

**ESTUDIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE UNA
EDIFICACIÓN DE VALOR PATRIMONIAL. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO
BUCARICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

EDGAR IVÁN CELIS MARTÍNEZ

WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE UNA
EDIFICACIÓN DE VALOR PATRIMONIAL. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO
BUCARICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

EDGAR IVÁN CELIS MARTÍNEZ

WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA

**Trabajo de Monografía para optar al título de
Especialistas en Estructuras**

Director:

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ingeniero civil, Ph. D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A mi abuela, a mi madre y mis tíos Nancy y Ariel Martínez mi gran ejemplo de perseverancia, quienes me inspiran a ser su motivo de orgullo. A Lina Yajaira quien se ha convertido en una gran inspiración de mi vida.

Iván Celis Martínez

A mis padres y a mi hijo que viene en camino, por ellos lo hice todo.

Wilmer Fernando Duarte Valenzuela

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mí mejor aliado en el cumplimiento de cada uno de mis logros, tío Ariel Martínez por brindarme su apoyo para seguir creciendo como profesional y como persona. A nuestro director el ingeniero Ricardo Alfredo Cruz por la confianza depositada y cada uno de nuestros colaboradores para el desarrollo de este proyecto

Iván Celis Martínez

Al ingeniero César Gélvez Carrillo quien me ha infundido la calidad y la ética profesional y al ingeniero Ricardo Alfredo Cruz que siempre ha sido un gran docente y un gran director de proyectos. ¡A los dos, muchas gracias por la oportunidad!

Wilmer Fernando Duarte Valenzuela

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1.3 ALCANCE	18
2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES	19
2.1 DISEÑO SISMO-RESISTENTE.....	19
2.1.1 Factores que influyen en el comportamiento sísmico de una edificación.....	19
2.2 FUERZAS SÍSMICAS	20
2.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO.....	22
2.3.1 Análisis estático Lineal.....	22
2.3.2 Análisis Dinámico lineal.....	23
2.3.3 Análisis Estático no lineal	24
2.3.4 Análisis Dinámico no lineal.....	24
3 METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE EDIFICACIONES DE VALOR HISTORICO	25
3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR	25
3.1.1 Etapa 1.....	26
3.1.2 Etapa 2.....	26
3.1.3 Etapa 3.....	27
3.2 EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE	28
3.2.1 Etapa 4.....	28

3.2.2	Etapa 5.....	31
3.2.3	Etapa 6.....	34
3.2.3.1	Matriz de rigidez de la estructura	35
3.2.3.2	Uniones entre elementos	39
4	CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BUCARICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.....	40
4.1	INFORMACIÓN PRELIMINAR	40
4.1.1	Etapa 1: Definición de la intervención.....	40
4.1.1.1	Información Histórica.....	40
4.1.1.2	Definición del tipo de intervención.....	42
4.1.2	Etapa 2: Recopilación y estudio de información técnica de la edificación.....	42
4.1.2.1	Diseño Arquitectónico.....	42
4.1.2.2	Diseño estructural	48
4.1.2.3	Estudio Geotécnico.....	49
4.1.3	Etapa 3: Calificación del estado del sistema estructural.....	50
4.1.3.1	Calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación	50
4.1.3.2	El estado de mantenimiento y conservación de la estructura	51
4.1.3.3	Ensayo de esclerómetro.....	53
4.1.3.3.1	Descripción.....	53
4.1.3.3.2	procedimiento de trabajo.....	53
4.1.3.3.3	Registro y resultados del ensayo	54
4.1.3.4	Inspección con Geo-radar estructural y ferrodetector Hilti PS-35.	56
4.1.3.4.1	Descripción de los equipos:	56

4.1.3.4.2	Procedimiento de trabajo Geo-Radar Estructural	57
4.1.3.4.3	Procedimiento de trabajo Ferrodetector Hilti PS-35	59
4.1.3.4.4	Resultados.....	59
4.1.3.5	Registro de vibración ambiental.....	60
4.1.3.5.1	Conceptualización del ensayo.....	60
4.1.3.5.2	Descripción del equipor	61
4.1.3.5.3	Procedimiento de trabajo	62
4.1.3.5.4	Análisis de datos.....	64
4.1.3.5.5	Resultados del análisis	67
4.2	EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE	73
4.2.1	Etapa 4: Solicitaciones Equivalentes	73
4.2.1.1	Evaluación de cargas muertas y cargas vivas	73
4.2.2	Etapa 5: Modelo matemático equivalente de la Estructura	75
4.2.2.1	Normatividad.....	76
4.2.2.2	Geometría del modelo Estructural.....	76
4.2.2.3	Resistencia a la compresión de los elementos	77
4.2.2.4	Módulo de elasticidad según NSR-10.....	77
4.2.2.5	Definición de materiales y secciones de los elementos	79
4.2.2.6	Análisis Sísmico.....	83
4.2.2.7	Flexibilidad de la estructura.....	86
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	87
6.	CONCLUSIONES.....	89
	BIBLIOGRAFIA.....	91

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones equipo de vibración ambiental.....	62
Tabla 2. Fase y frecuencia de los entrepisos con respecto a la base en dirección X.....	70
Tabla 3. Amplitudes para los dos modos de vibración en dirección X.....	71
Tabla 4. Fase y frecuencia de los entrepisos con respecto a la base en dirección Y.....	73
Tabla 5. Amplitudes para los dos modos de vibración en dirección Y.....	73
Tabla 6. Evaluación de cargas sistema de entripiso.....	74
Tabla 7. Evaluación de cargas sistema.....	75
Tabla 8. Resistencia y recubrimientos de elementos estructurales.....	77
Tabla 9. Módulo de elasticidad de los materiales.....	78
Tabla 10. Alternativa módulo de elasticidad de los materiales.....	78
Tabla 11. Definición secciones.....	81
Tabla 12. Columna 300X300 mm.....	81
Tabla 13. Columna 300X450 mm.....	82
Tabla 14. Viga 300X300 mm.....	82
Tabla 15. Muros de mampostería e=150 mm.....	82
Tabla 16. Chequeo de derivas.....	86

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de inspección y diagnóstico preliminar de la estructura.	25
Figura 2. Los efectos sísmicos se analizan independientemente	32
Figura 3. Metodología fase II	34
Figura 4. Efectos de las acciones sísmicas sobre las estructuras	36
Figura 5. Análisis de la torsión	36
Figura 6. Desplazamientos del entrepiso, nivel i-ésimo	37
Figura 7. Desplazamiento del pórtico j en el nivel I	38
Figura 8. Antiguo Hotel Bucarica	41
Figura 9. Actual Edificio Bucarica UIS	41
Figura 10. Fachada Sur Edificio Bucarica UIS	43
Figura 11. Fachada Este Edificio Bucarica UIS	43
Figura 12. Patío Edificio Bucarica UIS	43
Figura 13. Anexo A: Planos Arquitectónicos	44
Figura 14. Modelo Tridimensional Arquitectónico	46
Figura 15. Registro fotográfico levantamiento de la estructura	48
Figura 16. Registro fotográfico levantamiento de la estructura	48
Figura 17. Formato de evaluación calidad del diseño y la construcción de la estructura original	51
Figura 18. Formato de evaluación de mantenimiento y conservación de estructura	52
Figura 19. Esclerómetro	53
Figura 20. Ensayo de esclerómetro	54
Figura 21. Formato ensayo esclerómetro	55
Figura 22. Geo-Radar Estructural	56
Figura 23. Ferrodetectores Hilti PS-35	57
Figura 24. Inspección Geo-Radar Estructural en losa	58
Figura 25. Inspección Geo-Radar en Vigas, Columnas y muros	58
Figura 26. Inspección Ferrodetectores Hilti PS-35	59

Figura 27. Sistema de adquisición de datos multicanal	61
Figura 28. Instrumentación sísmica	63
Figura 29. Ubicación de la instrumentación	63
Figura 30. Picos de densidad de probabilidad y coherencia.....	68
<i>Figura 31.</i> Espectros de amplitudes de Fourier	69
Figura 32. Espectros de amplitudes de Fourier para frecuencias entre 10Hz y 30 Hz	69
Figura 33. Fase plantas superiores respecto a ala base	70
Figura 34. Modos de vibración en dirección X	71
Figura 35. Picos de densidad de probabilidad y coherencia.....	71
Figura 36. Espectros de amplitudes de Fourier	72
Figura 37. Espectros de amplitudes de Fourier para frecuencias entre 10Hz y 30 Hz	72
Figura 38. Fase plantas superiores respecto a la base	72
Figura 39. Primer modo de vibración en dirección Y	73
Figura 40. Definición del concreto de la placa de entrepiso.....	79
Figura 41. Definición del concreto 14 MPa	80
Figura 42. Mampostería.....	80
Figura 43. Espectro de diseño	83
Figura 44. Definición del espectro de diseño en ETABS 2015	83
Figura 45. Modos principales de vibración.....	85
Figura 46. Chequeo de derivas.....	86

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE VALOR PATRIMONIAL. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BUCARICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. *

AUTORES:

CELIS MARTÍNEZ, Edgar Iván**
DUARTE VALENZUELA, Wilmer Fernando**

PALABRAS CLAVES:

Patrimonio histórico, Sismo resistente, Rigidez, Diagnostico e inspección, análisis modal

CONTENIDO:

La evaluación e intervención de estructuras a partir de la puesta en vigencia de la actual versión del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, ha tomado un alto grado de importancia, sin embargo existen ciertas estructuras las cuales requieren la aplicación de técnicas sofisticadas en el proceso de inspección y diagnóstico, como es el caso de las edificaciones históricas las cuales en el momento de ser intervenidas para este tipo de estudios requieren conservar las características que la hacen como representativa de la localidad donde se encuentra.

Este documento presenta la metodología para la inspección y diagnóstico de una edificación de valor histórico, siguiendo los lineamientos presentados en el capítulo A.10 de la NSR-10. Se realiza el análisis de flexibilidad de la estructura teniendo en cuenta variación de la configuración estructural con el fin de establecer el grado de importancia de los elementos que la componen.

Para llevar a cabo dicho estudio se recopila la información existente del diseño inicial, y del registro de las intervenciones a las cuales se ha sometido la estructura; Se evalúa de forma cualitativa la estructura en base a la información recopilada y en cuanto mantenimiento y conservación de la misma, realizando la inspección en el sitio. La caracterización de la estructura para la realización del modelo matemático equivalente se realiza mediante la aplicación de ensayos no destructivos dentro de los cuales se destacan, el ensayo de esclerómetro, escáner de refuerzo con geo-radar estructural y registro de vibración ambiental, el análisis sísmico se realiza para nivel de seguridad de una estructura nueva según lo presentado en la NSR-10 y el análisis de flexibilidad de la estructura mediante la adaptación al caso de estudio de la metodología planteada en el libro Análisis y diseño sísmico de edificios del ingeniero Roberto Rochel.

*Proyecto de grado. Modalidad Monografía

**Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas – Escuela de Ingeniería Civil

Director: Ph.D. Ing. Ricardo Alfredo Cruz Hernández

ABSTRACT

TITLE:

STUDY OF INSPECTION AND STRUCTURAL DIAGNOSTICS OF A BUILDING'S HERITAGE VALUE. CASE STUDY: BUILDING THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER. * BUCARICA*.

AUTHORS:

CELIS MARTÍNEZ, Edgar Iván**
DUARTE VALENZUELA, Wilmer Fernando**

KEYWORDS:

Heritage, seismic-resistant, rigidity, Diagnostics and inspection, modal analysis

CONTENT:

Assessment and intervention of structures from the putting into force of the current version of regulation Colombian of building earthquake resistant NSR-10, has taken a high degree of importance, however there are certain structures which require the application of sophisticated techniques in the process of inspection and diagnosis, as in the case of historical buildings which at the time of be operated for such studies require preserve the features that make it as representative of the town where it is located.

This document presents the methodology for the inspection and diagnosis of a building of historical value, following the guidelines presented in the chapter A.10 of the NSR-10. It is the flexibility of the structure analysis taking into account variation of structural configuration in order to establish the degree of importance of the elements that compose it.

This study was carried out base secondary information taken from the initial designs, and the list of interventions that the structure has suffered; Evaluated qualitatively structure based on the information gathered and as maintenance and conservation of the same, making the on-site inspection. Characterization of the structure for performing the equivalent mathematical model is performed by applying nondestructive testing within which stand the esclerometer test, scanner reinforcing structural geo-radar and recording ambient noise, seismic analysis it is performed to level up a new structure as presented in the NSR-10 and flexibility analysis of the structure by adapting to the case study of the methodology proposed in the book analysis and seismic design building engineer Roberto Rochel.

* Degree Work. Type monograph

**Faculty of physical engineering mechanics - school of Civil Engineering

Director: PhD. Eng. Ricardo Alfredo Cruz Hernández

INTRODUCCIÓN

En Colombia el interés por la conservación de las edificaciones históricas ha venido aumentando por representar gran importancia en identidad cultural que caracteriza la localidad en la cual se desarrolló. Dicho interés ha sido adoptado de otros países destacados por desarrollar técnicas de conservación dentro de las cuales encontramos a Italia, España, Portugal, México entre otros (FRANCO, 2012).

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, presenta una metodología de evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la puesta en vigencia de la versión actual del mismo, más sin embargo la reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos requiere involucrar consideraciones adicionales en los procesos de inspección, análisis e intervención optados para edificios convencionales, debido a la necesidad de mantener lo más inalterado posible sus características arquitectónicas que la convierten como referente histórico (YAMIN, RODRIGUEZ, FONSECA, REYES Y PHILLIPS, 2003).

El presente trabajo se centra en la realización de la inspección y diagnóstico de una estructura de valor histórico, caso de estudio: Edificio Bucarica de la universidad Industrial de Santander, Antiguo Hotel Bucarica. Para llevar a cabo el cumplimiento de dicho objetivo se aplicó una metodología en la cual se realiza la recopilación información en cuanto a especificaciones y construcción del diseño inicial, sus modificaciones y estado de conservación actual, utilizando como referente la metodología presentada en el capítulo A.10 NSR-10 anteriormente mencionada.

Este trabajo consta de 5 capítulos, el primero consiste en el planteamiento de los objetivos del estudio, en el segundo capítulo corresponde a la conceptualización del comportamiento estructural de las edificaciones ante eventos sísmicos, haciendo énfasis en los factores influyentes de dicho comportamiento, la representación del fenómeno y los métodos de análisis de dicho efecto. El tercer capítulo define el concepto de vulnerabilidad estructural desde el punto de vista de la flexibilidad de la edificación y la metodología de aplicar para inspección y diagnóstico en el caso de estudio. El cuarto capítulo muestra los resultados de aplicación de la metodología planteada en el capítulo 3, mostrando los resultados en cuanto a caracterización de la estructura y el análisis de flexibilidad de la estructura ante la propuesta de diferentes configuraciones estructurales. En el capítulo 5 se consignan las recomendaciones a tener en cuenta para la intervención de la estructura en base a los estudios realizados.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio inspección y diagnóstico estructural del edificio Bucarica de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un modelo geométrico tridimensional de la arquitectura de la edificación.
- Definir un modelo matemático equivalente de la estructura en base a la geometría y caracterización de materiales.
- Realizar un análisis del comportamiento de la estructura en términos de flexibilidad para diferentes configuraciones estructurales.
- Presentar las recomendaciones a tener en cuenta al momento de presentar las alternativas de intervención y rehabilitación sísmica de la estructura.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo consiste en realizar un análisis de inspección y diagnóstico previo de la edificación el cual servirá como material de apoyo para futuros estudios. Por tratarse de un trabajo académico no se planea realizar pruebas destructivas debido a los costos generados y por tratarse de una edificación de valor histórico.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES

2.1 DISEÑO SISMO-RESISTENTE

El diseño estructural bajo el criterio de sismo resistencia tiene como fin que las edificaciones sean capaces de resistir sismos de alta intensidad sin llegar al colapso. En Colombia este criterio demanda que una edificación sea capaz de resistir, además, de las fuerzas que imponen su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a los elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso (NSR 10, 2010).

2.1.1 Factores que influyen en el comportamiento sísmico de una edificación. El comportamiento sísmico de las edificaciones depende directamente de factores tales como el uso, el sistema estructural (pórticos resistentes a momento, muros de carga, combinado o dual), los materiales (concreto, acero y otros), irregularidad geométrica en planta y en altura, cargas gravitacionales y horizontales a las cuales se encuentra sometida y la zona en la cual se encuentra construida, factores que definen propiedades como resistencia, rigidez, frecuencia y periodo, amortiguamiento y ductilidad de la estructura (DELGADO Y MANTILLA, 2012).

- **Resistencia:** Capacidad que tiene la estructura de soportar cargas sin llegar al colapso, que se atribuye a los materiales que la componen.
- **Rigidez:** Capacidad que tiene la estructura de oponerse a la deformación que induce la aplicación de cargas, dependerá de la geometría y posición de elementos estructurales que la componen.

- **Frecuencia y periodo:** Son los parámetros que definen el comportamiento vibratorio en el rango elástico de la estructura; dependen de la masa y la rigidez de la misma, la frecuencia representa el número de oscilaciones que realiza en un tiempo determinado y el periodo es el inverso, tiempo que tarda la estructura en realizar un ciclo (FRANCO, 2012).
- **Amortiguamiento:** Capacidad que tiene la estructura para disipar energía cinética inducida por el desplazamiento que provoca la aplicación de cargas. Desde el punto de vista estructural se define como el área bajo la curva hasta el punto de corte con el espectro de diseño (ALFARO, JEREZ, 2015)
- **Ductilidad:** Se define como la capacidad de deformación que tiene la estructura una vez superadas las cargas de fluencia en los elementos que componen el sistema estructural, se refleja una buena ductilidad en elementos con deformaciones plásticas mientras disipan energía sin llegar a la falla; en el caso del concreto, la ductilidad se da mediante el confinamiento con acero de refuerzo, puesto que presenta comportamiento frágil al aumentar la resistencia.

2.2 FUERZAS SÍSMICAS

Durante un evento sísmico producto de movimientos de la corteza terrestre, que pueden ser lateral, vertical o la combinación de los dos, se generan ondas esféricas a partir de la liberación de energía del choque o colisión entre placas tectónicas, la propagación de dichas ondas genera gran influencia sobre las edificaciones puesto que el medio de propagación es el terreno donde se encuentra la cimentación de dichas edificaciones y su intensidad depende de

la distancia del hipocentro, la cantidad de energía disipada y el tipo de suelo mediante el cual se propaga.

En el análisis y diseño sísmo resistente, las fuerzas sísmicas son la representación del efecto que provoca la excitación de las ondas sísmicas convertido a cargas laterales y verticales que se aplican sobre la estructura y son calculadas de acuerdo a métodos de análisis estáticos y dinámicos propuestas en las normativas de diseño como lo son el método de la fuerza horizontal equivalente, análisis modal, análisis del espectro de respuesta y análisis elástico de historias de respuesta. La incursión de la estructura en el rango no lineal, se tiene en cuenta mediante la aplicación de un factor de reducción del espectro elástico equivalente, el cual depende del sistema de resistencia sísmica (LESMEZ, 2015).

La aplicación y amplificación de las fuerzas sísmicas está relacionado con las siguientes definiciones:

- **Centro de masas:** Es el punto geométrico en planta de un nivel determinado, donde se concentraría la masa del piso al suponer el diafragma de piso como un cuerpo infinitamente rígido en su propio plano.
- **Centro de cortante:** Es el punto geométrico en planta de aplicación del cortante sísmico de un nivel determinado, depende de la ubicación del centro de masa.
- **Centro de rigidez:** Es el punto geométrico en planta de un nivel determinado, calculado bajo el supuesto de que el diafragma de piso es infinitamente rígido en su propio plano, donde al aplicar una fuerza horizontal en cualquier dirección, se obtendrán desplazamientos

uniformes en todos los puntos del diafragma puesto que no existe rotación del mismo respecto a un eje vertical.

- **Excentricidad Estática:** Es la diferencia entre las coordenadas de los centros de cortante y de rigidez, en forma simbólica se define como:

$$e_i = i_{C.C} - i_{C.T}$$

- **Matriz de rigidez condensada $[k_c]_j$:** Es el resultado de la condensación estática de la matriz de rigidez del pórtico j , y relaciona los desplazamientos del piso " i " con $(\mu_i)_j$ con las fuerzas laterales $(f_i)_j$. Es una matriz cuadrada de orden " n ", donde " n " es el número de pisos (ROCHEL, 2012).

$$\{f_i\}_j = [k_c]_j * \{\mu_i\}_j$$

2.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

La realización de un análisis lineal de la estructura, contempla que las propiedades de los elementos que la componen tales como la rigidez y el amortiguamiento permanecen constantes, es decir, no varían con el tiempo por tanto los resultados en cuanto a desplazamientos, esfuerzos, reacciones son directamente proporcionales a la magnitud de las cargas aplicadas, mientras que en un análisis no lineal dichas propiedades pueden variar con respecto al tiempo, la carga aplicada y las deformaciones generadas por la aplicación de estas cargas, por ende la respuesta no es proporcional a las cargas aplicadas.

2.3.1 Análisis estático Lineal. Este tipo de análisis contempla el cálculo de las fuerzas sísmicas, su distribución en altura y la respuesta en cuanto a fuerzas internas y desplazamientos de la estructura mediante la formulación planteada

por la estática, considerando comportamiento lineal en los materiales de los elementos que la componen, es decir, las deformaciones internas aumentan proporcionalmente a los esfuerzos. Dicho análisis contempla el modelamiento de la estructura como un sistema equivalente de uno o varios grados de libertad con matriz de amortiguamiento viscoso. La acción sísmica es modelada mediante una fuerza horizontal equivalente, la cual causara los efectos en cuanto a esfuerzos y deformación para el sismo de diseño contemplado y basándose en el modo de vibración fundamental de la edificación.

Los resultados obtenidos mediante este método no son representativos puesto que se plantea controlar los valores de deformaciones y los esfuerzos a tensión y compresión con los de resistencia del material, obteniendo zonas con esfuerzos elevados poco aceptables teniendo en cuenta que en ocasiones la estructura responde inelásticamente al sismo de diseño y estos esfuerzos se distribuyen con el tiempo en las zonas más críticas de la estructura. Sin embargo, aunque los resultados no sean muy confiables este método no deja de ser una alternativa a la solución de este tipo de problemas pues se cumplen condiciones tanto de equilibrio como de compatibilidad que pueden acercarse a los esfuerzos promedios a los cuales este sometida la estructura, teniendo en cuenta que los códigos de diseño reglamentan su uso a ciertas características de la estructura (RIOS, 2012).

2.3.2 Análisis Dinámico lineal. Consiste en el modelamiento de una estructura como un sistema de uno o varios grados de libertad con matriz de amortiguamiento viscoso equivalente y matriz de rigidez elástica lineal. La acción sísmica es modelada mediante el uso de un análisis modal, usando el espectro de respuesta elástico lineal y plantea que la respuesta dinámica de la estructura puede ser estimada a partir del comportamiento independiente de cada modo natural de vibración y en la mayoría de códigos este número de

modos vibración depende de un porcentaje de masa que se pretende desplazar (LESMEZ, 2015).

2.3.3 Análisis Estático no lineal. Es una alternativa de solución a las falencias que presenta un análisis lineal, pues este tipo de análisis contempla la no linealidad en el comportamiento de los materiales y los máximos desplazamientos que pueden ocurrir para un sismo dado son determinado usando espectros de respuesta inelásticos. Dicho análisis se hace mediante modelos de elementos finitos en los cuales busca modificar las propiedades de la matriz de rigidez de los elementos sometidos a tracción, siendo esto una solución al modelamiento de estructuras en mampostería donde por un análisis lineal se considera que las propiedades antes los esfuerzos de tracción permanecen iguales que los de compresión (MELI, 1998).

2.3.4 Análisis Dinámico no lineal. Análisis realizado mediante modelos de elementos finitos, donde se tiene en cuenta la respuesta inelástica de los materiales donde se pueden incluir además la participación de los elementos no estructurales y la interacción suelo-estructura. Este modelamiento deberá contemplar tanto la pérdida de resistencia y rigidez a nivel puntual, como las características de disipación asociadas a comportamiento del ciclo histerético. En cuanto al sismo de entrada este puede ser modelado mediante la utilización de diversos grupos de acelerogramas o función historias de tiempo, lo cual implica una evaluación paso a paso de la respuesta de la estructura.

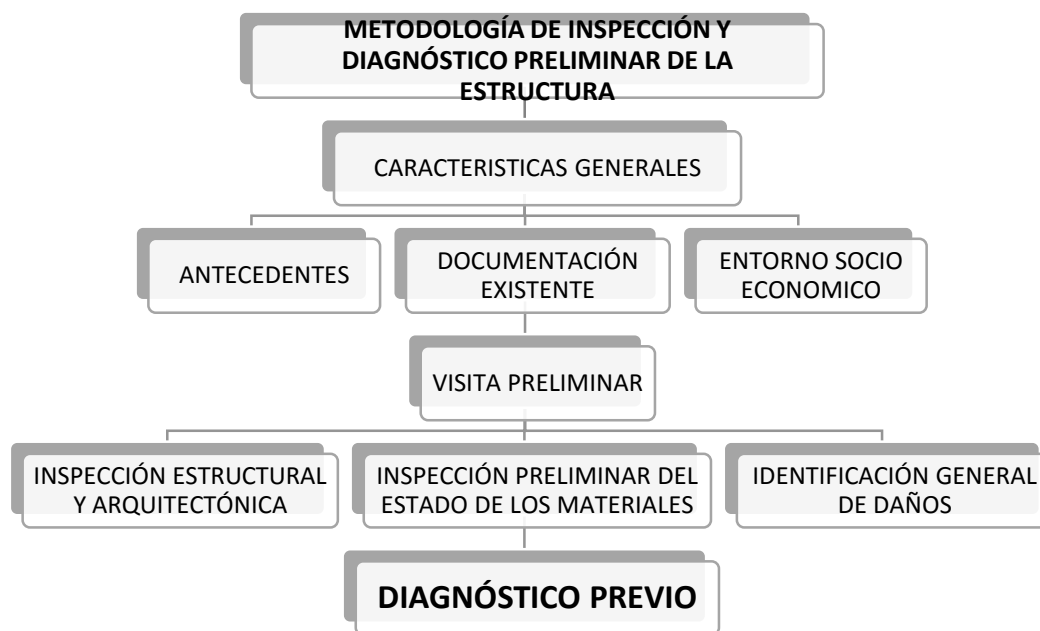
3 METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE EDIFICACIONES DE VALOR HISTORICO

En el título A.10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, se presenta el procedimiento de evaluación de la intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento, No obstante, la inspección, análisis e intervención de edificaciones históricas requiere involucrar consideraciones adicionales en los procesos adoptados para edificios convencionales. El presente capítulo define la metodología planteada para el caso de estudio, basado en dicho procedimiento presentado por la NSR-10 y adaptado según el alcance del proyecto en desarrollo en las tres siguientes fases:

3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

A continuación, se presenta de forma conceptual la metodología seguida para el desarrollo de la primera fase:

Figura 1. Metodología de inspección y diagnóstico preliminar de la estructura.



3.1.1 Etapa 1. Debe verificarse que la estructura en estudio esté cubierta por el alcance de la NSR-10.

Para el desarrollo de esta labor se hace necesario realizar un estudio de los antecedentes históricos y estado actual de la edificación que permitan definir el tipo de intervención a realizar y así poder verificar si se ubica dentro de los siguientes tipos de intervención presentadas en numeral A.10.1.3 de la NSR-10:

- Reparaciones y cambios menores
- Cambio de Uso
- Vulnerabilidad Sísmica
- Modificaciones
- Reforzamiento Estructural
- Reparación de edificaciones dañadas por sismo

3.1.2 Etapa 2. Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño geotécnico y estructural, así como del proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones, esta información debe constatarse en el sitio realizando exploraciones en lugares representativos de la edificación y dejando constancia del alcance de estas exploraciones.

La revisión Arquitectónica y Estructural, hace referencia a la configuración geométrica en planta y perfil de la estructura y es de gran importancia para corroborar las especificaciones emitidas en el diseño inicial y la estructura construida, en caso de no existir esta herramienta, se hace necesario la realización de un levantamiento preliminar, donde se debe anexar las dimensiones de cada uno de los elementos estructurales que hayan sido identificados.

En esta etapa se procede a realizar la recopilación técnica del diseño de la edificación, la cual se analiza y corrobora para determinar los parámetros que permitan realizar el modelamiento matemático de la estructura.

3.1.3 Etapa 3. El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: (a) La calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación y de la construcción de la misma y (b) El estado de mantenimiento y conservación.

Según lo especificado en el numeral A.10.2.2.1 de la NSR-10, la calificación de la calidad del diseño y construcción de la estructura original, se debe hacer de una manera totalmente cualitativa. Debe calificarse como buena, regular o mala, basada en términos de la mejor tecnología existente en la época, teniendo en cuenta:

- Registros de interventoría la construcción
- Ensayos realizados a los materiales
- Comportamiento en cuanto distribución de masa y rigidez
- Ausencia de diafragmas
- Anclajes, amarres y otros elementos que sean necesarios para garantizar su buen comportamiento

Según lo especificado en el numeral A.10.2.2.2 de la NSR-10, la calificación del estado de la estructura, debe evaluarse la edificación y calificarse como buena, regular o mala, basada en aspectos como:

- Sismos que la puedan haber afectado
- Fisuras por cambios de temperatura
- Corrosión de las armaduras
- Asentamientos diferenciales
- Reformas
- Deflexiones excesivas
- Estados de los nudos

Es de gran importancia la localización de daños, esto con el fin de determinar zonas frágiles a nivel general de la estructura, estos daños pueden ser tanto estructurales como no estructurales, se debe realizar un sondeo a los usuarios sobre el comportamiento de la edificación ante sucesos extraordinarios

ocurridos e información cronológica sobre apariciones y propagaciones de daños detectados en la obra analizada. Mediante la implementación de ensayos in situ que en su mayoría deberán ser no destructivos, se determinan las resistencias aproximadas de los materiales que componen la estructura.

A partir de la información recopilada en la inspección de la estructura y de su respectivo análisis en la oficina, donde se efectúa la confrontación entre los registros previos adquiridos y lo observado, se realiza el diagnóstico preliminar.

3.2 EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

Para la evaluación de la estructura existente se parte de la información recolectada para la emisión del diagnóstico previo, siendo la fuente para la definición de los parámetros iniciales para la concepción del modelo matemático equivalente al cual se le realiza el análisis como se muestra a continuación:

3.2.1 Etapa 4. Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes.

Consiste en establecer una equivalencia entre las solicitaciones que prescriben este reglamento y las que la estructura está en capacidad de resistir en su estado actual. Para dicho procedimiento se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad al de una edificación nueva.** Se realiza en base a lo especificado en el capítulo A.2 de la NSR-10 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación, con el fin de analizar la estructura como si fuera una edificación nueva.

- **Movimiento sísmico para un nivel de seguridad limitada.** Se realiza según las especificaciones del numeral A.10.3 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación, cuando de acuerdo al A.10.9 este Reglamento explícitamente permita que el análisis de la estructura se realice para un nivel de seguridad limitada.
- **Clasificación del sistema estructural.** Esta clasificación debe realizarse, ubicando la estructura dentro de uno de los sistemas estructurales contemplados en el capítulo A.3 de la NSR.10.
- **Coefficiente de capacidad de disipación de energía R' .** Se Asigna en función del sistema estructural al que corresponda la edificación y al cumplimiento de los requisitos de constructivos y de diseño seguidos en la ejecución de la estructura original. El coeficiente de capacidad de disipación de energía, R ($R = \Phi_a \Phi_p \Phi_r R_o$), para este caso se conoce como R' y debe asignarse acuerdo con la información recopilada sobre la estructura.

Cuando se disponga de buena información sobre el diseño original, tal como planos y memorias, se permite, de acuerdo con el mejor criterio del ingeniero que lleva a cabo la evaluación, determinar un valor de coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_o , por comparación con los requisitos que para el material y el sistema estructural fija el Reglamento. La selección del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_o , cuando haya cumplimiento parcial de los requisitos puede aproximarse interpolando entre los valores de R que da el Capítulo A.3.

Cuando no se disponga de buena información sobre el diseño original, o ésta sea incompleta o fragmentaria, el ingeniero que lleve a cabo la evaluación debe definir un valor de R_o de acuerdo con su mejor criterio. Este valor no

puede ser mayor que el valor que el Capítulo A.3 establezca para mismo sistema estructural y el mismo material.

Cuando no exista ningún tipo de información, se permite utilizar un valor de R_o correspondiente a tres cuartos del valor que fija el Capítulo A.3 para el mismo sistema estructural y el mismo material. El valor así obtenido no hay necesidad de que sea menor que la unidad.

Cuando se trate de edificaciones de mampostería no reforzada, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, R' , debe ser igual a la unidad.

- **Fuerzas sísmicas.** Las fuerzas sísmicas, F_s que el sismo de diseño impone a la edificación se deben determinar por medio del método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4. Estas fuerzas sísmicas deben distribuirse en la altura de acuerdo con el mismo método de la fuerza horizontal equivalente. Se permite utilizar el método del análisis dinámico dado en el Capítulo A.5, si a juicio del diseñador hay suficiente información para permitir su uso.
- **Cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas.** Las otras solicitaciones diferentes a las solicitaciones sísmicas deben determinarse siguiendo los requisitos del Título B, con excepción de las cargas muertas, las cuales deben evaluarse con base en observaciones y mediciones de campo. Las cargas muertas en ningún caso, para efectos de determinar las solicitaciones equivalentes, pueden ser menores a las prescritas en el Título B.
- **Análisis estructural.** Con el fin de determinar las fuerzas y esfuerzos internos de la estructura debe llevarse a cabo un análisis estructural por

medio de uno de los modelos matemáticos permitidos por este Reglamento.

- **Obtención de las solicitaciones equivalentes.** Las diferentes solicitaciones que se deben tener en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas equivalentes que se emplean en la evaluación de la estructura existente. Esta combinación debe realizarse de acuerdo con los requisitos del Capítulo B.2 del Reglamento, por el método de diseño propio de cada material estructural. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación en el Capítulo B.2 del Reglamento. En los efectos causados por el sismo de diseño se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de revisión, E , obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas F_s , por el coeficiente de capacidad de disipación de energía R' (F_s/R').

3.2.2 Etapa 5. Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4.

En esta etapa se considera la realización del modelo matemático representativo de la estructura, el cual se realiza basado en la caracterización tanto de los materiales como de la estructura en general. Dicho modelo matemático se realiza basados en la siguiente hipótesis:

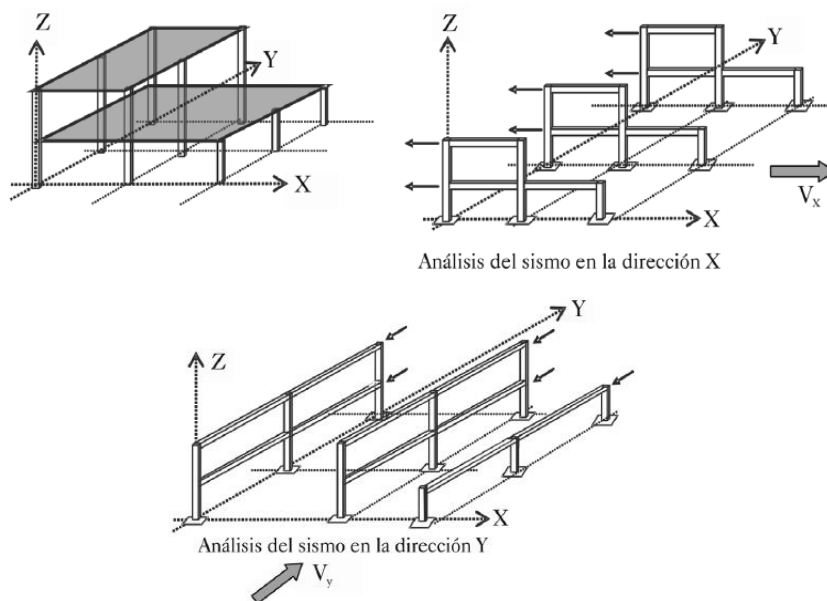
- **Análisis Elástico de la edificación.** Considera linealidad entre las cargas impuestas y las deformaciones causadas, también conocido como comportamiento lineal elástico a partir de cargas y características de materiales conocidas.

- **Sistema estructural.** Se define el sistema estructural, teniendo en cuenta el tipo de elementos que lo componen y si su acople conforma un sistema de entrepiso rígido o semirrígido.
- **Sistema de entrepiso.** Se define si se cuenta con un sistema de entrepiso de rigidez infinita, Lo cual significaría que los diafragmas de entrepiso solo sufren traslaciones o desplazamientos sobre los ejes X y Y, y rotaciones respecto al eje Z, Como consecuencia de ello las vigas no sufrirían deformaciones axiales.

Se puede suponer como rígido un diafragma en su propio plano cuando este disponga de rigidez y resistencia de modo que este actúe como una sola unidad y sus propiedades de masa y rigidez puedan aplicarse en el centro de masa y centro de rigidez respectivamente.

Se puede suponer como flexible un diafragma cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma supere más de dos veces el promedio de las mismas, al verse sometido a las fuerzas sísmicas F.

Figura 2. Los efectos sísmicos se analizan independientemente



Fuente: ROCHEL, 2012

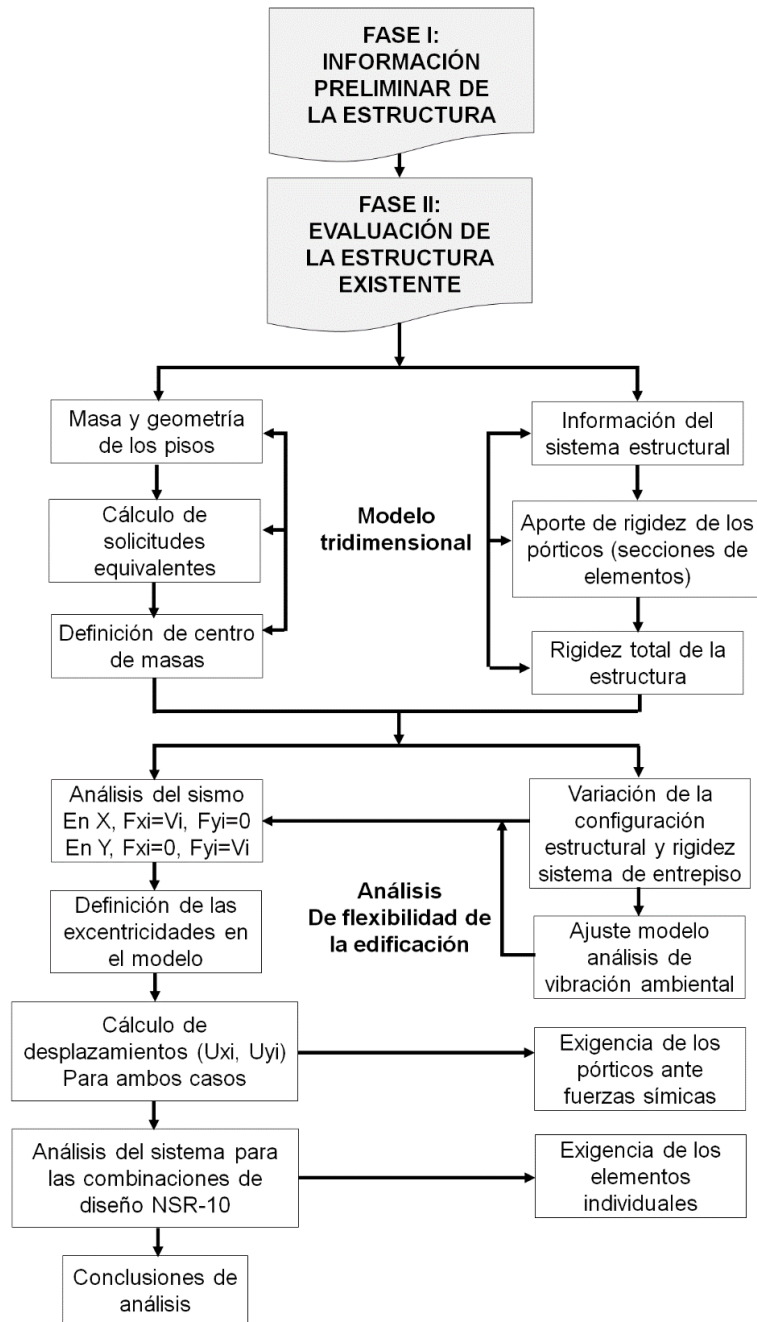
- **Rigidez torsional.** Se desprecia la rigidez torsional de las vigas, columnas o muros que componen el sistema estructural de resistencia sísmica.
- **Concentración de Masas:** Se realiza la concentración de masas en cada nivel en su centro de masa.
- **Deformación axial de columnas.** Es despreciable.

A partir de las anteriores condiciones, se define el número de grados de libertad de la estructura, para el caso de sistema de entrepiso rígido se tienen 3 grados de libertad por piso, dos desplazamientos horizontales X y Y, y un giro alrededor del eje vertical Z. Dentro del análisis es de gran importancia el manejo de los siguientes conceptos mencionados en el numeral 2.2 del presente documento:

- Centro de masas
- Centro de cortante
- Centro de rigidez
- Excentricidad estática
- Matriz de rigidez condensada

A continuación, se presenta de forma conceptual la metodología aplicada para la realización de la evaluación de la estructura existente basado en el procedimiento del libro Análisis y diseño sísmico de edificios adaptado al estudio planteado (ROCHEL, 2012).

Figura 3. Metodología fase II



3.2.3 Etapa 6. Se realiza un análisis de flexibilidad de la estructura, proponiendo diferentes configuraciones estructurales.

Para el análisis de flexibilidad se realiza el análisis sísmico de la edificación, en base a las especificaciones presentadas en el capítulo A.4 Método de la

fuerza Horizontal equivalente o Capítulo A.5 Método de análisis dinámico de la NSR-10.

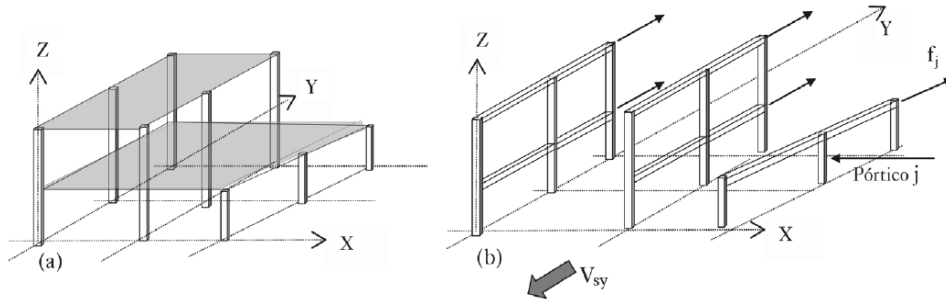
Se analizarán diferentes configuraciones estructurales con el fin de determinar la importancia que representan cada uno de los elementos en el comportamiento de la estructura, producido en cuando a derivas máximas permitidas por la NSR-10, además del efecto de variación de rigidez del diafragma de los entrepisos de la estructura.

La flexibilidad estructural está definida como la inversa de la rigidez que esta presenta entre menor sea la rigidez del conjunto, mayor es la tendencia a presentar mayor deformación es decir presentar mayor flexibilidad, por eso es de gran importancia ahondar más en los siguientes conceptos relacionados con la resistencia que tiene una estructura a ser deformada.

3.2.3.1 Matriz de rigidez de la estructura. El efecto dinámico conocido como excitación sísmica induce movimientos a la estructura los cuales son contrarrestados por las características inerciales y de rigidez de la estructura en la dirección de aplicación de dicha excitación. La determinación del valor y ubicación de las fuerzas de reacción que contrarrestan dicho efecto se realiza mediante la implementación de algún método estático o dinámico mencionado anteriormente.

La siguiente figura muestra dicho fenómeno, donde se somete una estructura a una excitación sísmica en la dirección Y, la cual es cuantificada y representada por el cortante basal V_{sy} , mostrando las fuerzas que se oponen como resultante de las propiedades de los elementos que aportan en dicha dirección:

Figura 4. Efectos de las acciones sísmicas sobre las estructuras

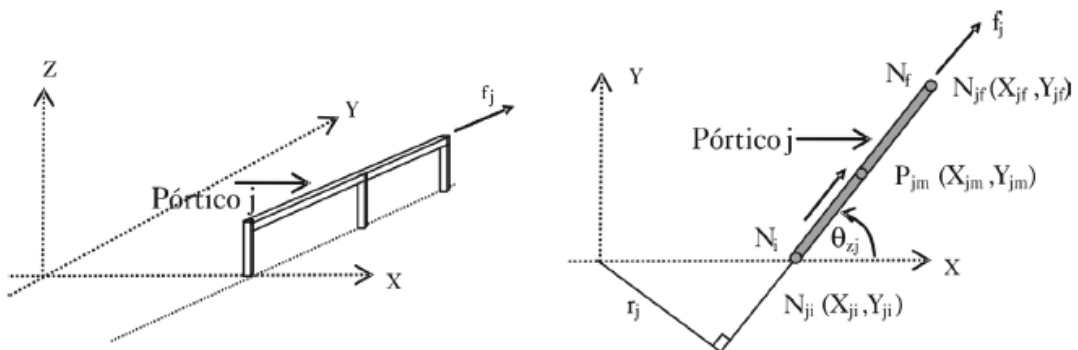


Fuente: ROCHEL, 2012

La fuerza sísmica que se presenta en el pórtico “j”, f_j , genera un momento torsor respecto al eje Z, el valor de este momento es igual al producto de la fuerza por la distancia que existe entre el origen de coordenadas y la línea de acción del pórtico j , r_j .

Para calcular la distancia r_j debe definirse el sistema local de coordenadas del pórtico j , con este fin se selecciona arbitrariamente el nudo inicial y final del pórtico; el resultado es independiente de esta elección. El valor de r_j suele expresarse en términos de las coordenadas del punto medio, P_{jm} (X_{jm} , Y_{jm}), para su deducción se proyecta la estructura sobre el plano XY.

Figura 5. Análisis de la torsión



Fuente: ROCHEL, 2012

Las coordenadas del punto medio se calculan mediante la siguiente Expresión:

$$X_{jm} = \frac{X_{ji} + X_{jf}}{2}, \quad Y_{jm} = \frac{Y_{ji} + Y_{jf}}{2}$$

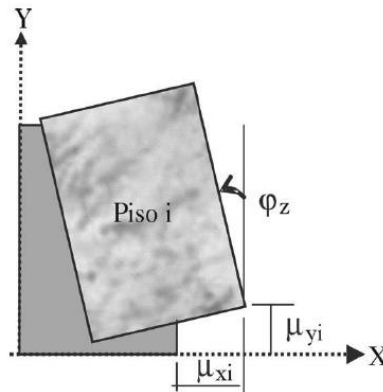
El ángulo que forma el eje del pórtico “j” con el eje X se denomina θ_{zj} , se mide del eje X al eje del pórtico y su sentido positivo es contrario al de las manecillas del reloj.

$$\theta_{zj} = \tan^{-1} \frac{Y_{jf} + Y_{ji}}{X_{jf} + X_{ji}}, \quad Y_{jm} = \frac{Y_{ji} + Y_{jf}}{2}$$

- **Desplazamiento de los entrepisos**

A continuación, se correlaciona los desplazamientos de un entrepiso i-ésimo, respecto a las coordenadas globales de la estructura, con lo cual se pretende obtener el desplazamiento de un pórtico en un nivel i-ésimo.

Figura 6. Desplazamientos del entrepiso, nivel i-ésimo

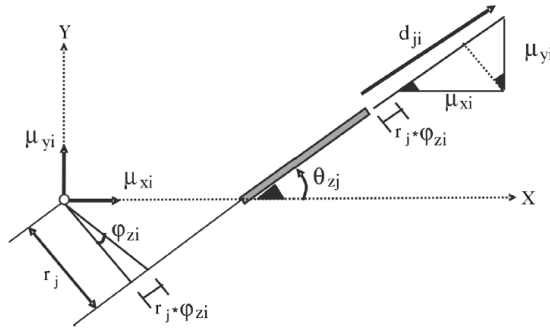


Fuente: ROCHEL, 2012

A cada nivel i del pórtico j se le puede asociar un desplazamiento en el plano del pórtico, d_{ji} , en función de los tres grados de libertad del nivel i (μ_{xi} , μ_{yi} , μ_i). Considerando que el ángulo de torsión, Φ_{zi} , es pequeño, se obtiene:

$$d_{ji} = \mu_{xi} * \text{Cos } \theta_{zj} + \mu_{yi} * \text{Sen } \theta_{zj} + r_j * \phi_{zi}$$

Figura 7. Desplazamiento del pórtico j en el nivel I



Fuente: ROCHEL, 2012

A partir de la anterior correlación reemplazando en la definición matriz de rigidez condensada de la estructura se obtiene:

$$\{f_i\}_j = [k_c]_j * [\{\mu_{xi}\} * \text{Cos } \theta_{zj} + \{\mu_{yi}\} * \text{Sen } \theta_{zj} + r_j * \{\phi_{zi}\}]$$

El vector fuera $\{f_i\}$ se define como el conjunto de fuerzas laterales que es necesario aplicar al pórtico j para obtener el vector de desplazamiento $\{d_j\}$. Al descomponerse este vector se obtiene:

$$f_{xji} = f_{ji} * \text{Cos } \theta_{zj} \quad f_{yji} = f_{ji} * \text{Sen } \theta_{zj} \quad m_{zji} = f_{ji} * r_j$$

Al emplear la notación matricial obtenemos finalmente la matriz lateral de la estructura de tamaño $3n * 3n$, donde n es el número de pisos. Si reemplazamos $\text{Cos } \theta_{zj}$ por C y $\text{Sen } \theta_{zj}$ por S se obtiene:

$$\begin{Bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ M_{zi} \end{Bmatrix} = \sum [K_c]_j * \begin{bmatrix} C^2 & S * C & r_j * C \\ C * S & S^2 & r_j * S \\ C * r_j & S * r_j & r_j^2 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} \mu_{xi} \\ \mu_{yi} \\ \phi_{zi} \end{Bmatrix}$$

3.2.3.2 Uniones entre elementos. Las uniones entre elementos también cumplen un papel muy importante en cuanto al grado de flexibilidad de la estructura, puesto que son los encargados de transmitir las cargas de un elemento a otro y forman parte del sistema de resistencia sísmica y su eficiencia depende del detallado de los mismos para su construcción.

Los criterios de diseño de uniones viga-columna se pueden formular como sigue:

- La resistencia del nudo debe ser mayor o igual que la máxima demanda que corresponda a la formación del mecanismo de colapso del pórtico. El nudo debe ser el elemento de mayor resistencia para eliminar la necesidad de reparar una región inaccesible, que sufre deterioros de resistencia y rigidez considerables si se somete a acciones cíclicas en el intervalo inelástico.
- La resistencia de la columna no debe afectarse por una posible degradación de resistencia de la unión.
- Ante sismos moderados, las uniones deben responder en el intervalo elástico.
- Las deformaciones del nudo no deben contribuir significativamente a la deriva del entrepiso.
- El refuerzo en el nudo, necesario para garantizar un comportamiento satisfactorio, no debe dificultar su construcción. Una unión típica conecta elementos provenientes de tres direcciones; se debe evitar la interferencia de las varillas que vienen de todas las direcciones.

La NSR-10 clasifica los nudos de acuerdo con la ductilidad del sistema de resistencia sísmica, se identifican tres casos, demanda mínima, moderada y especial de ductilidad.

4 CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BUCARICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

4.1.1 Etapa 1: Definición de la intervención

4.1.1.1 Información Histórica. El edificio Bucarica de la Universidad Industrial de Santander, se encuentra ubicado en la ciudad de Bucaramanga-Santander, localizado en la carrera 19 con calle 35 esquina en el Barrio Centro.

La construcción del edificio Bucarica UIS empieza en 1940, año en el cual la ciudad de Bucaramanga fue asignada como sede de los V Juegos Nacionales y se inaugura como hotel Bucarica el 10 de diciembre de 1945. Su diseño inicial estuvo a cargo del Arquitecto German Tejero de la Torre, diseño fuertemente influenciado hacia el estilo Art'Deco. En la misma época también fueron construidas otras obras emblemáticas como son el palacio de la Gobernación y la villa olímpica, además de generarse gran avance la dotación de servicios públicos y vías de comunicación en la ciudad (Sierra, Perdomo, 2015).

Desde su concepción el antiguo Hotel Bucarica se convirtió en centro de atención de toda la ciudadanía, por su imponente arquitectura y magníficos acabados que captaron los mejores comentarios que luego Mediante la resolución No. 002 del 12 de marzo de 1982 el Consejo de Monumentos Nacionales del Ministerio de Cultura lo declaró Monumento Nacional debido a su antigüedad, autenticidad, singularidad, representatividad, valor estético, arquitectónico, histórico y documental; Caracterizándolo como bien inmueble en la región Santander.

Figura 8. Antiguo Hotel Bucarica



Fuente: Sierra, Perdomo, 2016

A finales de 1999 termina su utilización como hotel, fecha a partir de la cual se convierte en sede empresarial y cultural de la Universidad Industrial de Santander, albergando en su interior a algunas dependencias universitarias, como es el caso de: la Dirección de Extensión; las emisoras universitarias UIS Estéreo y UIS A.M, el Centro de Estudios Regionales, la Oficina de Control Interno Disciplinario, el Consultorio Jurídico de la Escuela de Derecho, los salones Santander, Hormiga y Río de Oro; la sala de exposiciones Macaregua, así como también algunas corporaciones en convenio con el sector productivo (UIS, 2015).

Figura 9. Actual Edificio Bucarica UIS



4.1.1.2 Definición del tipo de intervención. En base a la información anterior se determina que el edificio de la Sede UIS Bucarica fue construido antes de la puesta en vigencia de la versión actual del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y según las especificaciones de dicho reglamento en el capítulo A.2 la edificación presenta un cambio de grupo de uso como se muestra a continuación:

- **Grupo de Uso Inicial:** I Estructura de ocupación Normal
- **Grupo de Uso Actual:** II Edificio Gubernamental (f)

4.1.2 Etapa 2: Recopilación y estudio de información técnica de la edificación

4.1.2.1 Diseño Arquitectónico. Del diseño arquitectónico inicial no se encuentra información, sin embargo, se encuentra información de una actualización de los planos realizada en 2012 en base a los planos originales del Arquitecto German Tejero de la Torre en 1940 y la intervención realizada en 1968. En base a la información encontrada de la parte arquitectónica la cual es de gran importancia a la hora de intervenir la estructura por tratarse de una edificación patrimonio nacional, se procede a realizar levantamiento arquitectónico general del edificio con el fin de corroborar tanto medidas, elementos referenciados y distribución de espacios, una vez corroborada dicha información se determina que la edificación consta de 1 sótano de uso comercial y 3 niveles utilizados como oficinas, salones de reunión y centros de estudio, teniendo un total de área construida de 6787 m².

A continuación, se presentan las zonas que definen la configuración arquitectónica de la estructura, dentro de las cuales se destacan fachadas, zonas comunes y demás sitios que deben conservar sus características arquitectónicas en caso de realizarse algún tipo de reparación estructural.

Figura 10. Fachada Sur Edificio Bucarica UIS



Figura 11. Fachada Este Edificio Bucarica UIS



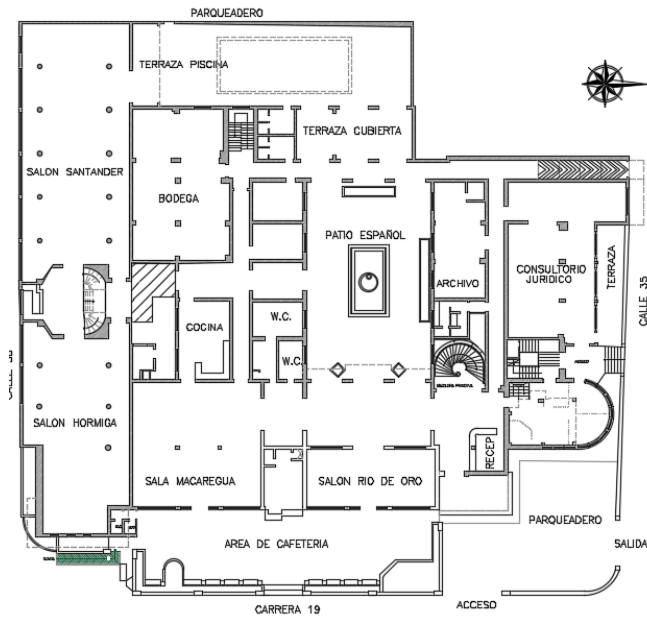
Figura 12. Patío Edificio Bucarica UIS



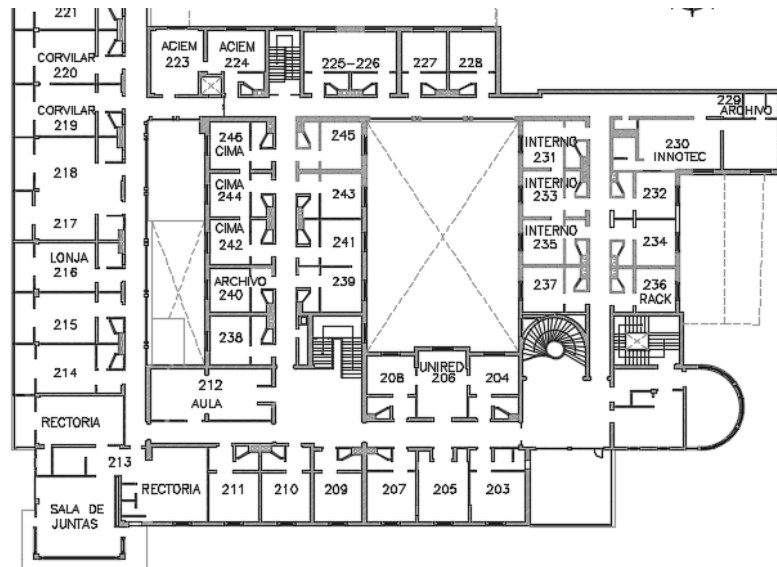
A partir de la información recopilada y corroborada mediante la inspección se realiza la actualización de los planos. A continuación, se presentan plantas y fachadas principales que hacen parte del Anexo A: Planos Arquitectónicos Edificio UIS sede Bucarica, que contienen todo el paquete de planos arquitectónicos.

Figura 13. Anexo A: Planos Arquitectónicos

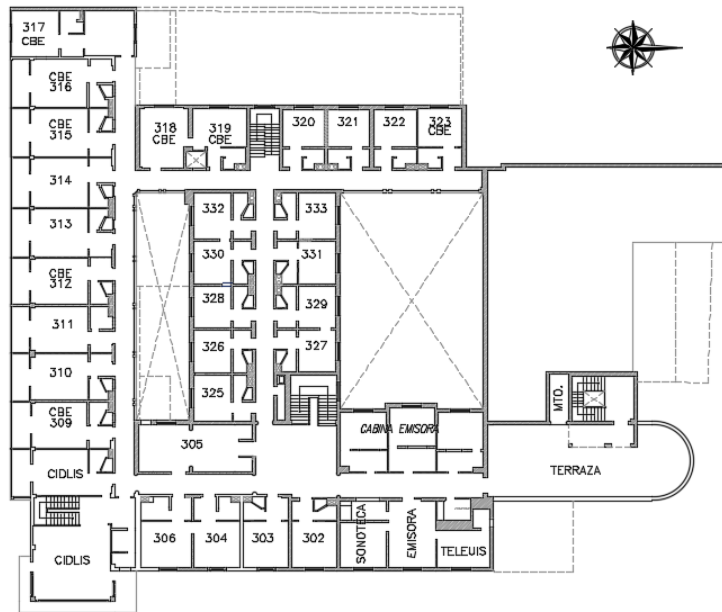
Planta primer piso edificio Bucarica



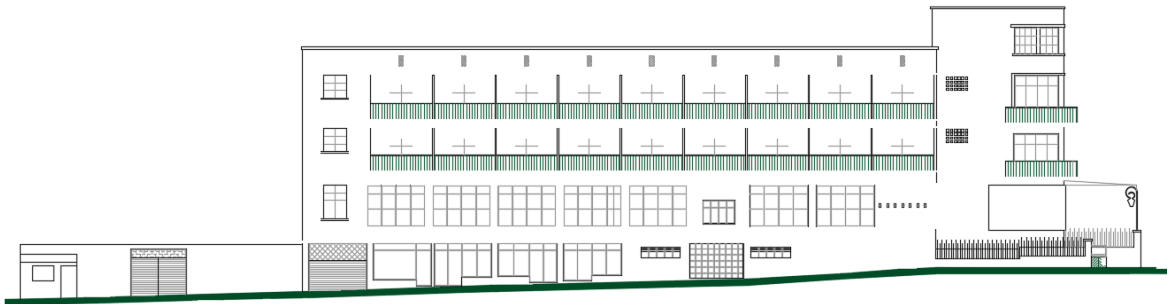
Planta segundo piso edificio Bucarica



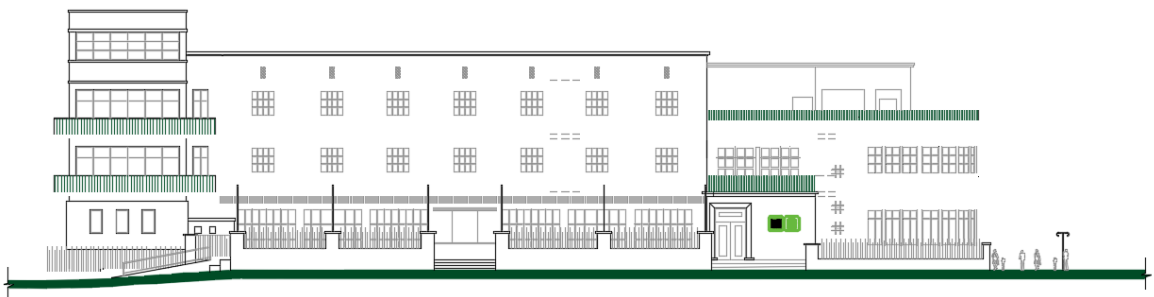
Planta tercer piso edificio Bucarica



Fachada calle 36 edificio Bucarica



Fachada cra 19 edificio Bucarica



Dentro de los objetivos del estudio se planteó la realización de un modelo tridimensional de la arquitectura de la edificación, el cual tiene como finalidad ofrecer una herramienta que permita una mayor concepción de la distribución y funcionamiento de la misma a los encargados de realizar estudios posteriores para su conservación.

Dicho modelo se realiza en base a la información recopilada y registrada en el primer levantamiento realizado y mediante la implementación la licencia académica del software de Arquitectura ARCHICAD versión 17. A continuación se muestra registro fotográfico de dicho modelamiento tridimensional, consignado en el Anexo B: Modelo tridimensional Arquitectónico Edificio UIS sede Bucarica:

Figura 14. Modelo Tridimensional Arquitectónico





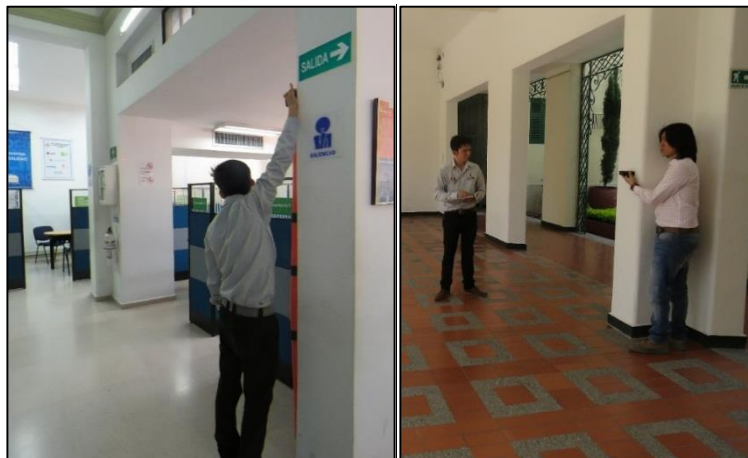
4.1.2.2 Diseño estructural. Del diseño estructural inicial tampoco existe información, más sin embargo en el levantamiento mencionado en el numeral anterior existe acerca del sistema de cimentación y ubicación de muros y columnas.

Como estudio de la información encontrada, se realiza un levantamiento de la estructura con el fin de determinar inconsistencias en cuanto a dimensiones de elementos y posibles intervenciones no registradas posteriores al levantamiento encontrado como se evidencia en el siguiente registro fotográfico.

Figura 15. Registro fotográfico levantamiento de la estructura



Figura 16. Registro fotográfico levantamiento de la estructura



Una vez realizada la verificación en el sitio de la información encontrada, se emiten la actualización de los planos estructurales consignados en el Anexo C: Planos Estructurales Edificio UIS sede Bucarica.

4.1.2.3 Estudio Geotécnico. En la revisión realizada no se encuentra información que permita evidenciar la realización de un estudio geotécnico ni antes ni después de la construcción de la edificación. La realización de un estudio de este tipo requiere la intervención de la estructura, dicha intervención debe ser ejecutada bajo un estudio previo de modo que no vaya a afectar las características arquitectónicas de la edificación, teniendo en cuenta que las reparaciones necesarias concuerden con los acabados existentes.

Dentro del alcance del proyecto no está contemplado la realización de un estudio geotécnico y falta de información se definen los parámetros que caracterizan el tipo de suelo en base a las especificaciones de la Normativa NSR-10 en cuanto a Zona de amenaza Sísmica y para el tipo de suelo y capacidad portante se recurre a la investigación de estudios realizados en predios aledaños a la edificación y consulta con profesionales reconocidos de la región en la realización de dichos estudios, para lo cual se definen los siguientes parámetros:

- Coeficiente de aceleración A_a : 0,15 A_v : 0,15. Según tabla A.2-2 NSR-10 Título A
- Perfil de suelo tipo D
- Coeficiente de importancia correspondiente al grupo de uso II: 1.10, Según tabla A.2-4 NSR-10 TITULO A.

4.1.3 Etapa 3: Calificación del estado del sistema estructural. En esta etapa se realiza la calificación de la estructura basada en la inspección visual y se realiza la caracterización de materiales de la estructura, mediante la aplicación de ensayos no destructivos a elementos estructurales representativos de la estructura



4.1.3.1 Calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación. Dentro del levantamiento estructural enunciado en el numeral anterior del presente documento, se realiza la inspección visual de la edificación y en base a la información recopilada se definen las siguientes características de la edificación en cuanto al diseño original:

- Edificación compuesta por 1 sótano, un nivel con zonas de entrapiso y contrapiso, 2 niveles con sistemas de piso y cubierta en teja eternit.
- Sistema de cimentación consiste en zapatas aisladas de concreto reforzado amarradas por vigas de cimentación.
- Sistema estructural de pórticos de concreto reforzado combinado con muros de los cuales no existe información acerca del material de construcción.

En base a lo anterior y la información recopilada se realiza la calificación del diseño de la estructura original, teniendo en cuenta que en el caso del sistema de cimentación esta calificación se realiza en base a la información recopilada puesto que no se realizan exploraciones debido al alcance del presente estudio.

Figura 17. Formato de evaluación calidad del diseño y la construcción de la estructura original

ESTUDIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO EDIFICIO SEDE UIS BUCARICA	
Directores: Iván Celis M - Wilmer Duarte V	Fecha: 05/10/2015
Contiene: ESTADO DE LA ESTRUCTURA	Hoja: 1

CONSTRUIAMOS FUTURO


CALIDAD DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL (A.10.2.2.1 NSR-10)

<p>1 REGISTRO INTERVENTORIA SI NO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>2 EDAD DE LA ESTRUCTURA: <u>76</u> AÑOS</p> <p>3 PROCESO DE CONSTRUCCION EDIFICACION ORIGINAL <u>Debido a la importancia de la edificación para el desarrollo regional y teniendo en cuenta que la ciudad sería sede de los V juegos nacionales se estima que la estructura contó con un buen proceso de diseño y construcción ejecutado por diseñadores y constructores reconocidos en la época, como por ejemplo el arquitecto español Germán Tejeiro de la Torre.</u></p> <p>4 MODIFICACIONES POSTERIORES AL DISEÑO ORIGINAL <u>Se evidencia la inhabilidad de la piscina, además de la ampliación en la zona sur colindante con la calle 36, zona de los locales comerciales y salones de reunión</u></p> <p>5 COMPORTAMIENTO SEGÚN DISTRIBUCIÓN DE LA ESTRUCTURA <u>Se estima que debido a la intervención en la zona sur la edificación puede llegar a presentar problemas de torsión debido a su nueva distribución de rigidez y masas de la estructura.</u></p> <p>6 CALIDAD DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL (NSR-10 A.10.2.2.1)</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20%;">BUENA</td> <td style="width: 10%;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 70%;"><u>Aunque superficialmente se ve en buen estado, no se puede determinar una buena calidad en el diseño y construcción puesto que</u></td> </tr> <tr> <td>REGULAR</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><u>debido al uso de la edificación esta debe mantener sus acabados en</u></td> </tr> <tr> <td>MALA</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><u>buen estado, además de contar con muchos cielosraos que pueden ocultar o limita dicha inspección para una mejor valoración.</u></td> </tr> </table>	BUENA	<input type="checkbox"/>	<u>Aunque superficialmente se ve en buen estado, no se puede determinar una buena calidad en el diseño y construcción puesto que</u>	REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>debido al uso de la edificación esta debe mantener sus acabados en</u>	MALA	<input type="checkbox"/>	<u>buen estado, además de contar con muchos cielosraos que pueden ocultar o limita dicha inspección para una mejor valoración.</u>	<p>OBSERVACIONES: <u>Se hace necesario realizar el estudio de suelos con el fin de definir los parámetros sísmicos de la edificación (No esta en el alcance del proyecto).</u></p>
BUENA	<input type="checkbox"/>	<u>Aunque superficialmente se ve en buen estado, no se puede determinar una buena calidad en el diseño y construcción puesto que</u>								
REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>debido al uso de la edificación esta debe mantener sus acabados en</u>								
MALA	<input type="checkbox"/>	<u>buen estado, además de contar con muchos cielosraos que pueden ocultar o limita dicha inspección para una mejor valoración.</u>								

4.1.3.2 El estado de mantenimiento y conservación de la estructura.

Para realizar la calificación del estado actual de la edificación se realiza la inspección visual de cada uno de los ítems enunciados por la NSR-10 para realizar dicha calificación. A continuación, se presentan los resultados de dicha inspección visual:

Figura 18. Formato de evaluación de mantenimiento y conservación de estructura

ESTUDIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNOSTICO EDIFICIO SEDE UIS BUCARICA		 Universidad Industrial de Santander CONSTRUIAMOS FUTURO
Directores: Iván Celis M - Wilmer Duarte V	Fecha: 05/10/2015	
Contiene: TIPO DE EXPLORACIONES	Hoja: 1	

INFORMACIÓN PREVIA (A.10.2.1 NSR-10)					
1 SISTEMA DE CIMENTACION CONSTATADA EN CAMPO:					
No se puede constatar el sistema de cimentación, mas sin embargo en base al sistema estructural, la edad y la información recopilada se asumen zapatas aisladas como sistema de cimentación de la estructura.					
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>		SI	NO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SI	NO				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
2 FALLAS LOCALES					
No se evidencian fallas locales, ni se presentan daño en los acabados que podría ser un factor de predicción, mas sin embargo no se descartan por existir zonas que requieren ser intervenidas para poder ser inspeccionadas, que no se contempla en el alcance					
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>		SI	NO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SI	NO				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
3 DEFLEXIONES EXCESIVAS					
No se evidencian deflexiones, ni se presentan daño en los acabados que podría ser un factor de predicción, mas sin embargo no se descartan por existir zonas que requieren ser intervenidas para poder ser inspeccionadas, que no se contempla en el alcance					
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>		SI	NO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SI	NO				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
4 CORROSIÓN EN ARMADURAS					
No se evidencia exposición del acero de refuerzo que pueda sufrir corrosión.					
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>		SI	NO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SI	NO				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
5 ASENTAMIENTOS Y SUS EFECTOS					
No se evidencian daños relacionados con asentamientos de la estructura.					
6 EVENTOS EXTRAORDINARIOS QUE HAYAN PODIDO AFECTAR LA INTEGRIDAD DE LA ESTRUCTURA (SISMOS, INCENDIOS, REMODELACIONES, CAMBIOS DE USO)					
Se realiza la anulación de la piscina, ampliación de la zona de locales y pasa grupo de uso I a grupo de uso II.					
Se registra un evento sísmico el 10 de marzo de 2015 el cual no causa daños evidentes en la edificación, el cual se tomara como referencia para indagar sobre su comportamiento.					
7 ESTADO DE LA ESTRUCTURA (NSR-10 A.10.2.2.2) DEFLEXIONES, SOBRECARGAS, DETERIORO.					
No se evidencian daños a simple vista, ni					
BUENA	<input checked="" type="checkbox"/>				
REGULAR	<input type="checkbox"/>				
MALA	<input type="checkbox"/>				
deflexiones excesivas, la estructura cuenta con buena conservación debido a su uso y requerimiento al ser catalogado patrimonio urbano de Bucaramanga, no se descarta la presencia de dichos factores de daño debido a la conservación de los acabados que ha tenido la edificación que pueden ocultar los daños estructurales en estudio.					

4.1.3.3 Ensayo de esclerómetro. Este ensayo se realiza según las especificaciones de la NTC 3692 [24]

4.1.3.3.1 Descripción. Ensayo no destructivo el cual consiste en medir el número de rebote del concreto endurecido o mampostería, para así determinar su resistencia a la compresión y su uniformidad, identificando zonas pobres de calidad o con alto deterioro. [NTC 3692].

Figura 19. Esclerómetro



4.1.3.3.2 procedimiento de trabajo:

- Se realiza el ensayo sosteniendo el instrumento (Esclerómetro) en una posición que permita que el embolo golpee perpendicularmente la superficie ensayada.
- Se hace presión sobre el embolo hasta que el martillo golpee.
- Una vez el martillo golpee, se realiza el registro del número de rebote hasta dos cifras significativas.
- Se toman 9 registros por área ensayada, teniendo en cuenta que no se deben hacer dos impactos en menos de 25 mm.

- Para los cálculos se deben descartar lecturas que difieren del promedio de las 9 lecturas en más de 7 unidades.
- Si más de 2 lecturas difieren del promedio en 7 unidades se debe descartar el conjunto completo de lecturas.

Figura 20. Ensayo de esclerómetro



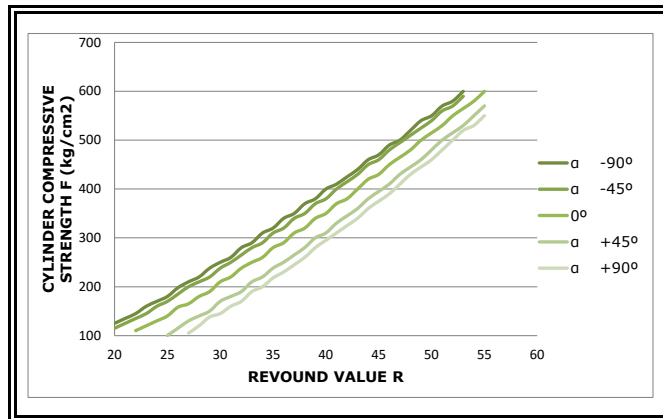
4.1.3.3.3 Registro y resultados del ensayo. La ubicación de los registros se especifica en los planos que contiene el Anexo D: Planos de ubicación registros ensayos no destructivos Edificio UIS sede Bucarica y los resultados del ensayo se muestran a continuación:

Figura 21. Formato ensayo esclerómetro

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD EDIFICIO SEDE UIS BUCARICA	
Directores: Iván Celis M - Wilmer Duarte V	Fecha: 20/10/2015
Contiene: PRUEBA DE ESCLERÓMETRO	Hoja: 1



REGISTRO	ELEMENTO	IMPACTO									PROM.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
R_001	COL - C8	19	22	21	23	22	22	25	24	22	22.22
R_002	COL - C7	23	27	19	22	21	19	21	23	24	22.11
R_003	COL - H8	25	26	27	20	28	28	22	27	25	25.33
R_004	M - H9I	29	35	21	21	30	23	22	23	27	25.67
R_005	COL-I6	24	23	23	26	27	26	25	24	28	25.11
R_006	M-F10	22	24	23	27	22	26	21	18	22	22.78
R_007	M-D6	21	22	24	21	23	21	24	21	22	22.11
R_008	COL-B'11	23	23	24	19	22	20	24	22	21	22.00
R_009	M-2H'3	21	22	24	20	23	23	24	21	22	22.22
R_010	M-3H4	24	20	24	23	23	25	16	24	22	22.33



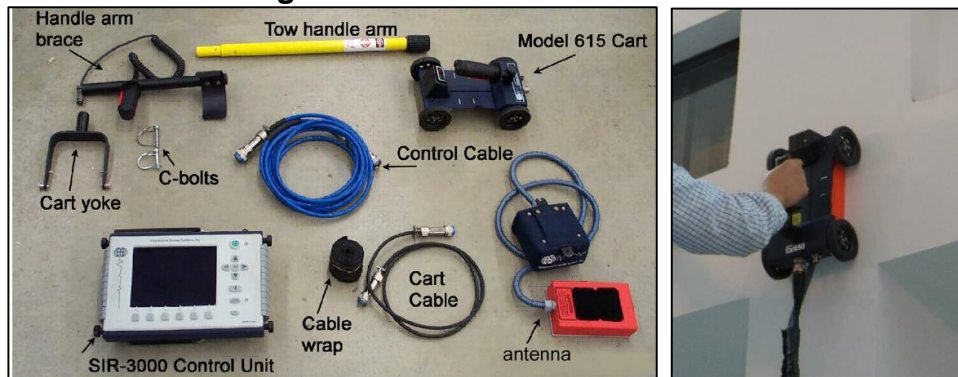
RESULTADOS		
REG	F _c [kgf/cm ²]	F _c [MPa]
R_001	112.22	11.01
R_002	111.11	10.90
R_003	146.00	14.32
R_004	152.00	14.91
R_005	142.00	13.93
R_006	117.78	11.55
R_007	111.11	10.90
R_008	110.00	10.79
R_009	112.22	11.01
R_010	113.33	11.12

4.1.3.4 Inspección con Geo-radar estructural y ferrodetector Hilti PS-35. Dicho procedimiento se realiza con el fin de determinar cuáles elementos estructurales cuenta con armadura de acero y así dar una cartelización inicial de tipo de elemento y el material del cual está compuesto lo cual es necesario en la realización del modelo matemático que se asemeje al estado actual de la estructura. Se inspeccionan los elementos de la estructura según la información encontrada y el levantamiento realizado; para dicha labor se implementa como primera medida de inspección el geo-radar Estructural y después con el fin de corroborar dicha información el uso de un ferrodetector Hilti ps-35.

4.1.3.4.1 Descripción de los equipos:

- **Geo-Radar Estructural.** Equipo con tecnología Ground Penetration Radar (GPR), trabaja enviando un pulso de energía electromagnética y al chocar contra un material, genera un reflejo que se visualiza en forma de contraste. Una vez recibida la señal, un sofisticado software permite la interpretación de los datos obtenidos, emitiendo análisis de integridad en tiempo real en 2D y 3D. Dentro de las aplicaciones en su implementación como método no destructivo para identificar y localizar armaduras y discontinuidades dentro del hormigón reforzado (GEO-RADAR, 2015).

Figura 22. Geo-Radar Estructural



Fuente: StructureScan Standard, 2015

- **Ferrodetectador Hilti PS-35.** Este equipo está diseñado para detectar metales ferrosos (hierros de armadura), metales no ferrosos (cobre y aluminio) y para medir la profundidad de hierros de armadura. Este dispositivo cuenta con una recisión de localización: ± 10 mm, profundidad de detección máxima para objetos metálicos no ferrosos: 80 mm y profundidad máx. de detección para barra de refuerzo: 120 mm.

Figura 23. Ferrodetectador Hilti PS-35



4.1.3.4.2 Procedimiento de trabajo Geo-Radar Estructural:

- En base a la información encontrada y el levantamiento realizado se determinan los elementos a inspeccionar, asignando una nomenclatura que concuerde con su ubicación en los planos.
- Se realiza la instalación de las partes del equipo y se escoge la antena a usar teniendo en cuenta el tipo de estructura a inspeccionar, para este caso se usa una de 6787 m².
- Se realizan los registros, escaneando el elemento en la dirección de estudio longitudinal o transversal, teniendo en cuenta la activación de la grabación y que se deben inspeccionar zonas planas evitando discontinuidades que no permitan el giro de las ruedas del dispositivo.
- Se hace necesario la implementación de un formato donde se consigne la información de los registros relacionando su número con la

nomenclatura del elemento y la dirección y ubicación en el mismo, lo cual facilitara el procesamiento de dicha información grabada.

- Una vez tomados los registros en campo se procesan los datos para la obtención de los radagramas mediante la implementación del software del equipo.

Figura 24. Inspección Geo-Radar Estructural en losa



Figura 25. Inspección Geo-Radar en Vigas, Columnas y muros



4.1.3.4.3 Procedimiento de trabajo Ferrodetector Hilti PS-35. Una vez procesados los datos de los registros del Geo-Radar estructural, se realiza la verificación de los resultados, en base a los radagramas de las zonas inspeccionadas, además de la inspección de elementos de difícil inspección con el Geo-Radar estructural siguiendo el procedimiento enunciado a continuación:

- Se determinan las zonas a inspeccionar, para este caso son las mismas definidas en la inspección con el Geo-Radar estructural por tratarse de una verificación además de las zonas de difícil acceso del dispositivo anterior.
- Se coloca la herramienta lenta y cuidadosamente sobre la superficie que se va a examinar.
- La inspección se realiza con una velocidad máxima de 20 cm/s (9 in/s).

Figura 26. Inspección Ferrodetector Hilti PS-35



4.1.3.4.4 Resultados. Los resultados de este ensayo se encuentran consignados en el Anexo E: Radagramas ensayo de inspección con Geo-radar estructural.

4.1.3.5 Registro de vibración ambiental. El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10), en su capítulo A.11 INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA indica cuando deben colocarse instrumentos sísmicos en las edificaciones, en donde deben localizarse y quien corre con los costos de los instrumentos, el espacio que estos ocupen y del mantenimiento y vigilancia de los mismos. El objetivo de este ensayo consiste en identificar la forma modal fundamental de la estructura, y se realiza mediante la medición de las aceleraciones generadas por las condiciones ambientales a las cuales se encuentra sometida la estructura.

4.1.3.5.1 Conceptualización del ensayo. Las pruebas dinámicas experimentales en edificaciones miden parámetros (desplazamiento, velocidad y aceleración) de la estructura cuando esta es sometida a una excitación. Estas mediciones generalmente se realizan para calcular características dinámicas de la estructura, como por ejemplo sus frecuencias dominantes, modos de vibración y amortiguamiento; y así tener una mejor concepción del comportamiento sísmico de la estructura.

La realización de este tipo de pruebas en estructuras puede ser clasificada en tres grupos dependiendo del tipo de excitación a la cual está sometida la estructura.

- **Mediciones sísmicas.** Las mediciones sísmicas son aquellas que se realizan ante la ocurrencia de eventos sísmicos reales que afectan directamente a una edificación a la que previamente se ha realizado la colocación de instrumentación sísmica permanente. En este tipo de medición se puede estudiar el comportamiento real de las estructuras sometida a aceleraciones reales del terreno
- **Vibraciones ambientales.** Este tipo de pruebas consiste en medir las vibraciones de las estructuras producidas por excitaciones de carácter

ambiental, como lo son las producidas por el tránsito de los vehículos y el viento (MURIÀ Y GONZALEZ, 1995).

Para la realización de este tipo de pruebas se requiere instrumentos con la adecuada resolución debido a las bajas amplitudes registradas y su mayor dificultad radica en la determinación de la fuente (y por consiguiente la señal) de excitación del sistema. Este tipo de mediciones es ideal para casos donde no se cuenta con instrumentación permanente ya que se puede realizar en cualquier momento y a estructuras reales. El caso de estudio se enfoca en caracterizar la estructura mediante este tipo de prueba.

- **Vibraciones forzadas.** Las vibraciones forzadas son aquellas en las que se genera una excitación de manera artificial, de tal modo que afecte la estructura a la cual se le desean realizar las mediciones.

4.1.3.5.2 Descripción del equipo. Para la adquisición de datos se utilizaron 3 sensores OBSIDIAN elaborados por la empresa KINEMETRCS; estos equipos fueron prestados por el grupo de investigación en materiales y estructuras de construcción (INME) de la Universidad Industrial de Santander

Figura 27. Sistema de adquisición de datos multicanal



El Obsidian es un sistema de adquisición de datos multicanal que filtra y procesa las señales por un sistema de procesamiento de señales digitales de alta velocidad, puede tener 4 o 8 canales de sensor individual dependiendo de

su configuración, y está disponible con su acelerómetro triaxial interno además cuenta con conectores externos para permitir que el usuario conecte sensores del tipo Epi-Sensor al sistema.

La interacción del usuario con el sistema es a través del software Rockhound para la configuración, el control y el funcionamiento del sistema, y a través de los conectores del panel frontal la conexión física de la fuente de poder, sensores, dispositivos de comunicación y el GPS.

Tabla 1. Especificaciones equipo de vibración ambiental

Channels	
Obsidian:	3 +1 sensor channels digital recorder 2 x (3+1) Channels (Obsidian 8X) 3 x (3+1) Channels (Obsidian 12X) 6 x (3+1) Channels (Obsidian 24X) 9 x (3+1) Channels (Obsidian 36X)
Data Acquisition	
Type:	Individual 24-bit Delta Sigma converter per channel
Anti-alias filter:	Double Precision FIR Filter Causal/Acausal; >140 dB attenuation at output Nyquist
Dynamic range:	200 sps ~127 dB (RMS noise to RMS clip - Typical) 100 sps ~130 dB (RMS noise to RMS clip - Typical)
Frequency response:	DC to 80 Hz @ 200 sps
Sampling rates:	1, 10, 20, 50, 100, 200, 250, 500, 1000, 2000, 5000 sps
Channel skew:	None – simultaneous sampling of all channels
Acquisition modes:	Continuous, triggered, time windows
Output data format	: 24 bit signed (3 bytes) in user selectable format
Parameter calculations:	Calculations of key parameters in real- time including JMA intensity
Real time digital output:	Ethernet or RS-232 output of digital stream

Fuente: Kinematics, 2015

4.1.3.5.3 Procedimiento de trabajo. Se dispuso de tres instrumentos registrando de manera simultánea en la altura de la edificación, de tal manera que se el Obsidian 207 se colocó en la base para registrar las vibraciones exteriores, no afectadas por la estructura y así denominarse como la señal de

entrada, el Obsidian 208 quedo en la segunda planta y finalmente el Obsidian 210 se ubicó en el nivel superior.

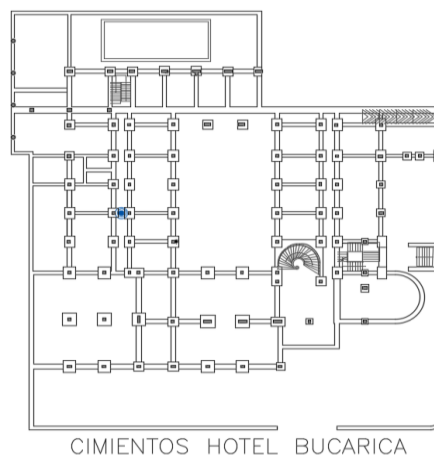
Los instrumentos empleados cuentan con tres sensores triaxiales con dos componentes horizontales ortogonales u una componente vertical. Las pruebas de vibración ambiental consisten en monitorear la estructura por un período de tiempo en el cual no se le inducen excitaciones externas al normal uso de la edificación.

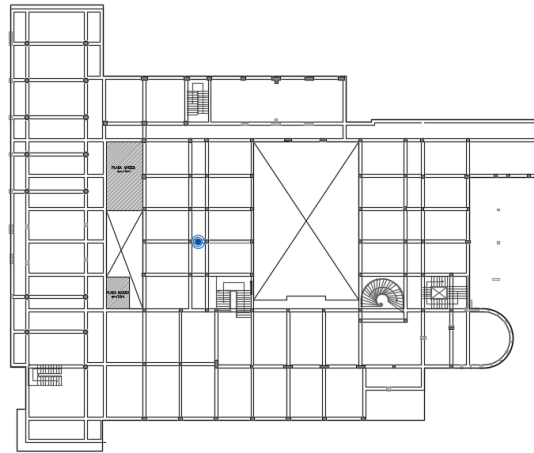
Figura 28. Instrumentación sísmica



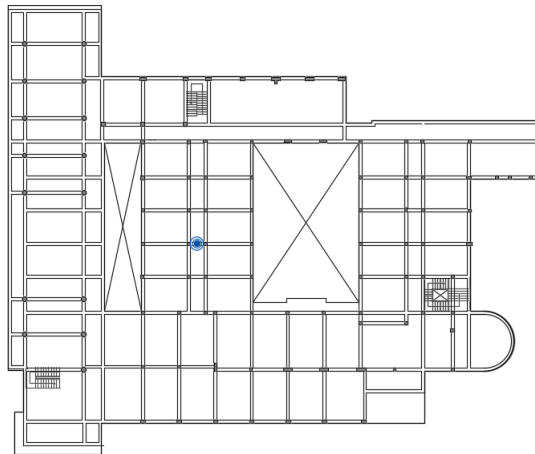
A continuación, se muestra la ubicación de la instrumentación en cada una de las plantas de la estructura:

Figura 29. Ubicación de la instrumentación





PLANTA SEGUNDO PISO SEDE BUCARICA



PLANTA TERCER PISO SEDE BUCARICA

4.1.3.5.4 Análisis de datos. Una vez obtenidos los valores de los registros de aceleración en función del tiempo con los sensores triaxiales se procede al tratamiento de señales y el análisis de su comportamiento en el intervalo de tiempo definido. Para la estructura en estudio solo se tendrán en cuenta las frecuencias entre 10Hz y 30Hz por tratarse de un edificio de poca altura.

Las propiedades dinámicas de un sistema estructural se pueden analizar mediante técnicas paramétricas y técnicas no paramétricas como a continuación se describe:

- **Técnicas no paramétricas.** Las técnicas no paramétricas consisten en determinar las características del sistema estructural a partir del análisis de los datos en los dominios del tiempo y de la frecuencia (MURIÁ, 2007). Esta técnica permite determinar las propiedades dinámicas de las estructuras a partir del análisis de datos experimentales. Este tipo de resultados se logra mediante la implementación de procedimientos matemáticos, transformaciones y funciones.
- **Técnicas paramétricas.** Las técnicas paramétricas establecen un modelo matemático simplificado y se estiman los valores de los parámetros estructurales necesarios para producir una óptima correlación entre las respuestas medidas y las calculadas (MURIÁ, 2007). Para éste se hace uso de la teoría del análisis y dinámica estructural para modelar la estructura y obtener las propiedades de la estructura.

Análisis de señales: Para la identificación de las propiedades de un sistema a partir de registros producto de mediciones, se utiliza la teoría del análisis espectral con algunas consideraciones propias de la adaptación de la matemática ideal a las mediciones finitas.

Se plantean tres fases o etapas en las que se puede dividir el análisis de las señales:

- **Análisis en el dominio del tiempo.** Este análisis contiene las formulaciones y análisis realizados mediante la manipulación de las señales tal como son obtenidas a partir de la medición. Como se ha mostrado, este tipo de análisis no es concluyente en sí mismo, ya que a partir de él no es posible identificar fácilmente las propiedades de un sistema estructural, pero sí es la base para el análisis en el dominio de la frecuencia.

- **Análisis en el dominio de la frecuencia.** Las mediciones en el dominio de la frecuencia son de mayor utilidad en el campo de la ingeniería y específicamente para la identificación de las propiedades de sistemas estructurales como los que son producto de esta investigación.

Lo que se obtiene en el análisis frecuencial, son funciones de densidad espectral en las que se muestra para cada frecuencia dada, un valor de amplitud. Estadísticamente una función de densidad es una función $f_x(x)$ tal que la probabilidad de que (x) esté en el intervalo $x, x+dx$ sea $f_x dx$ (BENJAMIN Y CORNELL, 1981). Así una función de densidad espectral dará una muestra de cómo están distribuidas las componentes frecuenciales de una señal y mostrará picos en los puntos asociados a frecuencias presentes y dominantes de la señal.

- **Tratamiento digital de señales.** Previo al análisis de las señales para determinar las propiedades de un sistema, es conveniente realizar una calificación y adecuación de los registros de manera que permitan la identificación de las propiedades del sistema, eliminando al máximo posibles errores o alteraciones en la toma de datos, las condiciones de la muestra o la configuración propia de los equipos, es por esto que se describen una serie de procedimientos de preparación de los datos.

Corrección de línea base y eliminación de tendencia: Generalmente se presenta que los valores obtenidos en el registro se encuentran desplazados respecto del origen, en la mayoría de los casos debido a configuraciones internas del equipo de medición. Si bien este problema puede ser importante cuando se obtienen velocidad y desplazamiento por medio de integración, ya que estos procedimientos contabilizan el área entre la curva de aceleraciones y la línea del origen (CARREÑO, 1999).

Dentro de la preparación de los datos para su correcto análisis se encuentra un procedimiento de estandarización conveniente para posteriores cálculos, también llamado corrección de línea base, mediante el cual se transforman los valores de la muestra en un nuevo conjunto de valores que tienen un promedio de muestra igual a cero (BENDAT Y PIERSOL, 2010).

Filtrado: Un filtro se asume que es un sistema para pasar el contenido espectral de una señal de entrada en una cierta banda específica de frecuencias, es decir, la función de transferencia filtro forma una ventana en el dominio de la frecuencia a través de la cual a una porción del espectro de entrada se le permite pasar (STERARNS Y HUSH, 1990). Dependiendo del tipo de frecuencias que se desean aislar o eliminar se define el tipo de filtro que se utiliza. El filtro puede eliminar altas frecuencias (pasa baja), eliminar bajas frecuencias (pasa alta), eliminar altas y bajas frecuencias dejando solo un rango determinado (pasa banda) o eliminar frecuencias en un tramo dejando altas y bajas frecuencias (quita banda).

4.1.3.5.5 Resultados del análisis. Una vez finalizada la campaña de mediciones y obtenidos los valores de los registros de aceleración en función del tiempo con los sensores triaxiales se procede al tratamiento de señales y el análisis del dominio en el tiempo, para esto se utilizó como ayuda un código de programación realizado en el programa MATLAB™ (Ver Anexo F: Código programación para análisis de señales).

- **Análisis modal en la dirección X**

A partir de los resultados obtenidos de la instrumentación de la edificación, se puede determinar las formas modales con las que vibra la estructura. Esto es

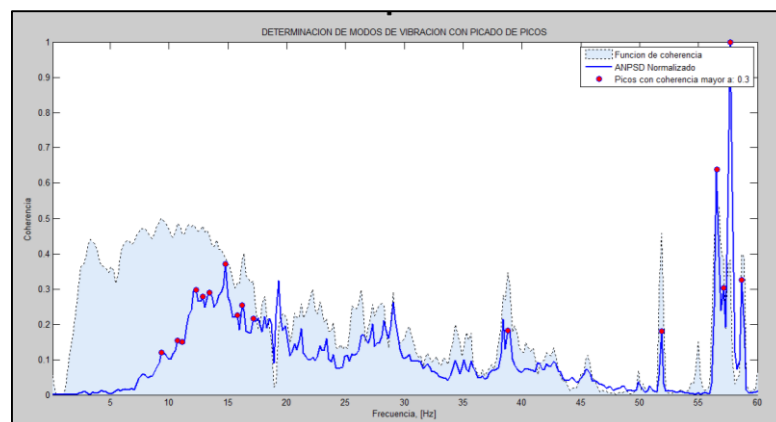
posible gracias a que la instrumentación empleada registra de manera simultánea las vibraciones en cada nivel de la estructura.

El método consiste en que el espectro de Fourier permite conocer la amplitud que alcanza la vibración en cada nivel y para cada frecuencia y el espectro de fase del análisis cruzado de las señales permite conocer la dirección en la que estos se encuentran relativamente. Se pueden identificar tantas formas modales como modos de vibración sea posible identificar por medio del análisis. (BOTERO, HENAO, 2013).

En primer lugar, se debe identificar la frecuencia de vibración de la estructura de la cual se desea identificar su forma modal para esto se seleccionan los picos de la función densidad de probabilidad, con un valor de coherencia aceptable; esto debe hacerse únicamente en el rango de frecuencias de estudio.

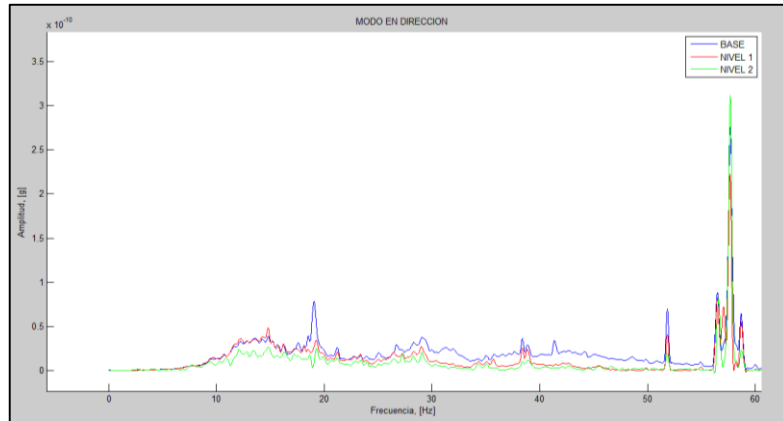
La siguiente grafica muestra mediante una línea azul la densidad de probabilidad normalizada, y una serie de puntos color rojo que indican picos de densidad de probabilidad que presentan una coherencia mayor a 0.3 y el área color celeste representa la función de coherencia.

Figura 30. Picos de densidad de probabilidad y coherencia



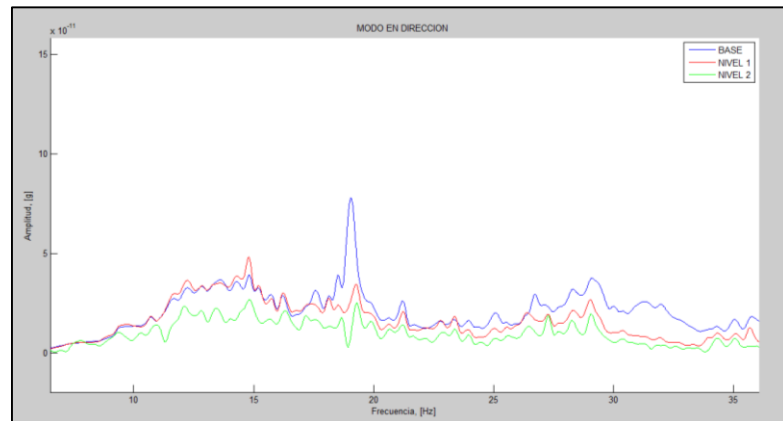
Luego se procede a obtener los espectros de amplitudes de Fourier de cada uno de los niveles instrumentados ver las siguientes gráficas. Se sobreponen lo datos de cada una de las plantas (Base, segunda planta y tercera planta) en una misma gráfica para facilitar y agilizar la visualización de la información. Posteriormente se debe obtener del espectro de cada nivel su punto máximo.

Figura 31. Espectros de amplitudes de Fourier



Esta grafica es un zoom de la anterior donde se muestran los intervalos de frecuencia de interés.

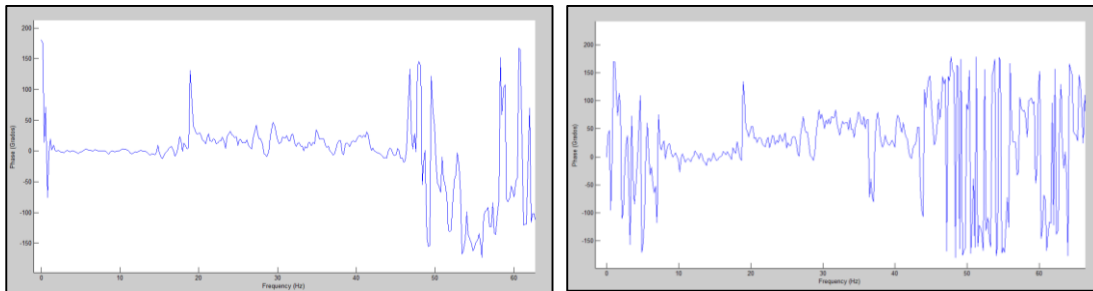
Figura 32. Espectros de amplitudes de Fourier para frecuencias entre 10Hz y 30 Hz



Entre cada par de señales se encuentra el ángulo de fase del espectro cruzado de potencia el cual me indica si los puntos se mueven en la misma dirección o en dirección contraria. Si los niveles se encuentran en fase (Ángulo 0), las amplitudes ocurren con el mismo signo, si se encuentran en fase opuesta (Ángulo $\pm\pi$), las amplitudes se escriben con signo contrario.

A continuación, se muestra el comportamiento de la fase de las plantas dos y tres con respecto a la base de la estructura

Figura 33. Fase plantas superiores respecto a ala base



En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de manera numérica de la fase y su respectiva frecuencia de las plantas superiores con respecto a la base de la estructura.

Tabla 2. Fase y frecuencia de los entresijos con respecto a la base en dirección X

NIVEL 2 CON RESPECTO A LA BASE

FASE	-0.77	2.51	1.97	-1.88	0.61	-0.86	-2.10	-7.41	0.55	-8.54	11.48	[Grados]
FRECUENCIA	9.3	10.7	11.1	12.3	12.8	13.4	14.8	15.8	16.1	17.1	38.7	[Hz]

NIVEL 3 CON RESPECTO A LA BASE

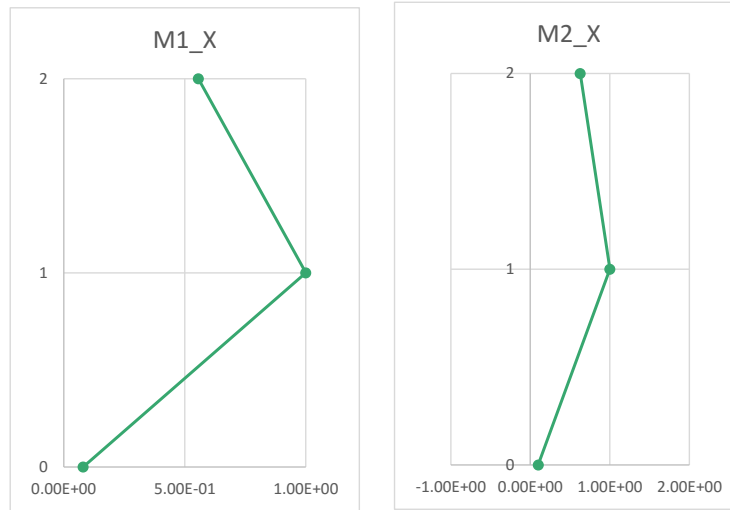
FASE	-0.49	5.21	-9.24	1.64	3.22	3.77	-2.76	-0.86	2.51	4.19	38.41	[Grados]
FRECUENCIA	9.3	10.7	11.1	12.3	12.8	13.4	14.8	15.8	16.1	17.1	38.7	[Hz]

A continuación, se presenta tabla y la gráfica de amplitudes para los dos primeros modos de vibración de la estructura.

Tabla 3. Amplitudes para los dos modos de vibración en dirección X

frec	Modo	Nivel 0 - Y			Nivel 1 - Y			Nivel 2 - Y		
		Amplitud	Amp. Normal	desfase	Amplitud	Amp. Normal	desfase	Amplitud	Amp. Normal	desfase
14.8	M1_X	3.86E-12	8.01E-02	0	4.82E-11	1	-2.1	2.68E-11	0.556016598	-2.76
12.8	M2_X	3.36E-12	9.94E-02	0	3.38E-11	1	0.61	2.12E-11	0.627218935	3.32

Figura 34. Modos de vibración en dirección X



- Análisis modal en la dirección Y**

Para el análisis en la dirección Y se emplea el mismo análisis, por ello solo se muestran los resultados y no se explica nuevamente el procedimiento:

Figura 35. Picos de densidad de probabilidad y coherencia

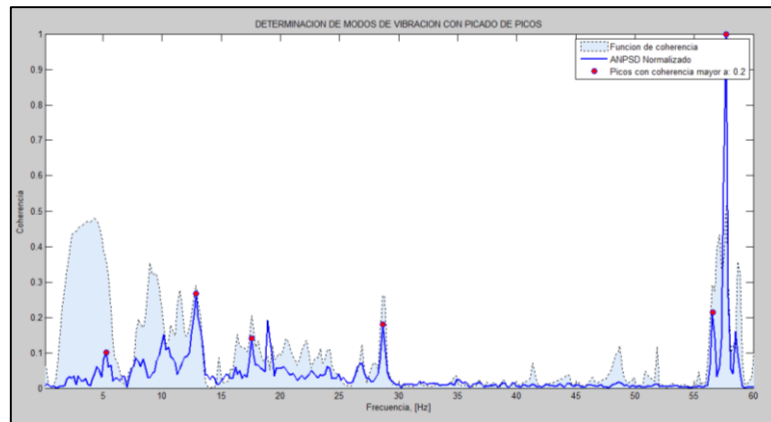


Figura 36. Espectros de amplitudes de Fourier

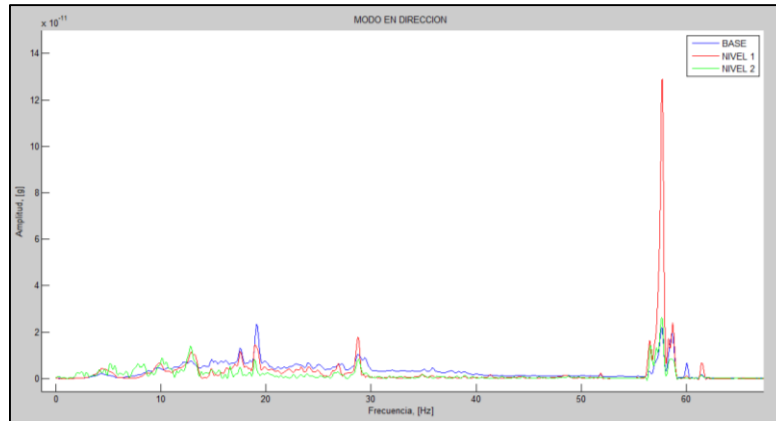


Figura 37. Espectros de amplitudes de Fourier para frecuencias entre 10Hz y 30 Hz

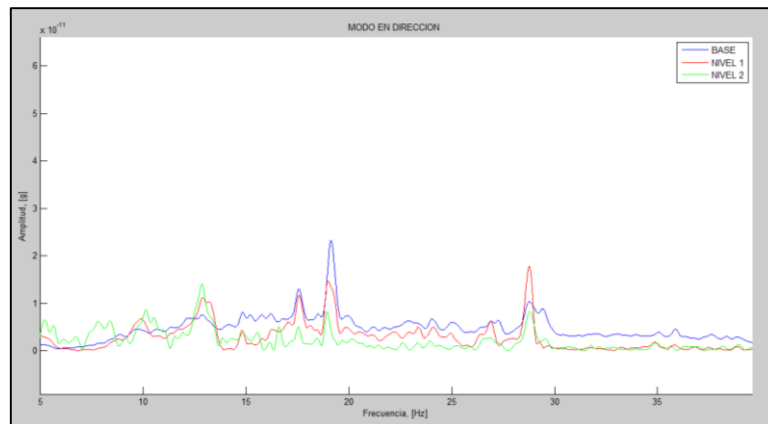


Figura 38. Fase plantas superiores respecto a la base

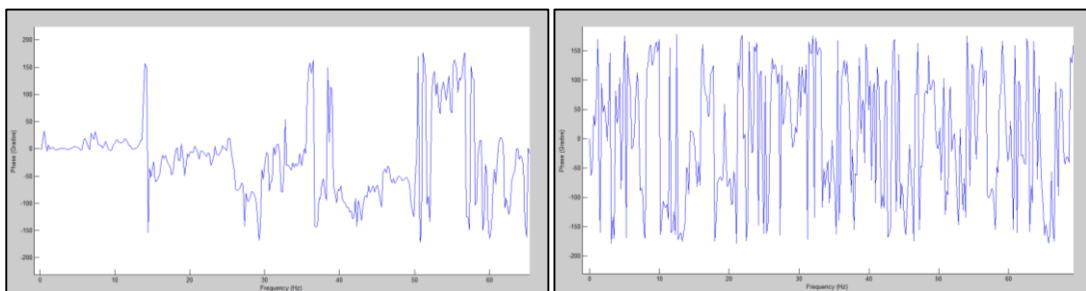


Tabla 4. Fase y frecuencia de los entrepisos con respecto a la base en dirección Y

NIVEL 2 CON RESPECTO A LA BASE

FASE	2.04	0.34	-32.29	-80.48	137.62	151.13	[Grados]
FRECUENCIA	5.3	12.8	17.5	28.6	56.4	57.6	[Hz]

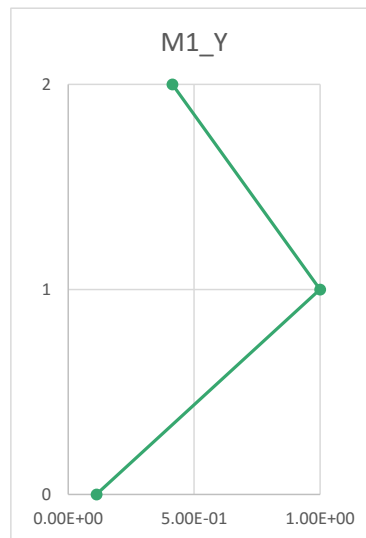
NIVEL 3 CON RESPECTO A LA BASE

FASE	175.43	-172.56	109.89	86.07	90.03	-84.71	[Grados]
FRECUENCIA	5.3	12.8	17.5	28.6	56.4	57.6	[Hz]

Tabla 5. Amplitudes para los dos modos de vibración en dirección Y

	Modo	Nivel 0 - Y			Nivel 1 - Y			Nivel 2 - Y		
		Amplitud	Amp. Normal	desfase	Amplitud	Amp. Normal	desfase	Amplitud	Amp. Normal	desfase
17.56	M1_Y	1.30E-12	1.12E-01	0	1.16E-11	1	-32.29	4.80E-12	0.413793103	109.9

Figura 39. Primer modo de vibración en dirección Y



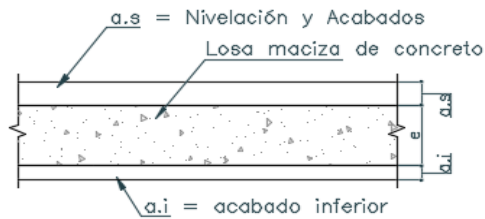
4.2 EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

4.2.1 Etapa 4: Solicitaciones Equivalentes

4.2.1.1 Evaluación de cargas muertas y cargas vivas. Se realiza la evaluación de cargas muertas del sistema de entrepiso según las condiciones

encontradas en campo, la evaluación de cargas vivas se basa en el capítulo B.4 CARGAS VIVAS de la NSR-10 según el uso de ocupación:

Tabla 6. Evaluación de cargas sistema de entrepiso



LOSA MACIZA e= 0.10m

RESUMEN DE RESULTADOS	
CARGAS MUERTA (WD) =	7.83kN/m ²
CARGA VIVA(WL) =	2.00kN/m ²
MASA DE LOSA / m ² =	1kN·s ² /m ³

CARGAS MUERTA (WD)	Espesor	P. Especifico	Carga / m ²	Carga / m ²
	m	kN/m ³	kN/m ²	kgf/m ²
LOSA DE CONCRETO	0.100	24	2.40	240
MORTERO (Nivelación)	0.040	22	0.88	88
ACABADO (Superior)	0.025	22	0.55	55
ACABADO (Inferior)	0.025	24	0.60	60
MUROS DIVISORIOS			3.00	300
INSTALACIONES			0.25	25
ADICIONALES			0.15	15
TOTAL			7.83	783

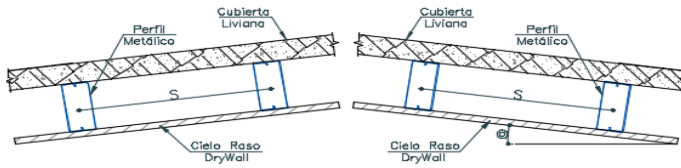
CARGA VIVA (WL)	kN/m ²	kgf/m ²
Oficinas	2.00	200
Salones de clase	2.00	200
Maquinas (Aires acondicionados y antenas)	5.00	500

MASA DE LOSA / m ²	kN·s ² /m ³	kgf·s ² /m ³
	0.80	78.22

Se realiza el evaluó de cargas del sistema de cubierta con teja de asbesto cemento según lo encontrado en sitio:

Tabla 7. Evaluación de cargas sistema

CUBIERTA LIVIANA



CUBIERTA LIVIANA

RESUMEN DE RESULTADOS

CARGAS MUERTA (WD) =	1.45kN/m ²
CARGA VIVA(WL) =	1.80kN/m ²
CARGA DE VIENTO(Ww) =	-0.45kN/m ²

CARGAS MUERTA (WD)	Carga / m ²	Carga / m ²
	kN/m ²	kgf/m ²
PESO DE LA TEJA	0.600	60
MATERÍAL DE PEGA	0.30	30
CIELO RASO EN DRYWALL	0.15	15
PERFILERÍA METÁLICA	0.20	20
INSTALACIONES	0.10	10
ADICIONALES	0.10	10
TOTAL	1.45	145

CARGA VIVA (WL)	kN/m ²	kgf/m ²
CUBIERTA INCLINADA PENDIENTE < 25%	1.80	180

CARGA DE VIENTO (Ww)	kN/m ²	kgf/m ²
BARLOVENTO	-0.45	-45
SOTAVENTO	-0.45	-45

4.2.2 Etapa 5: Modelo matemático equivalente de la Estructura. El modelamiento de la estructura se realizó en el programa ETABS 2015 en su versión de prueba (ETABS® de CSI®, 2015). Se eligió este programa ya que es ideal para el análisis y diseño de edificios, además es muy aceptado a nivel mundial por los calculistas de estructuras.

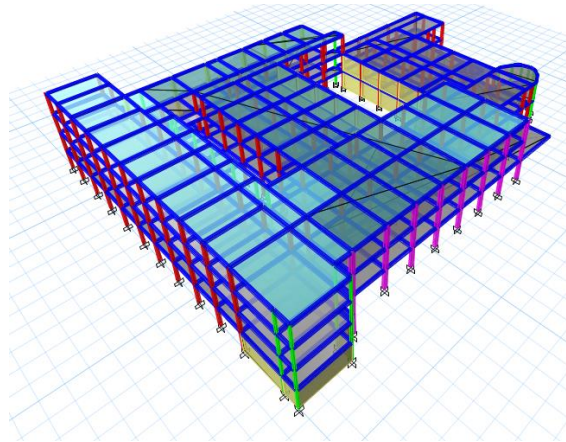
Se realizaron dos modelos con el ánimo de analizar, comparar y concluir sobre el comportamiento de la estructura según su distribución de rigidez ante un sismo de diseño.

Es muy importante entender que los modelos matemáticos de este proyecto son aproximaciones globales de la estructura, que sirven para tener una idea sobre el comportamiento de la estructura según su rigidez, y no cuentan con suficiente información para tomar decisiones locales.

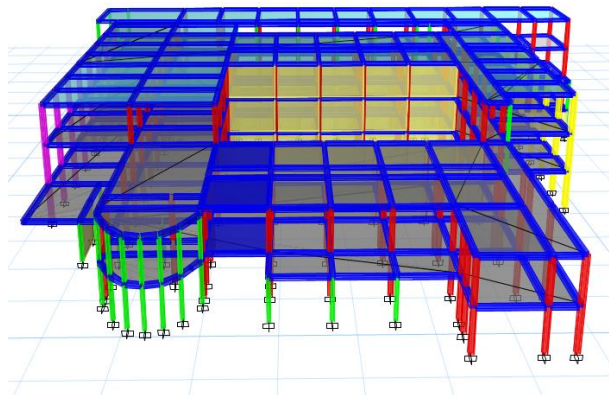
4.2.2.1 Normatividad

- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10
- Ley 400 de 1997 (modificada ley 1229 de 2008)
- Decreto 926 de 19 de marzo de 2010
- Decreto 2525 de 13 de julio de 2010
- Decreto 092 de 17 de enero de 2011
- Decreto 0340 de 13 de febrero de 2012

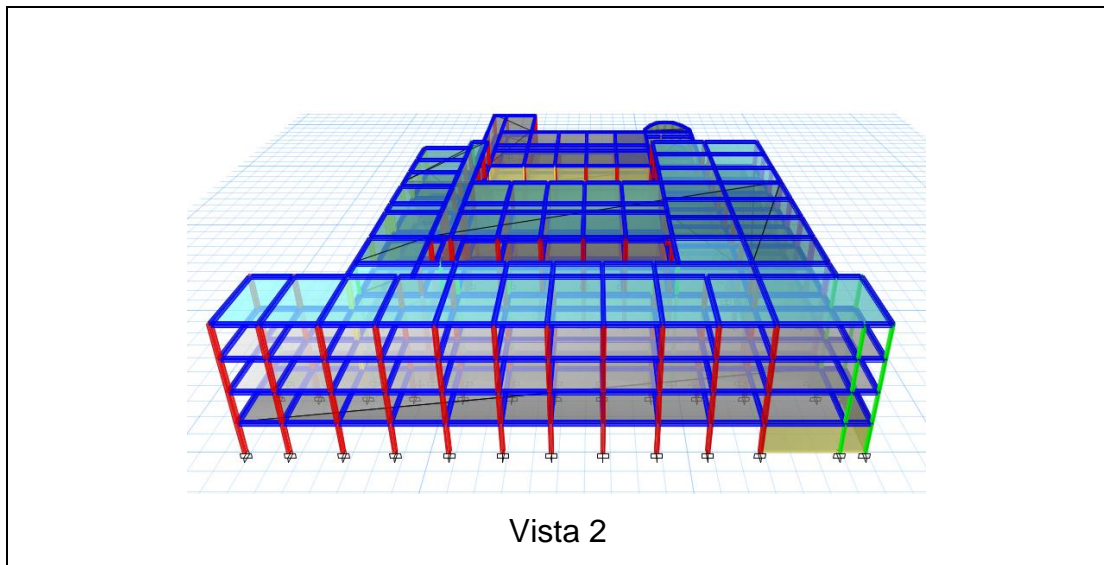
4.2.2.2 Geometría del modelo Estructural



3D



Vista 1



4.2.2.3 Resistencia a la compresión de los elementos. En base a los resultados del ensayo de esclerómetro se definen los siguientes valores de resistencia a compresión f'_c de los elementos:

Tabla 8. Resistencia y recubrimientos de elementos estructurales

Elementos estructurales	f'_c	Rec.
Columnas	14 MPa	40 mm
Muros	14 MPa	50 mm
Vigas	14 MPa	40 mm
Placas de entrepiso	11 MPa	25 mm

4.2.2.4 Módulo de elasticidad según NSR-10. El módulo de elasticidad para el concreto ($1440 \text{ kg/m}^3 < W_c < 2560 \text{ kg/m}^3$) puede tomarse como:

$$E_c = W_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

Para concreto de densidad normal, E_c puede tomarse como:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

En caso de que no se disponga de este valor experimental, para concretos cuya masa unitaria varíe entre 1400 y 2460 kg/m^3 , puede tomarse como:

$$E_c = W_c^{1.5} 0.047 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen igneo})$$

$$E_c = W_c^{1.5} 0.041 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen metamorfoico})$$

$$E_c = W_c^{1.5} 0.031 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen sedimentario})$$

$$E_c = W_c^{1.5} 0.034 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Valor medio, sin distinguir por tipo de agregado})$$

Tabla 9. Módulo de elasticidad de los materiales

f'c (Mpa)	Wc (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO			
		$W_c^{1.5} 0.031 \sqrt{f'_c}$	$W_c^{1.5} 0.034 \sqrt{f'_c}$	$W_c^{1.5} 0.041 \sqrt{f'_c}$	$W_c^{1.5} 0.047 \sqrt{f'_c}$
11	2400	12088.57	13258.43	15988.11	18327.83
14	2400	13637.75	14957.53	18037.02	20676.58

*Cuando no se disponga del valor de la masa unitaria del concreto, puede utilizarse:

$$E_c = 5500 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen igneo})$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen metamorfoico})$$

$$E_c = 3600 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Para agregado grueso de origen sedimentario})$$

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa} \quad (\text{Valor medio, sin distinguir por tipo de agregado})$$

Tabla 10. Alternativa módulo de elasticidad de los materiales

f'c (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO			
	$3600 \sqrt{f'_c}$	$3900 \sqrt{f'_c}$	$4700 \sqrt{f'_c}$	$5500 \sqrt{f'_c}$
11	11939.85	12934.84	15588.14	18241.44
14	13469.97	14592.46	17585.79	20579.12

NOTA 1: Para el presente proyecto se toma el módulo de elasticidad calculado con la ecuación $3600 \sqrt{f'_c}$ 11940 MPa y 13470 MPa. Para concretos de resistencia a la compresión de 11MPa y 14 MPa respectivamente.

NOTA 2: el módulo de elasticidad de los muros se tomó como $750 * f'_m$ ya que según inspección en sitio se concluyó que el material con el que están

construidos los muros es de mampostería. Para efectos del cálculo se supuso una resistencia a la compresión de la unidad de mampostería como f'_m igual a 10 MPa.

$$750 * f'_m = 750 * 10MPa = 7500MPa$$

4.2.2.5 Definición de materiales y secciones de los elementos. Para la losa de entrepiso se definió un material con masa y peso por unidad de volumen igual a cero, esto se debe a que el peso de la losa se tuvo en cuenta en el avalúo de cargas y el módulo de elasticidad se dividió en 100 de tal manera que la losa no aporte rigidez al sistema de resistencia sísmica.

Figura 40. Definición del concreto de la placa de entrepiso

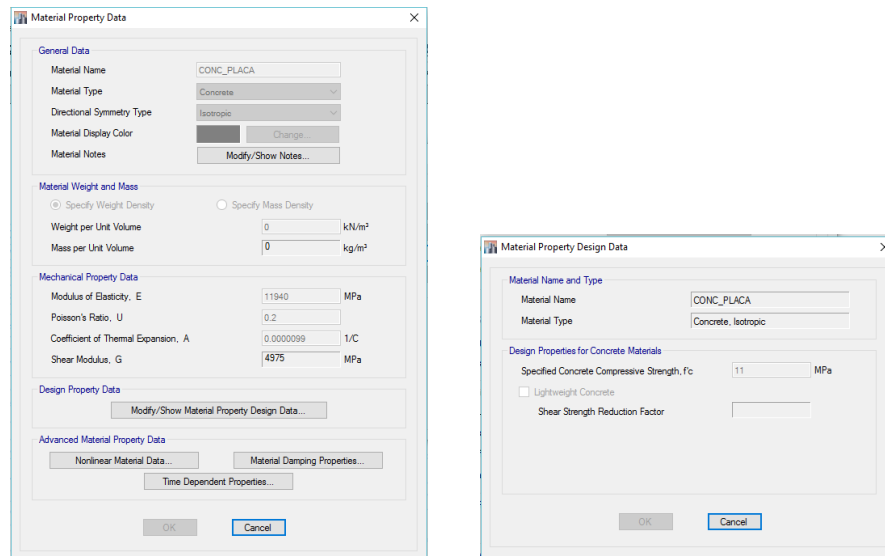


Figura 41. Definición del concreto 14 MPa

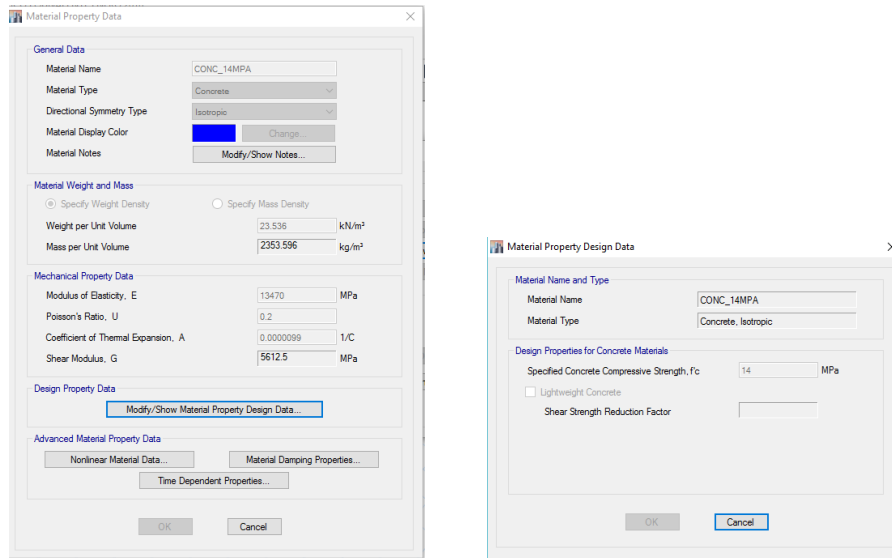
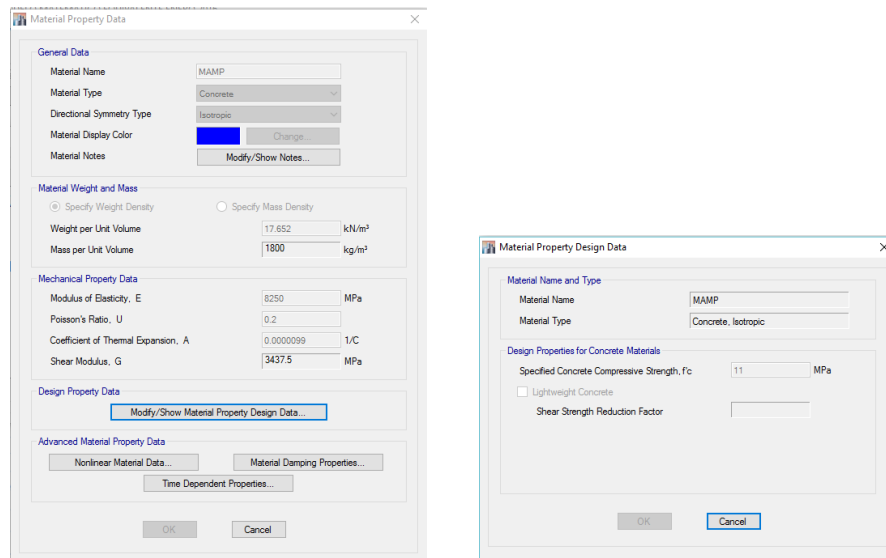


Figura 42. Mampostería



Aunque el acero no es de gran importancia para este estudio se definió el material siguiendo los requisitos de la norma NTC 2289.

Figura 43. Acero (Normativa NTC 2289)

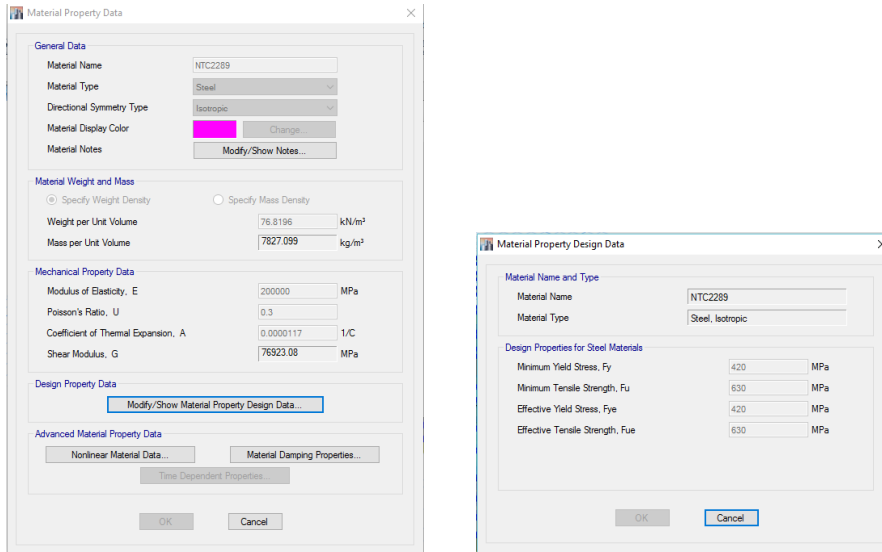


Tabla 11. Definición secciones

RESUMEN DE SECCIONES

Name	Material	t3 mm	t2 mm	Area cm ²
C30X30 fc14	CONC _{14MPA}	300	300	900
C45X30 fc14	CONC _{14MPA}	300	450	1350
C60X30 fc14	MAMP	500	300	1500
CNETA20X20	CONC _{14MPA}	200	200	400
V30X30 fc14	CONC _{14MPA}	300	300	900

Debido a la edad de la estructura y a los sismos a los que esta se ha visto sometida, se redujo un 10% el factor de la inercia de las secciones en software.

Tabla 12. Columna 300X300 mm

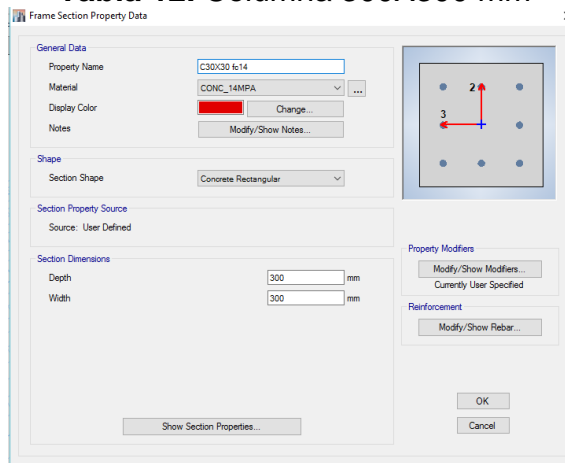


Tabla 13. Columna 300X450 mm

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C45X30 fc14

Material: CONC_14MPA

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 300 mm

Width: 450 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

Tabla 14. Viga 300X300 mm

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: V30X30 fc14

Material: CONC_14MPA

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 300 mm

Width: 300 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Show Section Properties...

Tabla 15. Muros de mampostería e=150 mm

Wall Property Data

General Data

Property Name: MAMPOSTERIA

Property Type: Specified

Wall Material: MAMP

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 150 mm

OK Cancel

Por efectos de simplificación y para una evaluación preliminar del comportamiento de la estructura se asume que todos los muros son de 200mm de espesor, con el mismo criterio se tipificaron las secciones de las columnas y las vigas.

4.2.2.6 Análisis Sísmico

Figura 43. Espectro de diseño

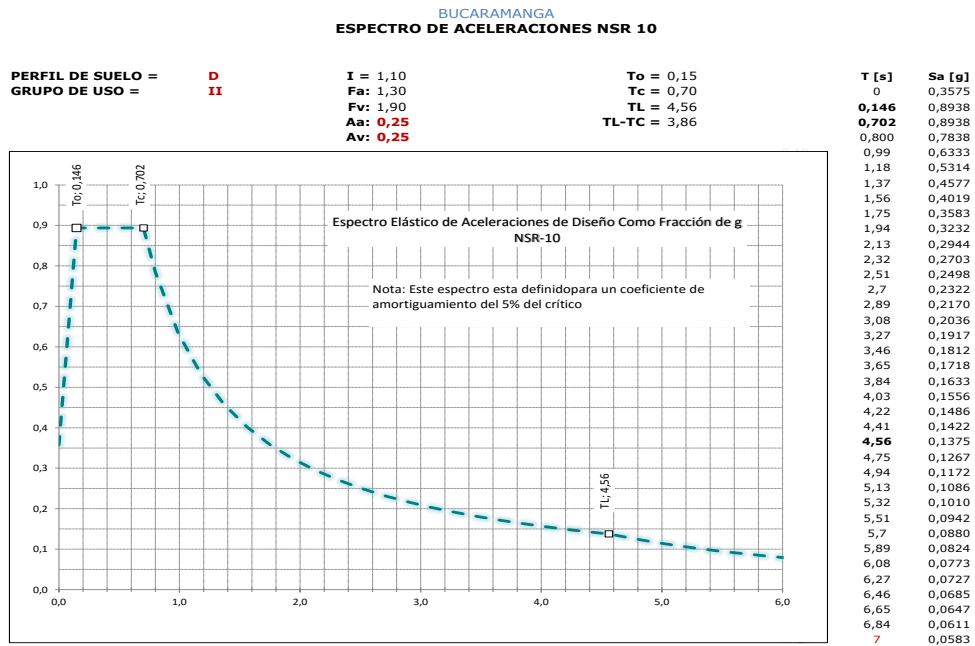
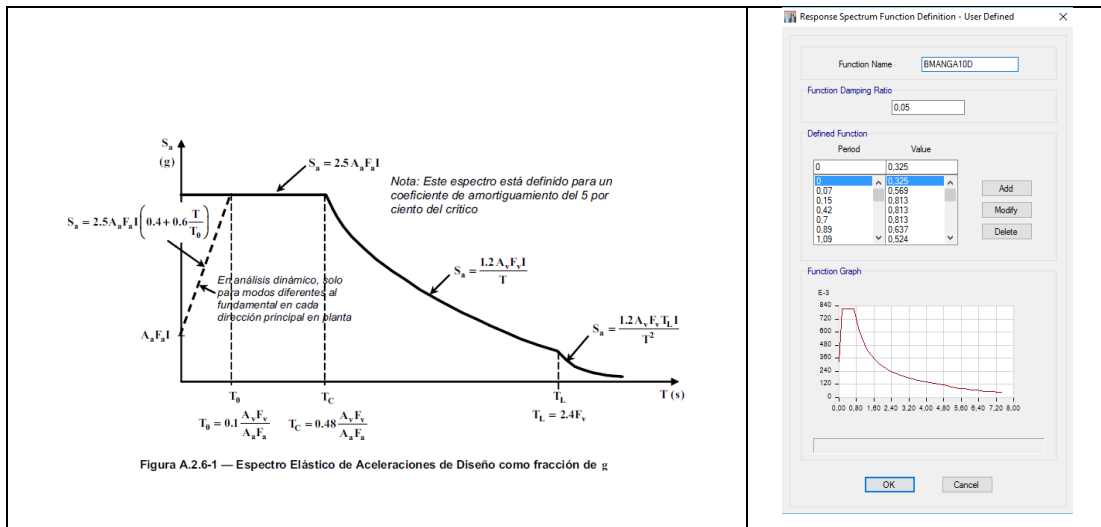


Figura 44. Definición del espectro de diseño en ETABS 2015



Fuente: NSR-10

PROYECTO: EDIFICIO SEDE BUCARICA - UIS
DIRECTOR: RICARDO ALFREDO CRUZ
INGENIERO: WILMER F. DUARTE / IVAN CELIS

FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

El periodo T no puede exceder $1.2T_a$		PERIODO MÁXIMO ADMISIBLE
$T_a =$	$Ct h^d$	A.4.2.1 de la NSR-10
$h =$	9.00 m	Cu debe ser ≥ 1.20
$Ct =$	0.047	$Cu = 1.75 - 1.2 * Av * Fv = 1.18$
$d =$	0.9	$Cu = 1.2$
$T_a =$	0.34 seg	$T_{m\acute{a}x} = 0.41 \text{ seg.}$

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO

Perfil Tipo del Suelo.....	D
Aa = Coeficiente de aceleración pico efectiva.....	0.25
Av = Coeficiente de velocidad pico efectiva.....	0.25
Fa = Coeficiente de amplificación en zona de períodos cortos.....	1.30
Fv = Coeficiente de amplificación en zona de períodos intermedios.....	1.90
I = Coeficiente de importancia.....	1.10
To =	0.15
Tc =	0.70
Tl =	4.56
M = Masa de la edificación ($\text{kgf} \cdot \text{seg}^2 / \text{m}$) =	491138.00
g = Aceleración gravitacional (m / seg^2).....	9.806
W = Peso de la edificación (kgf).....	4816099
Sa = Aceleración espectral.....	0.894

FUERZAS HORIZONTALES EQUIVALENTES NSR-10 A.4.3:

Vs x = Cortante basal en la dirección X (kgf)	4304389 kgf
Vs y = Cortante basal en la dirección Y (kgf)	4304389 kgf

AJUSTE A LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

ACELERACIÓN ESPECTRAL AJUSTADA

Sa_{ETABS X} = 0.894
Sa_{ETABS Y} = 0.894
T_{ETABS X} = 0.76 seg.
T_{ETABS Y} = 0.17 seg.
T_{AJUSTE X} = 0.41 seg.
T_{AJUSTE Y} = 0.17 seg.

CORTANTE BASAL - ESTÁTICO (F.H.E)

NOTA: Valores ajustados a: Sa_{ETABS}

Vs X =	4304389 kgf
Vs Y =	4304389 kgf

CORTANTE BASAL - DINÁMICO (CQC)

Vs X =	2623822 kgf
Vs Y =	2418968 kgf

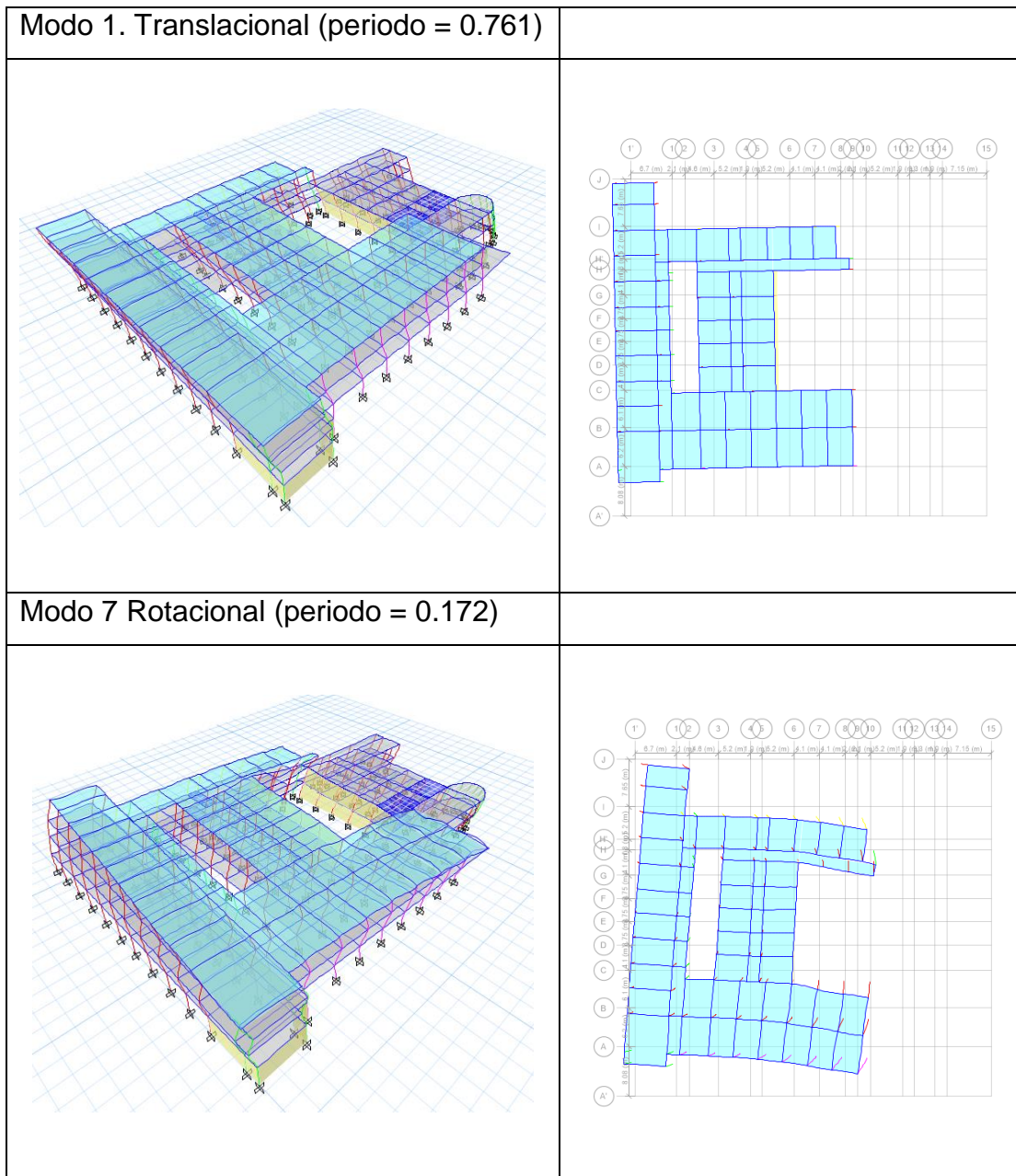
REALIZAR EL AJUSTE AL **90 %** DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE F.H.E

		FACTOR	x	y	z
Vd_{min X} =	3873950 kgf	1.48	14.478	4.343	9.652
Vd_{min Y} =	3873950 kgf	1.60	4.711	15.704	10.469

Formas modales

Los modos que tienen mayor porcentaje de participación de masa en las direcciones X y Y son el modo 1 y el modo 7 respectivamente

Figura 45. Modos principales de vibración



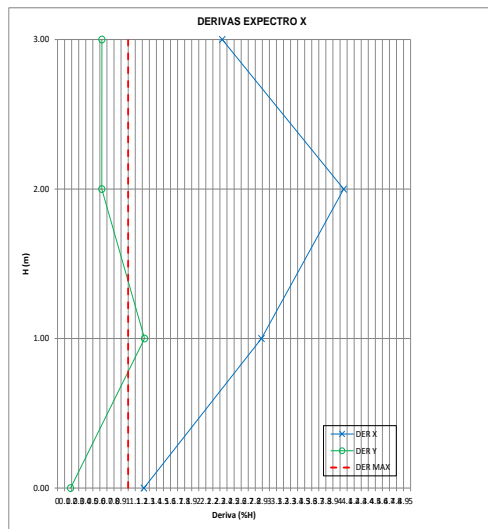
4.2.2.7 Flexibilidad de la estructura. A continuación, se presenta la tabla y las gráficas de las derivas de la estructura para el sismo en cada dirección.

Tabla 16. Chequeo de derivas

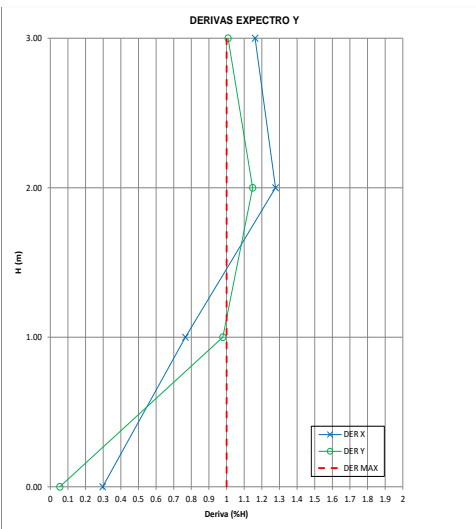
DERIVAS MÁXIMAS DE PISO										
Story	Load Case/Combo	Label	Item	Drift	X	Y	Z	Drift (%)	Drift XY (%)	Check
					m	m	m			
CUB 2	SPECX Max	42	Max Drift X	0.02332	6.70	54.48	9.00	2.332	2.416	No Cumple
CUB 2	SPECX Max	43	Max Drift Y	0.00628	0.00	6.08	9.00	0.628		
CUB 2	SPECY Max	43	Max Drift X	0.01162	0.00	6.08	9.00	1.162	1.539	No Cumple
CUB 2	SPECY Max	43	Max Drift Y	0.01009	0.00	6.08	9.00	1.009		
CUB 1	SPECX Max	42	Max Drift X	0.04052	6.70	54.48	6.00	4.052	4.100	No Cumple
CUB 1	SPECX Max	43	Max Drift Y	0.00627	0.00	6.08	6.00	0.627		
CUB 1	SPECY Max	45	Max Drift X	0.01278	6.70	6.08	6.00	1.278	1.717	No Cumple
CUB 1	SPECY Max	43	Max Drift Y	0.01148	0.00	6.08	6.00	1.148		
PISO 2	SPECX Max	112	Max Drift X	0.02888	24.80	46.83	3.00	2.888	3.140	No Cumple
PISO 2	SPECX Max	43	Max Drift Y	0.01233	0.00	6.08	3.00	1.233		
PISO 2	SPECY Max	112	Max Drift X	0.00766	24.80	46.83	3.00	0.766	1.243	No Cumple
PISO 2	SPECY Max	43	Max Drift Y	0.00979	0.00	6.08	3.00	0.979		
PISO 1	SPECX Max	164	Max Drift X	0.01223	8.80	54.48	0.00	1.223	1.237	No Cumple
PISO 1	SPECX Max	41	Max Drift Y	0.00185	0.00	54.48	0.00	0.185		
PISO 1	SPECY Max	164	Max Drift X	0.00297	8.80	54.48	0.00	0.297	0.302	O.K
PISO 1	SPECY Max	41	Max Drift Y	0.00054	0.00	54.48	0.00	0.054		

Figura 46. Chequeo de derivas

Derivas por sismo en X



Derivas por sismo en Y



Datos del centro de masa y centro de rigidez de la estructura.

Story	Diaphra	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cumulative X	Cumulative Y	XCCM	YCCM	XCR	YCR
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	m	m
CUB 1	D1	184774.02	184774.02	23.359	27.8285	184774.02	184774.02	23.359	27.8285	31.6004	23.5729
PISO 2	D1	197324.02	197324.02	24.6587	27.7989	382098.04	382098.04	24.0302	27.8132	31.6421	19.1168
PISO 1	D1	53867.85	53867.85	4.5369	30.2709	435965.89	435965.89	21.6216	28.1169	7.3559	9.4604

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

La anterior configuración de rigidez se propuso teniendo en cuenta los muros que a criterio de los autores son de gran importancia en cuanto a la flexibilidad de la edificación, esto se realizó basado en criterios como la longitud del muro y su continuidad en altura.

La estructura en estudio excede las derivas máximas permitidas por la NSR10 en cada una de las direcciones ortogonales. Según la gráfica de derivas se concluye que en la dirección X la estructura presenta baja rigidez, pero su distribución es uniforme ya que la estructura presenta poca torsión. En cambio, en la dirección Y, la estructura presenta problemas torsionales, esto se debe al sótano de locales que se encuentran por la fachada de la calle 36, y al muro de contención que se construyó para contener la tierra de dichos locales.

Para estudios futuros es importante validar las características de los materiales con ensayos de ultrasonido ya que el ensayo de determinación del índice esclerométrico puede presentar datos poco precisos debido al uso inadecuado de los equipos, además debe realizarse el ajuste de los resultados con el ensayo de determinación de frente de carbonatación, el cual no se realiza debido al alcance del estudio.

Se recomienda realizar ensayos de tomografía para reducir la incertidumbre en cuanto a la distribución del acero de refuerzo que se identificó con el georadar estructural.

Una alternativa de reforzamiento estructural teniendo en cuenta costo beneficio, podría ser reforzar los muros con elementos (arriostramientos) metálicos ya que la geometría de la estructura es la adecuada para este tipo de intervención.

Se recomienda realizar un estudio de viabilidad para la implementación de aisladores sísmicos o disipadores de energía en la base de la estructura, que sean los encargados de reducir los efectos causados a la edificación ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

Los planos estructurales y los radagamas, realizados en este proyecto sirven como material de apoyo para estudios más detallados de la estructura.

Debido al alto grado de incertidumbre en cuanto a la caracterización de los materiales y los posibles tipos de construcciones utilizadas en la época de construcción del edificio se recomienda la implementación de un modelo matemático de elementos finitos que permita evidenciar el comportamiento de la estructura en las zonas de uniones entre elementos.

6. CONCLUSIONES

- La intervención estructural de edificios de Patrimonio Histórico requiere una atención especial, ya que, al ser de patrimonio, hay que acomodarse a las características del edificio, respetar el origen del mismo, y crear el menor impacto posible.
- El diseño y las intervenciones de edificios, deben basarse en configuraciones arquitectónicas y estructurales regulares, y así, evitar efectos torsionales, mecanismos de piso débil. Esto con el fin de garantizar la capacidad para disipar energía de la estructura y evitar fallas frágiles que puedan provocar el colapso.
- El edificio “Sede UIS Bucarica” presenta un buen comportamiento ante las cargas verticales, pero carece de cualquier tipo de consideración sismo-resistente, debido a que fue diseñado y construido en una época en la cual no existía normativa de diseño.
- En base a los parámetros determinados y asumidos por los autores para modelamiento matemático de la estructura, se obtiene como resultado el no cumplimiento de los requisitos de máxima deriva estipulado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en vigencia.
- El presente estudio deja en evidencia la falta de información técnica de la estructura y despierta la necesidad de realizar diferentes ensayos destructivos y no destructivos que proporcionen información del suelo y de la caracterización de los materiales que componen la estructura.
- Dentro de los estudios posteriores de la edificación es de gran importancia determinar la configuración de las uniones viga-columna la cual permitirá

realizar su clasificación en cuanto al comportamiento que estas pueden presentar en estado de funcionamiento. Dicho estudio debe contemplar el análisis de los entrepisos en la zona de ampliación de los locales (fachada sur), con el fin de determinar si existe continuidad entre las estructuras lo cual es un factor determinante en el comportamiento de la estructura en términos de flexibilidad.

- Para el análisis de las señales de vibración ambiental es de gran importancia involucrar personal que tenga conocimiento en el tema, esto con el fin de minimizar posibles errores producto de un mal proceso en el análisis realizado y presentado en este estudio previo.
- Los resultados en cuanto a el escáner de refuerzo de los elementos muestran que la estructura en ciertas zonas no cuenta con elementos de concreto reforzado que cumplan con los parámetros reglamento NSR-10, en estudios futuros es de gran importancia enfatizar en la caracterización de dichos elementos para poder establecer si el sistema estructural se ubica en los establecidos por el reglamento.
- Debido a los acabados que presenta la edificación en cuanto a cielorrasos hace bastante complejo la inspección de los elementos que componen el sistema de entrepiso, en base a esto para estudios posteriores es necesario tener en cuenta la definición de un plan de trabajo que permita realizar las labores de inspección sin generar impacto en estas zonas que forman parte del valor patrimonial de la edificación.

BIBLIOGRAFIA

ALFARO, Rogelio, JEREZ, Sergio Alfredo. Estudio de Vulnerabilidad y Reforzamiento estructural edificio sede Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado Especialista en Estructuras. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2015. 87 p.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Bogota D.C, 2010.

Bendat, J. S., & Piersol, A. G. Random Data. Analysis and Measurement Procedures Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010, 4 edition.

BENJAMIN, Jack, CORNELL, Allin. Probabilidad y estadística en ingeniería civil. Bogota: McGraw Hill, 1981.

BOTERO, Juan Carlos, HENAO, David. Metodología para identificar las propiedades dinámicas de un modelo estructural excitado en la mesa vibradora de eafit. Proyecto de investigación interna. Medellín: Universidad Eafit. Escuela de Ingeniería Civil, 2013. 111 p

Carreño, E., Bravo, B., Suárez, A., & Tordesillas, J. M. Registro y tratamiento de acelerogramas. Física de la Tierra, 1999, 11. p 81-111.

DELGADO, Carlos Andrés, MANTILLA, Robinson. Estudio de vulnerabilidad y rehabilitación estructural para el edificio de secundaria y administración del colegio fundación UIS. Trabajo de grado Especialista en Estructuras. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2012. 235 p.

ETABS® de CSI®. Computers and Structure.CSI. Manual de Aplicación del Programa Etabs 2015. Análisis Tridimensional Extendido para Edificaciones. INESA C.A. Venezuela.

FRANCO, Graciela Carolina. Calibración del modelo numérico existente de una edificación de valor histórico mediante medición de vibración ambiental. Caso de estudio: Templo San Francisco de Asís de Bucaramanga. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2012. 101 p.

GEO-RADAR, Caefe Compañía Argentina de ensayos físicos especiales, Argentina, 2015, Disponible en internet: < <http://www.caefendt.com.ar/index.php/georadar-gpr.html>>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 3692: Ingeniería civil y Arquitectura, método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido. Bogota D.C, 2002.

LESMEZ, Félix Orlando. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica y Reforzamiento estructural de edificio "Residencias Universitarias para estudiantes UIS". Trabajo de grado Especialista en Estructuras. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2015. 175 p.

MATLAB R2012b, MATrix LABoratory [Software License: 691503]. The Math Works, Inc. 2012.

MELI, Roberto. Comportamiento sísmico de muros de mampostería. En: PC PDF. UNAM, Instituto de Ingeniería, México D.C: [S.n.], 1979. P.141-352.

MURIÁ, David, GONZALEZ, Ricardo. Propiedades dinámicas de edificios de la Ciudad de México. Revista de Ingeniería Sísmica(51), 1995. p 25-45.

RIOS, Fabio Andrés. Propuesta de un modelo numérico de una edificación de valor patrimonial. Caso de estudio: Templo San Francisco de Asís de Bucaramanga. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2012. 86 p.

ROCHEL, Roberto. Análisis y diseño sísmico de edificios. 2 ed. Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2012. p 129-159.

SIERRA, S., PERDOMO G. Antiguo Hotel Bucarica, Patrimonio Urbano de Bucaramanga, 2015, [Online]. Disponible en internet: < <http://historiaabierta.org/mapa/items/show/16>>.

Stearns, S. D., & Hush, D. R. Digital Signal Analysis. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall. 1990, 2 edition.

UIS, 2015 "Infraestructura física de la Universidad Industrial de Santander". Página Oficial [Online]. Disponible en internet: < <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/acercaUis/infraestructuraFisica.html>>.

YAMIN, Luis Eduardo., RODRÍGUEZ, Ángel., FONSECA, Luis., REYES, Juan Carlos., PHILLIPS, Camilo. Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria. En: PC PDF. Universidad de los Andes, Revista de ingeniería, 2003. 18, p.175-190.

Ver anexos en la carpeta adjunta al CD