



Evaluación de vulnerabilidad Sismo resistente del edificio de
Humanidades II de la Universidad de Ibagué

Diana Paola Solano Patiño
Anguie Fernanda Reinozo Conde

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Civil
Ibagué / Tolima
2019



Evaluación de vulnerabilidad Sismo resistente del edificio de Humanidades II de la Universidad de Ibagué

Diana Paola Solano Patiño
Anguie Fernanda Reinozo Conde

Monografía presentada como
Requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

Director (a):
Ing. Civil Néstor Guerrero
Docente de la Universidad de Ibagué

Co- director (a):
Ing. Civil Juan David del Rio
Docente de la Universidad de Ibagué

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Civil
Ibagué / Tolima
2019



Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Ibagué, abril 07 del 2019



“Este trabajo es dedicado a nuestras familias, por cuanto todo su apoyo en la formación académica fue esencial para sacar adelante nuestros sueños para un futuro mejor. A nuestros amigos, y a Dios por darnos la posibilidad de llegar a esta meta...”

Anguie Fernanda Reinozo Conde

“Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad y gracias a nuestros padres por ser los principales motores de nuestros sueños...”

Diana Paola Solano Patiño



Agradecimientos

Dedicamos este proyecto especialmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros padres que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que lográramos culminar esta gran etapa.

Agradecemos a los profesores de la universidad de Ibagué, quienes fueron guía y apoyo para el desarrollo personal y en la formación académica adquirida a lo largo de los años.

A los ingenieros Néstor Sánchez y Juan David del Rio, tutores del presente proyecto quien con su apoyó, guio para direccionar y culminar el trabajo en el que se representa toda nuestra formación.

En general a todos los que se vieron involucrados con este trabajo, les agradecemos profundamente por su apoyo y compromiso.

“...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona”.



Tabla de contenido

CAPITULO I	9
Resumen.....	9
CAPITULO II	11
Justificación.....	11
CAPITULO III	12
Objetivos	12
CAPITULO IV	13
Alcance y Limitaciones	13
CAPITULO V	14
Marco teórico	14
CAPITULO VI	21
Localización y Aspectos generales.....	21
CAPITULO VII	31
Metodología para el estudio de vulnerabilidad.....	31
CAPITULO IX	43
Resultados y análisis.....	43
CAPITULO X	60
Conclusiones.....	60
CAPITULO XI	61
Recomendaciones.....	61
ANEXOS	62
Anexo A Planos.....	63
Anexo B Memorias de cálculos	68
Anexo C Modelo Etabs.....	
Anexo D Registro Fotográfico	70



Lista de figuras

FIGURA I	19
Prueba de esclerometría	19
FIGURA II	20
Prueba ferroscañ	20
FIGURA III	21
Localización del edificio de Humanidades II	21
FIGURA IV	22
Planta arquitectónica del primer Piso	22
FIGURA V	22
Planta arquitectónica del segundo Piso	22
FIGURA VI	24
Cargas vivas según uso de edificación	24
FIGURA VII	28
Cargas vivas según uso de edificación	28
FIGURA VIII	29
Losas Aligeradas	29
FIGURA IX	29
Zona de amenaza sísmica	29
FIGURA X	30
Valores de A_a - A_v	30
FIGURA XI	30
Valores coeficiente F_a	30
FIGURA XII	38
Valores coeficiente F_v	38
FIGURA XIII	43
Valores coeficientes de importancia	43
FIGURA XIV	43
Muros transversales y longitudinales	43
FIGURA XV	44
Medición separación sísmica	44



Lista de Tablas

TABLA I	26
Avaluó carga muerta losa entrepiso	26
TABLA II	27
Avaluó carga muerta losa cubierta	27
TABLA III	27
Avaluó Carga muerta y viva del tanque	27
TABLA IV	47
Avaluó de carga viva	47
TABLA V	47
Chequeos NSR-10	47
TABLA VI	57
Participación modal de la estructura.....	57



Capítulo I

Resumen

Para comprender como va interactuar y responder una estructura que estará sometida a diferentes eventos durante su vida útil, es necesario estudiar especialmente los aspectos geológicos o naturales que pueden afectarla, como pueden ser: ubicación cercana o lejana de fallas geológicas y la profundidad en las que se encuentren, la ubicación del terreno respecto a fuentes hídricas que puedan producir inundaciones o altos niveles freáticos, y la amplificación de las aceleraciones del terreno respecto a la aceleración en roca.

El edificio que se va a estudiar se encuentra ubicado en la Universidad de Ibagué. Esta ciudad se sitúa en una zona de intermedia amenaza sísmica. Una clara expresión de lo que constituyen estas amenazas se refleja en el paisaje del llamado abanico de Ibagué en el cual se evidencia la actividad glacial y volcánica de la cordillera Central

El objetivo de este trabajo es ofrecer un panorama lo más amplio posible en relación con la concepción, diseño, construcción y problemas fundamentales de análisis en actuaciones de refuerzo sobre esta estructura. Para ello, como cuestión previa, se establecen algunas definiciones y conceptos básicos del problema, y se analiza en líneas generales, el estado actual del edificio. Aunque la naturaleza del trabajo no permite profundizar en algunas de las cuestiones tratadas, se efectúa siempre una aproximación a las mismas, al tiempo que se ofrecen las referencias bibliográficas básicas para un estudio más detallado de la materia.

Palabras claves: Vulnerabilidad, diseño, construcción, actividades sísmicas.



Abstract

To understand how a structure will interact and respond to different events during its useful life, it is necessary to study especially the geological or natural aspects that may affect it, such as: close or distant location of geological faults and the depth at which are located, the location of the land with respect to water sources that can produce floods or high water tables, and the amplification of the accelerations of the land with respect to acceleration in rock.

The building that will be studied is located at the University of Ibagué. This city is located in an area of intermediate seismic threat. A clear expression of what these threats constitute is reflected in the landscape of the so-called Ibagué fan in which the glacial and volcanic activity of the Central Cordillera is evident

The objective of this work is to offer the widest possible panorama in relation to the conception, design, construction and fundamental analysis problems in reinforcement actions on this structure. To do this, as a preliminary matter, some basic definitions and concepts of the problem are established, and the current state of the building is analyzed in general terms. Although the nature of the work does not allow for an in-depth study of some of the issues addressed, an approximation is always made to them, while basic bibliographic references are offered for a more detailed study of the subject.

Keywords: Vulnerability, design, construction, seismic activities.



Capítulo II

Justificación

Hoy en día es muy frecuente la situación en que resulta necesaria la intervención sobre estructuras ya construidas a fin de verificar, mantener, restituir y/o mejorar su capacidad resistente (y eventualmente sus condiciones de servicio) a lo largo de un determinado periodo de tiempo (generalmente coincidente con la vida útil prevista). De acuerdo al NSR-10 y al estudio final 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; sin embargo, la ciudad de Ibagué es atravesada por una falla conocida como Falla de Ibagué y se identifica desde la universidad del Tolima, pasando por hacienda piedra pintada, hato de la virgen, Chucuní y el Río Opia.

El NSR-10 define parámetros mínimos para el diseño de estructuras de concreto, según la capacidad de disipación de energía que debe poseer un edificio según la zona de amenaza sísmica en la cual esté ubicada. Para edificios ubicados en zonas de amenaza sísmica intermedia, el grado de disipación de energía mínimo que disipación Moderada (DMO) y para edificios ubicados en zonas de alta amenaza sísmica debe ser Disipación Especial (DES).

Considerando lo antes planteado, se tiene la necesidad de realizar una evaluación al edificio de humanidades perteneciente a la universidad de Ibagué, para conocer su grado de vulnerabilidad sísmica; siendo esta la razón fundamental de este trabajo de investigación.

Está edificación se considera de tipo esencial debido a su uso educacional, las cuales deben permanecer operativas luego de la ocurrencia de un evento sísmico. Es por ello por lo que es necesario conocer la vulnerabilidad tanto de los componentes del sistema estructural y de los componentes no estructurales, con la finalidad de detectar y corregir posibles fallas o respuesta estructural inadecuada.



Capítulo III

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la vulnerabilidad sismo resistente del edificio de Humanidades II de la Universidad de Ibagué.

Objetivos Específicos

- ✓ Realizar evaluación cualitativa del edificio Humanidades II.

- ✓ Comparar disposiciones geométricas requeridas en el NSR-10 para edificaciones sismo resistente contra las existentes en el edificio Humanidades II.

- ✓ Evaluar cuantitativamente el Edificio de Humanidades.
 - Realizar ensayos no destructivos.

 - Elaborar modelo matemático.

 - Determinar si el edificio cumple por rigidez y resistencia.

 - Verificar los elementos estructurales de acuerdo a la NSR-10.



Capítulo IV

Alcance y Limitaciones

Determinación del grado de vulnerabilidad sísmica del edificio de Humanidades II de la Universidad de Ibagué, desarrollando un procedimiento de evaluación que permita identificar los aspectos que la hacen vulnerable.

Este estudio se limitó a una inspección visual detallada de toda la estructura del edificio de Humanidades, se plasmó de una manera general la apariencia de las patologías, se identificaron las áreas afectadas y se determinó el nivel de daño con que estas inciden en la estructura. Para el análisis de vulnerabilidad se realizó una modelación estructural donde se evaluó su capacidad sismo resistente. En el estudio se contempló la investigación sobre los antecedentes y modificaciones constructivas, la información con la que se contaba era escasa, cabe aclarar que el edificio ha tenido modificaciones debido a sus diferentes usos.

Este proyecto no propone medidas de reparación o restauración lo cual podría ser un tema interesante para estudio en futuros proyectos de investigación.



Capítulo V

Marco Teórico

Riesgo Sísmico

Cuando se hace referencia a riesgo sísmico hay que tener en cuenta tres percepciones que van de la mano con este término: Vulnerabilidad sísmica, peligrosidad sísmica y riesgo sísmico como tal. Riesgo sísmico se entiende como el grado de pérdidas que sufren las estructuras durante el tiempo que permanecen expuestas durante una acción sísmica. Está ligado tanto a la ocurrencia de eventos sísmicos que afecten a la estructura (amenaza sísmica) como a la respuesta de este ante dichos movimientos del terreno (vulnerabilidad sísmica).

Amenaza Sísmica

Se puede conceptualizar principalmente como la función de la respuesta del terreno ante una actividad sísmica en la zona.

Vulnerabilidad Sísmica

Condición previa que se manifiesta durante un desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado. De aquí se desprende que la tarea prioritaria es la Reducción de la Vulnerabilidad frente a los desastres, preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas.

La vulnerabilidad sísmica se puede realizar a muchas partes de la estructura, entre las cuales sobresalen:

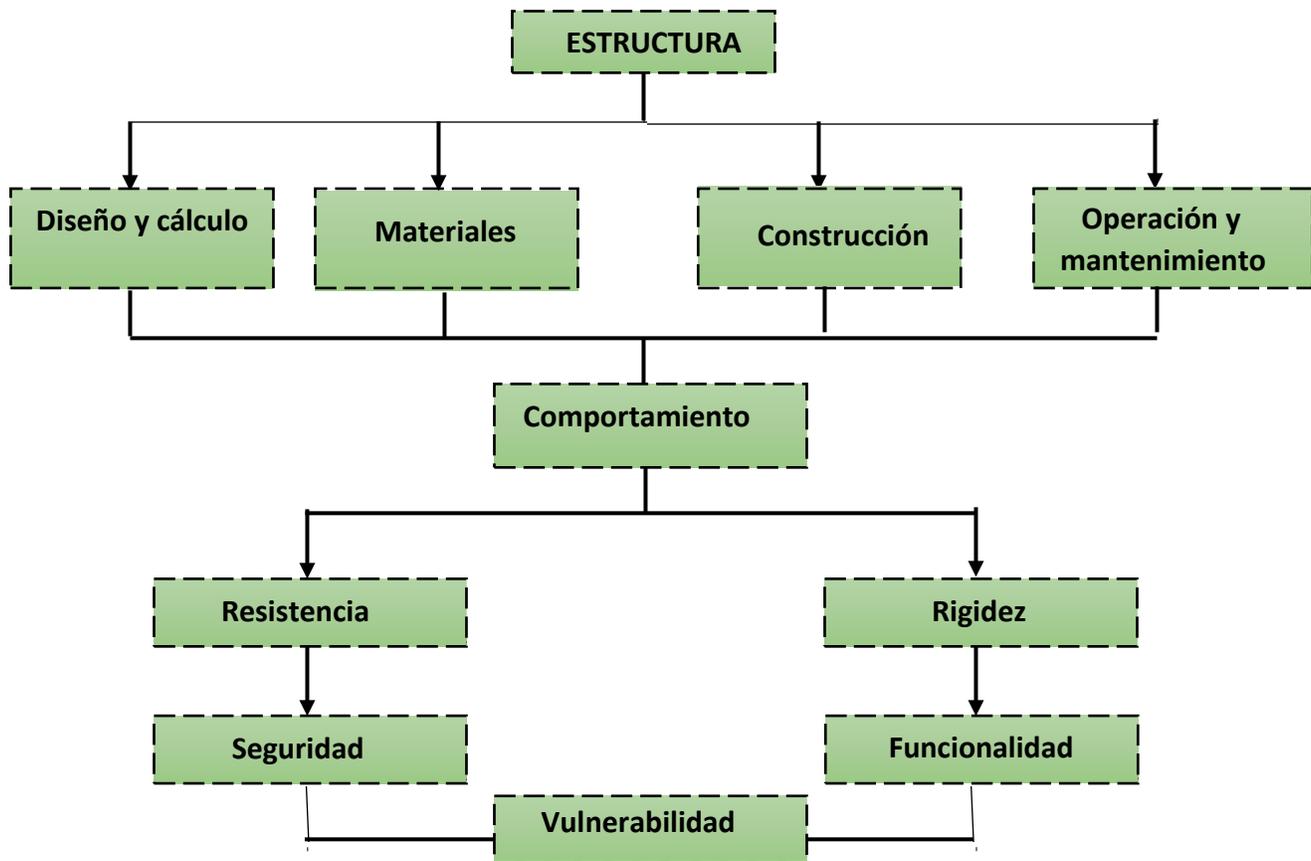
- Elementos estructurales.
- Elementos no estructurales.
- Contenidos (maquinarias, muebles, enseres y demás elementos que formen el mobiliario de la estructura).



El comportamiento estructural ante una sollicitación de tipo natural o antrópica cualquiera está sujeto a las condiciones bajo las cuales fue idealizada y concebida la estructura (diseño y cálculo), cuyo nivel de significancia dentro del proyecto general dependerá en fuerte medida de la validez y cumplimiento de las especificaciones de los materiales propuestos, del sistema de calidad y del nivel de seguimiento en los procesos constructivos, de la respectiva correspondencia en el nivel y tipo de ocupación y de la forma de mantenimiento y conservación de la estructura.

Este comportamiento, expresado principalmente en términos de resistencia y rigidez, determina el grado de seguridad estructural y el grado de funcionalidad que tendrá la obra en estudio ante la demanda prevista. Estos parámetros, finalmente, determinarán la vulnerabilidad de la estructura estudiada.

Gráfica 1 Esquema de vulnerabilidad estructural





Para la determinación de la Vulnerabilidad estructural, existen métodos de análisis cualitativos y cuantitativos o analíticos de distintos grados de complejidad.

Métodos Analíticos

Estos métodos se basan en el análisis que no por exhaustivo son necesariamente más precisos. Típicamente son extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas.

Entre los métodos más usados en el medio, están el Método NSR-10 y el Método FEMA, la cual son descritos en una forma muy breve a continuación:

✓ Método NSR-10

En el capítulo A10 de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10, se presenta una descripción de este método y los criterios que tiene en cuenta para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica estructural de edificaciones construidas.

Se puede deducir que lo primordial de este método es encontrar los puntos débiles y posibles zonas de la estructura que pueden causar la pérdida de vidas ante una actividad sísmica.

✓ Método FEMA 154

Este método permite evaluar edificios existentes de manera rápida, permitiendo descartar aquellas estructuras que no poseen las características necesarias. Aquellas estructuras que pasen la valoración, son estructuras que requieren una evaluación más profunda y exhaustiva.

El hecho que una estructura no pase la evaluación, no significa que la misma no tenga la capacidad para resistir un Sismo, sino que no posee las características requeridas para considerarse para ser utilizada para desalojo.



Método Cualitativo

Estos métodos son usados para obtener un estimativo de la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una determinada zona ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres (Llanos, 2003).

✓ Método del índice de vulnerabilidad

Esta metodología considera aspectos como el tipo de suelo sobre el cual están los cimientos y la inclinación que estas presentan, así como la configuración en planta y elevación, el sistema de organización resistente para ver el grado de organización de los elementos, la tipología estructural, resistencia de la edificación ante cargas sísmicas, el sistema de losa y como está unido al sistema resistente, la ubicación de elementos no estructurales, entre otros.

Como se había comentado anteriormente, la Vulnerabilidad Sísmica de una estructura se define como el grado de daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada. Ya habiendo entendido este concepto, se hará un análisis más detallado sobre él.

El grado de daño que puede sufrir una estructura puede ser de dos tipos:

- a) **Daño Estructural** o daño que se produce en elementos que forman parte del sistema resistente de la edificación, y
- b) **Daño No Estructural** que ocurre en los elementos que no forman parte del sistema resistente principal, incluyendo el daño arquitectónico, daño en los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y daño en el contenido del edificio.

El daño estructural depende del comportamiento de los elementos del esquema resistente sean vigas, columnas, muros de corte, sistemas de piso, etc.,



En este proyecto, se hará mención al uso de uno de los métodos no destructivos que nos ayudará a determinar el valor tentativo de f'_c de una zona de concreto.

Ensayos no destructivos

Históricamente, se han llamado “Pruebas no destructivas” porque algunas de las primeras pruebas no dañaron al concreto. Sin embargo, al pasar los años, los nuevos métodos han establecido ese resultado como un daño específico superficial. Por lo tanto, estos ensayos se utilizan como categoría general la cual incluye los métodos que no alteran al concreto y los que dan lugar a daño menor de la superficie.

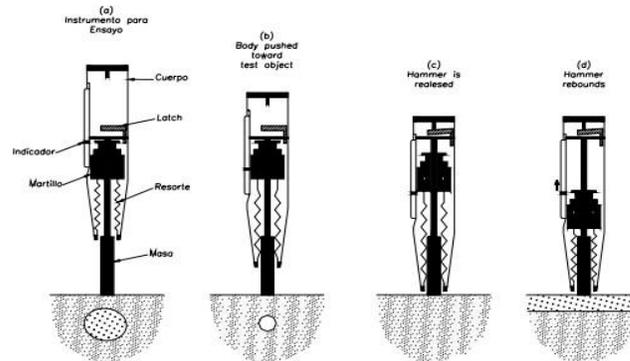
- **Ensayo de esclerometría (ASTM C 805)**

Se han hecho muchos intentos de crear pruebas no destructivas, pero muy pocas de ellas han sido realmente exitosas. Un método para el que se ha encontrado aplicación práctica dentro de un campo limitado es la prueba del martillo de rebote, desarrollada por Ernst Schmidt. También se conoce como la prueba de martillo de impacto o Esclerómetro.

La prueba está basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa. En la prueba del martillo de rebote, una masa impulsada por un resorte tiene una cantidad fija de energía que se le imprime al extender el resorte hasta una posición determinada; esto se logra presionando el émbolo contra la superficie del concreto que se quiere probar. Al liberarlo, la masa rebota del émbolo que aún está en contacto con el concreto y la distancia recorrida por la masa, expresada como porcentaje de la extensión inicial del resorte, es lo que se llama número de rebote y es señalado por un indicador que corre sobre una escala graduada. El número de rebote es una medida arbitraria, ya que depende de la energía almacenada en el resorte y del volumen de la masa.



Figura I Prueba de esclerometría



Fuente: biblioteca. Udep

El martillo tiene que utilizarse sobre una superficie plana, de preferencia cimbrada, por lo tanto, no es posible probar concreto de textura abierta. Las superficies llanadas deben frotarse hasta que queden lisas. Cuando el concreto a prueba no forma parte de una masa mayor, debe sujetarse firmemente, pues los golpes durante la prueba pueden dar como resultado una disminución del número de rebote registrado.

- **Ensayo de Ferroskan o radiografía del Hormigón**

El sistema Ferroskan PS 200 sirve para detectar una posición, determinar la profundidad y estimar el diámetro de las barras de acero.

El sistema funciona de modo que el escáner se mueve directamente encima de la superficie del elemento de construcción. Los datos se almacenan en el escáner hasta que se puedan transferir al monitor. Se puede utilizar para el análisis.



Figura II Prueba de FerrosScan



Fuente: biblioteca. Udep

Los ensayos no destructivos son de gran importancia en la construcción, y son una de las tecnologías de más rápido crecimiento. Los nuevos avances tecnológicos, así como el conocimiento más profundo que se tiene de los materiales, han favorecido a que los ensayos no destructivos sean más importantes y tengan un mayor uso y aceptación.

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.



Capítulo VI

Localización y Aspectos Generales

Descripción General

El edificio de Humanidades de la universidad de Ibagué se encuentra ubicado hacia el norte de la ciudad de Ibagué, en el barrio Ambalá de la ciudad de Ibagué, tal y como se muestra en la figura III.

La facultad de humanidades de la universidad de Ibagué fue construida en el año de 1997, éstos se han empleado con un uso totalmente académico para la formación de los estudiantes de todos los programas que ofrece la Universidad. Este edificio fue construido antes de que entrara en vigencia la normativa sismo resistente, y, además, corresponde aquella edificación en la cual muy seguramente no se tuvieron en cuenta criterios sismos resistentes en su diseño y construcción. Esto es de gran preocupación y la razón por la cual hemos decidido presentar esta propuesta.

Figura III Localización del edificio de Humanidades de la Universidad de Ibagué



Fuente: Autores



Descripción arquitectónica

La estructura que se analizará en el presente proyecto, es una edificación que consta de dos pisos cuyo uso es académico y está ubicado en la Universidad de Ibagué. El suelo característico de la zona donde se encuentra ubicada la edificación corresponde a un perfil de suelo Tipo C.

Figura IV plano arquitectónica primer piso del edificio de humanidades

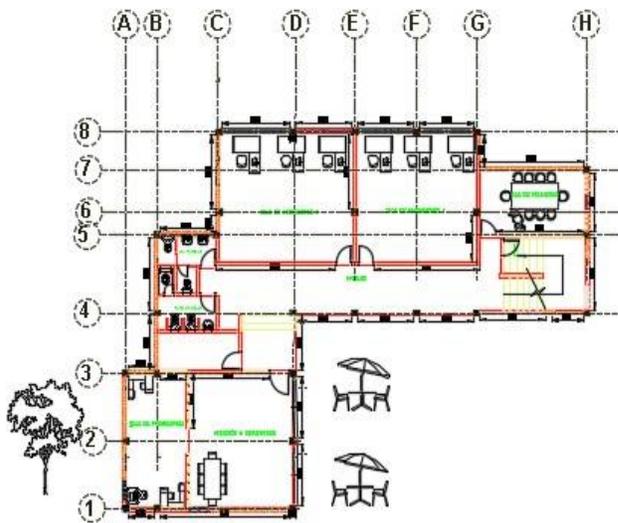
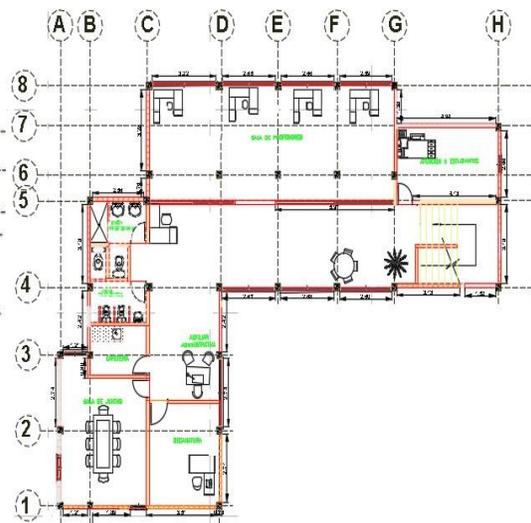


Figura V plano arquitectónica Segundo piso del edificio de humanidades II



Fuente: Autores

En el primer piso se encuentra:

- ✓ Sala de atención de estudiantes.
- ✓ Sala de profesores.
- ✓ Sala de profesores I.
- ✓ Sala de profesores II
- ✓ Baño mujeres.
- ✓ Baño hombres.
- ✓ Sala de reuniones.
- ✓ Salón de aseo



En el segundo piso se encuentra:

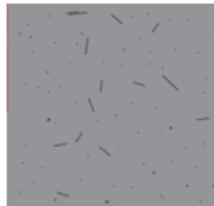
- ✓ Sala de juntas.
- ✓ Decanatura.
- ✓ Cafetería.
- ✓ Decanatura.
- ✓ Sala de profesores.
- ✓ Baño profesores.
- ✓ Baño Profesoras.
- ✓ Atención de estudiantes.

Descripción Estructural

El sistema estructural de la edificación es de pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado, con un coeficiente de disipación de energía DMO, una losa aligerada con casetones recuperables, en la cubierta se encuentra un tanque de 500ml.

- ✓ El edificio cuenta con 29 columnas.
- ✓ El edificio cuenta con 39 vigas.

26 columnas	
B (cm)	H (cm)
28	28
	
28	28

3 columnas	
B (cm)	H (cm)
30	30
	
30	30

39 vigas	
B (cm)	H (cm)
25	30
	
25	30

Resumen de cargas utilizadas

Cargas Verticales: las cargas verticales analizadas en este proyecto fueron las cargas vivas y las cargas muertas.



- ✓ **Cargas vivas:** Las cargas vivas se determinan a partir del uso que se le da a la estructura, la estructura cumplirá su función de uso educativo, según la norma NSR10, la tabla B.4.2.1-1 y B.4.2.1-2.

Figura VI Cargas vivas según uso de la edificación

Tabla B.4.2.1-1
Cargas vivas minimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
Fábricas	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
Comercio	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
Residencial	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
Almacenamiento	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

(Fuente: NRS10)

Según la tabla B.4.2.1-1 la edificación tiene las siguientes cargas:



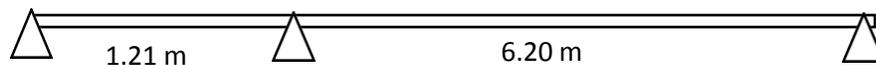
Salones de clase = $2.0 \frac{kN}{m^2}$

Corredores y escaleras = $5.0 \frac{kN}{m^2}$

- ✓ **Cargas muertas:** El tipo de losa encontrada de acuerdo a una visualización realizada, fue una losa aligerada con casetón removible.

Es importante resaltar en este ítem, que el dimensionamiento de la losa se hizo de acuerdo a los parámetros de la Norma, es decir, como no se tenía planos suministrados por planta física de la Universidad de Ibagué, dimensionamos las viguetas y la losa por medio de la Norma teniendo en cuenta el levantamiento que se realizó del edificio.

Dirección Y: La dirección de la losa se definió en y, a partir de esa información dimensionamos las viguetas y losa.



$$h_{Viguetas} = \frac{L}{12} = \frac{6.20m}{12} = 0.5 m$$

Base Viguetas NSR-10 C.8.13 C.8.13.2

$$\begin{aligned} bvt &\geq 8cm \\ \frac{h_{Viguetas}}{hvt} &\leq 5cm \end{aligned}$$

Por tanto;



$$0.2h_{vigueta} \leq b_{vt} \quad b_{vt} = 0.1\text{m}$$

Separación viguetas: NSR-10 C.8.13.3

$S_{vt} = 2.5$

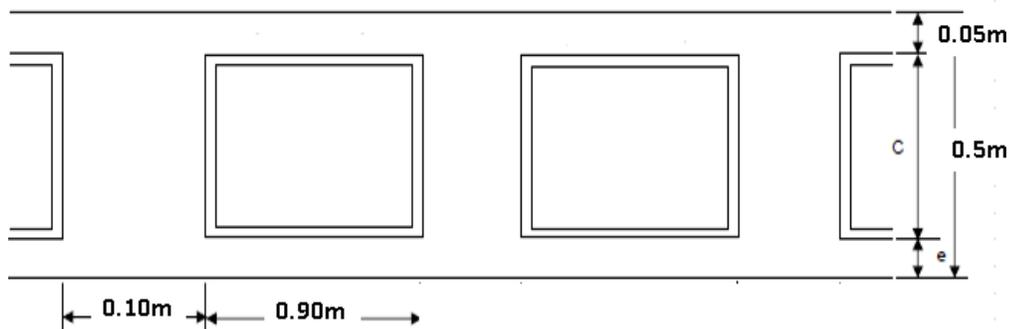
Se opta por una $S_{vt} = 1\text{m}$

De acuerdo a la NSR-10 C.18.13.6.1

$h_{ls} = 5\text{cm}$

$h_{li} = 2\text{cm}$

Figura VII Losa aligerada



Fuente: (Autores)

Tabla I Avaluó de carga muerta Losa entrepiso

AVALÚO DE CARGA MUERTA LOSA DEL ENTREPISO			
ÍTEM	CALCULOS	VALOR (KN/m ²)	CROQUIS
Loseta Superior e inferior	$(\text{Loseta Sup } m + \text{Loseta Inf } m) * \gamma_{KN/m^3}$	1.54	
Viguetas	$\frac{(\text{Loseta Sup} + \text{Loseta Inf}) * h_{vta} * \gamma_{material}}{S_{vta}}$	0.441	
Muros Divisorios	Mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras (espesor 200 mm) (NSR10 Tabla B.3.4.2)	2.2	
Terminado Arquitectonico	$0.03\text{m} * 22.5\text{KN/m}^2$	1.125	
CARGA MUERTA TOTAL		5.3	

Nota: A la hora de modelar el edificio se desprecia la carga de las viguetas, debido a que el programa asume el peso propio de la losa.



Tabla II Avalúo de carga muerta Losa Cubierta

AVALÚO DE CARGA MUERTA LOSA CUBIERTA		CROQUIS
CIELORASO		
Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	
CARGA MUERTA TOTAL		0.5

Tabla III Avalúo de carga muerta y viva Tanque

AVALÚO DE CARGA MUERTA LOSA TANQUE			
ÍTEM	Carga Muerta (kN/m ²)	Carga Viva (KN/m ²)	CROQUIS
Tanque	0.31	6.94	
CARGA MUERTA TOTAL			

Tabla IV Avalúo de carga muerta y viva Tanque

AVALUO DE CARGA VIVA		
ÍTEM	VALOR (KN/m ²)	CROQUIS
Salones de clase	2	
Corredores y escaleres	5	
CARGA MUERTA TOTAL		

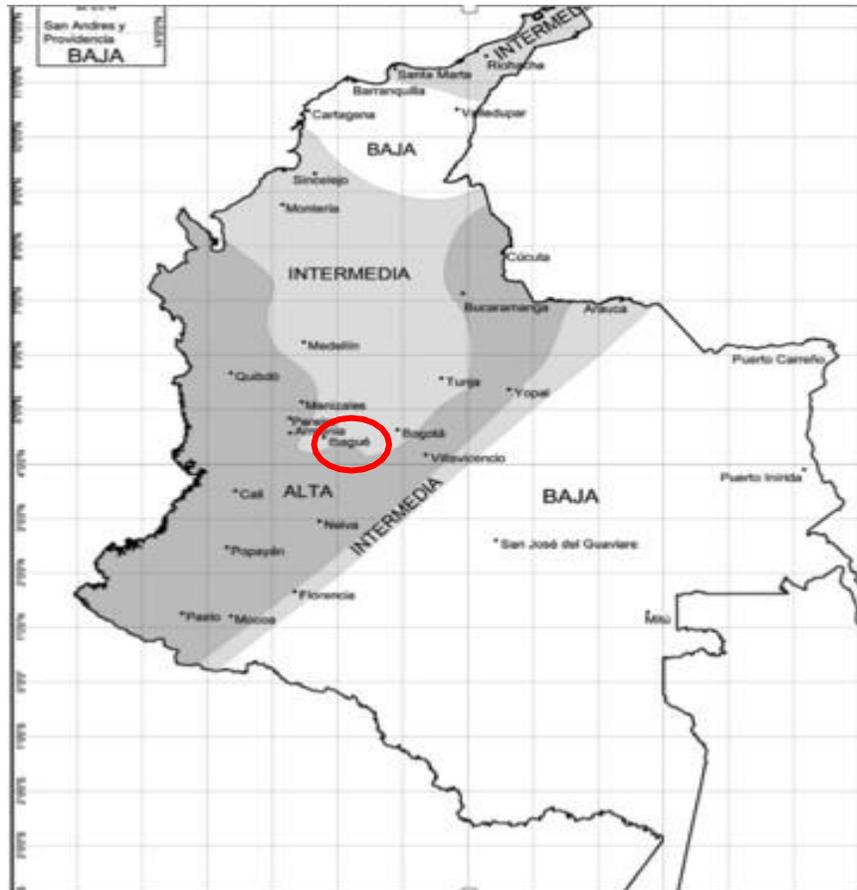


Análisis Sísmico

Zona de amenaza sísmica

La edificación debe localizarse dentro de unas de las zonas de amenazas sísmicas las cuales nos permite definir el Aa y Av.

Figura VIII Zonas de amenazas sísmicas



(Fuente: NRS10)

**Figura IX Valores de A_a y A_v . (NSR-10)**

Tabla A.2.3-2
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
Ibaqué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia

(Fuente: NRS10)

Perfil del suelo: El tipo de suelo presentado en la edificación es de tipo C.

Figura X Valores del coeficiente F_a . (NSR-10)

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: NRS10)

Figura XI Valores del coeficiente F_v . (NSR-10)

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: NRS10)

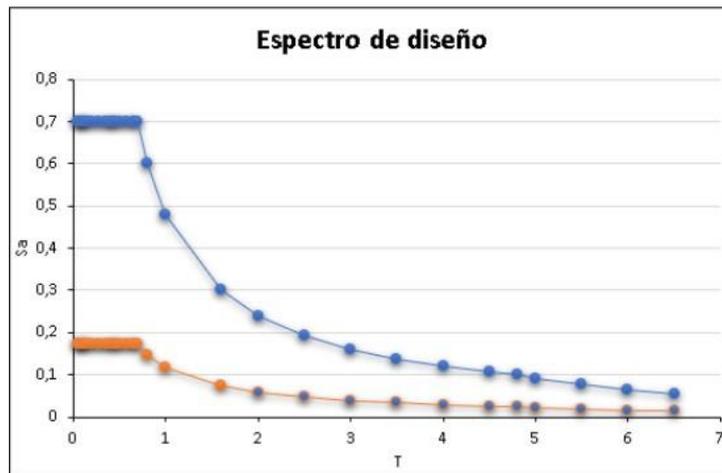


Figura XII Valores del coeficiente de importancia. (NSR-10)

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

(Fuente: NRS10)

Figura XIII Espectro elástico de aceleración.



(Fuente: Autores)

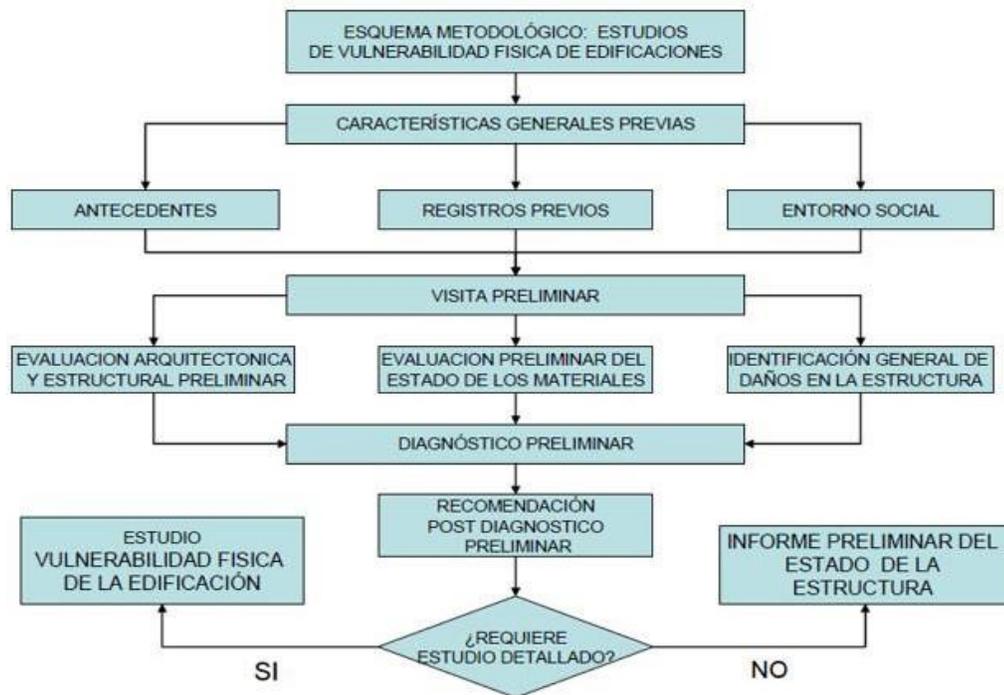
Municipio	IBAGUE
Zona de amenaza sísmica	Alta
Aceleración horizontal pico efectiva A_a	0.2
Velocidad horizontal pico efectiva A_v	0.2
Coefficiente F_a	1.2
Coefficiente F_v	1.6
Grupo de uso de la edificación	II
Coefficiente de importancia	1.1
Periodo aproximado T	0.27



Capítulo VII

Metodología para el estudio de vulnerabilidad estructural

La metodología de estudio se basa en el conocimiento del estado de la estructura se evalúa de acuerdo con las características evaluadas en campo por medio de una o varias visitas de inspección y diagnóstico y de acuerdo con los datos históricos de su diseño, construcción, y algunos ensayos no destructivos realizados que puedan ayudar a identificar el comportamiento estructural debido a sucesos extraordinarios y determinar de forma preliminar la línea de degradación o deterioro cronológico de la estructura.



Se muestra el proceso metodológico previsto para llevar a cabo el estudio preliminar de vulnerabilidad de una edificación, el cual se explica en los párrafos posteriores; más adelante se explica el procedimiento por seguir cuando se requiere un nivel de estudio más detallado.



Revisión arquitectónica y estructural preliminar

Se tendrá en cuenta la configuración geométrica en planta y perfil de la estructura por evaluar.

Este tipo de información es necesaria para la confrontación de la estructura construida y la que se especifica en los planos, en nuestro caso no existía una herramienta importante para el reconocimiento geométrico, arquitectónico y estructural. Por tal motivo fue necesario la realización de un levantamiento preliminar que fue realizado con cinta métrica. Dentro del levantamiento preliminar se adjuntó las dimensiones de cada uno de los elementos estructurales que se identificaron y se plasmaron en los diferentes planos.

En el estudio que se realiza a la edificación existente, se tienen en cuenta los elementos estructurales (columnas y vigas) y elementos no estructurales (ventanas, puertas, muros, enchapes, Ventanearía, fachadas) con el objeto de actualizar dichos elementos a la norma de sismo resistencia vigente (NSR 10).

Verificación del estado actual de la estructura

Como mencionamos anteriormente el edificio de Humanidades de la Universidad de Ibagué fue construido antes de la entrada de la vigencia de los reglamentos de Construcción Sismo Resistente NSR, por lo tanto, el análisis y diseño de muchos de ellos no están acorde a la normativa vigente. Por tal motivo se hace necesario realizar verificación de los elementos estructurales y no estructurales de acuerdo a la Norma NSR 10.

Lista de verificación para identificar deficiencias (checklist)

Esta lista de verificación me permite identificar deficiencias siendo la parte más importante del proceso de evaluación. El anexo C contiene una copia de la lista de verificación.



- ✓ **C Cumple** – Se realiza esta selección cuando las observaciones concuerdan con el enunciado de la lista.
- ✓ **NC No-Cumple** – Se realiza esta selección cuando las observaciones no concuerdan con el enunciado de la lista. Los ítems no conformes son corregidos mediante la propuesta de reforzamiento.
- ✓ **N/A No Aplicable** – Se realiza esta selección cuando el enunciado de la lista no sea aplicable a la edificación en evaluación. Los ítems no aplicables no se toman en consideración en la evaluación de la seguridad sísmica del edificio.

Amenazas geotécnicas del sitio

➤ **Licuefacción:**

No deben existir suelos sueltos, granulares, saturados, susceptibles a licuefacción porque podrían comprometer el desempeño sísmico de la edificación en los 15 metros por debajo de la cimentación.



NO APLICABLE
Debido a que no se realizó estudio de suelo que permita identificar esta falencia

➤ **Falla de ladera:**

Si la pendiente del terreno es superior al 17% e inferior al 30%, se requiere una evaluación más detallada para determinar qué medidas de mitigación o reforzamiento son las necesarias.



CUMPLE
Visualmente se pudo detallar que se cumple con este ítem.



Cimientos

➤ Cimentación de muros (Paredes)

Todas las columnas están conectadas a la cimentación. Los cimientos están empotrados al menos 50cm por debajo del nivel de desplante.



NO APLICABLE
No se realizó estudio de la cimentación.

➤ Desempeño de los cimientos

No hay evidencias de movimientos excesivos de la cimentación, como asentamientos o levantamientos que afecten la integridad o resistencia de la estructura.



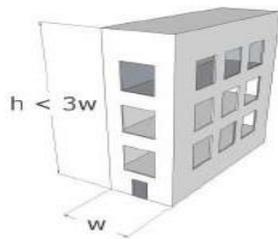
CUMPLE
La edificación no presenta evidencias de movimientos excesivos de la cimentación

➤ Volcamiento

La altura total de la edificación (h) es inferior a tres veces la menor dimensión lateral (w).



CUMPLE
La edificación cumple esta condición





Sistema Constructivo

➤ Materiales

Los materiales utilizados para los sistemas de cargas por gravedad y de cargas laterales son de concreto reforzado y mampostería de unidades de arcilla, o unidades de concreto.



CUMPLE

La edificación cumple esta condición

➤ Cantidad de Pisos

La cantidad máxima de pisos está de acuerdo a lo establecido en la tabla A1.3.



CUMPLE

La edificación cumple esta condición

➤ Altura de pisos

Se considerarán condición de CUMPLE las estructuras que tengan una altura máxima de 25 veces el espesor mínimo de los muros en ese piso (NSR-10, 10.3.3). No se recomienda que en ningún caso la altura libre exceda los 3.0 metros en planta baja, o 2.75 metros en los pisos superiores.



CUMPLE

La edificación cumple esta condición



➤ **Muros**

Los muros estructurales están compuestos de unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos y mortero. Las unidades de mampostería y las juntas están en condiciones aceptables.



CUMPLE
La edificación cumple está condición

➤ **Voladizos**

Los muros perimetrales de los niveles superiores no están soportados por voladizos o aleros que se extiendan desde las paredes exteriores inferiores más allá del 50% del espesor de la pared.



CUMPLE
La edificación cumple está condición

➤ **Daños**

La estructura no tiene daños producidos por sismos ni eventos climáticos, ni en las paredes de mampostería ni en el sistema de cubierta.



CUMPLE
La edificación cumple está condición



Muros de Mampostería

➤ Confinamiento

Los muros están ajustados a las vigas superiores de amarre (conocidas comúnmente como viga cinta) o a las placas de entrepiso y a las columnas.



CUMPLE
La edificación cumple esta condición

➤ Vanos

Las puertas, ventanas, y otras aberturas mayores a 0.5m deberán extenderse hasta la viga de amarre, o deberán contar con un dintel de concreto reforzado.



CUMPLE
La edificación cumple esta condición

➤ Vigas de amarre

Las edificaciones con techo en cubierta liviana cuentan con un elemento de concreto continuo, y con refuerzo de acero en la parte superior de las paredes para transferir fuerzas laterales a las paredes transversales

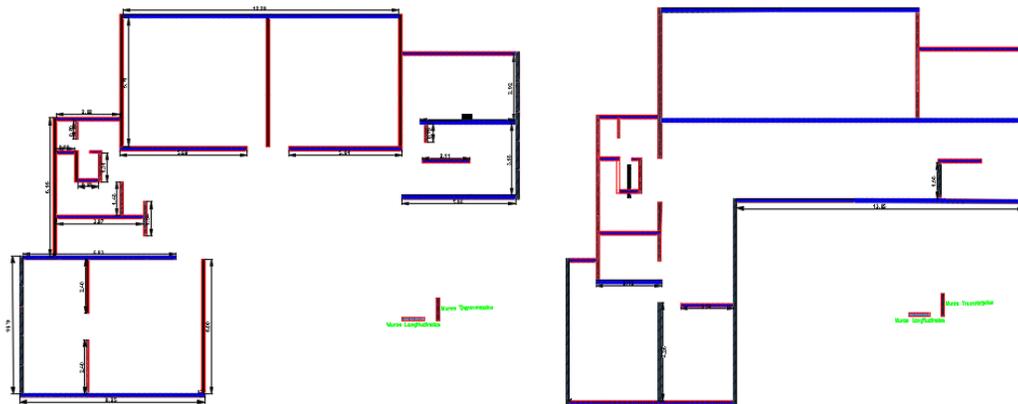


CUMPLE
La edificación cumple esta condición



➤ Porcentaje de área de muro

Figura XIII Muros Transversales y longitudinales del edificio de Humanidades



Fuente: (Autores)

El Porcentaje de Área de Muros (PAM) existente se calcula como el área de paredes en cada dirección dividido entre el área total del entrepiso o techo soportado por las paredes. El PAM se debe calcular por separado para la dirección transversal y la longitudinal de la edificación en cada nivel.

$$\text{PAM Existente} = \frac{tm1 * Lm1 * cN1 + \dots tmn * Lmn * cN2}{Ac}$$

$tm1$ = Espesor de muro #1 (repetir para todos los muros de la misma dirección)

$lm1$ = longitud del muro #1 (repetir para todos los muros de la misma dirección).

$CN1$ = Factor de área neta del muro. Ver abajo para los valores de CN aplicables a configuraciones de muros.

Ac = Área de cubierta o entrepiso.



CUMPLE

La edificación cumple está condición. Tiene 3% de PAM

Configuración

➤ **Torsión**

Hay muros en todos los lados exteriores de la edificación, a no más de un 25% de la cota en planta del borde de la edificación, incluyendo plantas en Longitud y en Transversal.



CUMPLE

La edificación cumple está condición

➤ **Juntas sísmicas edificaciones adyacentes**

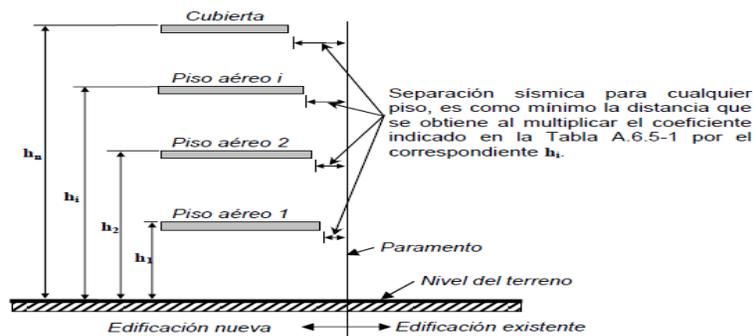
Si la Junta Sísmica cumple lo dispuesto en el Capítulo A.6 del Reglamentos NSR10 (Figura A.6.5-1),



CUMPLE

La edificación cumple está condición

Figura XIV Medición de la separación sísmica.

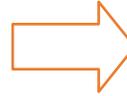


Fuente: (Autores)



➤ **Discontinuidades verticales**

En general, los muros del Segundo nivel están ubicados sobre los del primer nivel. Los muros del segundo nivel que no estén alineados con los del nivel inferior, estarán soportados por alguna de las siguientes maneras, y no tendrán más de 3.0m de longitud sin apoyo.



CUMPLE
La edificación cumple esta condición

Elementos constructivos

➤ **Columnas**

DMO

C.21.3.5 — Columnas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)

C.21.3.5.1 — La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 250 mm. Las columnas en forma de T, C o I pueden tener una dimensión mínima de 0.20 m pero su área no puede ser menor de 0.0625 m².



CUMPLE
La edificación cumple esta condición

DES

C.21.6.1.1 — La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 300 mm. Las columnas en forma de T, C o I pueden tener una dimensión mínima de 0.25 m pero su área no puede ser menor de 0.09 m².



CUMPLE
La edificación cumple esta condición



➤ Vigas

DMO

C.21.3.4.1 — El ancho del elemento, b_w , no debe ser menor que 200 mm.



CUMPLE

La edificación cumple esta condición

DES

C.21.5.1.3 — El ancho del elemento, b_w , no debe ser menor que el más pequeño de $0.3h$ y 250 mm.



Verificación mediante el método del FEMA- 154

En este método utilizamos un formulario que contempla una descripción de la edificación que 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. También posee un recuadro donde se señalará el uso, la cantidad de persona que la ocuparán, los tipos de suelo, los tipos de elementos no estructurales, 15 estructuraciones a contemplar, las cuales presentaremos con los índices básicos de acuerdo al riesgo sísmico de la localidad, luego presenta un recuadro donde están los factores de ajuste del índice básicos por las siguientes características: altura media (4 – 7 niveles), gran altura (≥ 8 niveles), irregularidades en elevación, irregularidades en planta, ajuste por el año de la edificación ante de uso de la primera normativa, ajuste por el año de construcción después de la normativa vigente.

Por último, se determina el índice final a través de una suma algebraica de los valores involucrados.



Ensayos de laboratorio

Se plantea la obtención y ejecución de pruebas de ensayos no destructivos en el (Esclerómetro y Ferroskan) de algunos de los diferentes elementos estructurales seleccionados con base a un muestreo representativo de la estructura con el propósito de determinar las características, propiedades y cantidades de materiales existentes, de acuerdo a lo estipulado en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 en relación a este tema.

Análisis estructural por medio de la programación de Etabs.

En la siguiente fase se realiza el análisis del edificio a partir de una modelación estructural en ETABS, aplicando todos los criterios y requerimientos que la NSR-10 exige.

El paso siguiente es la determinación de todos los elementos estructurales (vigas, columnas y placas). Que es la geometría del edificio, lo anterior está sujeto a lo que las plantas arquitectónicas dicten. Posteriormente se definieron las cargas gravitacionales y sísmicas, para cargarlas al modelo estructural, en este punto se mostrará las cargas muertas y vivas mínimas que exige el código colombiano, asimismo se mostrara como se calcula el espectro sísmico de diseño que se cargará al programa para que este simule las cargas horizontales que genera un sismo.

Después de este análisis que realiza el ETABS, se muestra cómo se analizan los resultados que el software arroja, es decir se analiza si la estructura tiene o no alguna de las irregularidades que el código colombiano tiene, si cumple o no por derivas.



Capítulo VIII

Resultado y análisis

Revisión arquitectónica y estructural preliminar

Figura XV Plano arquitectónico primer piso

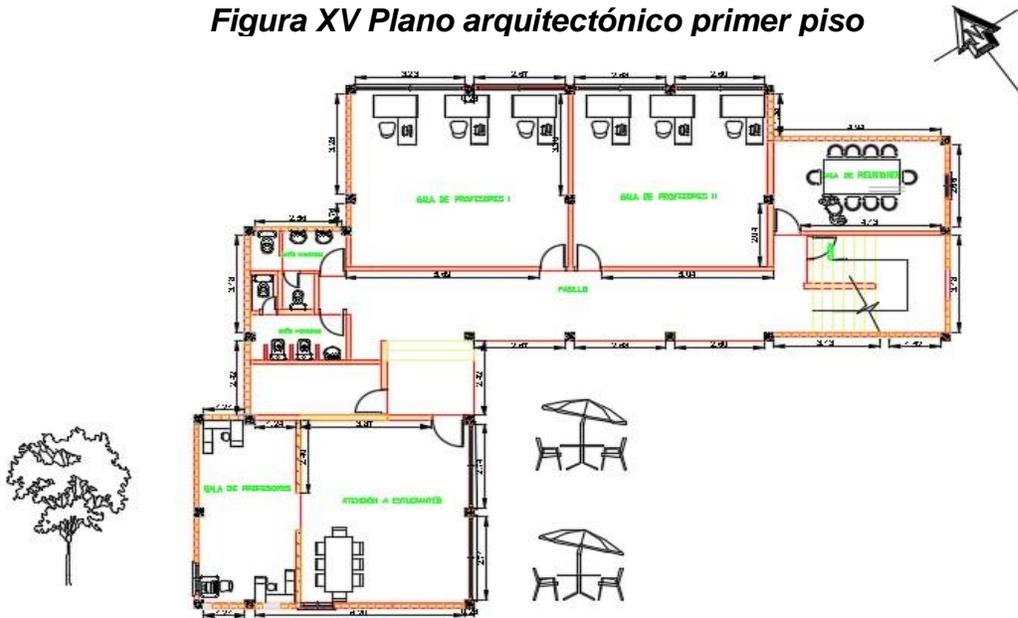
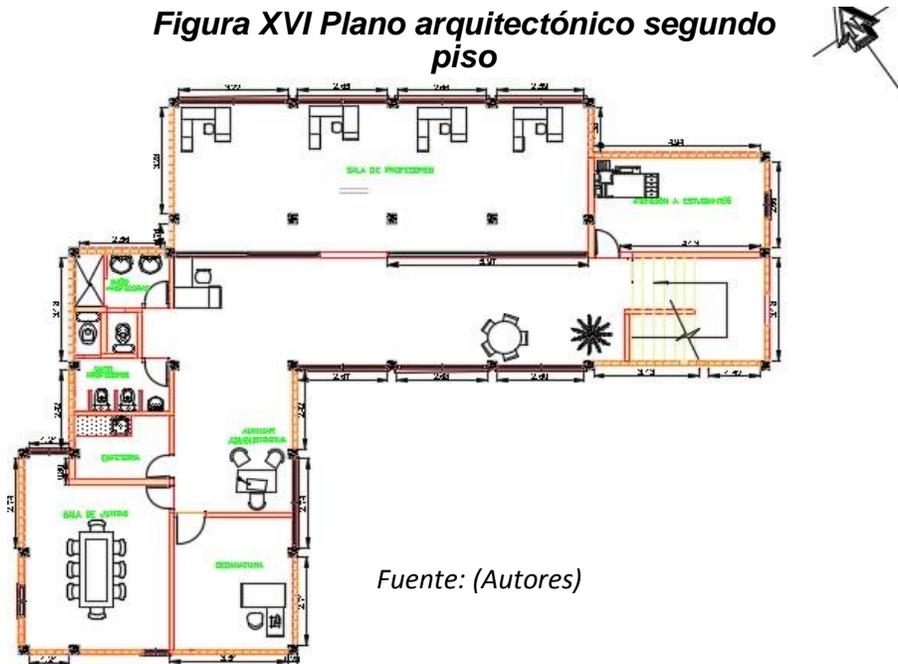


Figura XVI Plano arquitectónico segundo piso



Fuente: (Autores)



Verificación del estado actual de la estructura.

Las verificaciones que se ejecutaron, fueron realizadas teniendo en cuenta los métodos mencionados anteriormente. (Método NSR 10 – Método FEMA P-154).

Método FEMA-154

Figura XIX Formato de evaluación del método FEMA P-154 del edificio de Humanidades de la Universidad de Ibagué

FEMA P-154 RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS <u>LEVEL 1</u>				
PHOTO	ADDRESS	Universidad de Ibague		
	ZIP	730001 (Ibague)		
PHOTO	USER	Humanidades 2		
	LATITUDE	4,450698	LONGITUDE	-75,199868
PHOTO	Sc	S1		
	SCREENER	Angie Reinozo; Diana Solano	DATE/TIME	15/06/2018 11:36 a. m.
PHOTO	# STORIES			
	ABOVE GRADE	2	BELOW GRADE	-
PHOTO	TOTAL FLOOR AREA (m2)		416.87	
	YEAR BUILT	1997	CODE YEAR	
SKETCH	ADDITIONS			
	NONE	<input checked="" type="checkbox"/>	YES, YEAR	X
SKETCH	OCCUPANCY			
	ASSEMBLY	<input checked="" type="checkbox"/>	EMERGENCY	<input checked="" type="checkbox"/>
SKETCH	INDUSTRIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	SCHOOL	<input checked="" type="checkbox"/>
	UTILITY	<input checked="" type="checkbox"/>	RESIDENTIAL	<input checked="" type="checkbox"/>
SKETCH	COMMERCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	HISTORIC	<input checked="" type="checkbox"/>
	OFFICE	<input checked="" type="checkbox"/>	GOVERNMENT	<input checked="" type="checkbox"/>
SKETCH	WAREHOUSE	<input checked="" type="checkbox"/>	SHELTER	<input checked="" type="checkbox"/>
	SOIL TYPE			
SKETCH	A (HARD ROCK)	<input checked="" type="checkbox"/>	D (STIFF SOIL)	<input checked="" type="checkbox"/>
	B (AVG ROCK)	<input checked="" type="checkbox"/>	E (SOFT SOIL)	<input checked="" type="checkbox"/>
SKETCH	C (DENSE SOIL)	<input checked="" type="checkbox"/>	F (POOR SOIL)	<input checked="" type="checkbox"/>
	IF DNK ASUME TYPE D			
SKETCH	GEOLOGIC HAZARDS			
	LIQUEFACTION	YES <input type="checkbox"/> / NO <input checked="" type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
SKETCH	LANDSLIDE	YES <input type="checkbox"/> / NO <input checked="" type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
	SURFACE RUPTURE	YES <input checked="" type="checkbox"/> / NO <input type="checkbox"/> / DNK <input type="checkbox"/>		
SKETCH	ADJACENCY			
	POUNDING	<input checked="" type="checkbox"/>		
SKETCH	FALLING HAZARDS TALER ADJ. BUILDING	<input checked="" type="checkbox"/>		
	IRREGULARITIES			
SKETCH	VERTICAL TYPE/SEVERITY	Short Column		
	PLAN TYPE	Reentrant Corner		
SKETCH	EXTERIOR FALLING HAZARDS			
	UMBRACED CHIMNEYS	NO		
SKETCH	PARAPETS	NO		
	HEAVY CLADDING	Si		
SKETCH	APPENDAGES	NO		
	OTHER	NO		
SKETCH	COMMENTS			
	ADDITIONAL COMMENTS ON SEPARATED PAGE <input type="checkbox"/>			

Fuente: Autores



Figura XX Formato de evaluación del método FEMA P-154 del edificio de Humanidades de la Universidad de Ibagué

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, SL1																		
FEMA BUILDING TYPE	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RCSW)	S5 (URMI NF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMI NF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH	
BASIC SCORE	5,1	4,5	3,8	2,7	2,6	3,5	2,5	2,7	2,1	2,5	2	2,1	1,9	2,1	2,1	1,7	2,9	
SEVERE VERT. IRREGULARITY VL1	-1,4	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,4	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1	-1,1	-1	-1,1	-1,1	-1	NA	
MODERATE VERT. IRREGULARITY, VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	NA	
PLAN IRREGULARITY, PL1	-1,4	-1,3	-1,2	-1	-0,9	-1,2	-0,9	-0,9	-0,8	-1	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	NA	
PRE - CODE	-0,3	-0,5	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5	
POST - BENCHMARK	1,4	2	2,5	1,5	1,5	0,8	2,1	NA	2	2,3	NA	2,1	2,5	2,3	2,3	NA	1,2	
SOIL TYPE A OR B	0,7	1,2	1,8	1,1	1,3	0,6	1,5	1,6	1,1	1,5	1,3	1,6	1,3	1,4	1,4	1,3	1,6	
SOIL TYPE E (1-3 STORIES)	-1,2	-1,3	-1,4	-0,9	-0,9	-1	-0,9	-0,9	-0,7	-1	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6	-0,9	
SOIL TYPE E (>3 STORIES)	-1,8	-1,6	-1,3	-0,9	-0,9	NA	-0,9	-1	-0,8	-1	-0,8	NA	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	NA	
MINIMUM SCORE, Smin	1,6	1,2	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	1,5	
Estructura vulnerable a riesgos por efectos de sismos									-0,1									
FINAL LEVEL 1 SCORE SL1>Smin SL1= -01 ES MENOR QUE EL SMIN SE OPTA POR TOMAR EL VALOR MINIMO SMIN= 0.3																		
OTHER HAZARDS									EXTENT OF REVIEW									
POUNDING POTENTIAL (UNLESS SL2>CUT-OFF, IF KNOW)									✓		EXTERIOR		PARTIAL		ALL SLIDE		AERIAL	
FALLING HAZARDS FROM TALLER ADJACENT BUILDING									□		INTERIOR		NONE		VISIBLE		ENTERED	
GEOLOGIC HAZARDS OR SOIL TYPE F									□		INTERIOR		NONE		VISIBLE		ENTERED	
SIGNIFICANT DAMAGE/DETERIORATION TO THE STRUCTURAL SYSTEM									□		INTERIOR		NONE		VISIBLE		ENTERED	
ACTION REQUIRED									DRAWINGS REVIEW		YES		✓		NO		□	
YES, UNKNOWN FEMA BUILDING TYPE OR OTHER BUILDING									✓		SOIL TPE SOURCE						✓	
YES, SCORE LESS THAN CUT OFF									□		GEOLOGIC HAZARD SOURCE							
YES, OTHER HAZARDS PRESENT									□		CONTACT PERSON							
NO									□		LEVEL 2 SCREENING PERFORMED							
DETAILED NONSTRUCTURAL EVALUATION RECOMMENDED? (CHECK ONE)											YES, FINAL LVL2 SCORE, SL2		□					
YES, NONSTRUCTURAL HAZARDS IDENTIFIED THAT SHOULD BE EVALUATED									✓		NO, IS NOT NECESSARY		□					
NO, NONSTRUCTURAL HAZARDS EXIST THAT MAY REQUIRE MITIGATION, BUT A DETAILED									□		NONSTRUCTURAL HAZARDS?							
NO, NO NOSNTRUCTURAL HAZARDS IDENTIFIED									□		YES □		NO □					
WHERE INFORMATION CANNOT BE VERIFIED, SCREENER SHALL NOTE THE FOLLOWING EST = ESTIMATED OR DNK = DO NOT KNOW																		
LEGEND MRF = MOMENT-RESISTING FRAME SW = SHEAR WALL MR = MANUFACTURED HOUSING																		

Fuente: Autores

De acuerdo al diagnóstico realizado El edificio cuya vulnerabilidad estamos analizando, consta de dos edificaciones. Ambos módulos están estructurados por pórticos de concreto, también consta de muros de mampostería como cerramientos laterales y en las divisiones internas.

Si el índice de la metodología es mayor o igual que dos (≥ 2), no necesita reforzamiento, el índice 2 significa que la edificación tiene una probabilidad de 1 a 100 de que colapse.



Características: El módulo del primer piso contiene escaleras, lo que genera una irregularidad en planta, presentan los efectos de columna corta. En el análisis de vulnerabilidad, arrojo un valor de **S= -0.3** Por tanto esto nos indica que hay que intervenir en dicha edificación.

Método NSR-10

Tabla V chequeos de acuerdo a la NSR-10

LISTA DE VERIFICACION DE DEFICIENCIAS						
1	AMENAZAS GEOTECNICAS SUELO	C	N.C	N.A	OBSERVACIONES	CROQUIS
1.1	Licuefacion	✗	✗	✓		
1.2	Falla Ladera	✓	✗	✗	Cuenta con una pendiente ≤ a 17%	
1.3	Muros de Contencion sitio	✓	✗	✗	No existen ni se necesitan mros de contención.	
2 CIMENTOS						
2.1	Cimentación de Muros (paredes)	✗	✗	✓	No se pudo realizar estudio de la cimentación.	
2.2	Desempeño Cimientos	✓	✗	✗	No hay evidencias de movimientos de excesivos de la cimentación.	
2.3	Volcamiento	✓	✗	✗	Debido a que la altura total de la edificación es inferior aa 3 veces la menor dimensión lateral.	
2.4	Conexion entre los elementos de la cimentacion	✗	✗	✓	No se pudo realizar estudio de la cimentación.	
2.5	Deterioro	✗	✗	✓	No se pudo realizar estudio de la cimentación.	
3 SISTEMA CONSTRUCTIVO						
3.1	Materiales	✓	✗	✗	Los materiales utilizados son de concreto reforzado y manposteria de unidades de concreto.	
3.2	Cntidad de Pisos	✓	✗	✗		
3.3	Altura de Pisos	✓	✗	✗	La estructura cuenta con una altura maxima de 25 veces el espesor minimo de los muros en cada piso.	
3.4	Sistema de Piso y Cubierta	✓	✗	✗		
3.5	Muros	✓	✗	✗	Los muros estructurales estan compuestos de unidades de manposteria de bloques y mortero, y las juntas estan en condiciones aceptables.	
3.6	Voladizos	✓	✗	✗	Los muros perimetrales no estan soportados por voladizos o a leros.	
3.7	Daños	✓	✗	✗		
4 MURO DE MANPOSTERIA						
4.1	Confinamiento	✓	✗	✗	Los muros estan ajustados a las vigas superiores de amarre.	
4.2	vanos	✓	✗	✗		
4.3	Viga de Amarre	✓	✗	✗		
4.4	Porcentaje de Area de Muros	✓	✗	✗	El porcentaje fue de 3%	
5 CONFIGURACIÓN						
5.1	Torsion	✓	✗	✗	Hay muros a todos lados exteriores de la edificacion.	
5.2	Junta Sismica Edificacion Adyacente	✓	✗	✗		
5.3	Discontinuidades verticales	✗	✓	✗		
6 ESCALERAS Y DESCANSOS						
6.1	Columnas de Concreto Aislado o Discontinuos	✓	✗	✗		
6.2	Vigas	✓	✗	✗		
6.3	Vanos en Placas Cerca de Muros Ccortantes	✓	✗	✗		
6.4	Parapetos (Cornisas)	✗	✗	✓		
6.5	Escaleras y descansos	✓	✗	✗		



Ensayos de laboratorio

Esclerometría



IRB - ARRIBA			CCS - ARRIBA		
30	22	22	20	10	10
26	31	29	15	21	19
22	22	22	10	10	10
22	22	29	10	10	19

IRB - MEDIA			CCS - MEDIA		
28	22	20	12	14	10
19	22	29	10	12	19
20	22	22	10	10	10
21	19	29	10	12	19

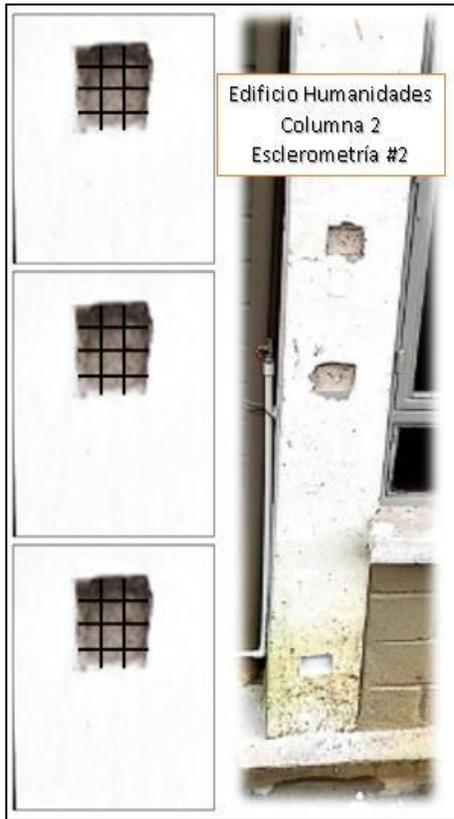
IRB - ABAJO			CCS - ABAJO		
27	21	29	11	10	10
22	22	29	10	12	16
20	28	22	10	10	10
22	22	30	15	12	19

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	25	14

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETR O (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	23	12

12.69

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETR O (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	25	12



IRB - ARRIBA			CCS - ARRIBA		
34	35	34	25	26	25
34	28	34	25	17	25
29	29	35	19	19	26
30	20	32	20	20	22

IRB - MEDIA			CCS - MEDIA		
32	31	31	23	22	24
33	32	33	18	22	22
32	32	33	19	18	22
33	30	30	19	22	22

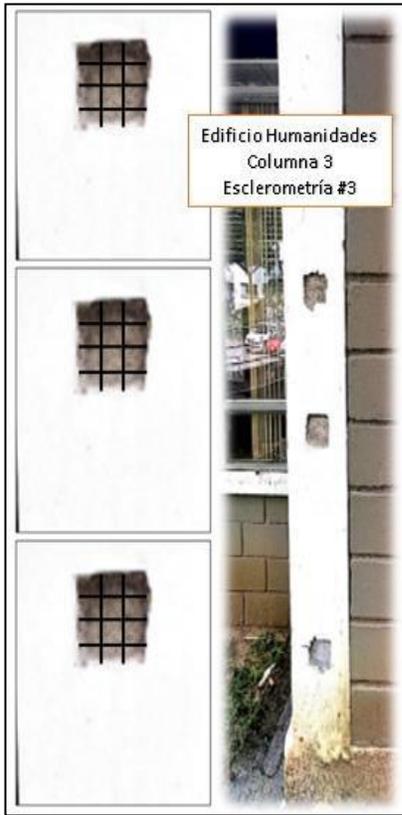
IRB - ABAJO			CCS - ABAJO		
34	31	30	22	24	29
33	32	33	22	25	25
32	32	31	26	24	26
32	31	31	22	28	29

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	31	22

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	21

22.89

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	25



IRB - ARRIBA			CCS - ARRIBA		
26	30	30	15	20	20
32	30	29	22	20	19
28	32	28	19	17	22
34	35	30	17	26	17

IRB - MEDIA			CCS - MEDIA		
28	30	32	15	20	20
32	34	35	22	15	19
34	30	32	19	17	22
31	34	32	17	17	19

IRB - ABAJO			CCS - ABAJO		
28	29	40	17	32	33
34	37	39	28	35	29
38	41	30	30	29	32
30	34	38	22	31	32

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	30	20

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	19

22.39

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	35	29



IRB - MEDIA			CCS - MEDIA		
34	28	32	25	17	22
32	31	27	22	21	16
37	29	29	24	19	19
32	35	32	19	22	26

IRB - ARRIBA			CCS - ARRIBA		
37	39	40	29	28	39
40	33	39	29	31	37
35	39	33	38	37	29
34	34	41	37	37	37

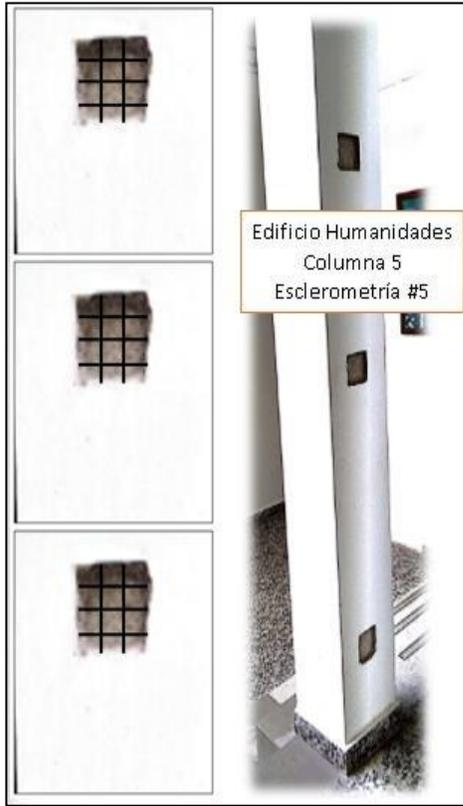
IRB - ABAJO			CCS - ABAJO		
41	41	41	37	37	37
41	41	47	37	37	44
43	36	39	38	28	32
41	38	47	35	31	44

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	37	34

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	21

30.47

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	41	36



IRB - ARRIBA			CCS - ARRIBA		
32	33	32	24	29	29
29	34	32	19	25	22
31	32	31	21	22	19
30	32	34	21	20	25

IRB - MEDIA			CCS - MEDIA		
28	28	31	17	17	21
30	32	30	20	22	20
28	34	32	17	25	22
33	29	31	24	19	21

IRB - ABAJO			CCS - ABAJO		
32	32	33	22	22	24
33	32	29	24	22	19
33	31	32	24	21	22
32	32	36	22	24	28

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETRO (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	23

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETR O (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	31	20

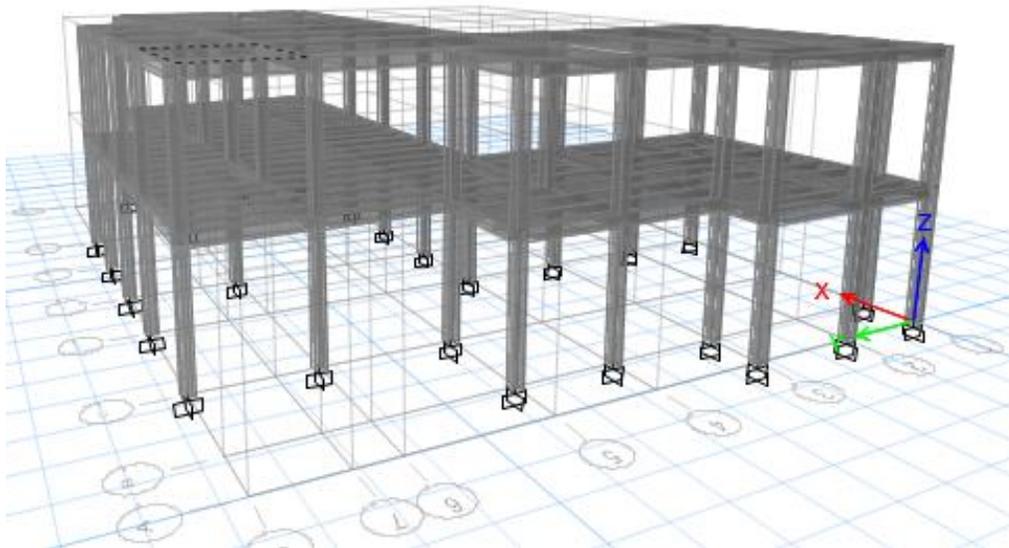
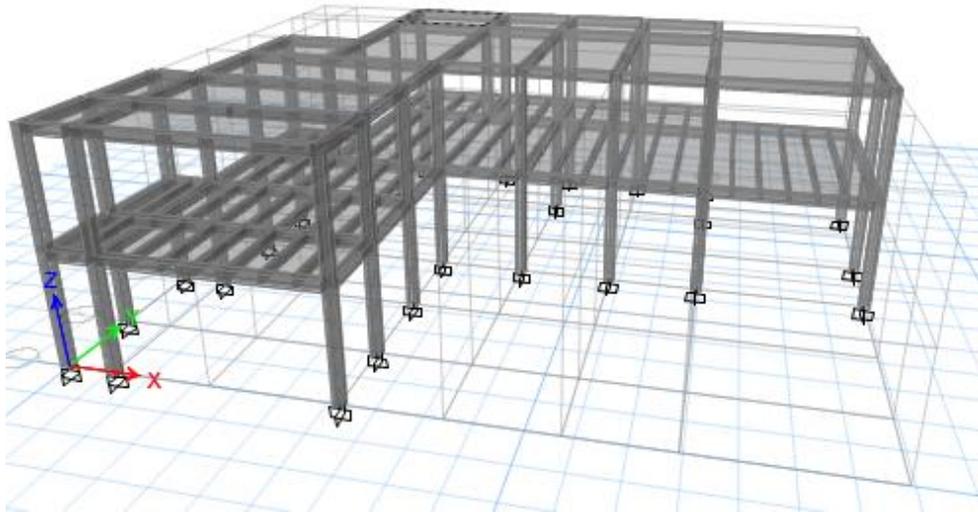
22.08

PUNTO	ESTADO SUPERFICIE	INCLINACION ESCLEROMETR O (°)	NUMERO DE REBOTE PROMEDIO	RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)
COLUMNA	Seca	0	32	23



Análisis estructural por medio de la programación de Etabs

Modelo Estructural

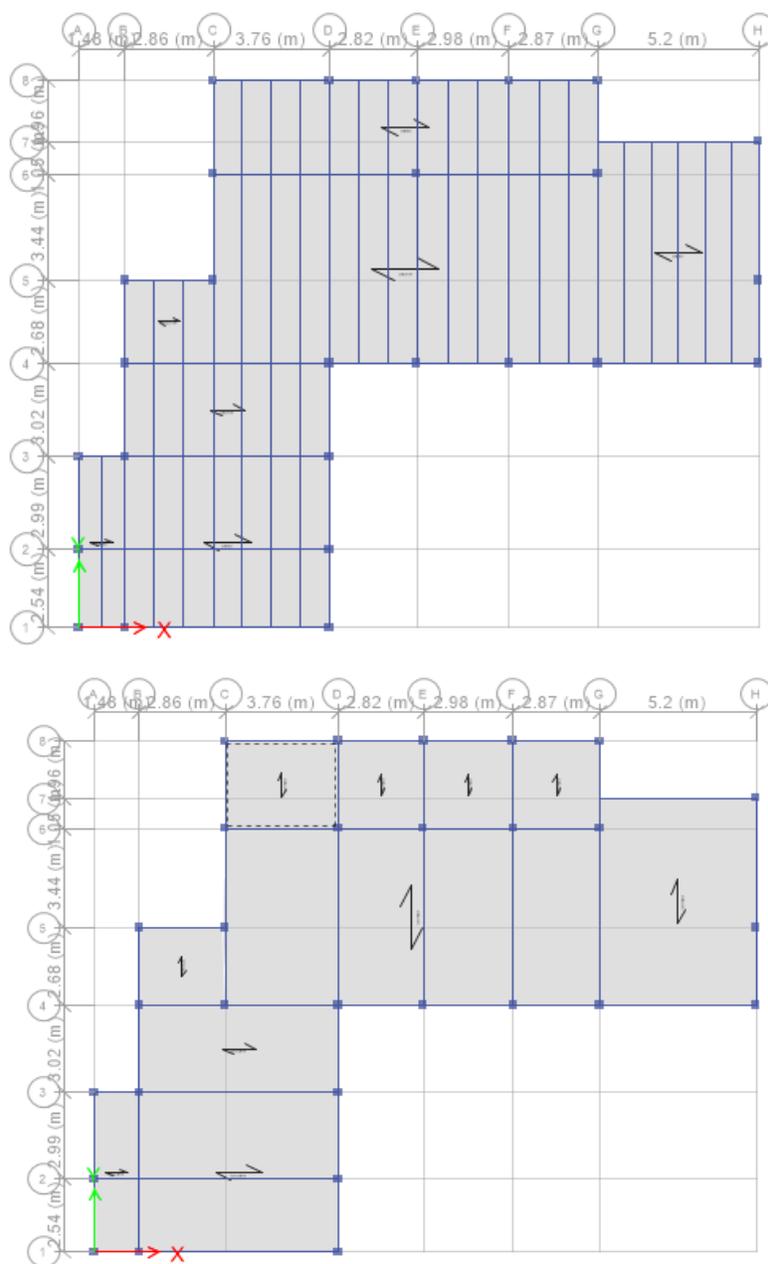




Al tener ya definido todos los parámetros sísmicos de análisis y diseño de la estructura, el paso siguiente es realizar el dibujo de la unidad estructural propuesta.

Localización de columnas, vigas y viguetas

Figura XXI Localización Columnas, vigas y viguetas en el modelo Etabs





Después de definir el modelo se realiza el análisis sísmico. A partir de este momento se necesita, comenzar a extraer datos del ETABS, esos datos serán el área de cada piso, la altura de cada piso, y el peso.

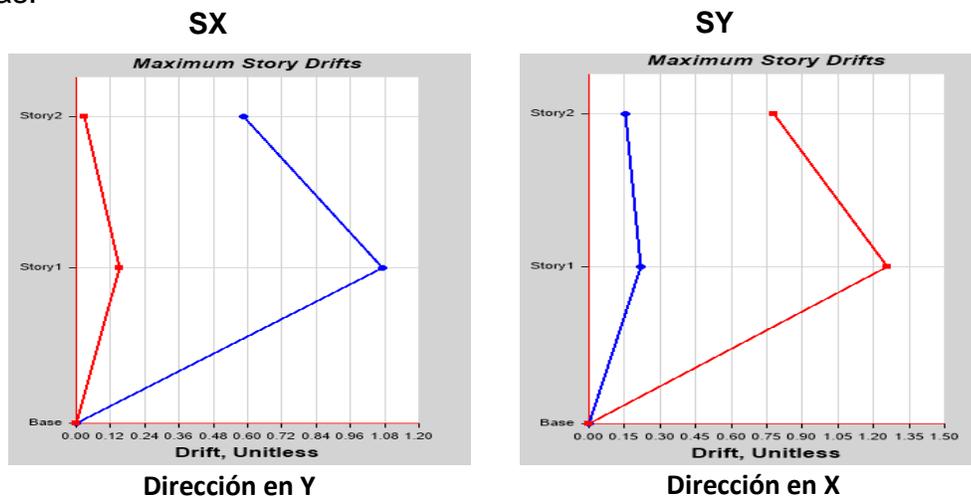
FUERZAS HORIZONTALES EQUIVALENTES						
Piso	W	h	w*h	Cv	FHE	FHE POR COLUMNA
1	7.05	3.6	25.38	0.502	4.71925795	0.361857692
2	7.205	3.5	25.2175	0.498	4.68904205	0.324424138
14.255			50.5975		9.4083	

CORTANTE BASAL	
VB	9.4083

Chequeo de derivas

Se determina restando el desplazamiento del extremo superior el desplazamiento del extremo inferior del piso. La norma colombiana dicta que la relación existente entre la deriva antes descrita y la altura del piso no debe ser mayor al 1% para el caso de pórticos de concreto o acero.

Para hacer el análisis de la deriva, lo primero es hacer un esquema estructural, en el cual se van a escoger cuatro puntos, estos puntos deben estar en cada una de las plantas.





Con los resultados de las derivas es posible determinar el índice de flexibilidad de la estructura, que es el cociente del porcentaje de desplazamiento sobre el porcentaje de desplazamiento máximo permitido por norma, el chequeo descrito en A.10.7.1 habla de que el cociente descrito anteriormente no debe ser mayor a la unidad.

Condición anterior no cumple, la estructura se debe intervenir modificando la geometría de los elementos.

Método de la fuerza horizontal equivalente

Es una fuerza de reacción que tiene una estructura cuando está sujeta principalmente a Fuerzas Accidentales (horizontales) como viento o sismo. La fuerza sísmica total que afectará la estructura, es igual, en magnitud, a la reacción horizontal que esta presentará en su base, para oponerse a dicha fuerza; esta reacción horizontal es lo que se conoce como cortante basal (V_s).

$$V_s = S_a * g * M$$

Por medio del programa de análisis se determina el valor de la masa total de la edificación y se reemplaza en la ecuación 5-1 para obtener el valor de la cortante basal.

Porcentaje de participación de masa y periodos fundamentales de la estructura

Con los resultados alcanzados por el programa de análisis se extrae la tabla de participación modal que permitirá realizar el chequeo por los valores establecidos en la NSR-10 A.5.4.2 de porcentaje de participación de masa, donde se indica que la estructura debe alcanzar el 90% de participación de masa para los modos



analizados, además de se determina los valores del periodo fundamental de la estructura y en el modo en el que se encuentra.

El análisis dinámico elástico espectral para el edificio de Humanidades II de la universidad de Ibagué, se realiza definiendo 3 grados de libertad por piso, es decir que se obtienen 6 modos de vibración debido a que la edificación cuenta con 2 pisos.

Tabla VI Participación modal de la estructura

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
		sec						
Modal	1	0.501	0.0007	0.8263	0	0.0007	0.8263	0
Modal	2	0.494	0.9621	0.0006	0	0.9628	0.8269	0
Modal	3	0.439	2.1E-06	0.1345	0	0.9628	0.9613	0
Modal	4	0.18	0.0049	0.0279	0	0.9676	0.9892	0
Modal	5	0.176	0.0318	0.0056	0	0.9994	0.9948	0
Modal	6	0.161	0.0006	0.0052	0	1	1	0

Chequeo % participación de masa supera el 90%

Periodo fundamental en sentido X = 0.501 s

Periodo fundamental en sentido Y = 0.494 s

Vulnerabilidad sísmica de la estructura

La vulnerabilidad de la estructura esta dado como un porcentaje de la rigidez de una edificación que tendría una edificación nueva, de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento.



Este valor se calcula como el inverso del índice de flexibilidad general o índice de flexibilidad de la estructura, el cual es el mayor de los índices por piso. Para este caso el índice de flexibilidad de la estructura es:

$$I.F.est. = 1.6358$$

Por lo tanto, el valor de vulnerabilidad sísmica de la estructura es de 0.52 lo que permite concluir que el edificio de Humanidades II de la universidad de Ibagué tiene un 52% de la rigidez que tendría esta estructura si fuera diseñada y construida en base a la presente versión del reglamento.



Capítulo IX

Conclusiones

Al realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica a la infraestructura del edificio de Humanidades de la Universidad de Ibagué, se concluye que no posee un sistema estructural sismo resistente debido a que los pórticos no son aptos para resistir momentos.

Además de otras propiedades particulares la estructura tiene que cumplir con tres condiciones: Resistencia, Rigidez y Estabilidad. La rigidez del elemento o de la estructura debe oponerse a las deformaciones, pero en nuestro caso no cumple al 100%.

Cuando diseñamos un entrepiso es posible que, aunque este correctamente diseñado pueda vibrar cuando se le de uso. Por eso es importante que además del diseño estructural por resistencia se chequeen los desplazamientos a fin del control de las vibraciones. Cuando diseñamos una edificación en una zona no sísmica bastará con diseñar las columnas por resistencia, pero en zonas sísmicas habrá que tomar en cuenta los desplazamientos laterales.

En contraste a esto, la normatividad colombiana, exige que las edificaciones cuenten con un sistema estructural que sea capaz de resistir los movimientos generados por un sismo. Esto último nos lleva a pensar que las instalaciones del edificio, no son apropiadas.

Además, debemos tener en cuenta que el edificio, según el título A de la NSR-10, es catalogado como grupo de uso II, debido a que es un establecimiento de atención a la estudiantil, y en caso de una eventual calamidad, los estudiantes recurren allí, por ende, se debe tratar en lo posible, que este tipo de recintos, queden en pie después de un sismo.



Capítulo X

Recomendaciones

Para la etapa del estudio, se recomienda principalmente, recolectar la mayor cantidad de información posible, tanto un buen registro fotográfico, como la mayor cantidad de ensayos que se puedan realizar. Las fotografías son de suma importancia a la hora de digitalizar el proyecto, estas cubren cualquier duda que se tenga acerca de la infraestructura del edificio.

Con una gran cantidad de ensayos, los valores que se obtengan serán más aproximados a la realidad, como, por ejemplo, la resistencia del concreto o los aceros de refuerzo que contienen los diferentes elementos, en nuestro caso no se pudo realizar todos los ensayos requeridos por motivos de que los aparatos no estaban en buen funcionamiento.

Para la digitalización del proyecto, se recomienda ser muy organizado con la información que se maneja, por ejemplo, en el caso del edificio de Humanidades II, que se divide en 2 bloques, se recomienda ser muy organizado con la información que corresponde a cada uno de los bloques, y trabajar cada uno, inicialmente, en archivos diferentes y finalmente unirlos.

Finalmente, para el cálculo, se recomienda crear una hoja de cálculo en Excel para el análisis, y al final unirlos.



Capítulo XI

Bibliografía

- MONTEJO A, MONTEJO F, MONTEJO A, Tecnología y patología del concreto armado, Universidad Católica de Colombia, 1ED, Bogotá, D.C., 2013.
- Ejemplo de estudio de vulnerabilidad casa de la cultura de Antioquia.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, Bogota D.C. 1998.
- Cortés, W. L. "Metodología para la evaluación sismo resistente de edificaciones antiguas en tapia pisada y adobe". Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2002.
- ASOCRETO- INSTITUTO DEL CONCRETO-, "Seminario Evaluación y Diagnóstico de la Estructuras en Concreto" – Harold Alberto Muñoz M., Bogotá D.C. noviembre 22 y 23 de 2001.
- NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS - NTC, "Método de Ensayo para medir el Número de Rebote del Concreto Endurecido – NTC-3692.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE - NSR-10
- Etabs 2016



ANEXOS



ANEXO A

PLANOS



ANEXO B
MEMORIA DE CÁLCULOS



ANEXO C

MODELO EN ETABS

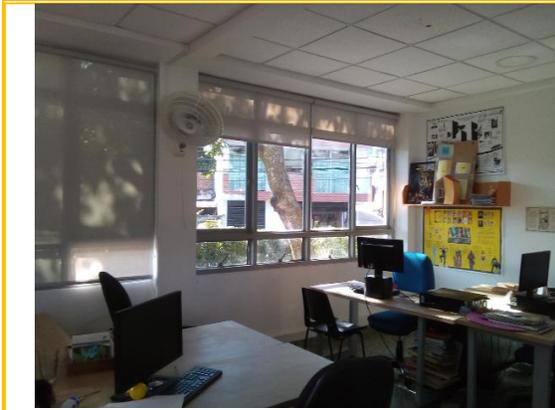


ANEXO D
REGISTRO FOTOGRÁFICO



LEVANTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA







ENSAYOS DE ESCLEROMETRIA

