comparando las relaciones geométricas de los elementos con los estipulado en el capítulo C.21 de la norma sismo resistente para DMO y DES.

- **Columnas**

La estructura cuenta con 30 columnas, donde a cada una de ellas se le realiza la verificación de cumplimiento mínimo de dimensiones para la capacidad de disipación de energía (DMO) moderado y (DES) especial. Estos elementos fueron agrupados en 12 tipos como se muestra en las siguientes tablas.

4.1.2.2.1 Verificación de columnas para DMO

Tabla 4-3: Verificación de columna A2 para DMO

A2		
bc (cm)	34	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	45	hc > bc
hc/bc	1.32352941	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	1530	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-4: Verificación de columna A4 para DMO

A4		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	24	NO CUMPLE
hc/bc	0.8	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	720	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-5: Verificación de columna B10 para DMO

B10		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	30	hc > bc
hc/bc	1	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	900	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-6: Verificación de columna C6 para DMO

C6		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	34	hc > bc
hc/bc	1.13333333	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	1020	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-7: Verificación de columna D10 para DMO

D10		
bc (cm)	29	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	28	NO CUMPLE
hc/bc	0.96551724	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	812	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor



Tabla 4-8: Verificación de columna F6 para DMO

F6		
bc (cm)	28	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	34	hc > bc
hc/bc	1.21428571	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	952	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-9: Verificación de columna G2 para DMO

G2		
bc (cm)	25	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	31	hc > bc
hc/bc	1.24	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	775	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-10: Verificación de columna G4 para DMO

G4		
bc (cm)	29	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	24	NO CUMPLE
hc/bc	0.83	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	696	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-11: Verificación de columna H1 para DMO

H1		
bc (cm)	32	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	30	NO CUMPLE
hc/bc	0.94	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	960	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

Tabla 4-12: Verificación de columna J7 para DMO

J7		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.3.5.1
hc (cm)	28	NO CUMPLE
hc/bc	0.93	CUMPLEC.10.3.2.1
T, C, I (cm²)	840	CUMPLE C.21.3.5.1

Fuente: Autor

El análisis de chequeo de columnas para el caso de disipación de energía moderada DMO cumple, ya que los lineamientos establecidos por el título C.21.3.5.1 define que la sección mínima de este elemento debe ser de 250 mm.

4.1.2.2.2 Verificación de columnas para DES

Tabla 4-13: Verificación de columna A2 para DES

A2		
bc (cm)	34	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	45	0.25
hc/bc	0.76	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	1530	CUMPLE C.21.6.1.1

Fuente: Autor

Tabla 4-14: Verificación de columna A4 para DES

A4		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	24	0.35
hc/bc	1.25	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	720	NO CUMPLE DES

Fuente: Autor

Tabla 4-15: Verificación de columna B10 para DES

B10		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	30	0.35
bc/hc	1	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	900	CUMPLE C.21.6.1.1

Fuente: Autor

Tabla 4-16: Verificación de columna C6 para DES

C6		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	34	0.25
bc/hc	0.88	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	1020	CUMPLE C.21.6.1.1

Fuente: Autor

Tabla 4-17: Verificación de columna D10 para DES

D10		
bc (cm)	29	NO CUMPLE DES
hc (cm)	28	0.35
bc/hc	1.04	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	812	NO CUMPLE DES

Fuente: Autor



Tabla 4-18: Verificación de columna F6 para DES

F6		
bc (cm)	28	NO CUMPLE DES
hc (cm)	34	0.25
bc/hc	0.82	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	952	CUMPLE C.21.6.1.1

Fuente: Autor

Tabla 4-19: Verificación de columna G2 para DES

G2		
bc (cm)	25	NO CUMPLE DES
hc (cm)	31	0.25
hc/bc	0.81	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	775	NO CUMPLE DES

Fuente: Autor

Tabla 4-20: Verificación de columna G4 para DES

G4		
bc (cm)	29	NO CUMPLE DES
hc (cm)	24	0.35
hc/bc	1.21	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	696	NO CUMPLE DES

Fuente: Autor

Tabla 4-21: Verificación de columna H1 para DES

H1		
bc (cm)	32	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	30	0.35
hc/bc	1.07	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	960	CUMPLE C.21.6.1.1

Fuente: Autor

Tabla 4-22: Verificación de columna J7 para DES

J7		
bc (cm)	30	CUMPLE C.21.6.1.1
hc (cm)	28	0.35
hc/bc	1.07	CUMPLE C.21.6.1.2
T, C, I (cm²)	840	NO CUMPLE DES

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo establecido en la norma NSR10 en los títulos C.21.6.1.1 y C.21.6.1.2 las secciones de algunas columnas diseñadas de esta edificación no cumplen para el análisis de capacidad de disipación de energía especial DES, siendo 300 mm la sección mínima de este elemento.

- **Vigas**

Para el chequeo de este elemento se verificó que la altura de la viga definida cumpla con la altura mínima requerida de acuerdo al título C en el capítulo C.9.5.2.1, para este análisis se tuvo en cuenta un tipo de viga con una sección de (30cm x 30cm) como se muestra en la siguiente tabla (ver tabla 4-23 para DMO y 4-24 para DES).

4.1.2.2.3 Verificación de Vigas para DMO

Tabla 4-23: Verificación de Viga Tipo A2-C2 para DMO

A2-C2		
h (cm)	30	VIGA CUADRADA
bw (cm)	30	CUMPLE C.21.3.4.1

Fuente: Autor

4.1.2.2.4 Verificación de Vigas para DES

Tabla 4-24: Verificación de Viga Tipo A2-C2 para DES

A2-C2		
h (cm)	30	VIGA CUADRADA
c2 (cm)		34
c1 (cm)		45
bw (cm)	30	CUMPLE C.21.5.1.3 CUMPLE C.21.5.1.4

Fuente: Autor

La sección única de viga para capacidad de disipación de energía moderada DMO y especial Des cumple con la altura mínima y ancho mínimo según como lo especifica la norma en los títulos C.9.5.2.1 y C.21.3.4.1 de la NSR-10.

4.1.2.3 Verificación de acero de refuerzo transversal

Con base a los resultados adquiridos por medio del ensayo de pachometría mencionado en el título 3.1.5.3.2 del presente proyecto, se define la localización del refuerzo transversal y se esquematizan los planos estructurales de los miembros seleccionados, desarrollando la respectiva verificación de cumplimiento con las separaciones máximas



estipuladas por el NSR-10 para la capacidad de disipación de energía moderada DMO y especial DES.

Con ayuda del dispositivo Ferro Scan o pacómetro se analizaron 5 tipos de columnas y un tipo de viga, tomando datos aproximados de profundidad, diámetro y espaciamiento de las barras de acero que se encuentran embebidas en el concreto.

En el primer piso se determinó la disposición del acero en las columnas ubicadas en los ejes A4, B10, F7, G4 y en el segundo piso se analizaron las columnas D8 y G4, como se especifica en la Figura 4-1.

Figura 4-1: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de pachometría Nivel 1

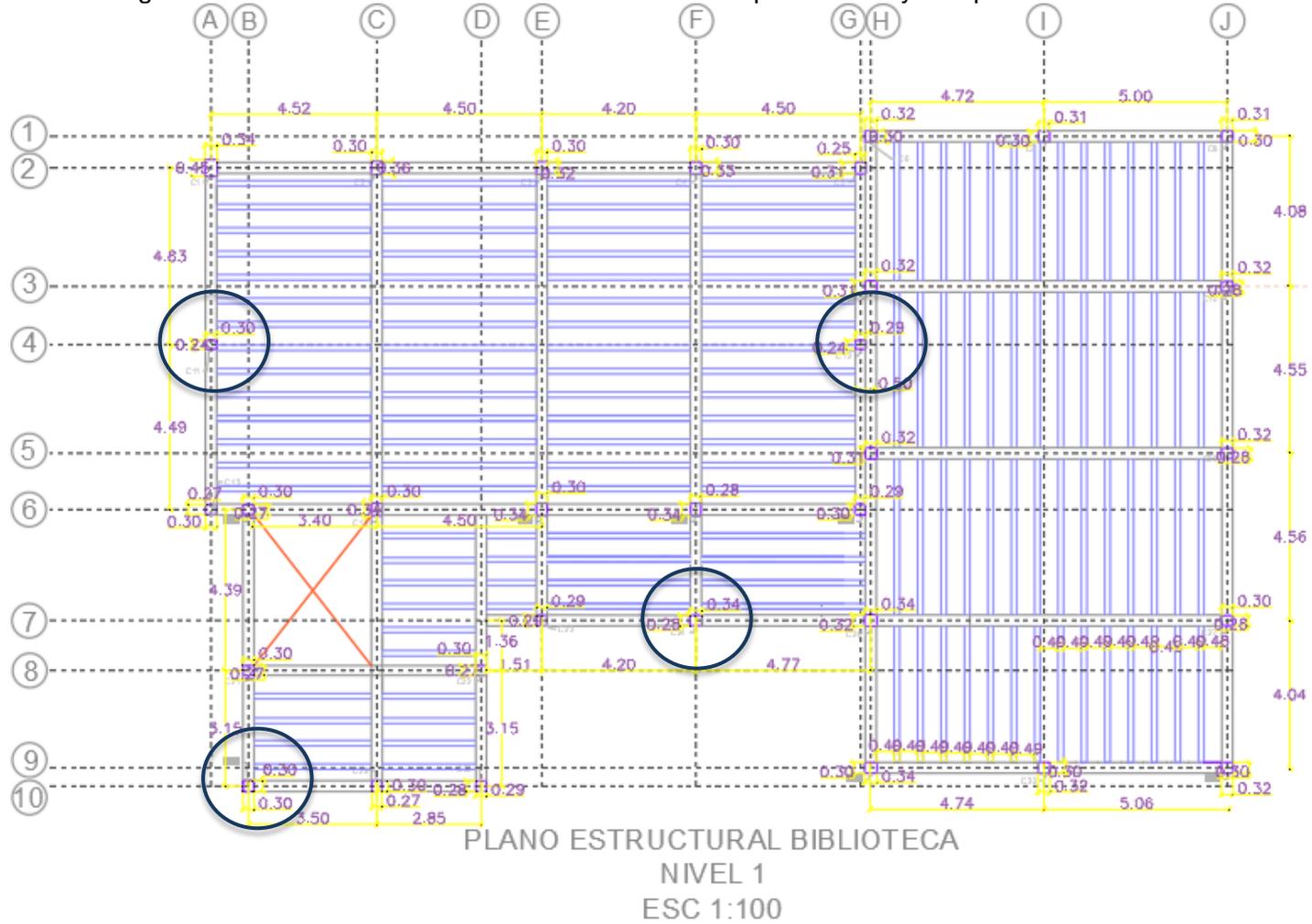
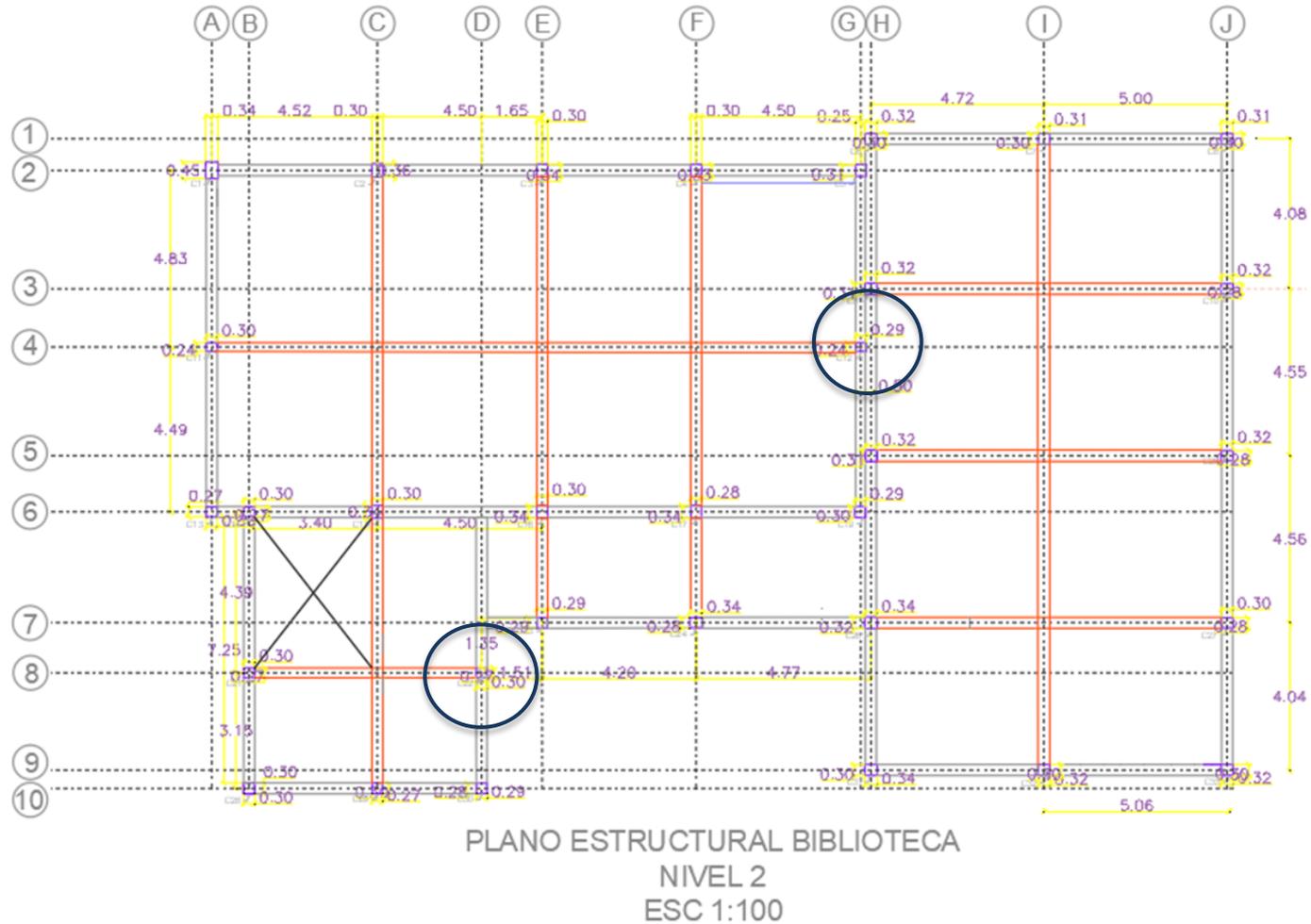




Figura4-2: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de pachometría Nivel 2.



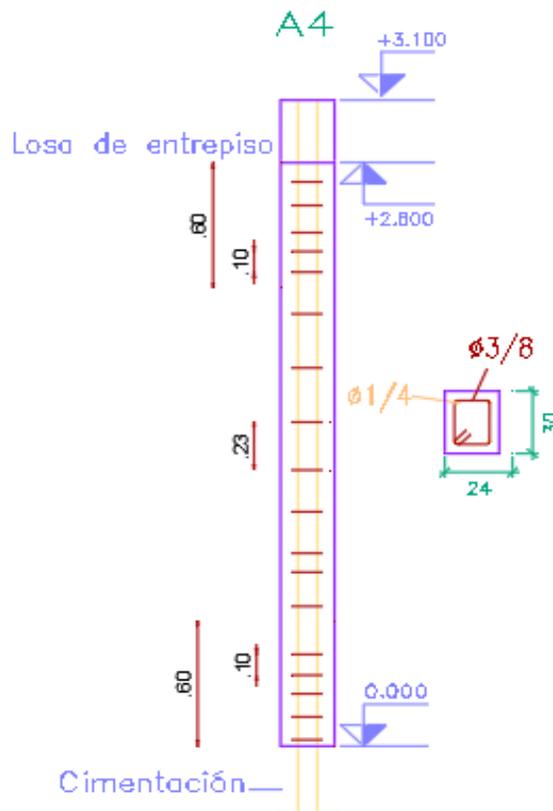
4.1.2.3.1 Verificación de disposición de acero de refuerzo transversal para columnas (DMO)

Para verificar que el acero transversal de las columnas analizadas cumpla con los requisitos establecidos en la norma NSR10, se considera que el espaciamiento del refuerzo no exceda los siguientes parámetros:

- Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
- 150 mm.

En las siguientes tablas se evidencia la verificación de la disposición del acero transversal de las columnas analizadas y la disposición del acero de refuerzo basada en los resultados obtenidos por medio del Ferro-Scan.

Figura4-3: Repartición del acero transversal de la columna A4



Fuente: Autor



Tabla 4-25: Datos preliminares de separación de refuerzo transversal columna A4

COLUMNA A4	
Ø Longitudinal	0,06
Ø Transversal	0,10
Base	0,24
Altura	0,30
Recubrimiento	0,04
Distancia d	0,26
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,10
Luz libre de la columna	2,80

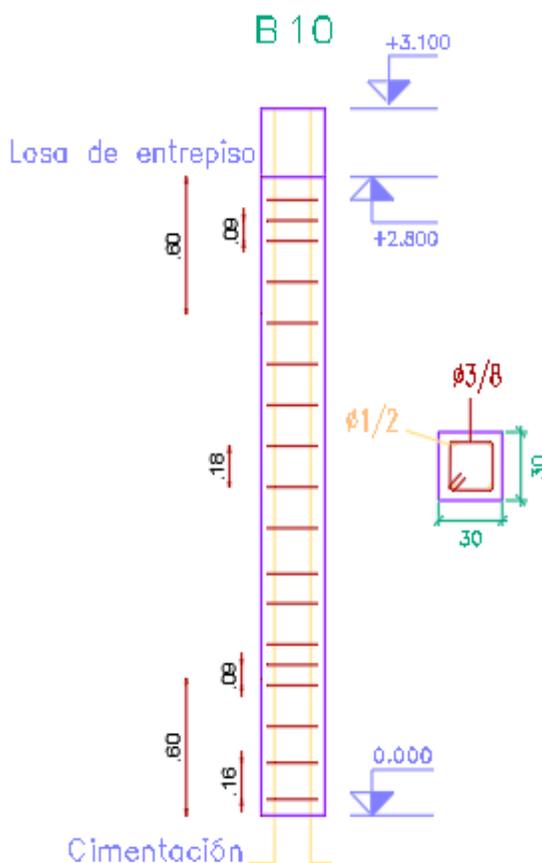
Fuente: Autor

Tabla 4-26: Chequeo de separación de refuerzo transversal en zona de confinamiento para columnas DMO

Verificación de separación de acero transversal en zona de confinamiento(So) para DMO	
C.21.3.5.6	
COLUMNA A4	
a) 8Ø longitudinal (m)	0,51
b) 16 Ø transversal(m)	1,52
c) h menor/3 (m)	0,08
d) 150mm	0,15
	NO CUMPLE

Fuente: Autor

Figura4-4: Verificación de Acero transversal en Columna B10.



Fuente: Autor

Tabla 4-27: Datos preliminares de las especificaciones del refuerzo transversal de la columna B10.

COLUMNA B10	
Ø Longitudinal	0,13
Ø Transversal	0,10
Base	0,30
Altura	0,30
Recubrimiento	0,05
Distancia d	0,26
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,09
Luz libre de la columna	2,80

Fuente: Autor



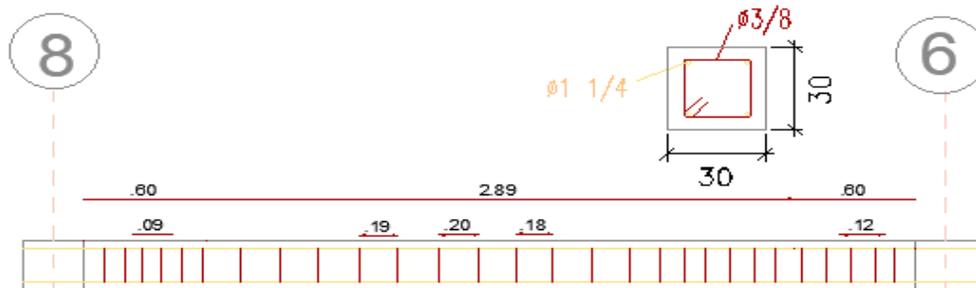
Tabla 4-28: Chequeo de separación de refuerzo transversal en zona de confinamiento para columnas DMO

Verificación de separación de acero transversal en zona de confinamiento(S_o) para DMO	
C.21.3.5.6 COLUMNA B10	
a) 8 \emptyset longitudinal	1,02
b) 16 transversal	1,52
c) h menor/3	0,10
d) 150mm	0,15
CUMPLE	

Fuente: Autor

4.1.2.3.2 Verificación de disposición del refuerzo transversal de vigas para disipación de energía moderada (DMO)

Figura4-5: Partición del acero de refuerzo transversal de la Viga C8-C6.



Fuente: Autor

Tabla 4-29: Información preliminar de la VG C8-C6 para la verificación de espaciamiento de refuerzo transversal.

VIGA TIPO	
\emptyset Longitudinal	0,32
\emptyset Transversal	0,10
Base	0,30
Altura	0,30
Recubrimiento	0,07
Distancia d	0,23
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,12
Luz libre de la viga	4,09

Fuente: Autor

Tabla 4-30: Verificación de separación de acero de refuerzo transversal de la VG C8-C6 para disipación de energía moderada C21.3.4.6

Verificación de separación de acero transversal en zona de confinamiento 2h para DMO	
C21.3.4.6	
VG TIPO 1	
a)d/4	0,06
b)8 veces el Ø barra long	2,54
c)24 veces el Ø del estribo	2,29
d)300 mm	0,30
NO CUMPLE	

Fuente: Autor

4.1.2.3.3 Verificación de disposición del refuerzo transversal de columnas para disipación de energía especial (DES)

Tabla 4- 31: Información preliminar acerca de las especificaciones de la Columna A4

COLUMNA A4	
Ø Longitudinal	0,06
Ø Transversal	0,10
Base	0,24
Altura	0,30
Recubrimiento	0,04
Distancia d	0,26
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,10
Luz libre de la columna	2,80

Fuente: Autor

Tabla 4-32: Verificación de la separación del acero de refuerzo transversal de la Columna C11 para disipación de energía especial (DES).

Verificación de separación máxima del refuerzo transversal de confinamiento para DES.	
21.5.3.2	
COLUMNA A4	
a) d/4	0,07
b) 8 veces el Ø más pequeña	0,51
c)24 veces el Ø del estribo	2,29
d)300 mm	0,30
NO CUMPLE	

Fuente: Autor



Tabla 4- 33: Promedio de valores del índice de esclerometría por columna y resistencia

COLUMNA B10	
Ø Longitudinal	0,13
Ø Transversal	0,10
Base	0,30
Altura	0,30
Recubrimiento	0,05
Distancia d	0,26
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,09
Luz libre de la columna	2,80

Fuente: Autor

Tabla 4-34: Verificación de la separación del acero de refuerzo transversal de la Columna C28 para disipación de energía especial (DES).

Verificación de separación máxima del refuerzo transversal de confinamiento para DES. C.21.5.3.2	
COLUMNA B10	
a) $d/4$	0,06
b) 8 veces el Ø más pequeña	1,02
c) 24 veces el Ø del estribo	2,29
d) 300 mm	0,30
NO CUMPLE	

Fuente: Autor

4.1.2.3.4 Verificación de disposición del refuerzo transversal de vigas para disipación de energía especial (DES).

Tabla 4- 35: Información preliminar de la VG C8-C6 para la verificación de espaciamento de refuerzo transversal.

VIGA TIPO	
Ø Longitudinal	0,32
Ø Transversal	0,10
Base	0,30
Altura	0,30
Recubrimiento	0,07
Distancia d	0,23
Zona de confinamiento	0,60
Separación de estribos	0,12
Luz libre de la viga	4,09

Fuente: Autor

Tabla 4-36: Verificación de separación de acero de refuerzo transversal de la VG C8-C6 para disipación de energía especial C21.5.3.2

Verificación de separación de acero transversal en zona de confinamiento para DES	
C21.5.3.2	
VG TIPO 1	
a)d/4	0,06
b)8 veces el Ø barra long	2,54
c)24 veces el Ø del estribo	2,29
d)300 mm	0,30
NO CUMPLE	

Fuente: Autor

4.1.2.4 Estimado de la resistencia del hormigón mediante el ensayo de Esclerometría

La evaluación de las estructuras de concreto en sitio se puede realizar mediante ensayos no destructivos teniendo la ventaja de permitir el control de toda la estructura sin afectarla en forma rápida. [14] Para la realización de este ensayo se seleccionaron 4 tipos de columnas como se muestra en la figura 4-3, donde se obtuvo la resistencia del concreto y su índice de rebote. La condición superficial que presentaba el elemento era seca debido a que es una estructura existente.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo B:



Figura 4-6: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de esclerometría Nivel 1.

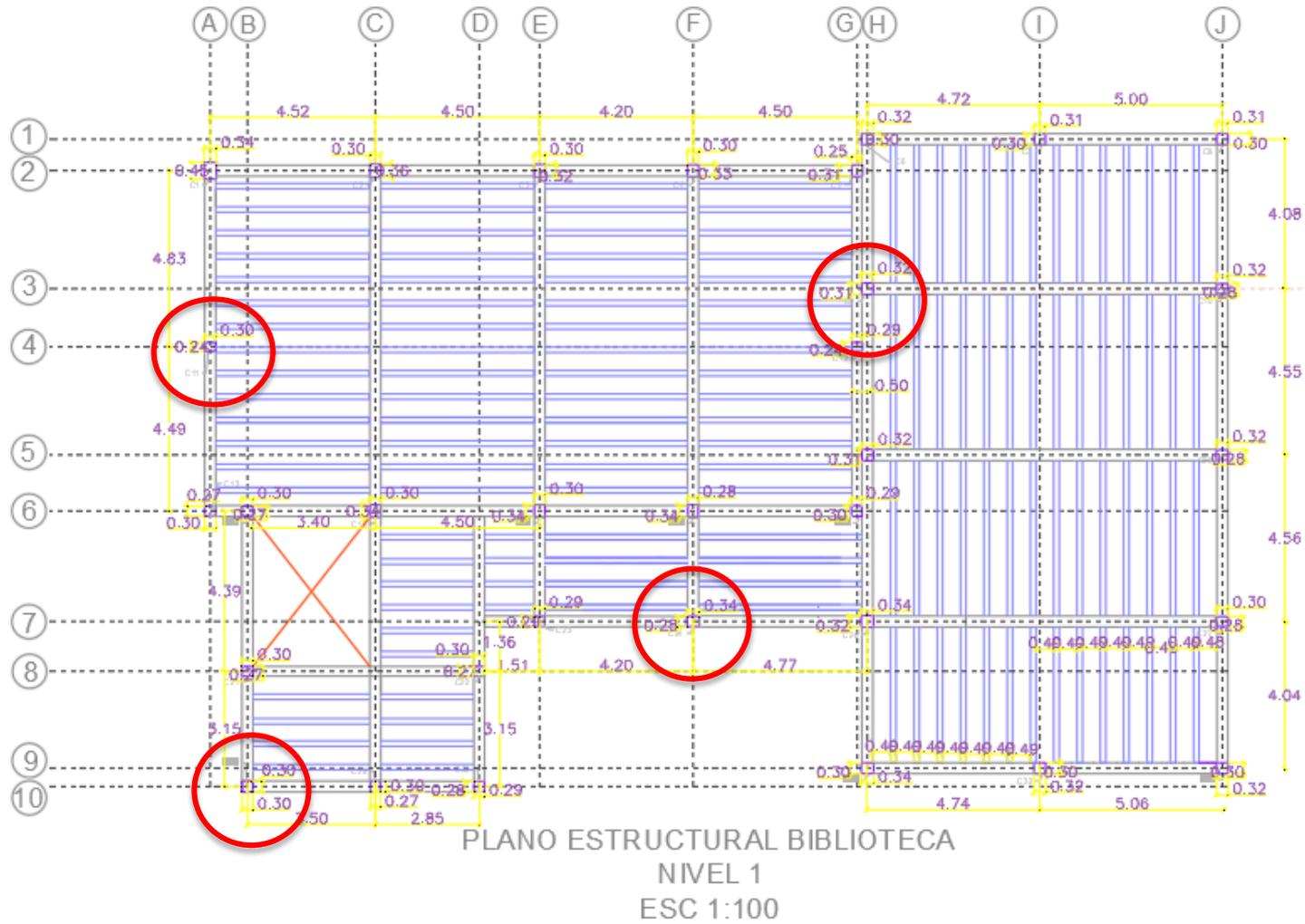
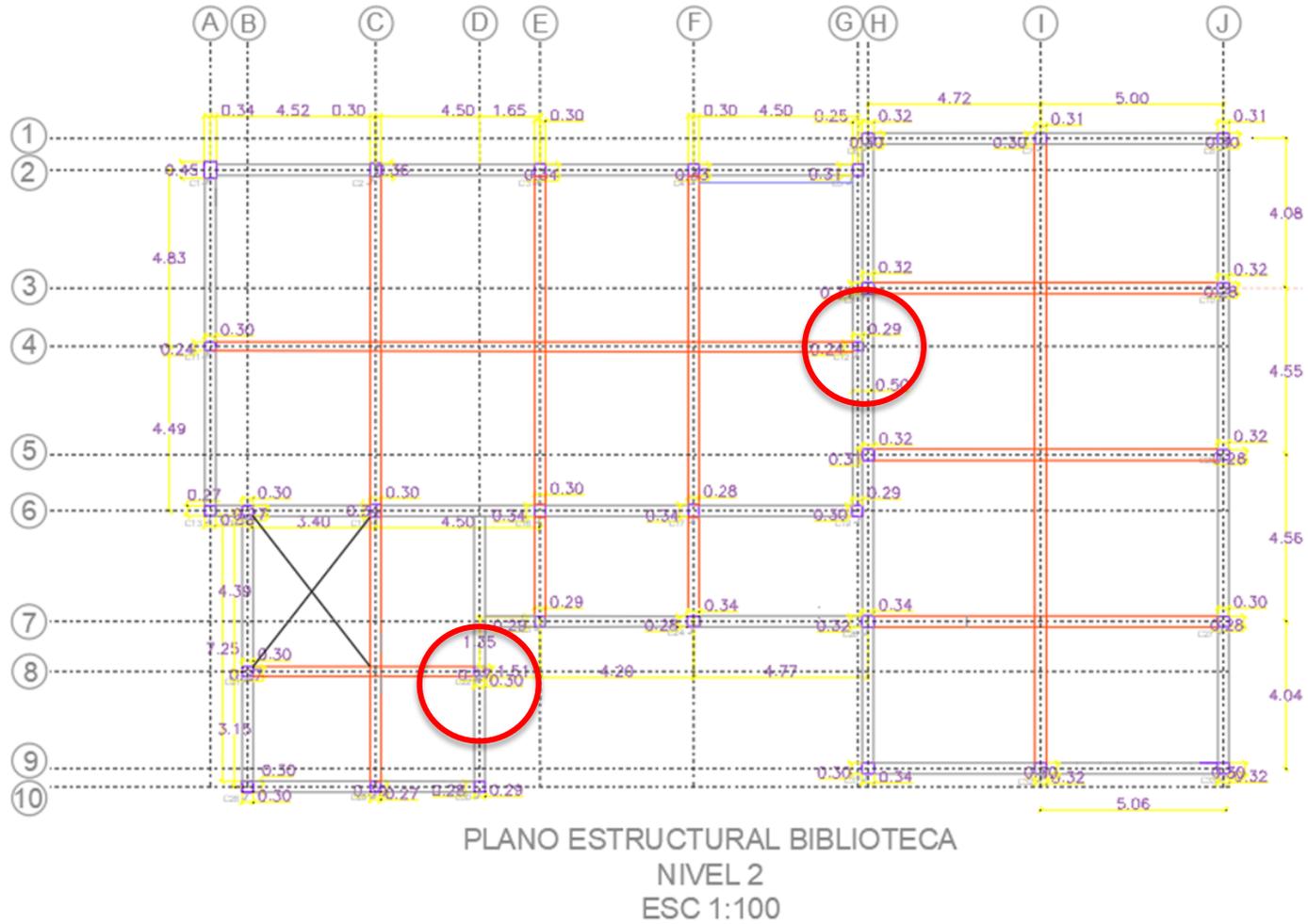


Figura4-7: Ubicación de las columnas seleccionadas para el ensayo de esclerometría Nivel 2.





- Datos número de rebote

Los valores del índice de esclerometría por columna y el valor de resistencia del concreto se obtuvieron por medio de cada toma determinando un promedio como se observa en la siguiente tabla (ver tabla 4-34).

Tabla 4-37: Promedio Datos número de Rebote

Promedio de CCS	28
Promedio de IRB	36 N/mm ²

Fuente: Autor

4.1.2.5 Método de la fuerza horizontal equivalente

La determinación de las cargas que contiene la estructura para su vida útil es una parte muy fundamental para este análisis, al igual la determinación de las cargas sísmicas es fundamental ya que como se ha presentado en muchos casos, el colapso total o parcial de las estructuras ocurre por la acción de un evento sísmico.

La ejecución de este método conlleva a la determinación del espectro de diseño teniendo en cuenta las características geotectónicas del lugar de ubicación de la estructura, el cálculo aproximado del período fundamental de vibración, la distribución en altura del cortante de base y la aplicación de estas fuerzas sísmicas, con la respectiva verificación de que los índices de deriva no sobrepasen el valor permitido (1%). [15]

Determinación de la Cortante basal

Una vez estimado el período fundamental de vibración, se puede determinar mediante el espectro de diseño (ver figura 3-18) cuál es la aceleración espectral que es de esperar en el edificio; con este valor se puede calcular el cortante de base, empleando la Ecuación A.4.3-1 de la normal NSR-10, demostrada en la ecuación (ver ecuación 3.6)

$$V_s = S_a g M \quad (3.6)$$

Dónde:

V_s = Cortante sísmico en la base

S_a = Aceleración, en términos de la gravedad, leída en el espectro de diseño para T_a

g = Aceleración de la gravedad

M = Masa total del edificio

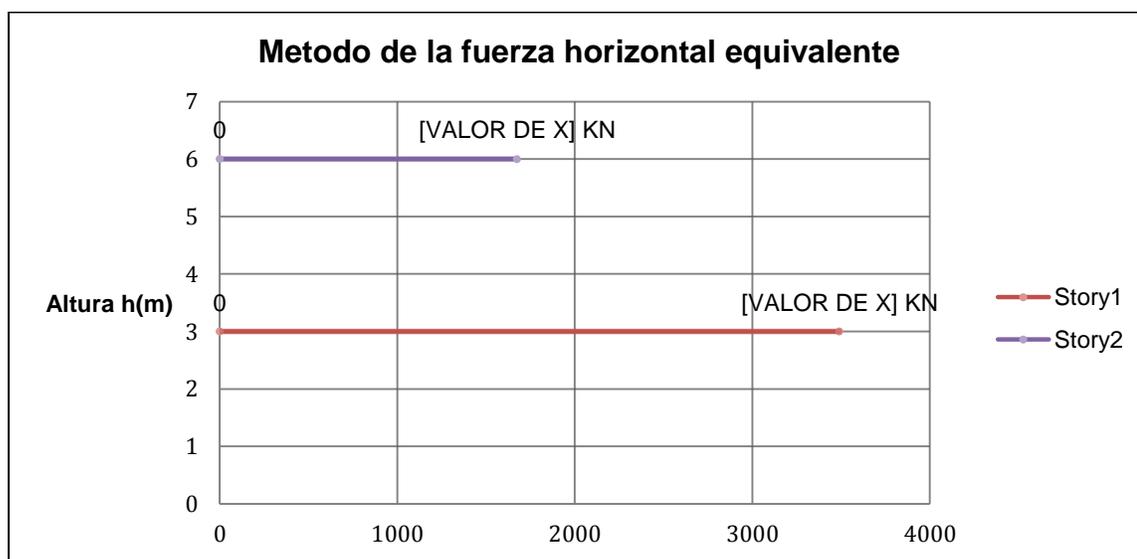
Mediante el programa de análisis (Etabs) se determina el valor de la masa total de la edificación como se muestra en la tabla 4-34, donde por medio de éste se establece el valor de la cortante basal como se plantea anteriormente en la ecuación.

Tabla 4-38: Distribución de la fuerza sísmica en los niveles del edificio.

Story	Mass X	h	Cumulative hi	$M \cdot h_i^k$	Cvi	Fs	Vs
	Mg	m	m		%	KN	KN
Story2	130,913	3	6	785,481	32%	1674,649	5165,107
Story1	545,724	3	3	1637,172	68%	3490,458	3490,458
Base	25,3816						0
TOTAL	702,0193			2422,65369	100%	5165,107	

Fuente: Etabs 2016

Figura4-8: Representación gráfica de las fuerzas laterales de la estructura.



Fuente: Autor

4.1.2.6 Chequeo de derivas

El NSR-10 menciona la importancia de controlar los desplazamientos horizontales, con el fin de reducir daños en la edificación. Por lo anterior, establece unos desplazamientos horizontales máximos, expresados como un porcentaje de la altura de cada piso como se muestra en la Figura 4-5. [15]



La deriva de piso se define como “la diferencia entre el desplazamientos horizontales de los niveles entre los cuales está comprendido el piso” como lo enseña el NSR-10. [13]

En el capítulo A.6 del NSR 10 [13], se detallan las derivas máximas permitidas para estructuras de concreto reforzado. En el título A.6.4-1 [13] determina que la deriva máxima permitida no debe exceder el 1% de la altura del piso como se muestra en la Figura 4-6.

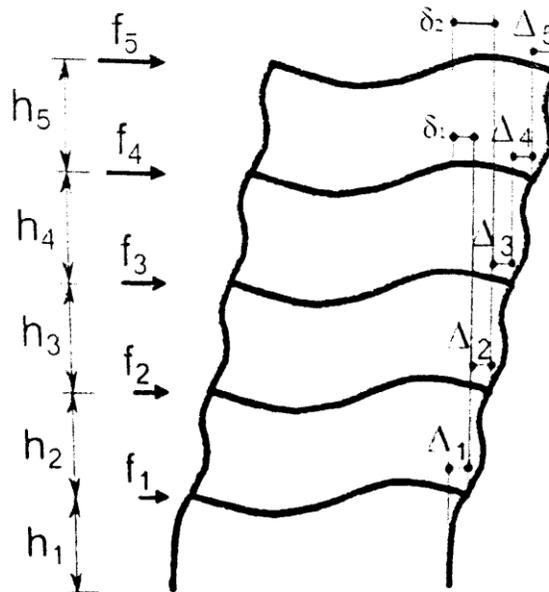
Figura4-9: Derivas máximas permitidas

Tabla A.6.4-1
Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}

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: Tabla A.6.4-1 NSR-10

Figura4-10: Definición de derivas de piso.



Fuente: Carlos Naranjo-Notas Universitarias Análisis estructural sísmico de una edificación de cinco pisos.

- Chequeo de derivas estáticas

A la Biblioteca Central se le desarrolla dos tipos de análisis ya que se considera que la estructura de dos pisos está dividida en dos edificaciones individuales. En las Tablas 4-39 y Tabla 4-40 se presentan las derivas en orden descendente.

Tabla 4-39: Derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 1 y 4.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	SX 2	X	0,008247
Story1	SX 3	X	0,008121
Story1	SX 1	X	0,007766
Story1	SY 2	Y	0,006702
Story1	SY 1	Y	0,006534
Story1	SY 3	Y	0,006365
Story2	SX 2	X	0,004846
Story2	SX 3	X	0,004835

Fuente: Etabs 2016

Tabla 4-40: Derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 2 y 3.

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story1	SY 2	Y	0,006755
Story1	SY 1	Y	0,006403
Story1	SY 3	Y	0,00605
Story1	SX 2	X	0,005591
Story1	SX 1	X	0,005334
Story1	SX 3	X	0,005151
Story2	SY 2	Y	0,003603

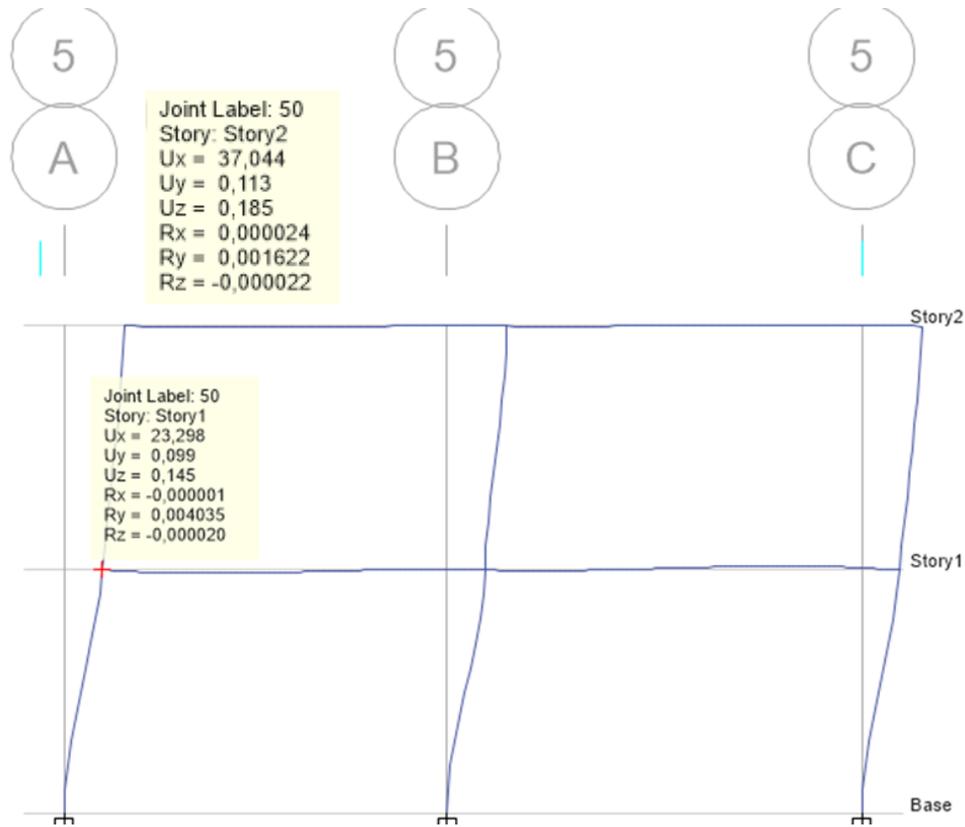
Fuente: Etabs 2016

Se identificó que la deriva máxima por el análisis estático tuvo lugar en el segundo piso del pórtico 5 del edificio correspondiente a sala 1 y 4 con un valor de 0,008, esta deriva se encuentra por debajo del rango máximo, cumplimiento con las solicitudes estáticas



admisibles por la norma A.6.4-1 NSR-10. En la figura 4-11 se evidencia el diagrama donde se evidencia la deformación máxima.

Figura4-11: Deformación máxima del edificio correspondiente a sala 1 y 4.



Fuente: Etabs 2016

Tabla 4-41: Chequeo de derivas máximas de la edificación correspondiente a sala 1 y 4.

Pórtico Eje 5									
Nivel	hi (m)	Sismo	Desplazamientos		Derivas		ΔMax (mm)	ΔAdmisible (mm)	CHEQUEO
			Ux(mm)	Uy(mm)	Δx(mm)	Δy(mm)			
1	3	SX	23,30	0,10	23,30	0,10	23,30	30	CUMPLE
2	3	SY	37,04	0,11	13,75	0,01	13,75	30	CUMPLE

Fuente: Autor

En la carpeta de “Anexos” que se entrega junto a este documento se encuentra la subcarpeta de “verificación de derivas” y “diagramas de deformación” donde se realizó el respectivo chequeo de la totalidad de los desplazamientos de la estructura.

4.1.2.7 Índice de flexibilidad

Por medio de las derivas obtenidas se determina el índice de flexibilidad de la estructura, que indica la susceptibilidad de la edificación a tener deflexiones o derivas excesivas y se define como el cociente del porcentaje de desplazamiento sobre el porcentaje de desplazamiento máximo permitido por el reglamento (Ver Figura4- 12).

El Capítulo A.10.7.1 de la NSR10 estipula que el índice de flexibilidad debe ser menor a la unidad, si lo anterior no cumple, existe la necesidad de intervenir el sistema estructural modificando la geometría de sus elementos.

Tabla 4-42: Chequeo de derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 1 y 4.

TABLE: Story Drifts					
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Índice de Flexibilidad	CHEQUEO A.10.7.1
Story1	SX 2	X	0,008247	0,8247	CUMPLE
Story1	SX 3	X	0,008121	0,8121	CUMPLE
Story1	SX 1	X	0,007766	0,7766	CUMPLE
Story1	SY 2	Y	0,006702	0,6702	CUMPLE
Story1	SY 1	Y	0,006534	0,6534	CUMPLE
Story1	SY 3	Y	0,006365	0,6365	CUMPLE
Story2	SX 2	X	0,004846	0,4846	CUMPLE
Story2	SX 3	X	0,004835	0,4835	CUMPLE

Fuente: Etabs 2016

Tabla 4-43: Chequeo de derivas obtenidas a partir de las fuerzas estáticas aplicadas a la edificación correspondiente a sala 2 y 3.

TABLE: Story Drifts					
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Índice de Flexibilidad	CHEQUEO A.10.7.1
Story1	SY 2	Y	0,006755	0,6755	CUMPLE
Story1	SY 1	Y	0,006403	0,6403	CUMPLE
Story1	SY 3	Y	0,00605	0,605	CUMPLE



Story1	SX 2	X	0,005591	0,5591	CUMPLE
Story1	SX 1	X	0,005334	0,5334	CUMPLE
Story1	SX 3	X	0,005151	0,5151	CUMPLE
Story2	SY 2	Y	0,003603	0,3603	CUMPLE

Fuente: Etabs 2016

4.1.2.8 Análisis de vulnerabilidad

El inverso del índice de flexibilidad general de la edificación expresa la vulnerabilidad sísmica de una edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva de acuerdo a los requisitos de la versión actual del reglamento.

En este caso el mayor índice de flexibilidad de la estructura es 0,8247 y, por lo tanto, el valor de vulnerabilidad sísmica de la estructura es de 1,2125 lo que permite concluir que la edificación de la Biblioteca Central de la universidad de Ibagué tiene un 121,25% de la rigidez que tendría esta estructura si fuera diseñada y construida en base a la presente versión del reglamento.

4.1.2.9 Análisis dinámico

Con base a lo descrito en el capítulo A.3.4.2 de la NSR10 sobre los métodos de análisis a utilizar, el edificio de la biblioteca central posee características que aplican para el desarrollo del método del análisis estático, siendo una estructura irregular, con menos de 6 niveles, ni 18 m de altura medidos a partir de la base. Por lo tanto, no es necesario realizar un análisis dinámico debido a que el edificio no posee más de 20 niveles ni presenta irregularidades verticales de tipo 1aA, 1bB, 2A y 3A.

5. Capítulo V

5.1 Conclusiones

- En consideración a los resultados obtenidos en el análisis cualitativo de la Biblioteca Central de la Universidad de Ibagué no cumple con los requisitos establecidos en el NSR10, indicando la necesidad de realizar análisis más detallado para determinar el nivel de vulnerabilidad.
- A partir de los resultados del ensayo de esclerometría, se determina que la estructura está compuesta por un concreto de 28 Mpa aproximadamente, cumpliendo con la resistencia mínima establecida según la norma NSR-10 en el capítulo C.1.1.1.
- La verificación de las características geométricas para las columnas, no cumple a cabalidad con los lineamientos requerimientos mínimos por la norma sismo resistente para disipación de energía especial (DES).
- La verificación de las secciones mínimas para las vigas, cumple con los requerimientos estipulados en el capítulo C.21 para una capacidad de disipación de energía moderada y especial.
- Conforme a la verificación de separación del acero de refuerzo transversal para las columnas en la zona de confinamiento, no cumplen con los requerimientos establecidos en el C.21 para una capacidad de disipación de energía moderada y especial.
- El segundo piso de la Biblioteca Central presenta una deriva máxima de un 23,3 mm demostrando rigidez ante fuerzas sísmicas y cumpliendo con los lineamientos establecidos en la norma en A.6.4-1 NSR-10.
- Debido a que el índice índice de flexibilidad de la estructura es 0,8247 y no supera la unidad, no hay necesidad de intervenir el sistema estructural de la edificación existente.
- Si la estructura de la biblioteca central fuera diseñada y construida en base a la presente versión del reglamento tendría una rigidez de 121,25%, estando a un porcentaje de 21,25% por encima de rigidez estándar que establece la NSR10.



- La estructura no presenta patologías visibles tanto en elementos estructurales como en no estructurales, siendo funcional en la distribución de cargas que presenta en el momento.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar el estudio de la vulnerabilidad sísmica a edificaciones ya existentes, debido a que es una herramienta que nos permite identificar si la edificación presentara patologías propensas a fallos frente a un evento sísmico.

Debido a que la estructura presenta continuamente aglomeración estudiantil, es conveniente continuar con la distribución que tiene actualmente la estructura sin proporcionarle nuevas cargas muertas en el segundo piso ya que este podría presentar deflexiones. Se recomienda realizar un estudio de segunda fase a la estructura para descartar posibles intervenciones en ella.



5.3 Anexos

Anexos Digitales

A. Anexo: Plano de plantas estructurales del edificio de Biblioteca Central.

[PLANO ESTRUCTURAL-BIBLIOTECA 2 PISOS.dwg](#)

B. Anexo: Datos obtenidos en el ensayo de esclerometría.

[DATOS ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.xlsx](#)

C. Anexo: Hoja de cálculo correspondiente a la verificación de acero de refuerzo transversal.

[VERIFICACION ACERO TRANSVERSAL.xlsx](#)

D. Anexo: Modelo matemático desarrollado en ETABS 2016 del edificio de dos pisos de la Biblioteca Central.

[sala 1 y 4.EDB](#)

[sala 2 y 3 escaleras.EDB](#)

E. Anexo: Hoja de cálculo que contiene la verificación de derivas de cada piso analizado por pórticos.

[VERIFICACION DERIVAS DE PORTICOS.xlsx](#)

F. Anexo: Ilustraciones de los desplazamientos de la estructura.

[ILUSTRACIONES DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA SALA 1 Y 4.pdf](#)

Bibliografía

- [1] F. Yepez, H. A. Barbat Barbat y J. A. Canas Torres, Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería, Barcelona: Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), 1995.
- [2] I. H. Romero, «Paleosismología de la falla de Ibagué,» *Nuevo Día*, p. 2, 29 Julio 2018.
- [3] U. d. Ibagué, «Comprometidos con el desarrollo regional,» *Unibague*, p. 2.
- [4] . L. . C. Mercado Ruiz, C. A. Sabogal Lorduy y A. Berrocal Olave, « Análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas de concreto reforzado en la ciudad de Cartagena caso estudio: Edificio Concasa y Banco del Estado,» Universidad de Cartagena, Cartagena, 2016.
- [5] H. Ortiz, «Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del hospital San Ignacio y su rehabilitación basados en curvas de fragilidad.,» Bogotá DC, 2014.
- [6] A. Vizconde Campos, «Vulnerabilidad sísmica,» *Edificaciones de Calidad*, p. 1, 2017.
- [7] B. Udep, «CAPITULO5 VULNERABILIDAD SISMICA,» Biblioteca Udep.
- [8] C. Ortega, «La vulnerabilidad y el riesgo sísmico,» *Arquitexto*, 2011.
- [9] L. F. LLanos lopez y L. M. Vidal Gomez, «Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica.,» Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2003.
- [10] Anónimo, «Información General,» *CSI Spain*, p. 1.
- [11] J. D. Benjamín Hernández y S. A. Lock, «Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente,» *Ciencia y Sociedad [en línea]*, vol. XXXVL, 2011.
- [12] Anónimo, «Procedimiento Ferrosolan,» *TecnoSolum*, p. 9, 2017.
- [13] A. A. C. d. I. Sísmica, Nsr-10, Bogotá , 2010, p. 88.
- [14] C. B. Pacompia, «EVALUACIÓN DEL CONCRETO POR EL ESCLERÓMETRO,» *Academia*.



- [15] C. A. N. Torres, Analisis estructural sismico de un edificio de cinco pisos, Ibague: Notas Universitarias-Unibague, 2011.