



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Estudio de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación del
Antiguo Edificio de la Facultad de Economía de la UCSG.**

AUTORES:

**Yánez Silva, Diego Alexander
Verduga Panezo, Joshue Ariolfo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil**

TUTOR:

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl

Guayaquil, Ecuador

17 de febrero del 2023

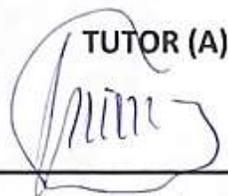


UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

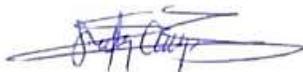
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Yánez Silva, Diego Alexander y Verduga Panezo, Joshue Ariolfo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR (A)


Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl

DIRECTOR DE LA CARRERA



f. _____
Ing. Stefany Esther, Alcívar Bastidas

Guayaquil, a los 17 días del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Yánez Silva, Diego Alexander** y **Verduga Panezo, Joshue Ariolfo**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Estudio de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación del Antiguo Edificio de la Facultad de Economía de la UCSG**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de febrero del año 2023

AUTORES

Yánez Silva, Diego Alexander

Verduga Panezo, Joshue Ariolfo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Yánez Silva, Diego Alexander y Verduga Panezo, Joshue Ariolfo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Estudio de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación del Antiguo Edificio de la Facultad de Economía de la UCSG**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTORES:

Yánez Silva, Diego Alexander

Verduga Panezo, Joshue Ariolfo

URKUND

Document Information

Analyzed document	YANEZ_DIEGO Y VERDUGA_JOSHE_FINAL.pdf (D158561843)
Submitted	2/13/2023 10:12:00 PM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

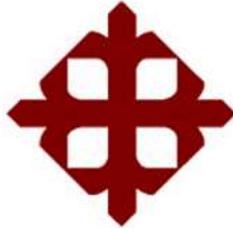
Sources included in the report

SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Solis_Robinson_FINAL (2).pdf Document Solis_Robinson_FINAL (2).pdf (D144151596) Submitted by: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com	 6
W	URL: https://vsip.info/nec-se-ds-peligro-sismico-pdf-free.html Fetched: 12/1/2021 11:26:47 PM	 3
W	URL: https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/MTOP_NEC-SE-DS.pdf Fetched: 5/8/2022 12:06:44 AM	 2
SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / TT DAVID LOOR.docx Document TT DAVID LOOR.docx (D15227958) Submitted by: claglas@hotmail.com Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com	 4
SA	Tesis Karen Cadena-Manuel Campos.pdf Document Tesis Karen Cadena-Manuel Campos.pdf (D156590470)	 1
W	URL: https://marcelopardo.com/cuantia-concepto-y-tipos/ Fetched: 2/13/2023 10:13:00 PM	 2

Entire Document

FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: ESTUDIO DE RIESGO SISMICO, EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL ANTIGUO EDIFICIO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA DE LA UCSG AUTOR (ES): Yáñez Silva, Diego Alexander Verduga Panezo, Joshue Ariolfo
Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil
TUTOR: Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl Guayaquil, Ecuador 15 de febrero del 2023
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Yáñez Silva, Diego Alexander y Verduga Panezo, Joshue Ariolfo, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Civil. TUTOR (A) _____ Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl DIRECTOR DE LA CARRERA _____ Ing. Stefany Esther, Alcivar Bastidas Guayaquil, a los 15 días del mes de febrero del año 2023





**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl

TUTOR

Ing. Stefany Esther, Alcívar Bastidas

DIRECTOR DE LA CARRERA

f.

Ing. Guillermo Ponce Vasquez, M. Sc.

DOCENTE DELEGADO

f.

Ing. Xavier Casal Rodríguez, M. Sc.

OPONENTE

Índice General

1	CAPITULO.....	2
1.1	Introducción.....	2
1.2	Antecedentes	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo General	3
1.3.2	Objetivos Específicos.....	3
1.4	Alcance.....	3
1.5	Metodología.....	4
2	CAPITULO.....	5
2.1	Marco teórico	5
2.1.1	Altura de piso	5
2.1.2	Coficiente de importancia	5
2.1.3	Cortante de diseño.....	5
2.1.4	Cortante de piso.....	5
2.1.5	Deriva de piso	5
2.1.6	Ductilidad Global	6
2.1.7	Ductilidad local	6
2.1.8	Espectro de respuesta para diseño.....	6
2.1.9	Estructura	6
2.1.10	Estructuras esenciales.....	6
2.1.11	Factor de sobre resistencia	7
2.1.12	Factor de redundancia	7
2.1.13	Fuerzas sísmicas de diseño.....	7
2.1.14	Peligrosidad sísmica.....	7
2.1.15	Periodo de vibración	8
2.1.16	Respuesta elástica.....	8
2.1.17	Sismo de diseño	8
2.1.18	Factor Z.....	8
2.1.19	Zonas sísmicas	8
2.1.20	Rigidez	9

2.1.21	Nudo de control.....	9
2.1.22	Cargas Muertas.....	10
2.1.23	Cargas Vivas	10
2.2	Unidades y simbología	10
2.2.1	Unidades.....	10
2.2.2	Simbología	11
3	CAPITULO.....	12
3.1	Reseña histórica y ubicación del Edificio de la Facultad de Economía de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	12
3.1.1	Introducción	12
3.1.2	Reseña histórica del Edificio de la Facultad de Economía	13
3.1.3	Localización del edificio de la facultad de Economía	16
3.1.4	Estudio de suelos relacionados.....	18
3.1.5	Conclusiones del estudio geotécnico disponible.....	20
4	CAPÍTULO.....	21
4.1	Sismicidad en la ciudad de Guayaquil	21
4.2	Consideraciones sísmicas	22
4.2.1	Zonificación sísmica y factor Z	22
4.2.2	Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs	24
4.2.3	Curvas de peligro sísmico	26
4.2.4	Características geológicas según NEC 2015, tipos de perfiles de suelo	27
4.2.5	Componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño	29
4.2.6	Espectro elástico de aceleraciones	32
4.3	Consideraciones de sismo resistencia.....	32
4.3.1	Categoría de edificio y coeficiente de importancia.....	32
4.3.2	Limites permisibles de las derivas de los pisos.....	33
4.3.3	Tasa anual de excedencia	34
5	CAPITULO.....	35
5.1	Levantamiento Estructural Del Edificio.....	35
5.2	Levantamiento arquitectónico	35
5.3	Método para obtener la resistencia a compresión del hormigón	35

5.4	Método para obtener el acero de refuerzo	39
5.5	Cuantía geométrica.....	40
5.5.1	Cuantía máxima y mínima en columnas	40
5.6	Planos arquitectónicos y distribución del acero de refuerzo en columna y viga 41	
5.7	Configuración estructural	45
5.7.1	Columna	45
5.7.2	Vigas	46
6	CAPITULO.....	47
6.1	Regularidad/configuración estructural	47
6.1.1	Configuración estructural.....	47
6.1.2	Irregularidades y coeficientes de configuración estructural.....	48
6.1.3	Irregularidad en planta	49
6.1.4	Irregularidad en elevacion.....	50
6.1.5	Coefficientes de Regularidad	50
6.1.6	Criterios de definición de R	51
7	CAPITULO.....	55
7.1	Modelo de Etabs.....	55
7.2	Materiales	59
7.3	Resultado del modelo	64
7.3.1	Derivas	64
7.4	Derivas reducidas	66
8	CAPITULO.....	67
8.1	Análisis No Lineal (PUSHOVER).....	67
8.1.1	Definición de los materiales en Etabs	68
8.1.2	Definición de los elementos estructurales en Etab.....	70
8.2	Definición de rotulas plásticas.....	73
8.3	Fuerzas de empuje o Pushover	78
8.3.1	Carga Pushover “X”	78
8.3.2	Carga pushover “Y”	79
8.4	Análisis Modal del PushOver.....	80
9	CAPITULO.....	82

9.1	Resultados	82
9.1.1	Rotulas en columnas	82
9.1.2	Rotulas en vigas	83
9.2	PUSHOVER.....	83
9.2.1	Pushover en Y	83
9.2.2	Pushover en X	84
9.2.3	Tabla de resultados pushover en “Y”	85
9.2.4	Tabla de resultados pushover en “X”	86
9.3	Capacidad	86
9.4	Diagrama de interacción para la columna 30x50cm	87
9.5	Capacidad en vigas	89
9.5.1	Combinación de envolvente	89
9.6	Demanda.....	91
9.7	Cortante	91
9.8	Conclusión.....	92
9.9	Recomendaciones	93
10	BIBLIOGRAFÍA	94
11	ANEXOS	95

Índice de Tablas

Tabla 1: Tabla de unidades de medida.....	10
Tabla 2: Simbología	11
Tabla 3: Sistema de Calificación de Macizos Rocosos, según Bieniawski, 1989.	19
Tabla 4: Parámetros de Resistencia según Calificación.....	19
Tabla 5: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	23
Tabla 6: Tabla de poblaciones ecuatorianas, con su respectivo valor de Z.	24
Tabla 7: Factores de sitio Fa y tipo de suelo.....	25
Tabla 8: Factores de sitio Fd y tipo de suelo.....	25
Tabla 9: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.	26
Tabla 10: Tipos de perfiles de suelos según la (NEC, 2015).....	28
Tabla 11: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	33
Tabla 12: Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso.....	34
Tabla 13: Síntesis de la filosofía de diseño.....	34
Tabla 14: niveles de amenaza sísmica.	34
Tabla 15: Resumen del ensayo de esclerometría.	38
Tabla 16: Valores de R.....	51
Tabla 17: Nivel de amenaza sísmica.....	60
Tabla 18: Derivas inelásticas para el sismo de diseño (reducidas).....	66

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: desplazamiento del nudo de control.....	9
Ilustración 2: Firma del contrato para la construcción del edificio de la Facultad de Ciencias Económicas, en agosto de 1982.	14
Ilustración 3: Inauguración del edificio de Ciencias Económicas, con la presencia del presidente Dr. Osvaldo Hurtado Larrea.	14
Ilustración 4: Mapa Geológico de Guayaquil (IIFIUC, 2005).....	17
Ilustración 5: Zonificación Geológica – UCSG - Formación Cayo.....	17
Ilustración 6: Socavón al Noroeste del Aula Magna de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.	18
Ilustración 7: Macizo rocoso del estudio de suelos realizado para el Edificio de post Grado.	20
Ilustración 8: Mapa de zonificación sísmica y factor de zona Z.....	23
Ilustración 9: Curvas de peligro sísmico para suelo tipo B de la ciudad de Guayaquil...27	
Ilustración 10: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.	29
Ilustración 11: Gráfica de espectros de diseño en Guayaquil.	32
Ilustración 12: Máquina de compresión simple para hormigón.....	36
Ilustración 13: Esclerómetro.	36
Ilustración 14: Gráfica de correlación - Rebound Hammer.	37
Ilustración 15: Toma de muestra con el esclerómetro.	39
Ilustración 16: Escáner del acero de refuerzo.	40
Ilustración 17: Acero de refuerzo longitudinal y transversal.	41
Ilustración 18: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Planta baja).	42
Ilustración 19: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Primer piso).	43
Ilustración 20: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Segundo piso).	44
Ilustración 21: Distribución del acero de refuerzo en columna.	45
Ilustración 22: Distribución del acero de refuerzo en viga.	46

Ilustración 23: Configuraciones estructurales recomendadas.	47
Ilustración 24: Configuraciones estructurales no recomendadas.	48
Ilustración 25: Coeficientes de irregularidad en planta.....	49
Ilustración 26: Coeficientes de irregularidad en elevación.	50
Ilustración 27: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Base).	55
Ilustración 28: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Primer Piso).	56
Ilustración 29: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Segundo Piso).	56
Ilustración 30: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Tercer piso).....	57
Ilustración 31: Modelo Estructural del antiguo Edificio de la Facultad de Economía en 3D.....	58
Ilustración 32: Modelado estructural con sus respectivos elementos estructurales.	59
Ilustración 33: Análisis de vibración del edificio.	59
Ilustración 34: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo frecuente.	61
Ilustración 35: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo ocasional.....	62
Ilustración 36: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo muy raro.	63
Ilustración 37: Periodo de vibración de la estructura.....	64
Ilustración 38: Derivas del edificio en los diferentes sismos.....	65
Ilustración 39: Definición de las propiedades lineales y no lineales del hormigón.	69
Ilustración 40: Definición de las propiedades lineales del acero.	70
Ilustración 41: Definición de la distribución del acero en las columnas.....	71
Ilustración 42: Definición de la distribución del acero en las vigas.	73
Ilustración 43: Diagrama de fuerza vs deformación de para analizar elementos estructurales.....	74
Ilustración 44: Asignación de parámetros para rotulas plásticas en vigas.	75

<i>Ilustración 45: Asignación de rotulas plásticas.</i>	77
Ilustración 46: Patrón de carga Push X.	78
Ilustración 47: Coeficiente de desplazamiento.	79
Ilustración 48: Patrón de carga Push Y.	80
Ilustración 49: Casos de cargas a analizar.....	81
Ilustración 50: Diagrama de Demanda vs Capacidad en sentido “Y”.	84
Ilustración 51: Diagrama de Demanda vs Capacidad en sentido “X”.	85
Ilustración 52: Combinación de las diferentes cargas.....	86
Ilustración 53: Diagrama de interacción de columna.....	87
Ilustración 54: Diagrama de interacción aplicada la demanda.....	89
Ilustración 55: Momento y Cortante que resiste la columna.....	90
Ilustración 56: Antiguo Edificio de Economía de la UCSG.	95
Ilustración 57: Comprobación de las medidas en el plano arquitectónico con las reales.	96
Ilustración 58: Ensayo de esclerometría.	97
Ilustración 59: Superficie sin enlucir que se utilizó para el ensayo esclerometría.....	98

Resumen

En el presente trabajo se realiza una evaluación de riesgo sísmico de uno de los edificios de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (Antigua Facultad de Economía) comenzando con recopilación de información de la estructura (planos arquitectónicos, año de construcción, planos estructurales, persona encargada de la construcción) para así empezar con los primeros capítulos de este trabajo. Se tomó como referencia estudios de suelos realizado para la construcción del edificio de post Grado de la Universidad, el cual determinaba el tipo de suelo que se encontraba bajo la edificación (tipo B) para así comenzar con la creación de los espectros. Una vez obtenido los datos se realiza un modelo en tres dimensiones de la edificación en el programa ETABS el cual permitió conocer el comportamiento de la estructura en futuros sismos. Se determina la resistencia del hormigón a través de un ensayo de esclerometría (400kg/cm²) para así conocer las derivas de entre piso de las estructuras las cuales fueron menores al 2%.

Se realiza un análisis No Lineal de la estructura con el sismo de 2500 años para observar la formación de las rotulas plásticas las cuales estuvieron dentro del rango B – C lo que determina que la estructura no llega al colapso con el sismo analizado.

Finalmente se pudieron obtener los resultados que nos da como conclusión que la estructura no necesita de una rehabilitación y de ningún reforzamiento, pero si se nombra alguna recomendación que se le podrían realizar en la edificación.

Palabras claves: Análisis modal, Espectros Pushover, ETABS.

Abstract

In the present work, an evaluation of the seismic risk of one of the buildings of the Universidad Católica Santiago de Guayaquil (former Faculty of Economics) was carried out, beginning with the collection of information on the structure (architectural plans, year of construction, structural plans, person in charge of construction) in order to begin with the first chapters of this work. Soil studies carried out for the construction of the postgraduate building of the University were taken as a reference, which determined the type of soil that was found under the building (type B) in order to begin the creation of the spectra. Once obtained, a three-dimensional model of the structure was made in the ETABS program, which managed to know the behavior of the structure in future earthquakes. The resistance of the concrete was determined through a sclerometry test (400kg/cm²) in order to know the drifts between the floors of the structures, which were less than 2%.

A non-linear analysis of the structure was made with the 2500-year earthquake to observe the formation of the plastic hinges, which were within the B - C range, which determines that the structure did not collapse with the analyzed earthquake. Subsequently, the capacity of the elements was carried out, which complied.

Finally, the results were concluded, specifying that the structure does not need a rehabilitation or any reinforcement, but if any recommendation is named that could be made in the building.

Palabras Claves: Análisis Modal, Espectros, Pushover, Sismos, NEC, Derivas, Etabs, Desempeño.

1 CAPITULO

1.1 Introducción

El Ecuador es un país caracterizado y reconocido por su biodiversidad, cuenta con 4 regiones diferentes conectadas entre sí a poca distancia de separación unas con las otras, llenas de recursos naturales. Atravesada de norte a sur por la cordillera de los Andes, la cadena montañosa más larga del mundo, justo allí se encuentra el Ecuador. El país se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, donde las provincias de la Costa son las más propensas a sufrir mayores daños a causa de los movimientos telúricos. Ciudades muy características, una de ellas Guayaquil, conocida como la Perla del Pacífico. Es una de las ciudades más importantes del país a nivel de comercio, donde se ubican los puertos marítimos que mueven la mayor carga de todo el país.

Guayaquil, al igual que la mayoría de las provincias de la Costa, se encuentran ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, acompañada de un tipo de suelo que no es el óptimo y agrava aún más el problema para la ciudad en caso de sismos. La ciudad cuenta con edificios históricos que ya tienen más de 50 años y corren riesgo de sufrir daños a causa de los movimientos telúricos.

Algunos de esos edificios históricos de la ciudad de Guayaquil son los que conforman la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil fundada el 17 de mayo de 1962. Inicialmente tuvo su sede en el colegio nocturno “20 de abril”, a razón de que no poseía instalaciones propias. Posteriormente en el año 1966 hizo uso de sus primeras instalaciones.

1.2 Antecedentes

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, establece en su capítulo Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación de Estructuras NEC-SE-RE, que los edificios que han cumplido más de 50 años de construidos deben ser evaluados para determinar si pueden seguir prestando servicios en las mismas condiciones de su construcción original o deben ser reforzados para incrementar su sismo resistencia.

El edificio de la antigua Facultad de Economía de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) al contar con más de 40 años desde su construcción, es propensa para su estudio de riesgo sísmico, evaluación y de acuerdo con los resultados que se obtenga con el desarrollo de este trabajo se llegará a la conclusión si necesita o no una rehabilitación estructural.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la funcionalidad y servicialidad del antiguo edificio de la Facultad de Economía de la UCSG bajo la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el Riesgo Sísmico del Edificio de la antigua Facultad de Economía de la UCSG, para un escenario sísmico que corresponda al sismo de diseño especificado en el Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo-resistente de la Norma NEC-2015 (Código NEC-SE-DS).
- Evaluar la sismo-resistencia actual del edificio, para compararla con los requisitos sismo-resistentes establecidos por los Capítulos de la Norma NEC-2015 y determinar si es necesario o no su reforzamiento.
- Establecer el mejor método de rehabilitación o reforzamiento del Edificio de la antigua Facultad de Economía de la UCSG, a fin de que cumpla con los requisitos sismo-resistentes de la Norma NEC-2015.

1.4 Alcance

Este proyecto busca determinar si el edificio de la antigua Facultad de Economía de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG), necesita una rehabilitación y en caso de necesitarla, plantear la mejor solución para la edificación.

Se realizará la evaluación estructural y el estudio de riesgo sísmico del edificio ya mencionado, el cual está ubicado el macizo rocoso que pertenece al área de la UCSG, en

el cual se tomará como referencia para el tipo de suelo el estudio realizado para el edificio de Post Grado.

1.5 Metodología

Se usará la metodología establecida por el Capítulo de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación de Estructuras (Código NEC-SE-RE). Se recabará la información disponible referente al suelo y a la estructura (estudios, memorias de cálculo y diseño, planos arquitectónicos y estructurales).

Con dicha información se verificará el desempeño estructural de la edificación durante el sismo de diseño especificado en la Norma NEC-2015, estableciendo el nivel de Riesgo Sísmico de la estructura. Para el efecto, se usarán las cargas y combinaciones de cargas establecidas en la norma (carga muerta, viva y sísmica), así como modelos computacionales para el análisis estructural.

Se establecerán los objetivos de la rehabilitación: Niveles de Desempeño, Niveles de Amenaza Sísmica y Definición de los Objetivos de Rehabilitación.

Se establecerán las estrategias de Rehabilitación Sísmica, determinando el mejor método de reforzamiento a utilizar en el caso. Una vez realizada la evaluación estructural y en función de los resultados obtenidos, se harán recomendaciones con respecto a una posible rehabilitación, la cual pretende reducir la vulnerabilidad sísmica (en caso de existir) teniendo en cuenta que se espera que esta estructura siga cumpliendo con su normal funcionamiento en los años venideros sin representar una amenaza para la vida, para ello se establecerán las estrategias y mecanismos de rehabilitación sísmica, determinando el mejor método de reforzamiento a utilizar en el caso.

2 CAPITULO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Altura de piso

Es la distancia vertical medida entre el terminado de la losa de piso o de nivel de terreno y el terminado de la losa del nivel inmediatamente superior (NEC, 2015).

2.1.2 Coeficiente de importancia

Coeficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación (NEC, 2015).

2.1.3 Cortante de diseño

Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma (NEC, 2015).

2.1.4 Cortante de piso

Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado (NEC, 2015).

2.1.5 Deriva de piso

Desplazamiento lateral relativo de un piso (en particular por la acción de una fuerza horizontal) con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. Se calcula restando del desplazamiento del extremo superior el desplazamiento del extremo inferior del piso (NEC, 2015).

2.1.6 Ductilidad Global

Capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica (NEC, 2015).

2.1.7 Ductilidad local

Capacidad de una sección transversal o de un elemento estructural, para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica (NEC, 2015).

2.1.8 Espectro de respuesta para diseño

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño (NEC, 2015).

2.1.9 Estructura

Conjunto de elementos estructurales ensamblados para resistir cargas verticales, sísmicas y de cualquier otro tipo. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a las de edificación (puentes, tanques, etc.) (NEC, 2015).

2.1.10 Estructuras esenciales

Se considera estructuras esenciales a aquellas edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuyo funcionamiento en condiciones de emergencia debidas a una crisis

sísmica, es crítica y vital para afrontar las consecuencias inherentes del desastre natural (MELONE, 2003).

2.1.11 Factor de sobre resistencia

Se define el factor de sobre resistencia como la relación entre el cortante basal último que es capaz de soportar la estructura con relación al cortante basal de diseño (NEC, 2015).

2.1.12 Factor de redundancia

El factor de redundancia mide la capacidad de incursionar la estructura en el rango no lineal. La capacidad de una estructura en redistribuir las cargas de los elementos con mayor solicitación a los elementos con menor solicitación. Se evalúa como la relación entre el cortante basal máximo con respecto al cortante basal cuando se forma la primera articulación plástica (NEC, 2015).

2.1.13 Fuerzas sísmicas de diseño

Fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de esta norma.

2.1.14 Peligrosidad sísmica

Probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados (NEC, 2015).

2.1.15 Periodo de vibración

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación (NEC, 2015).

2.1.16 Respuesta elástica

Parámetros relacionados con fuerzas y deformaciones determinadas a partir de un análisis elástico, utilizando la representación del sismo de diseño sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma.

2.1.17 Sismo de diseño

Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (período de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico. Para caracterizar este evento, puede utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio, conforme lo establece esta norma. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño, como el proporcionado en esta norma.

2.1.18 Factor Z

El valor de Z de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

2.1.19 Zonas sísmicas

El Ecuador se divide en seis zonas sísmicas, caracterizada por el valor del factor de zona Z. Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con

excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.

2.1.20 Rigidez

Se define como la capacidad de un elemento o un conjunto de elementos estructurales de resistir desplazamientos cuando está sujeto a acciones. Mientras la rigidez de un elemento es una función de las de las propiedades de su sección, la longitud y condiciones de contorno, la rigidez de un sistema estructural es una función de los mecanismos de resistencia lateral utilizados (pórticos resistentes a momentos, pórticos arriostrados, muros, entre otros).

2.1.21 Nudo de control

Es un punto conocido en la edificación en la cual está formado por la intersección de columnas y vigas. Estos mismos sirven para monitorear las derivas o desplazamientos que ocurren en la estructura cuando se le provee una carga por ejemplo sísmico, por lo general este nudo de control debe asignarse en el centro de masa o en el techo de la edificación (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

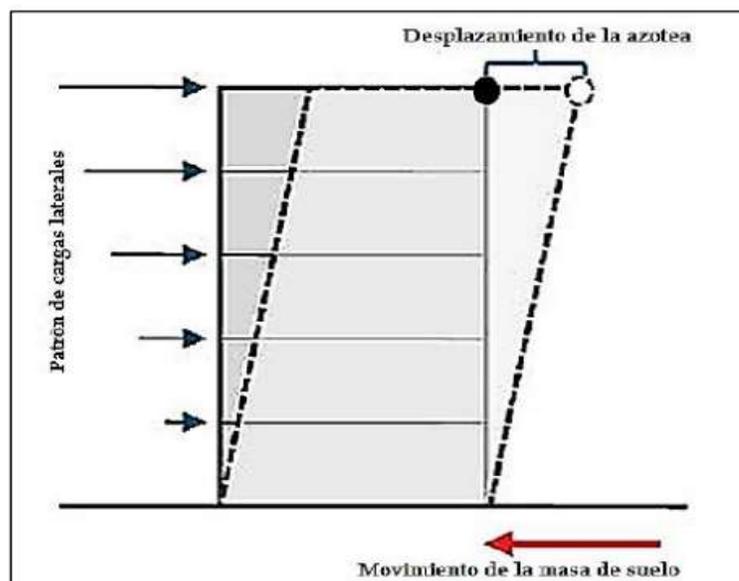


Ilustración 1: desplazamiento del nudo de control.

2.1.22 Cargas Muertas

Son aquellas cargas que permanecen constantes en el tiempo podemos mencionar el peso propio de los elementos estructuras como columnas, vigas, losas, muros, techos y plomería. El análisis dará la estimación de los tamaños y pesos exactos a considerarse (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

2.1.23 Cargas Vivas

También calificadas como cargas probables que incluyen todas las fuerzas que son variables dentro de una misma área como por ejemplo la carga de presión de los pies al caminar sobre una losa o en caso de un puente, la carga viva sería producida por los vehículos que circulen sobre la superficie del puente (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

2.2 Unidades y simbología

2.2.1 Unidades

Tabla 1: Tabla de unidades de medida.

• Aceleraciones: m^2/s	• Masas: kg	• Resistencias: kPa
• Alturas: m	• Períodos: s	• Velocidad: m/s
• Áreas: m^2	• Peso específico: kg/m^3	
• Fuerzas y cargas: kN o kN/m^2	• Presión: Pa o N/m^2	

2.2.2 Simbología

Tabla 2: Simbología

(NEC, pág. 24)

Símbolo	Definición
η	Razón entre la aceleración espectral S_a a período estructural $T = 0.1$ s y el PGA para el período de retorno seleccionado. Su valor depende de la región del Ecuador.
h_i, h_x	Altura en metros, medida desde la base, del nivel i o x
h_n	Altura en metros, medida desde la base, del piso más alto del edificio
ξ	Nivel de amortiguamiento viscoso equivalente
ϵ_{su}	Deformación unitaria última del acero de refuerzo
ϵ_y	Deformación unitaria de fluencia del acero de refuerzo
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
f_{cc}	Resistencia a la compresión del hormigón en el núcleo confinado
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
f_i	Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i , de acuerdo con los principios descritos en el presente capítulo, o cualquiera otra distribución racional
F_i	Vector de fuerzas laterales aplicadas en el piso i de la estructura
f_m	Curvatura en la sección de la rótula plástica, correspondiente a los límites de deformación unitaria
f_{P-D}	Factor de mayoración de los efectos de segundo orden
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
F_v	Coefficiente de amplificación de suelo en las zonas de períodos intermedios
F_{rev}	Componente vertical del sismo de diseño (fuerza neta vertical reversible)
F_x	Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura
f_{yn}	Esfuerzo de fluencia del acero
g	Aceleración o intensidad de la gravedad

3 CAPITULO

3.1 Reseña histórica y ubicación del Edificio de la Facultad de Economía de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

3.1.1 Introducción

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil fue fundada el 17 de mayo de 1962, a pedido de una junta la cual la presidía el arzobispo de Guayaquil Monseñor César Antonio Mosquera Corral, Dr. Leónidas Ortega Moreira y el Padre Joaquín Flor Vásquez, los quienes fueron las autoridades fundadoras. En ese entonces era presidente de la República el Dr. Carlos Julio Arosemena Monroy, quien mediante el acuerdo ejecutivo #936 aprobó el estatuto y el Ministerio de Educación Pública en la resolución #1158 autorizó su funcionamiento (UCSG, 2011).

El 6 de junio de 1963 se inició el primer período académico y la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil contaba con las Facultades de Ciencias Sociales y Políticas, Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Jurisprudencia y Ciencias Físicas y Matemáticas que tenía la carrera de Ingeniería Civil y Arquitectura. La Universidad dictaba sus clases en el edificio del colegio 20 de abril, de los padres jesuitas, el cual se ubicaba en la esquina de Eloy Alfaro y Manabí, en la que funcionó hasta 1966 (UCSG, 2011).

En el año 1965 se creó la Facultad de Arquitectura, la que había pertenecido a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. En el año 1966 se inauguró el edificio principal en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, que se ubica en el Km. 1,5 de la avenida Carlos Julio Arosemena Tola (UCSG, 2011).

En 1967-1968 fue creado el Instituto de Educación Técnica para el Desarrollo, con las escuelas de Telecomunicaciones, Electricidad, Zootecnia y la Facultad de Ciencias Médicas. En 1970 se autorizó que entre en funcionamiento el Instituto de Artes Aplicadas, lo que hoy es la carrera de Diseño de Interiores. En 1973 se incorporó la Escuela de Enfermería en la Facultad de Ciencias Médicas (UCSG, 2011).

3.1.2 Reseña histórica del Edificio de la Facultad de Economía

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil inició su primer período académico con las Facultades de Jurisprudencia, Filosofía y Ciencias Físicas y Matemáticas. Es en 1963 que se crea la Escuela de Economía como una Unidad Académica adscrita a la Facultad de Jurisprudencia, durante el Decanato del Dr. Héctor Romero Menéndez, quien designa una comisión conformada por el Econ. Héctor Fantoní Camba (+), Econ. Nicolás Escandón (+) y el Econ. José Icaza Coronel, para diseñar el Plan de Estudio de la nueva carrera (UCSG, 2019).

Se encargó al Econ. Icaza la selección de los primeros profesores, entre ellos al Dr. Miguel Babra Lyon, Econ. Carlos Cortez Castro, Dr. Alfredo Baquerizo Lince, Ing. Pedro Aguayo Cubillo. Posteriormente, el entonces cuerpo de Gobierno de la Universidad, en sesión del 18 de marzo de 1965, aprobó la creación de la Facultad de Economía; el primer Decano fue el Dr. Teodoro Arízaga Vega. La nueva carrera tendría una duración de seis años. El 12 de enero de 1966 se crea la especialización de Administración, la que podía ser tomada a partir de cuarto año, por tener los tres primeros años comunes y los tres últimos de especialización (UCSG, 2019).

En el Decanato del Econ. José Icaza Coronel, nació la propuesta estudiantil de la creación de un Instituto de Investigaciones Económicas, para que complemente la formación de los graduados. Es entonces que el Rector encargado, Dr. Galo García Feraud, presenta la propuesta el 16 enero de 1978 ante el Consejo Universitario que aprueba la creación del Centro de Investigaciones Económicas, para que funcione como un centro adscrito a la Facultad. Este Centro de Investigaciones de la Facultad de Economía generó un boletín mensual de sus actividades de investigación al que denominó “Informe de Coyuntura Económica” el cual es uno de los referentes de información económica a nivel nacional (UCSG, 2019).

Debido a la gestión del doctor Gustavo Cornejo Montalvo, quien dio impulso a la ejecución del Edificio de la Facultad de Ciencias Económicas el 5 de octubre de 1981, mismo año en el que se suscribió el contrato para la elaboración de los planos de la primera etapa, y fue el 3 de agosto de 1982 que se comenzó con la construcción.



Ilustración 2: Firma del contrato para la construcción del edificio de la Facultad de Ciencias Económicas, en agosto de 1982.

Fuente: Archivo fotográfico de la UCSG

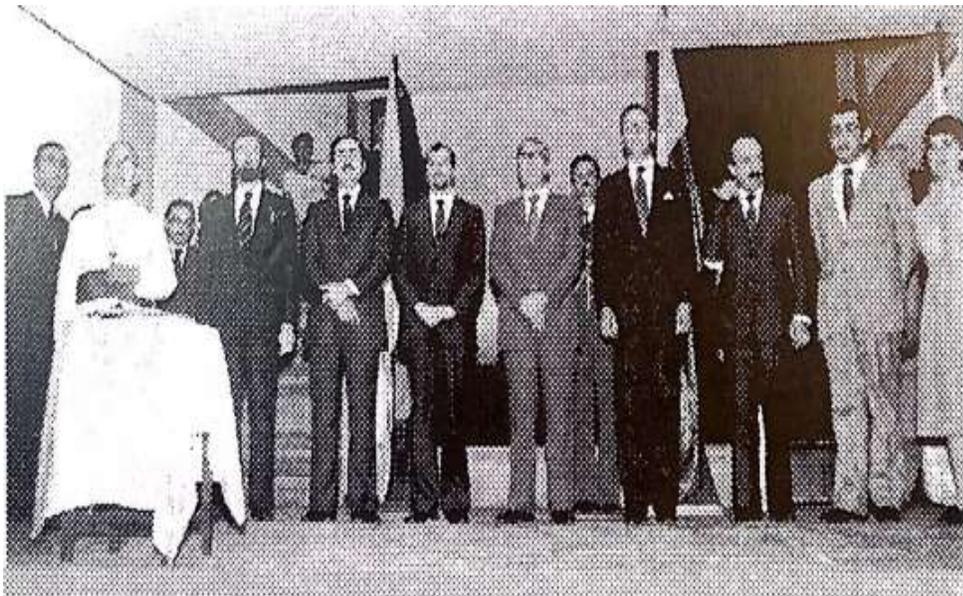


Ilustración 3: Inauguración del edificio de Ciencias Económicas, con la presencia del presidente Dr. Osvaldo Hurtado Larrea.

Fuente: Archivo fotográfico de la UCSG

A partir del año de 1982 la Facultad cuenta con su propio edificio, hasta entonces las clases eran dictadas en el Edificio Principal de la Universidad. El 5 de abril de 1982,

durante el Decanato del Econ. Jorge Páez Égüez (+), el Consejo Universitario aprobó la creación de la Especialización de Contabilidad y Auditoría.

El 24 de junio de 1983, durante el decano del Econ. Jorge Páez Egüez (+), tuvo lugar la ceremonia inaugural con la presencia del señor presidente constitucional de la República, Dr. Osvaldo Hurtado Larrea, de sus ministros Dr. Claudio Malo González, de Educación, Econ. Alfredo Mancero Samán, de Bienestar Social, Abg. Vladimiro Álvarez Grau, de Gobierno, y del gobernador de la provincia, Dr. Gustavo Noboa Bejarano. Bendijo el local el arzobispo Monseñor Bernardino Echeverría Ruiz (UCSG).

El 30 de noviembre de 1992, durante el Decanato del Ing. Mauro Toscanini Segale, el Consejo Universitario aprobó la creación de la Especialización de Gestión Empresarial Internacional, avalada por la Universidad de Toulouse de Francia, y nace como una respuesta a la necesidad de encontrar personal preparado con conocimientos de Economía, Comercio Exterior, Administración e Idiomas (Inglés-Francés), manifestada en los resultados de una investigación realizada al sector empresarial (UCSG, 2019).

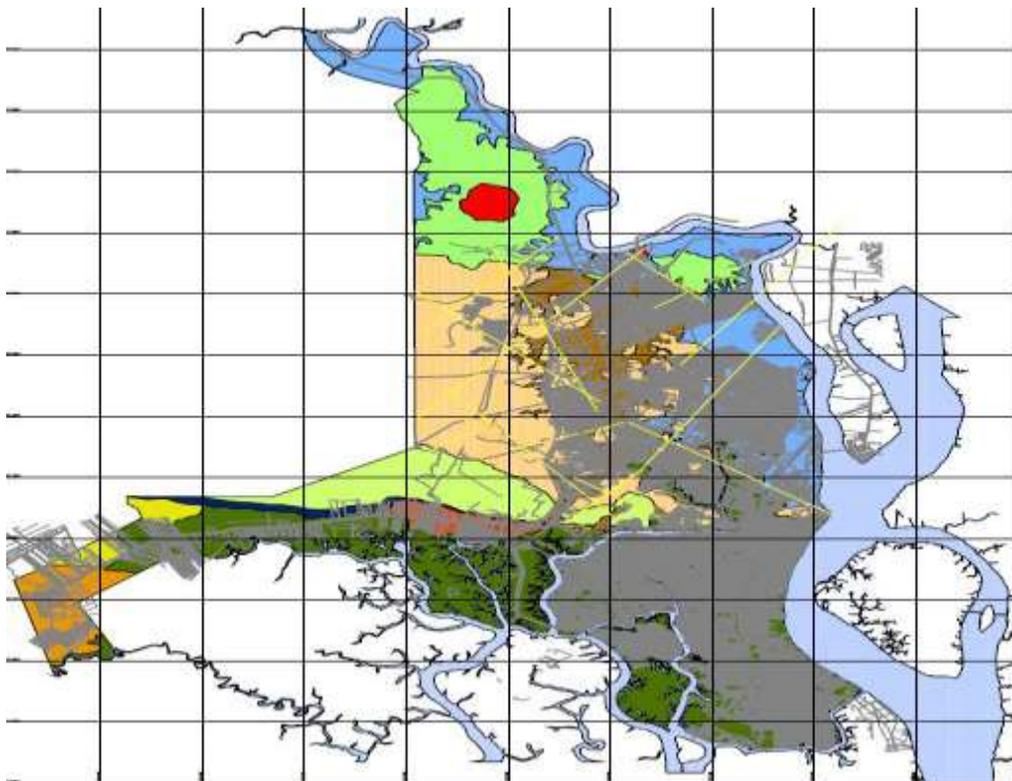
El 8 de abril del año 2008, sea crea la carrera de Ingeniería de Empresas modalidad Dual, por pedido del Decano de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, después de atender la invitación para una reunión del Consejo Superior Central de la Berufsakademie en la Universidad de Cuenca y recabar información por parte de los alumnos y de las empresas participantes en el programa (UCSG, 2019).

La creación de las nuevas carreras de la Facultad hacían que el nombre de la misma se modifique y las incorpore y es la última en mención (además del proyecto de la carrera de Administración en Puertos y Aduanas) la que origina la propuesta del señor Decano, Ingeniero Kléber Coronel en sesión del Consejo Directivo de la Facultad el 14 de Mayo del 2010, el cambio de nombre de la Facultad, consensuando el de “Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas” considerando que estas dos ciencias son parte sustancial de todas las carreras de la Facultad. La decisión fue comunicada al señor Rector y puesta en conocimiento del Honorable Consejo Universitario para que finalmente el 14 de junio del mismo año, logre el registro correspondiente en el Consejo Nacional de Educación Superior (UCSG, 2019).

3.1.3 Localización del edificio de la facultad de Economía

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se asienta en la cordillera Chongón-Colonche, esta ocupa el cuadrante Noreste del área metropolitana de Guayaquil, y se desarrolla hacia el Oeste a partir de los cerros del Barrio San Pedro y Ciudadela bellavista, es una estructura homoclinal de rumbo Norte 110 que levanta rocas antiguas del Paleógeno y del Cretácico sometidas a procesos erosivos intensos. En este dominio están comprendidas las rocas de las formaciones Cayo y Guayaquil (TOAPANTA, 2022).

La formación Cayo comprende rocas de origen volcánico-clástico depositadas en ambiente marino, sobresaliendo a la formación Piñón e infrayaciendo a la formación Guayaquil. Las secuencias unitarias caracterizan a un depósito de abanico submarino (Formación Cayo) y llanura submarina (Formación Guayaquil) (TOAPANTA, 2022).



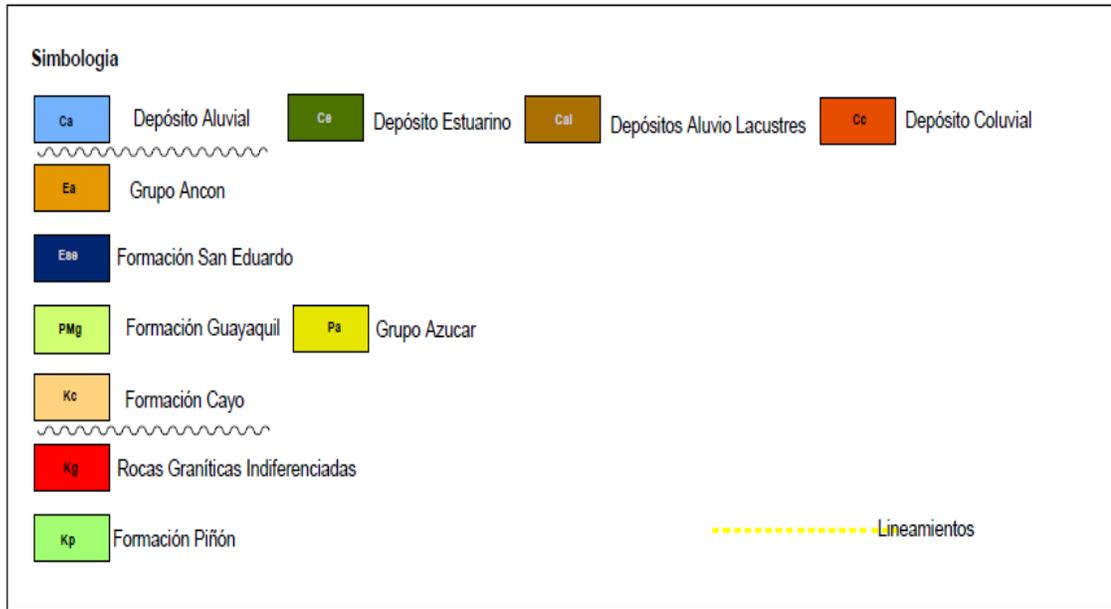


Ilustración 4: Mapa Geológico de Guayaquil (IFIUC, 2005).



Ilustración 5: Zonificación Geológica – UCSG - Formación Cayo.

El Edificio de la antigua Facultad de Economía se encuentra sobre roca, donde se hicieron estudios de suelo para de los edificios, Aula Magna, Facultad de medicina, Edificio Principal, Facultad de Arquitectura que fueron construidos previamente. A excepción del edificio de la Facultad de Ingeniería Civil el cual se encuentra sobre un antiguo basurero, se considera que el suelo que ocupa la Universidad Católica Santiago De Guayaquil es roca (UCSG, 2019).

3.1.4 Estudio de suelos relacionados

Hasta el momento, no se ha realizado ningún estudio de suelo relevante cerca del lugar donde se encuentra el antiguo edificio de la Facultad de Economía, lo que serviría como información importante del tipo de suelo encontrado debajo del edificio. Sin embargo, es posible obtener información sobre una investigación relacionada por el ex docente de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ingeniero Oswaldo Ripalda Nuques M.Sc. para la construcción de un edificio de posgrado ubicado a pocos metros del edificio de economía, como se resume a continuación.



Ilustración 6: Socavón al Noroeste del Aula Magna de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Fuente: Google Earth

Tabla 3: Sistema de Calificación de Macizos Rocosos, según Bieniawski, 1989.

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS							
Parameter		Range of values					
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test preferred
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa 1 - 5 MPa < 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2 1 0	
2	Drill core Quality (RQD)	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
	Rating	20	17	13	8	3	
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.5 - 2 m	200 - 800 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Rating	20	15	10	8	5	
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous	
		Rating	30	25	20	10	0
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (ltm)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		(Joint water pressure) (Major principal stress)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing	
	Rating	15	10	7	4	0	
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)							
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable	
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12	
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25	
	Slopes	0	-5	-25	-50		
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS							
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number	I	II	III	IV	V		
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES							
Class number	I	II	III	IV	V		
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		

La puntuación para este caso de estudio se presenta a continuación:

Tabla 4: Parámetros de Resistencia según Calificación.

RMR (Bieniawski,1989)	C' (KPa)	φ' (grados)
81	400	45
61	300	35
41	200	25
21	100	15

3.1.5 Conclusiones del estudio geotécnico disponible

De acuerdo con lo que se puede evidenciar en la información anterior, el macizo rocoso se describe mencionando sus características notables y refiriéndose a la clasificación del macizo rocoso de Bieniawski de 1989 del mismo autor, lo que lleva a una clasificación de clase II, que contiene rocas de buena calidad. La falta de esta descripción puede ser el grado de fractura, que se puede apreciar en la siguiente imagen:



Ilustración 7: Macizo rocoso del estudio de suelos realizado para el Edificio de post Grado.

Dado que este caso de estudio carece de información directa sobre la clasificación sísmica del suelo, utilizamos esta información y la opinión de profesionales geotécnicos como el ingeniero Oswaldo Ripalda Nuques, ex docente de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, quien conoce los múltiples estudios realizados. En terrenos de la Universidad, el edificio de la Facultad de Empresariales está ubicado en el mismo afloramiento rocoso junto a vía a la costa. Combinando toda esta información, se concluyó que el suelo utilizado para la evaluación del riesgo sísmico y posible mitigación de este edificio del antiguo edificio de la Facultad de Economía está clasificado sísmicamente como suelo tipo B.

4 CAPÍTULO

4.1 Sismicidad en la ciudad de Guayaquil

El Ecuador debido a su ubicación se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico ya que está ubicada a lo largo de la zona de intersección entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental sudamericana, las cuales están interactuando entre si lo que provoca que haya sismos muy frecuentes en esta zona. Las provincias costeras del Ecuador son las más vulnerables, debido a factores como el tipo de suelo y la cercanía al mar. Una de estas ciudades es Guayaquil la cual se ubica en un brazo del mar, el Estero Salado, a diez Kilómetros al Sur del centro comercial de la ciudad del mismo nombre.

A lo largo de los años ha habido eventos significativos en el territorio ecuatoriano, los cuales se tiene registro y son los siguientes:

- 1906 Esmeraldas (8.8Mw), Costas afuera de Mompiche
- 1942 Manabí (7.8Mw), Pedernales
- 1958 Manabí (7.8Mw), Pedernales
- 1979 Esmeraldas (8.1Mw), Costas afuera de San Lorenzo
- 2016 Manabí (7.8Mw), Pedernales (IGEPN, 2011).

Como se puede notar son sismos con magnitudes altas, que pueden poner en riesgo la vida humana si no se tiene un buen diseño sísmico de las estructuras que puedan brindar seguridad a las personas que les den uso.

Pese a no tener epicentro en la ciudad de Guayaquil, estos sismos han hecho sentir su efecto en la ciudad, provocando daños significativos en las estructuras (incluido el colapso), perdidas de vida humana y cuantiosas pérdidas económicas, esto da a notar que el peligro sísmico en la ciudad es alto. Es importante mencionar también que, tomando en cuenta las características geológicas que se presentan en los suelos de Guayaquil tales como, pocos afloramientos rocosos y abundantes suelos blandos que amplifican ondas

sísmicas, sumando puntos negativos para la seguridad de las estructuras que tienen sus bases en suelos Guayaquileños.

Esto ha motivado a muchos investigadores a realizar estudios acerca de la sismología de la ciudad de Guayaquil, siendo la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) participe de estos, con su aporte en instrumentación al final de los años 80 y a proyectos de investigación en los que han participado profesionales los ingenieros Walter Mera PhD, Jaime Argudo PhD, Lilia Valarezo, Fausto Bravo, Rommel Yela M.Sc, y Alex Villacrés M.Sc, quienes han aportado con valiosa información para este campo de la ingeniería.

4.2 Consideraciones sísmicas

4.2.1 Zonificación sísmica y factor Z

Dada la alta sismicidad del Ecuador y los registros históricos de los últimos 50 años, la última edición de la Normas Ecuatoriana de la Construcción del año 2015 hace referencia a lineamientos que se deben tener en consideración, teniendo en cuenta la realidad de la ubicación geográfica del país en relación con la sismicidad actual. Sus recomendaciones son que las estructuras diseñadas según estos estándares deberían funcionar mejor frente a las cargas cíclicas que ocurren durante los eventos sísmicos, por lo que NEC-15 proporciona un mapa de aceleración zonal en las secciones de gravedad detalladas en el diseño.

También se presentan tablas en el espectro de aceleración para el periodo de retorno de 475 años, teniendo en cuenta los factores de amplificación del movimiento sísmico que determinan estos procesos por tipo de suelo. La zonificación se basa en estudios realizados por profesionales ecuatorianos y extranjeros expertos en la problemática del riesgo sísmico, quienes han creado la base necesaria para que la industria de la construcción de nuestro país cuente con lineamientos que ayuden a diseñar estructuras de acuerdo con estas recomendaciones, cuyo principal propósito es proteger en los edificios donde viven estas personas.

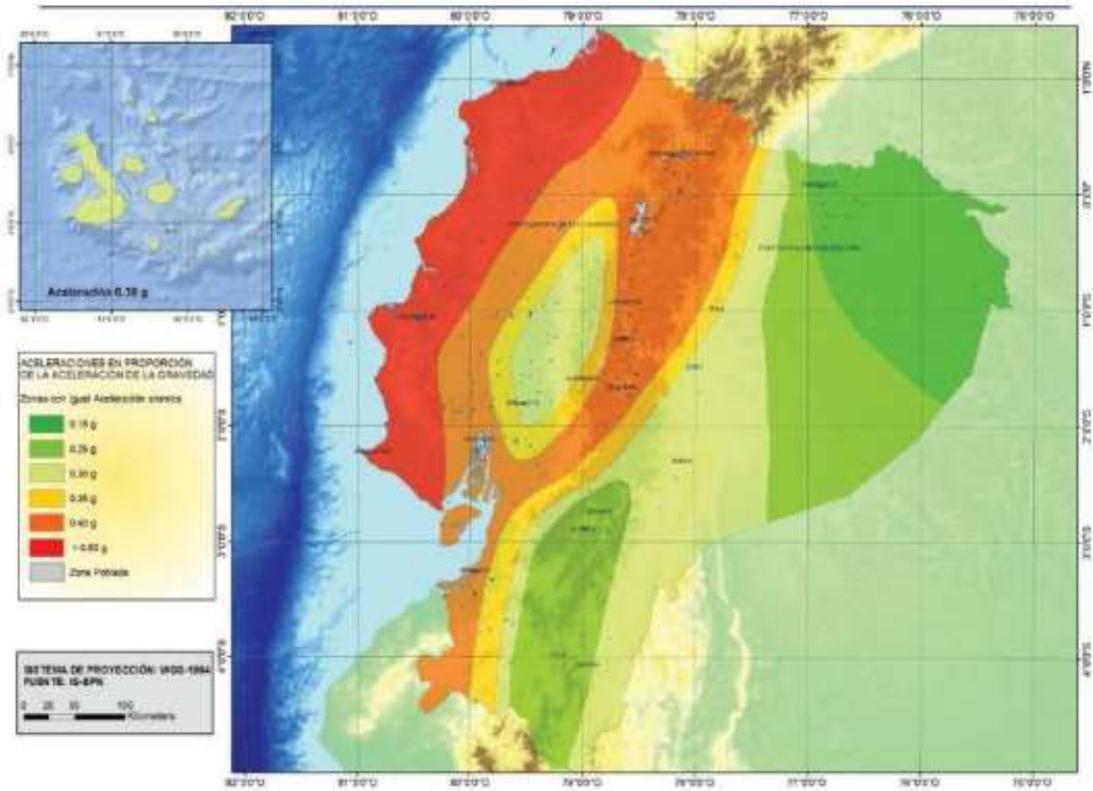


Ilustración 8: Mapa de zonificación sísmica y factor de zona Z.

Fuente: (NEC, 2015)

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI (NEC, 2015).

Tabla 5: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Fuente: (NEC, 2015)

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥ 0,50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

El valor de Z según en el mapa de la ilustración 7 Guayaquil se encuentra en la zona V con un valor de Z de 0.4 considerado como peligro sísmico alto.

*Tabla 6: Tabla de poblaciones ecuatorianas, con su respectivo valor de Z.
Fuente: (NEC, 2015)*

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
LA PUNTILLA	SAMBORONDON	SAMBORONDON	GUAYAS	0.40
LAUREL	JUNQUILLAL	SALITRE	GUAYAS	0.40
LAUREL	LAUREL	DAULE	GUAYAS	0.40
PUEBLO NUEVO	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
KILOMETRO VEINTE Y SEIS	VIRGEN DE FATIMA	SAN JACINTO DE YAGUACHI	GUAYAS	0.35
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40
CARPUELA	AMBUQUI	IBARRA	IMBABURA	0.40
CHALGUAYACU	PIMAMPIRO	PIMAMPIRO	IMBABURA	0.40
PIMAMPIRO	PIMAMPIRO	PIMAMPIRO	IMBABURA	0.40
MARIANO ACOSTA	MARIANO ACOSTA	PIMAMPIRO	IMBABURA	0.40

4.2.2 Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs

Estos factores serán definidos una vez se hayan seleccionado los parámetros anteriores tales como el factor de aceleración Z y el tipo de suelo, esto ayuda a determinar de manera sencilla el valor correspondiente de los factores característicos del suelo mostrados a continuación.

4.2.2.1 Coeficiente Fa

El valor de Fa que se utilizó está dado por el tipo de suelo (tipo B) y el valor de Z (0,4) los cuales ya fueron determinados.

Tabla 7: Factores de sitio Fa y tipo de suelo.

Fuente: (NEC, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

4.2.2.2 Coeficiente Fd

Es un factor de amplificación de los valores del espectro de respuesta de desplazamientos en roca, esto incluye posibles efectos de sitio.

El valor de Fd que se utilizó está dado por el tipo de suelo (tipo B) y el valor de Z (0,4) los mismos ya fueron determinados.

Tabla 8: Factores de sitio Fd y tipo de suelo.

Fuente: (NEC, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

4.2.2.3 Coeficiente Fs

Es un factor que incorpora el comportamiento no lineal que poseen los suelos.

El valor de Fs que se utilizó está dado por el tipo de suelo (tipo B) y el valor de Z (0,4) los cuales ya fueron determinados.

Tabla 9: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.

Fuente: (NEC, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

4.2.3 Curvas de peligro sísmico

Si se necesita analizar estructuras "especiales" como puentes, puertos y otras estructuras con otros periodos de retorno como 72 años (sismo frecuente), 225 años (sismo ocasional) y 2500 años (sismo muy raro) existe la necesidad de utilizar curvas de riesgo sísmico para evaluar estructuras en diferentes niveles de desempeño. Para definir los diferentes niveles de aceleración sísmica esperada en roca, se proporcionan curvas de peligrosidad sísmica probabilística para cada capital de provincia, donde el valor de la aceleración sísmica del suelo (PGA) se relaciona con el nivel de probabilidad de excedencia anual.

El período de retorno correspondiente es el inverso de la probabilidad de excedencia anual. Cada gráfico también incluye las curvas de aceleración espectral máxima para

períodos estructurales de 0,1, 0,2, 0,5 y 1,0 s. Se adjunta una curva de amenaza sísmica correspondiente a cada capital de provincia que da la aceleración máxima prevista (PGA) y la aceleración espectral máxima en el terreno en diferentes niveles de probabilidad anual, como se muestra en el siguiente ejemplo:

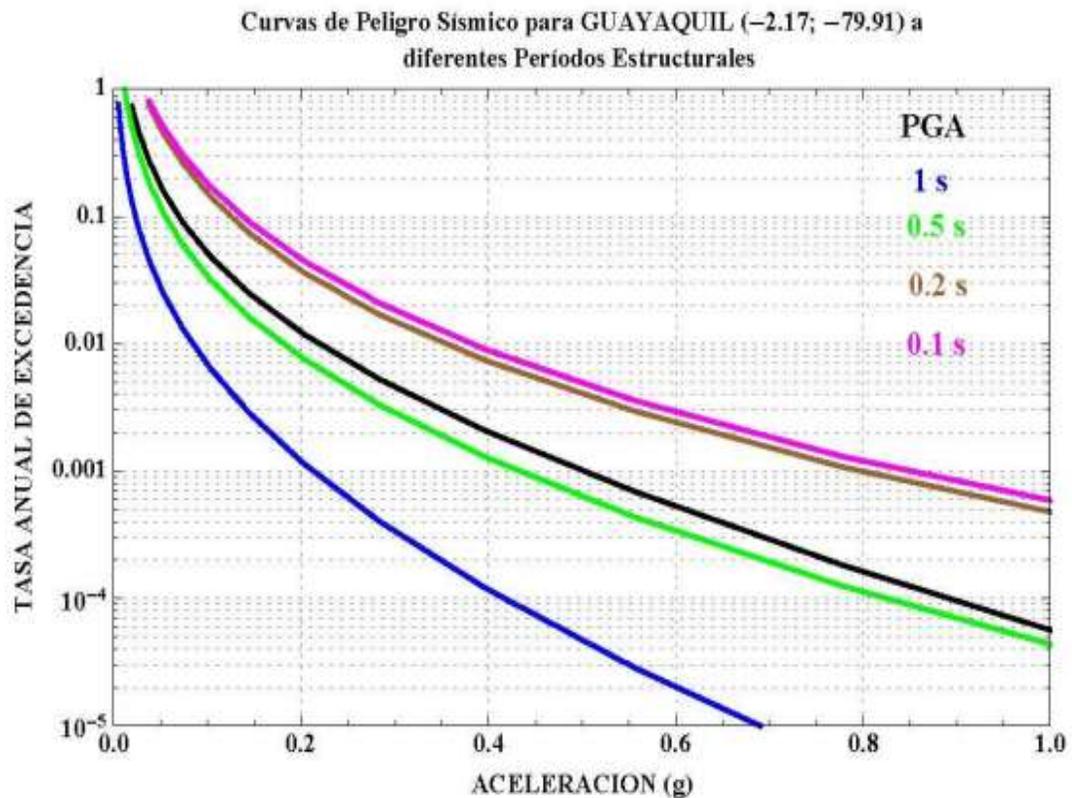


Ilustración 9: Curvas de peligro sísmico para suelo tipo B de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: NEC-15

4.2.4 Características geológicas según NEC 2015, tipos de perfiles de suelo

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción se han dispuesto 6 tipos diferentes de clasificación de suelos según sus parámetros físico-mecánicos, haciendo referencia a su capacidad de deformación en lo que respecta a suelos blandos y a su rigidez en suelos compuestos por roca, esto con el objetivo de brindar características del sitio al respectivo análisis de la estructura. La clasificación puede ser A, B, C, D, E y F.

Tabla 10: Tipos de perfiles de suelos según la (NEC, 2015).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1	Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.
	F2	Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
	F3	Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)
	F4	Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)
	F5	Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.
F6	Rellenos colocados sin control ingenieril.	

4.2.5 Componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos dediseño

4.2.5.1 Espectro elástico horizontal de diseño de aceleraciones

Según la (NEC, 2015), el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad para el nivel del sismo de diseño, se proporciona a continuación:

- El factor de zona sísmica Z ,
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .

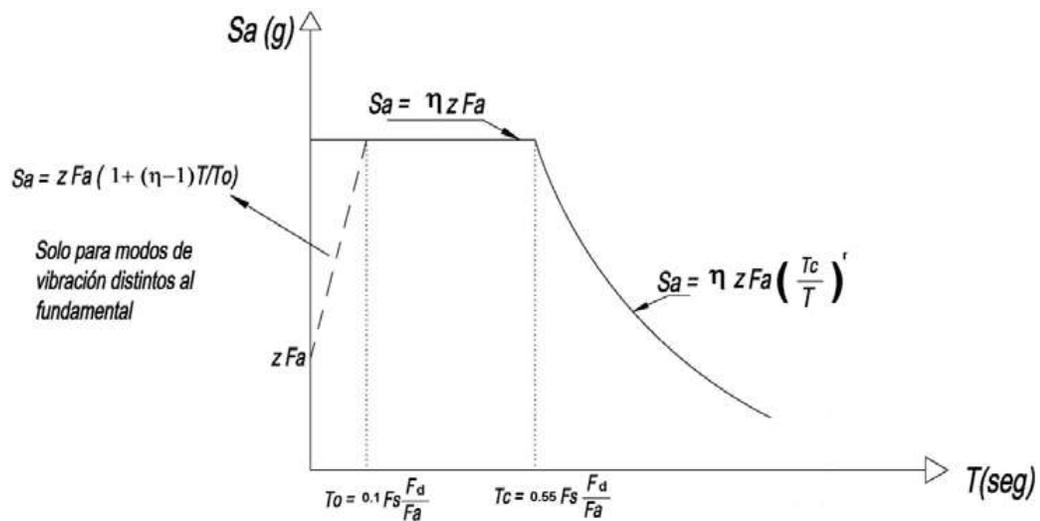


Ilustración 10: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Dónde la (NEC, 2015):

η Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectroelástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_a Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio (NEC, 2015).

F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos (NEC, 2015).

S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura (NEC, 2015).

T Período fundamental de vibración de la estructura (NEC, 2015).

T₀ Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (NEC, 2015).

T_C Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (NEC, 2015).

Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g (NEC, 2015).

Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para períodos de vibración estructural **T** pertenecientes a 2 rangos (NEC, 2015):

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \quad \text{para } T > T_c$$

Dónde:

η Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

r Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto:

$$r = 1 \quad \text{para tipo de suelo A, B, o C}$$

$$r = 1.5 \quad \text{para tipo de suelo D o E.}$$

S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

Estos valores varían dependiendo de la región donde se encuentre la estructura de análisis, para este caso es Guayaquil la cual se encuentra en la región Costa (NEC, 2015).

$$\eta = 1.80: \text{Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)}$$

$$\eta = 2.48: \text{Provincias de la Sierra Esmeraldas y Galápagos}$$

$$\eta = 2.60: \text{Provincias del Oriente}$$

Los límites para el período de vibración T_c y T_L :

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2.4 \cdot F_d$$

Dónde:

T_L : Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.

4.2.6 Espectro elástico de aceleraciones

Z	0,4
n	1,8
Fd	1
Fa	1
Fs	0,75
Tipo Suelo	B
r	1
To	0,075
Tf	0,413

T	Sa - Elastico	I*Sa/R
0	0,720	0,312
0,07	0,720	0,312
0,41	0,720	0,312
0,66	0,448	0,194
0,91	0,325	0,141
1,16	0,255	0,110
1,41	0,210	0,091
1,66	0,178	0,077
1,91	0,155	0,067
2,16	0,137	0,059
2,41	0,123	0,053
2,66	0,111	0,048
2,91	0,102	0,044
3,16	0,093	0,040

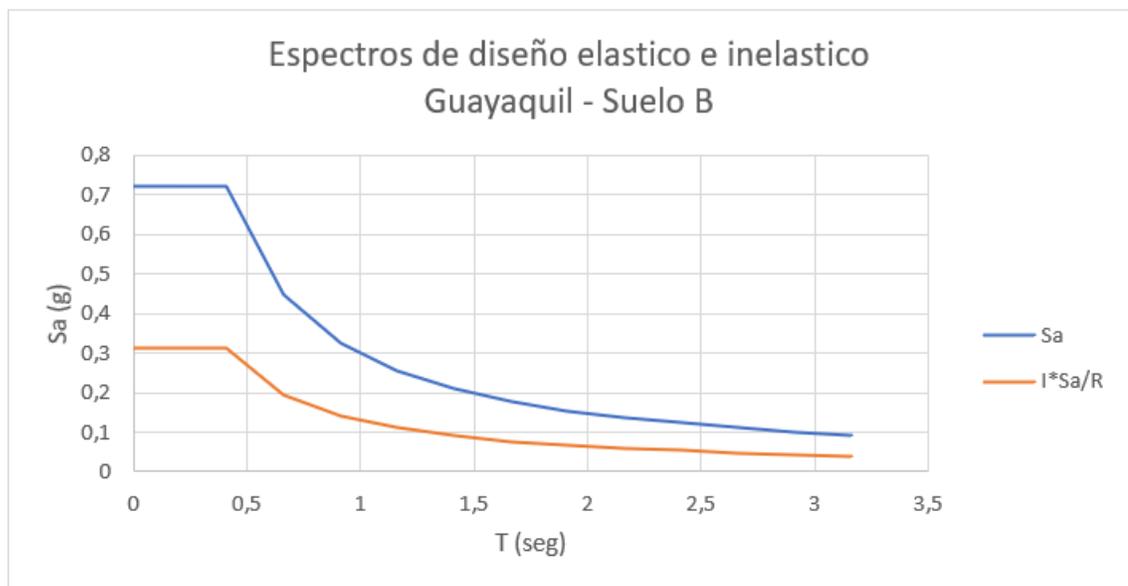


Ilustración 11: Gráfica de espectros de diseño en Guayaquil.

4.3 Consideraciones de sismo resistencia

4.3.1 Categoría de edificio y coeficiente de importancia

La Norma Ecuatoriana de la Construcción estipula que al determinar la fuerza sísmica de la estructura estas deben de incrementar dependiendo el tipo de uso o importancia que

tengan designada. Para ello las edificaciones pueden clasificarse como esenciales, de ocupación especial y de uso ordinario. Dependiendo de esto se les asigna un porcentaje extra en el valor de la fuerza sísmica determinada, para que de este modo las estructuras puedan permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Tabla 11: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.

Fuente: (NEC, 2015)

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Para el Edificio de la antigua Facultad de Economía se tomará como factor de importancia de 1.3 ya que incluye escuelas y centros de educación.

4.3.2 Límites permisibles de las derivas de los pisos

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso:

Tabla 12: Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

La filosofía de diseño sismo resistente se sintetiza como sigue a continuación:

Tabla 13: Síntesis de la filosofía de diseño.

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Elementos estructurales	Elementos estructurales no	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

4.3.3 Tasa anual de excedencia

Se clasifican los sismos según los niveles de peligro y periodo medio de retorno tal como en la tabla siguiente:

Tabla 14: niveles de amenaza sísmica.

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.0004

5 CAPITULO

5.1 Levantamiento Estructural Del Edificio

Este capítulo abarca el levantamiento de la edificación en su parte estructural, ya que los planos estructurales no existen en la actualidad. Partiendo de los planos arquitectónicos proporcionados por la Administración de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se emplearán distintos métodos con el objetivo de conocer las características y propiedades de los materiales que conforman el edificio.

Se deberá obtener las medidas de las secciones de columnas y de la viga efectiva del sistema de losa placa plana; se utilizará cinta métrica y demás instrumentos de medición útiles. Se deberá también conocer mediante ensayo de esclerometría y equipos como el Ferroskan, la resistencia del hormigón y el acero existente, los diámetros de las varillas de acero de refuerzo en la franja de columna, franja central del sistema de losa placa plana y columnas, recubrimientos, espaciamiento de estribos, diámetro de varillas de estribos.

5.2 Levantamiento arquitectónico

A partir de los planos arquitectónicos disponibles, se realizaron visitas al edificio para una verificación de los diferentes elementos estructurales y entre los aspectos más relevantes que se constató fueron las distancias entre columnas, alturas de pisos mediante cinta y flexómetro, las dimensiones de las columnas y vigas, contabilizar el número de columnas y vigas existentes en la edificación y con eso se concluyó que los planos arquitectónicos tenían las distancias y elevaciones correctas que se encontraban en dichos planos.

5.3 Método para obtener la resistencia a compresión del hormigón

Existen algunos métodos para obtener la resistencia a compresión del hormigón, el más eficaz es mediante la toma de núcleos en los elementos estructurales de la edificación, para luego ser llevado a una máquina de compresión el cual determina su resistencia.



Ilustración 12: Máquina de compresión simple para hormigón.

Fuente: Librería del Ingeniero.

Otro método que existe y fue el aplicado en este trabajo es el método esclerometría, el cual es un aparato no muy exacto, es recomendable utilizarlo en los elementos que no presenten enlucido, ya que con este el resultado será muy alejado a la realidad.



Ilustración 13: Esclerómetro.

Fuente: Propia.

Por fines de tiempo y de utilizar métodos no destructivos se lo empleó para verificar la resistencia, que coincide de manera aproximada con la resistencia con la cual fue diseñada la edificación. Se realizaron las respectivas correcciones y consideraciones para poder asemejarse a la resistencia real del hormigón.

Con la ayuda de la gráfica de correlación se logró sacar un valor de la resistencia del hormigón el cual es aproximado a la realidad

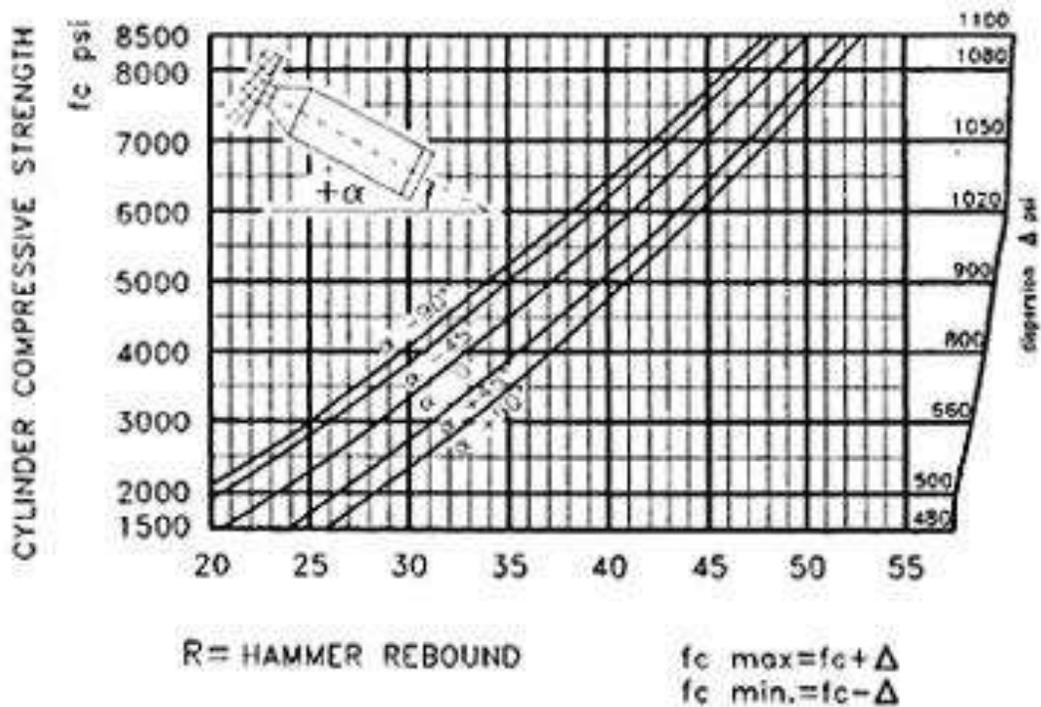


Ilustración 14: Gráfica de correlación - Rebound Hammer.

Fuente: Edificio principal UCSG.

El método de esclerometría se aplicó en los elementos de hormigón como las columnas, que se tuvo que hacer una inspección visual para poder encontrar una adecuada para llevar el proceso del método y a continuación se muestran los planos arquitectónicos y un resumen del ensayo para obtener la resistencia del hormigón:

Tabla 15: Resumen del ensayo de esclerometría.

COLUMNA	LECTURA DE REBOTE															PROMEDIO	ANGULO	f _c psi (curva)	Δ	f _c max = f _c + Δ	f _c min = f _c -Δ	f _c (kg/cm ²)
	48	51	48	50	50	50	48	48	48	52	48	48	52	48	49							
C6	48	51	48	50	50	50	48	48	48	52	48	48	52	48	49	0	8220	1885	10105	6335	445,39	
C7	44	44	42	42	44	46	42	42	42	44	42	42	44	44	43	0	6500	1035	7535	5465	384,23	
C8	48	48	46	46	50	48	48	46	50	46	48	45	48	46	47	0	7550	1072	8622	6478	455,45	
C9	46	46	48	48	48	50	50	48	48	52	49	48	46	48	48	0	7940	1078	9018	6862	482,45	
C10	48	46	43	44	44	48	48	46	46	48	48	46	44	48	46	0	7340	1062	8402	6278	441,39	
C11	46	48	48	50	50	44	48	46	46	48	48	50	48	48	48	0	7940	1078	9018	6862	482,45	
C12	48	48	48	50	50	48	48	46	50	50	48	52	52	48	49	0	8220	1885	10105	6335	445,39	
C14	50	48	48	50	52	46	50	48	48	50	48	50	48	50	49	0	8220	1885	10105	6335	445,39	
C15	44	46	48	46	48	48	46	48	48	46	44	44	48	46	46	0	7340	1062	8402	6278	441,39	
C16	48	46	48	48	46	48	48	46	48	46	44	48	48	46	47	0	7550	1072	8622	6478	455,45	
C17	42	42	44	48	46	45	46	46	48	50	44	47	48	42	46	0	7340	1062	8402	6278	441,39	
C18	40	42	40	46	44	42	48	42	46	40	46	46	48	46	44	0	6530	1042	7572	5488	385,84	
C19	48	44	48	46	46	50	44	46	48	46	44	42	48	48	46	0	7340	1062	8402	6278	441,39	
C20	42	46	42	40	38	42	46	44	46	44	42	48	44	46	44	0	6530	1042	7572	5488	385,84	
C21	44	47	48	40	46	45	48	42	45	42	40	40	42	42	44	0	6530	1042	7572	5488	385,84	
C22	48	46	48	48	44	48	45	46	48	44	46	38	40	44	45	0	7000	1050	8050	5950	418,33	
C23	48	46	47	48	46	46	48	46	43	46	44	47	48	46	46	0	7340	1062	8402	6278	441,39	
C24	47	48	48	45	40	42	48	46	44	46	42	48	48	42	45	0	7000	1050	8050	5950	418,33	
											PROMEDIO GENERAL		433,18									
											DESV. ESTAN.		30,86									
											RESISTENCIA f_c (kg/cm²)		402,32									

La tabla muestra las lecturas del rebote que se obtuvo con el esclerómetro, las cuales ingresan a la gráfica de correlación y este nos da el $f'c$ en psi, al cual hay que reducirlo por un factor Δ que se encuentra en la parte derecha de la gráfica y luego se la transforma a sistema MKS, para mejor visualización.

Se hizo un promedio de todas las columnas y se obtuvo como resultado 402.32 kg/cm^2 aplicando la desviación estándar y para los cálculos posteriores se eligió un $f'c$ igual a 400 kg/cm^2 . Se aplicó el esclerómetro en columnas de la planta baja y unas columnas del primer piso, las cuales presentaban enlucido deteriorado y los valores se mostraron en la “Tabla 15” los valores de rebote más bajo, se tomó como referencia las columnas que no presentaban enlucido y se pudo realizar el ensayo directamente en el hormigón.



Ilustración 15: Toma de muestra con el esclerómetro.

Como se puede evidenciar en las anteriores imágenes, las tomas de las lecturas del ensayo de esclerometría realizaron en diferentes columnas para poder promediar su resistencia a la compresión.

5.4 Método para obtener el acero de refuerzo

Para la determinación del acero de refuerzo se procedió con el escáner de armadura ZIRCON.

La cuantía de acero en estructuras de hormigón armado es la relación que hay de acero por partes de hormigón. En esencia existen dos tipos de cuantía:

- Cuantía geométrica
- Cuantía en peso
-

5.5 Cuantía geométrica

Para el desarrollo de este trabajo se va a enfocar en la cuantía geométrica y se utiliza casi exclusivamente en el diseño estructural. La cuantía geométrica hace refiere a la relación entre área de acero respecto al área bruta de hormigón en una sección transversal del mismo. Esta sección transversal puede referirse a secciones de columnas, vigas, losas, o incluso zapatas (PARDO, 2020).

5.5.1 Cuantía máxima y mínima en columnas

La norma ACI indica que las cuantías máxima y mínima de una columna debe estar entre 1 y 8 por ciento respectivamente. Una columna no debe contener menos del 1% de cuantía de acero ni más del 3%. Los rangos comunes de cuantías en diseño de columnas están entre 1 y 2% (PARDO, 2020).



Ilustración 16: Escáner del acero de refuerzo.

Después de realizar el escáner, se llegó a la conclusión de que para trabajar dentro de los límites de cuantías que ordena la norma ACI se procedió a trabajar con $16\phi 14\text{mm}$ dando una cuantía del 1,64% y para las vigas $6\phi 14\text{mm}$ dando una cuantía del 1,03% que están dentro del rango permitido por la norma.

5.6 Planos arquitectónicos y distribución del acero de refuerzo en columna y viga

Con la siguiente distribución de acero de refuerzo tanto en columna como viga se está considerando dentro de los lineamientos que el ACI-318 ordena en cuanto al espaciamiento del acero longitudinal como el acero transversal.



Ilustración 17: Acero de refuerzo longitudinal y transversal.

Con este modelo estructural se trabajará en toda la edificación y cabe recalcar que con dicha cantidad de acero se está siendo conservador y trabajando de una manera coherente si recordamos que dicha obra fue construido hace más de 40 años y debe haber una similitud con dicha época.

A continuación se presentan los planos arquitectónicos entregado por la Administración de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

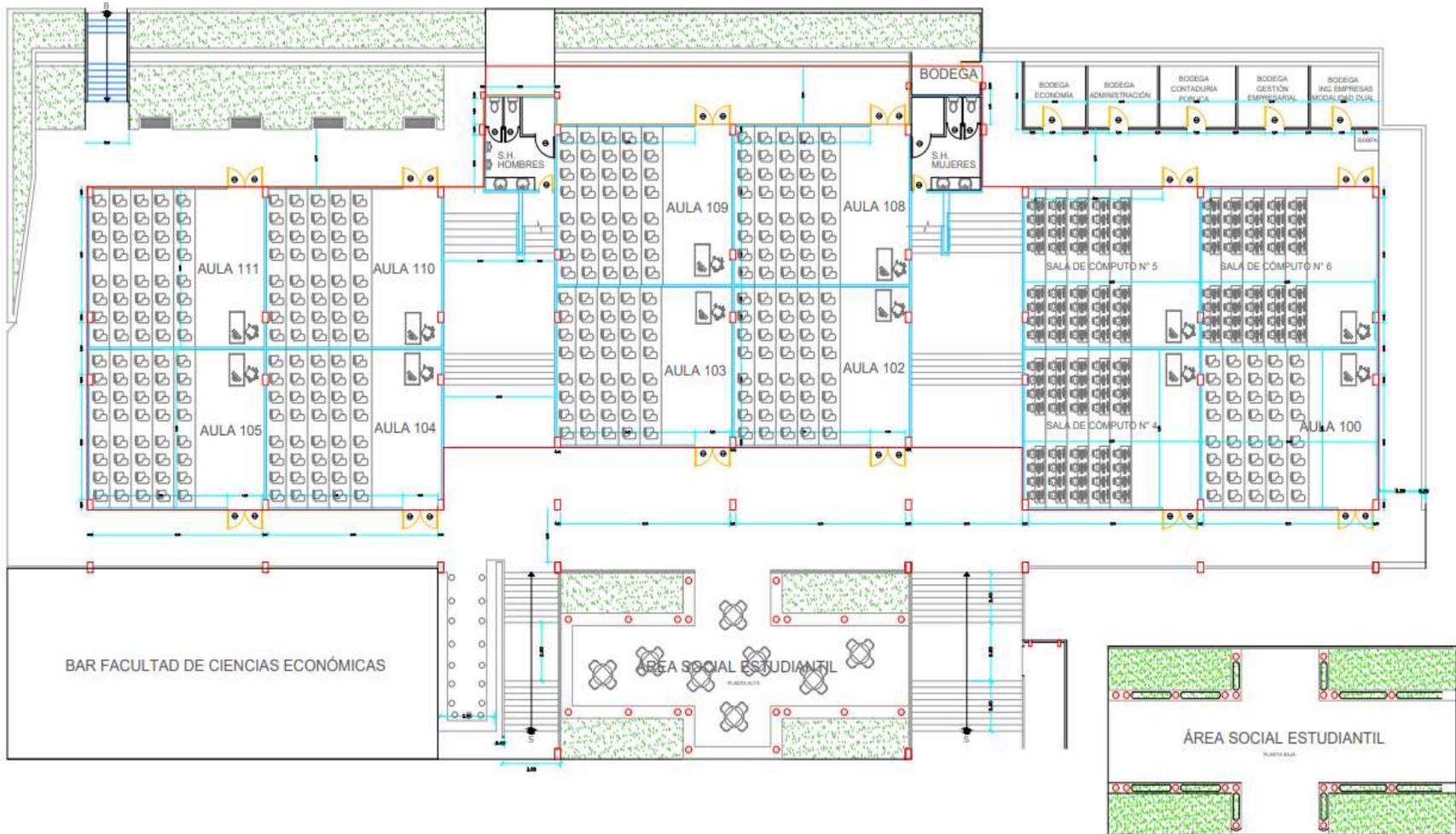


Ilustración 18: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Planta baja).



Ilustración 19: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Primer piso).

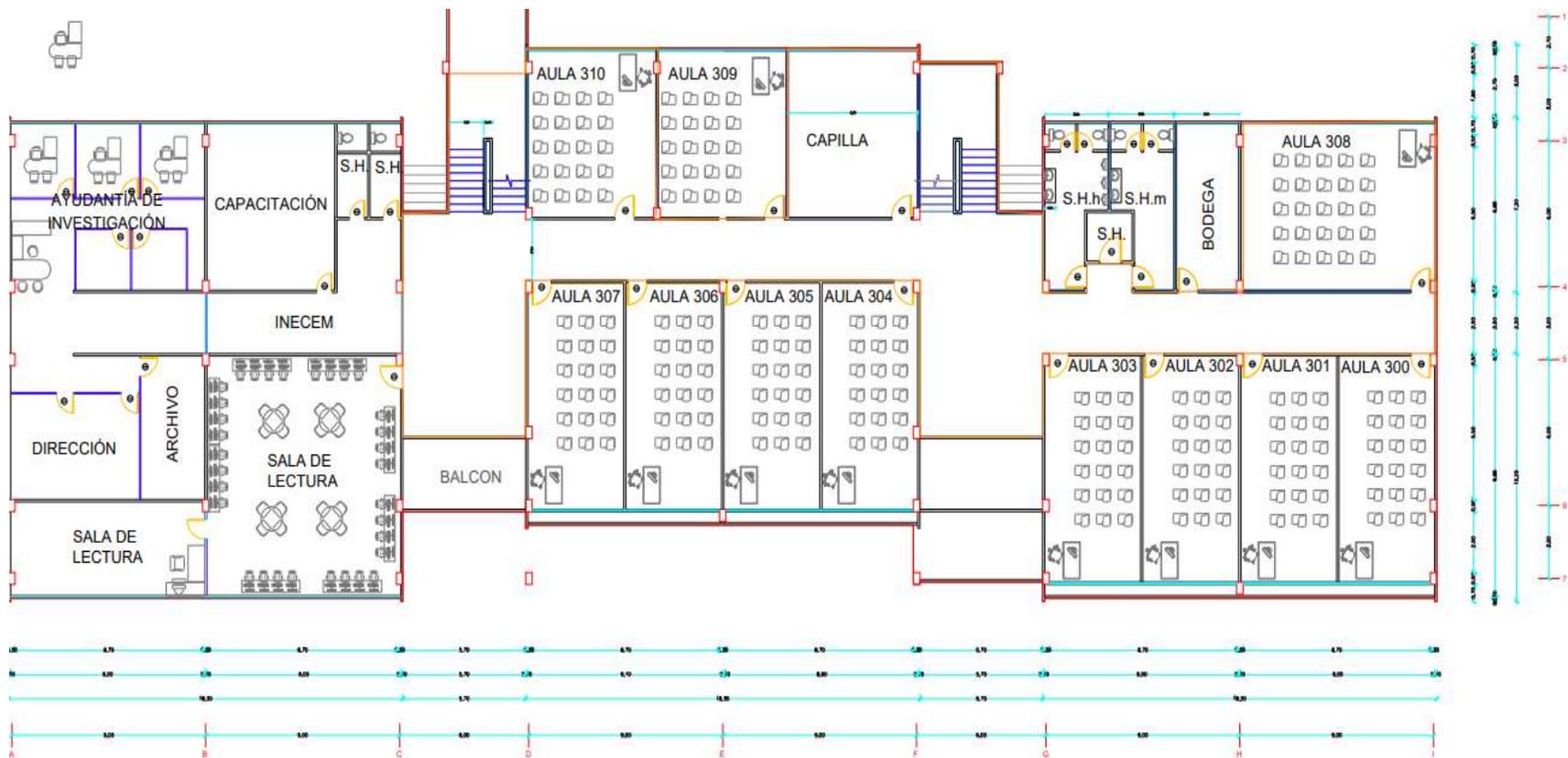


Ilustración 20: Plano arquitectónico del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Segundo piso).

5.7 Configuración estructural

5.7.1 Columna

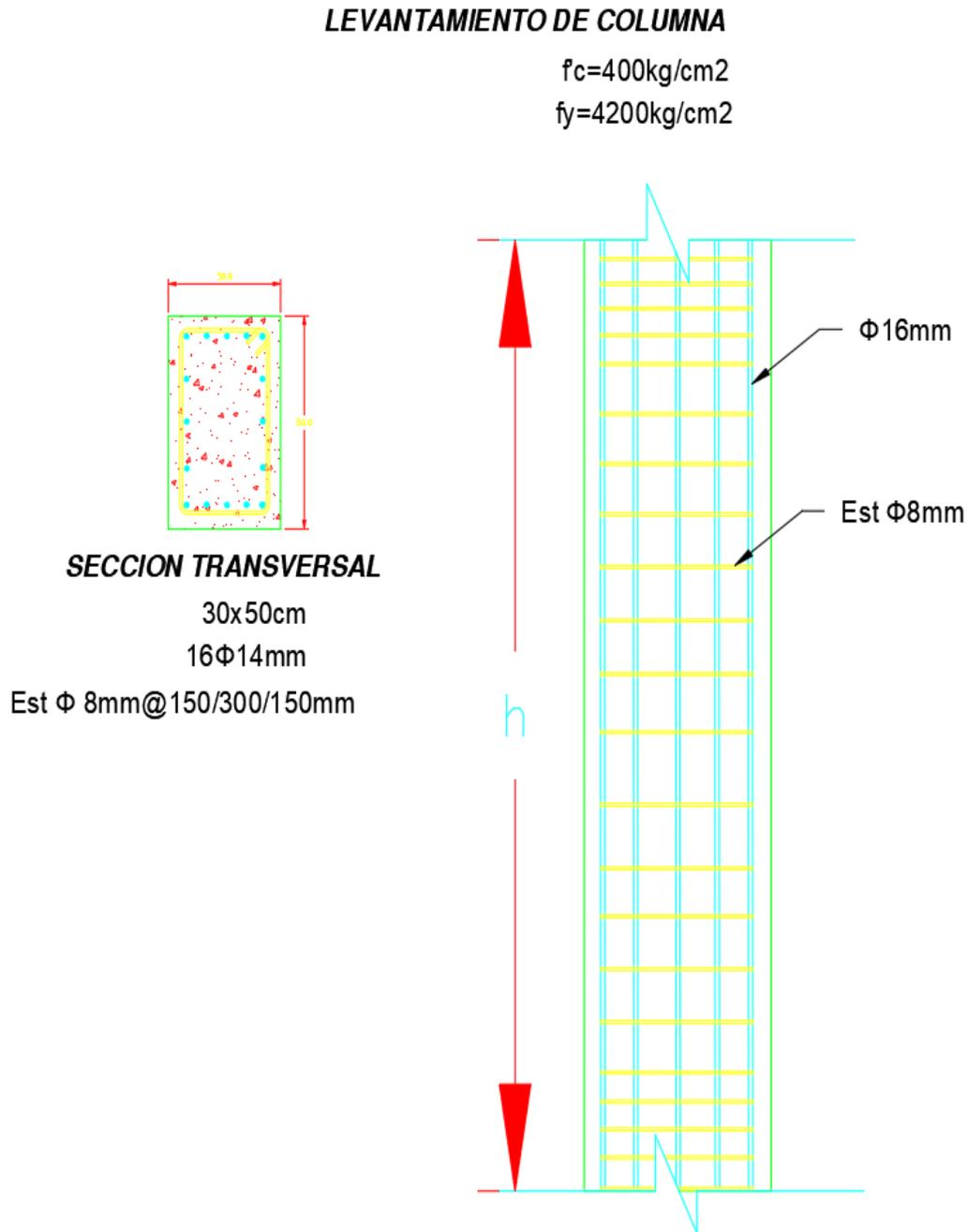


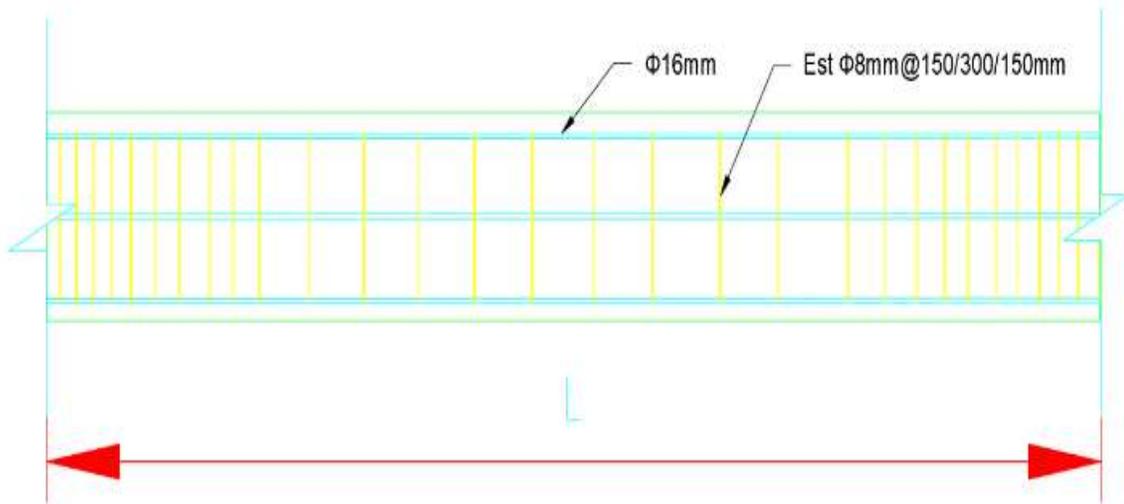
Ilustración 21: Distribución del acero de refuerzo en columna.

5.7.2 Vigas

LEVANTAMIENTO DE VIGA

$f_c=400\text{kg/cm}^2$

$f_y=4200\text{kg/cm}^2$



SECCION TRANSVERSAL

30x30cm

6Φ14mm

Est Φ 8mm@150/300/150mm



Ilustración 22: Distribución del acero de refuerzo en viga.

6 CAPITULO

6.1 Regularidad/configuración estructural

6.1.1 Configuración estructural

Se muestra a continuación como se considera ideal las configuraciones tanto en planta como en elevación donde ambos valores de ϕ se detalla a continuación:

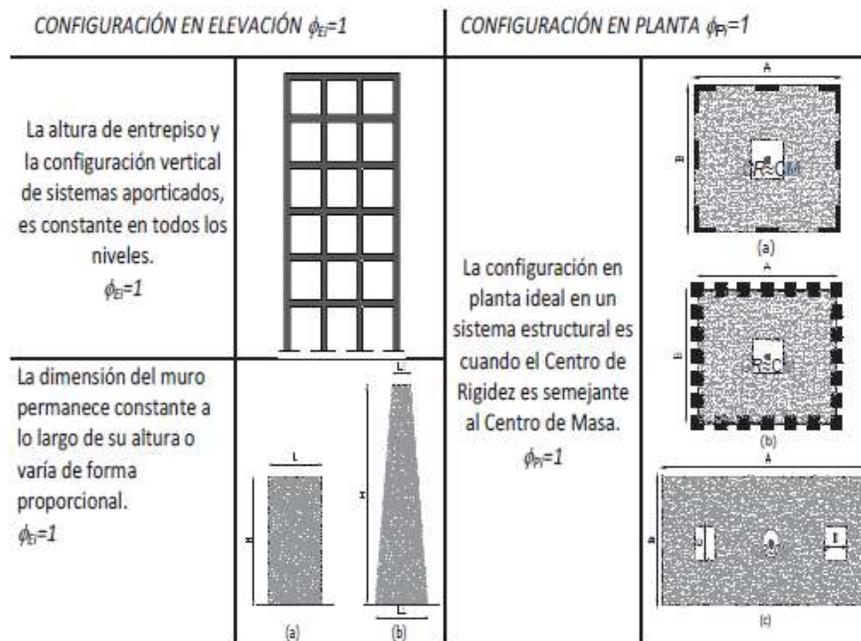


Ilustración 23: Configuraciones estructurales recomendadas.

Fuente: (NEC, 2015).

Mediante la anterior ilustración y los planos arquitectónicos del edificio en estudio, se llega a la conclusión que el valor de ϕ en elevación es igual a 1 por no presentar irregularidad en este tipo de configuración.

La mayoría de las estructuras no son construidas de la forma mostrada anteriormente lo que se considera ideal para no tener aumento en las derivas en las estructuras y se emplean otro tipo de diseño, con irregularidades que pueden ser en planta o elevación.

La estructura que se está analizando (Antigua Facultad de Economía) presenta una irregularidad en planta.

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p>		<p>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</p> <p>Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>
<p>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia. La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>		
<p>Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>		

Ilustración 24: Configuraciones estructurales no recomendadas.

Fuente: (NEC, 2015).

6.1.2 Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

En caso de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, se usaron los coeficientes de configuración estructural, que “penalizan” al diseño con fines de tomar en cuenta dichas irregularidades, responsables de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo.

6.1.3 Irregularidad en planta

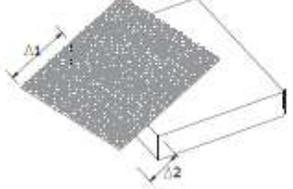
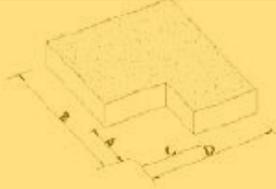
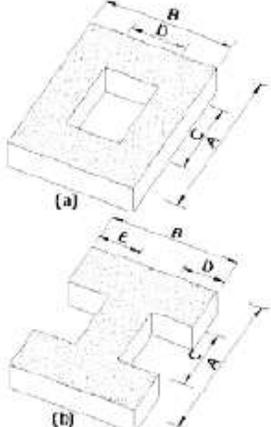
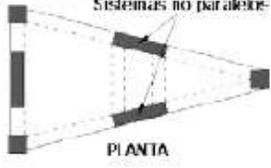
<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{pi}=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{pi}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{pi}=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[CxD + CxE] > 0.5AxB$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{pi}=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Ilustración 25: Coeficientes de irregularidad en planta.

Fuente: (NEC, 2015).

6.1.4 Irregularidad en elevación

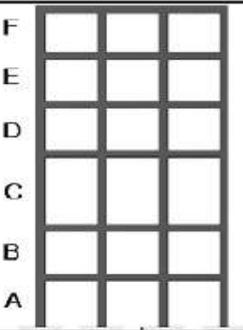
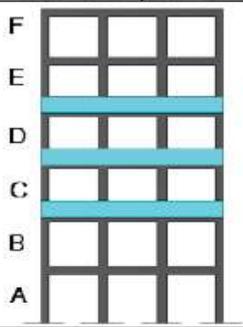
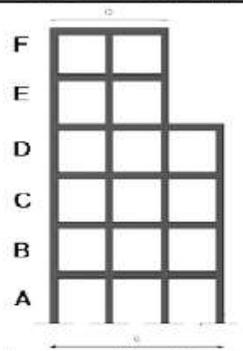
<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{EI}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{EI}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{EI}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Ilustración 26: Coeficientes de irregularidad en elevación.

Fuente: (NEC, 2015).

6.1.5 Coeficientes de Regularidad

Coeficiente de regularidad en planta ϕ_P

Se utilizó $\phi_P = 0.9$.

Coeficiente de regularidad en elevación

Se utilizó $\phi_E=1$.

6.1.6 Criterios de definición de R

Los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de algunas variables, tales como:

- Tipo de estructura,
- Tipo de suelo,
- Período de vibración considerado,
- Factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite.

Tabla 16: Valores de R.

Fuente: (NEC, 2015).

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Se utilizó el valor el coeficiente R = 3 debido a que la estructura (antigua Facultad de Economía) presenta pórticos resistentes a momento.

Fuerza lateral (cortante basal)

$$V = C_s * W$$

$$C_s = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

El cual será agregado al modelo de Etabs

Formación de espectro de diseño 475 años (inelástico) y cortante basal.

			Capítulo (NEC-2015)	Página (NEC-2015)
Categoría sísmica	Zona sísmica=	V	3.1.1	27
Valor de factor Z	Z=	0,4	3.1.1	27
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	B	3.2.1	29
Coef. amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1	3.2.2 a)	31
Coef. amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd=	1	3.2.2 b)	31
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	0,75	3.2.2 c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1	3.3.1	34
relación de amplificación espectral	η=	1,8	3.3.1	34
Factor de importancia	I=	1,3	4.1	39
Altura de la edificación en metros	h0=	8,95		
Tipo Estructura	Pórticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores			
Coeficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0,06	6.3.3	62
	α=	0,9	6.3.3	62
Periodo de vibración método 1	Ta CODIGO=	0,4	6.3.3 a)	62
Periodo de vibración método 2	1.3 * Ta Código	0,51	6.3.3 b)	63
Periodo Límite de Vibración	To=	0,08	3.3	35
Periodo de vibración	Ta=	0,4	6.3.3 a)	62
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	Tc=	0,41	3.3.1	34
Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k=	1	6.3.5	67
aceleración Espectral	Sa(Ta)=	0,72	3.3.1	34
Coeficiente de reducción de Respuesta Estructural	R=	3	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ΦP=	0,9	5.2	48-52
Irregularidad en elevación	ΦE=	1	5.2	48-52
	Cs=	0,35	6.3.2	61

Tabla 17: Datos para la construcción de Espectros.

ESPECTRO PARA ANÁLISIS DINÁMICO		
T	Elástico	Reducido
	Sa (g)	Sa (g)
0,000	0,400	0,193
0,050	0,613	0,295
0,100	0,720	0,347
0,150	0,720	0,347
0,200	0,720	0,347
0,250	0,720	0,347
0,300	0,720	0,347
0,350	0,720	0,347
0,400	0,720	0,347
0,450	0,660	0,318
0,500	0,594	0,286
0,550	0,540	0,260
0,600	0,495	0,238
0,650	0,457	0,220
0,700	0,424	0,204
0,750	0,396	0,191
0,800	0,371	0,179
0,850	0,349	0,168
0,900	0,330	0,159
0,950	0,313	0,151
1,000	0,297	0,143
1,050	0,283	0,136
1,100	0,270	0,130
1,150	0,258	0,124
1,200	0,248	0,119
1,250	0,238	0,114
1,300	0,228	0,110
1,350	0,220	0,106
1,400	0,212	0,102
1,450	0,205	0,099
1,500	0,198	0,095
1,550	0,192	0,092
1,600	0,186	0,089
1,650	0,180	0,087
1,700	0,175	0,084
1,750	0,170	0,082
1,800	0,165	0,079
1,850	0,161	0,077
1,900	0,156	0,075
1,950	0,152	0,073
2,000	0,149	0,072

Tabla 18: Valores para la elaboración de Espectros.

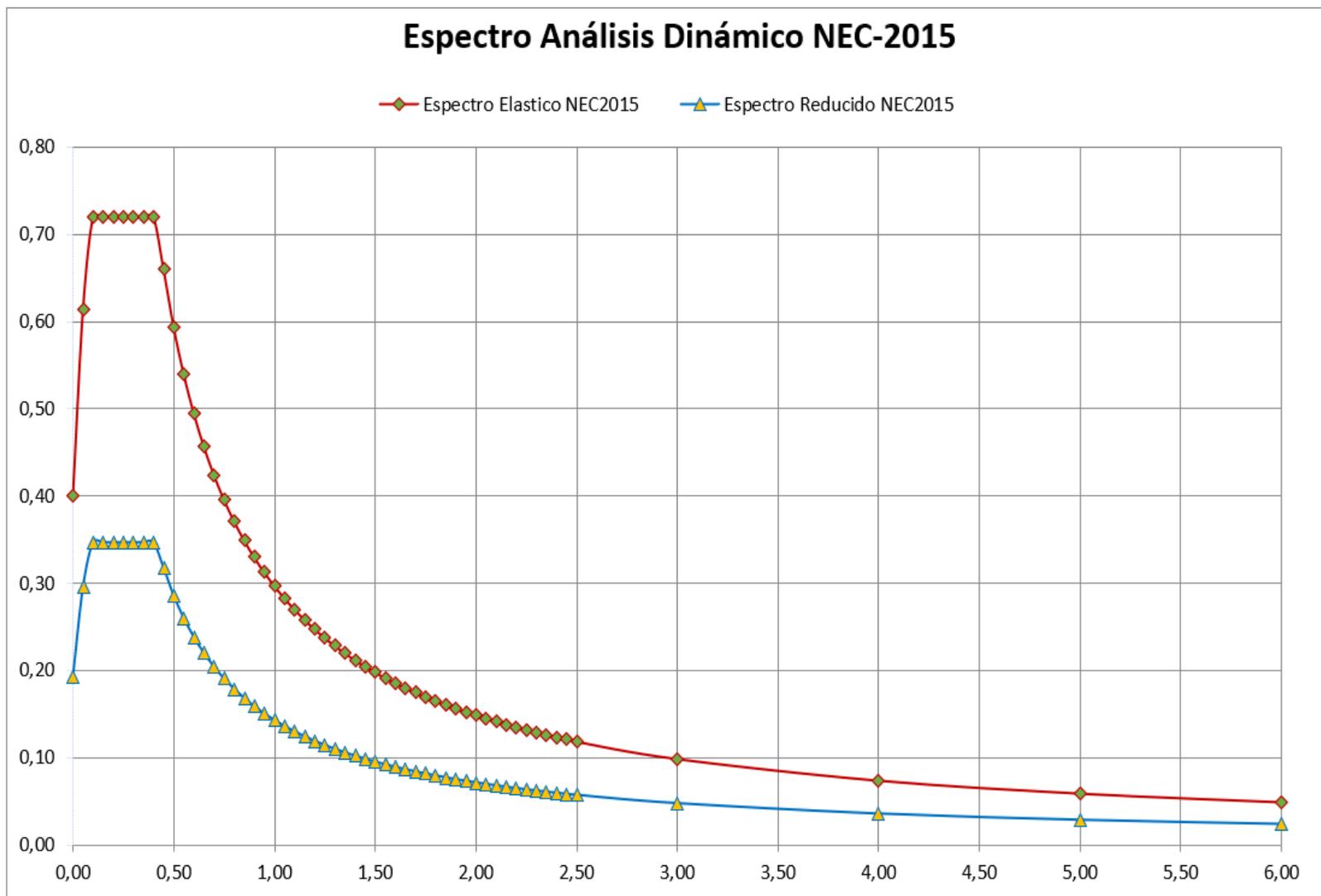


Ilustración 27: Grafica del Espectro Elástico e Inelástico.

7 CAPITULO

7.1 Modelo de Etabs

Para la elaboración del Modelo Estructural se procedió a usar el programa de análisis estructural Etabs. Es sin duda un programa de gran utilidad para la realización de diferentes análisis existentes en el medio estructurista.

El modelo estructural fue de una estructura a base de pórticos de hormigón con resistencia a momentos de 3 niveles. A continuación, se presenta evidencias del modelado estructural en el programa antes mencionado:

Base

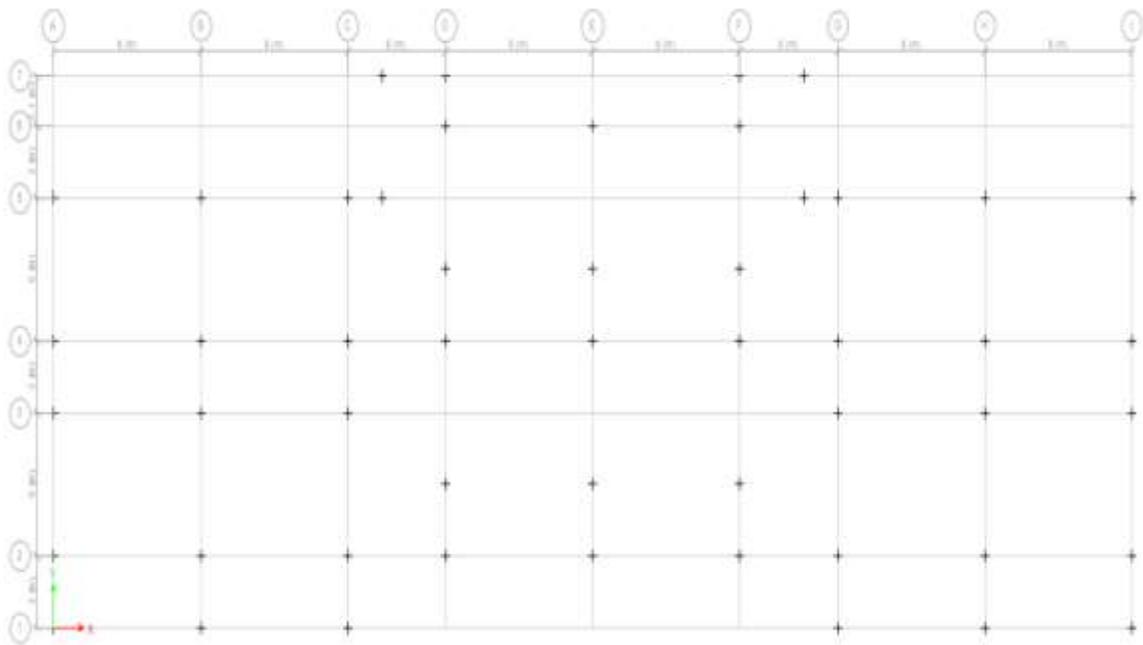


Ilustración 28: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Base).

Story 1

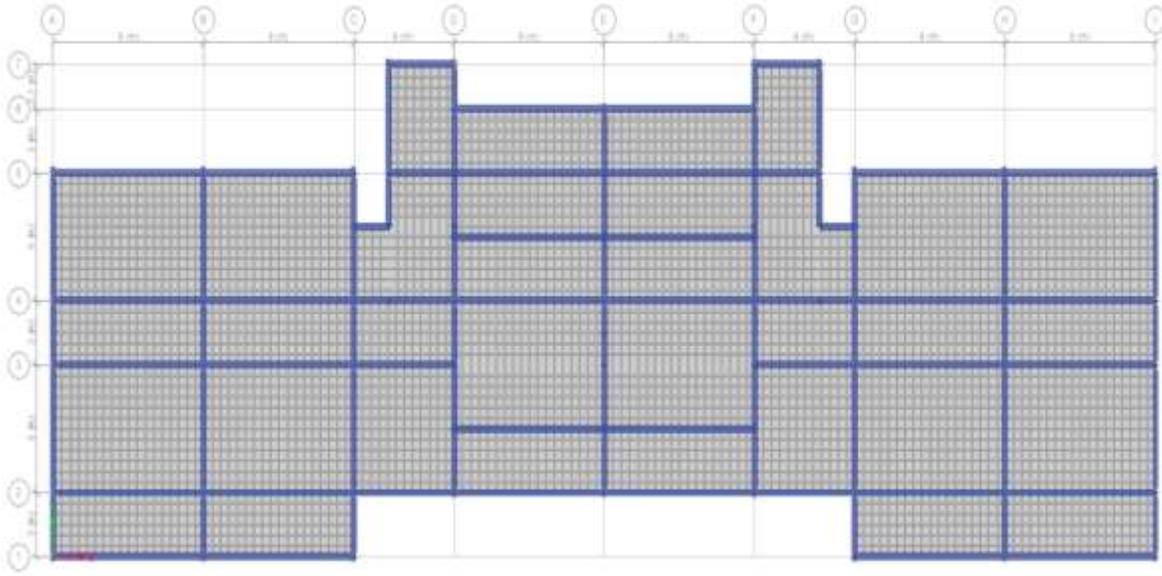


Ilustración 29: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Primer Piso).

Story 2

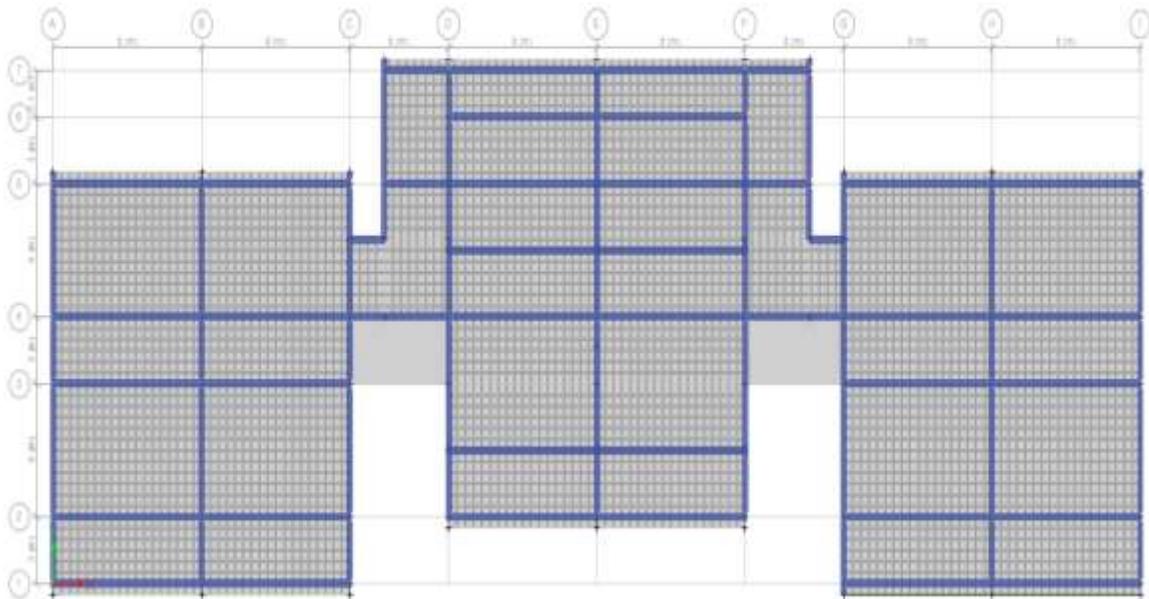


Ilustración 30: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Segundo Piso).

Story 3

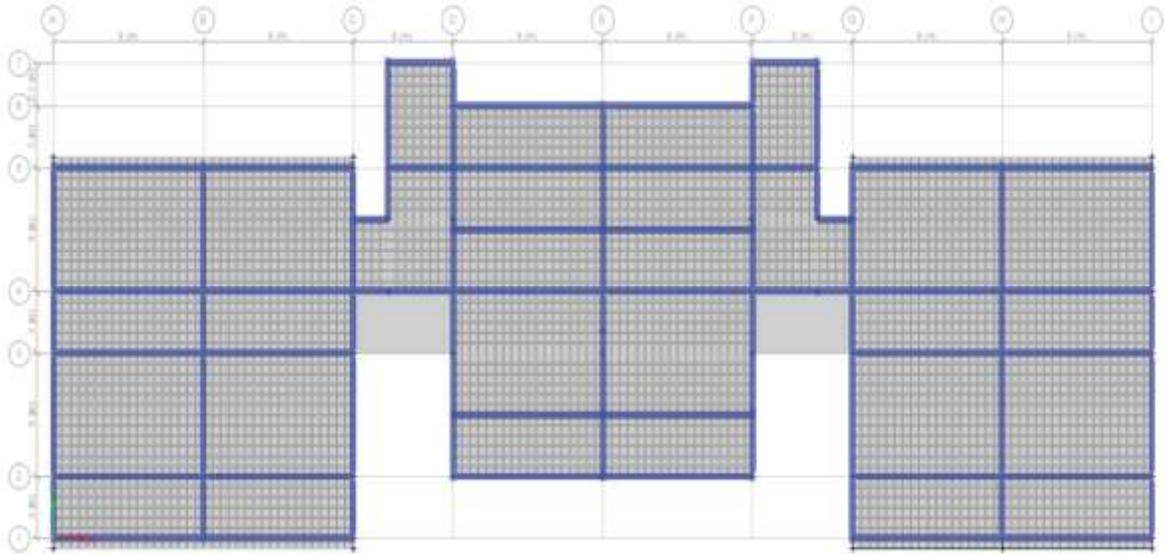


Ilustración 31: Modelo en Etabs del antiguo Edificio de la Facultad de Economía (Tercer piso).

Modelo tridimensional de la antigua Facultad de Economía de la UCSG.

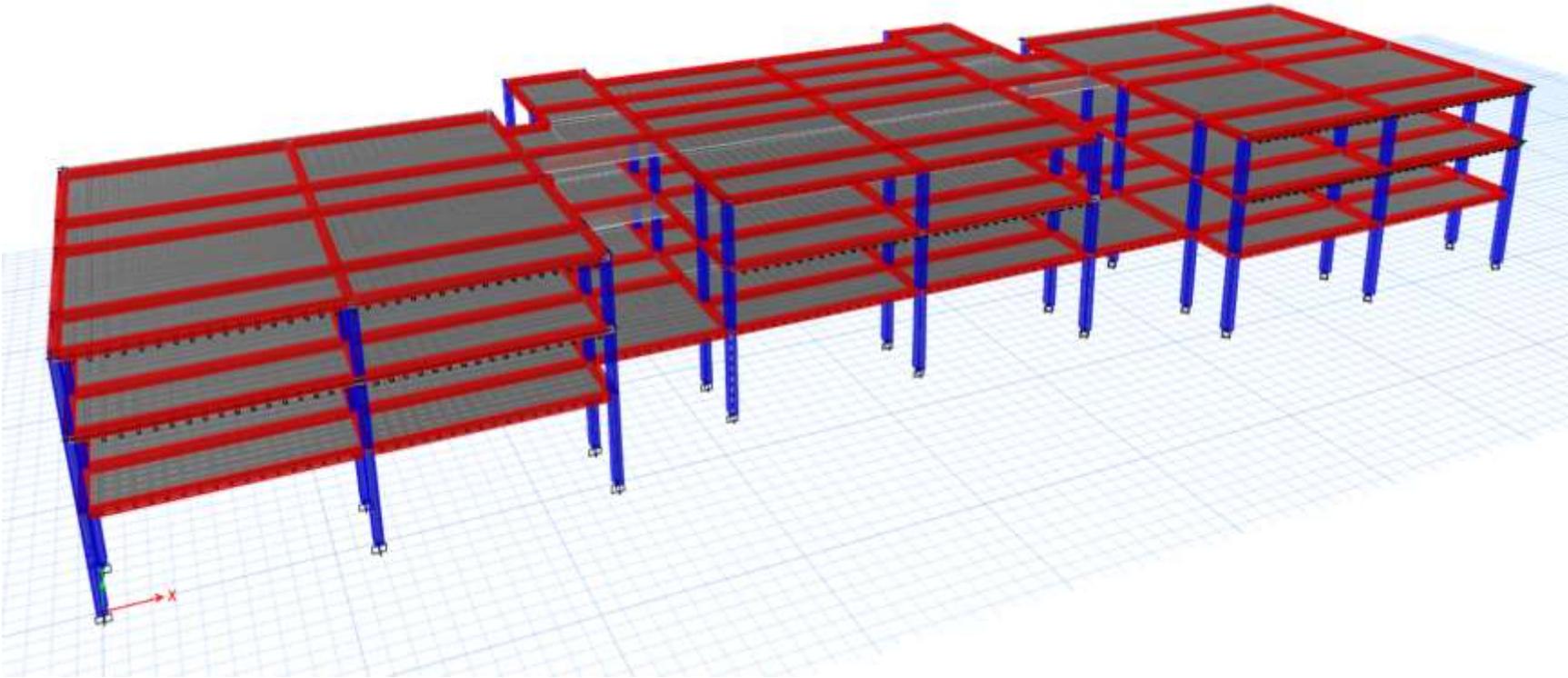


Ilustración 32: Modelo Estructural del antiguo Edificio de la Facultad de Economía en 3D.

7.2 Materiales

Los datos que se emplearon en el modelo estructural fueron los siguientes:

- Columnas de 30x50cm
- Vigas de 30x30cm
- $F'c = 400\text{kg/cm}^2$
- $E_c = 302000 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$
- $E_s = 2100000\text{kg/cm}^2$

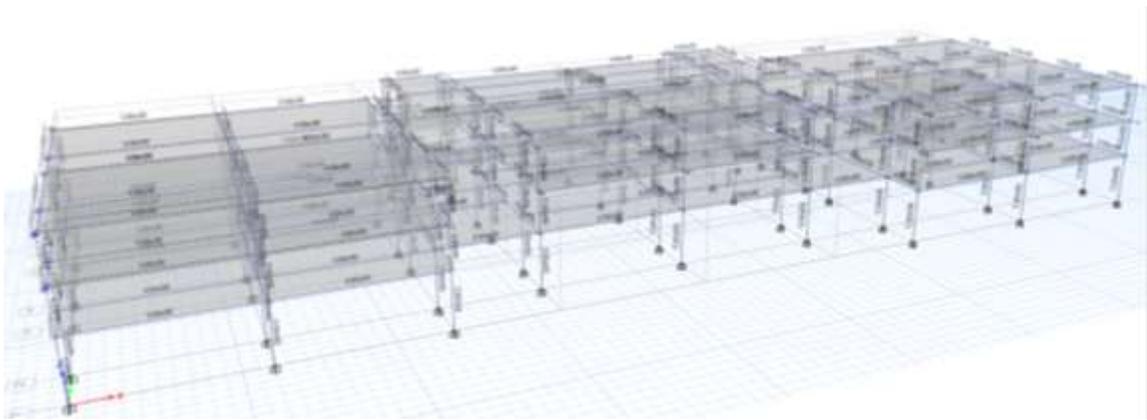


Ilustración 33: Modelado estructural con sus respectivos elementos estructurales.

Periodo de la estructura (ETBAS)

Con la colaboración de Etabs se pudo de obtener un periodo de vibración de la estructura igual a 0,711 seg.

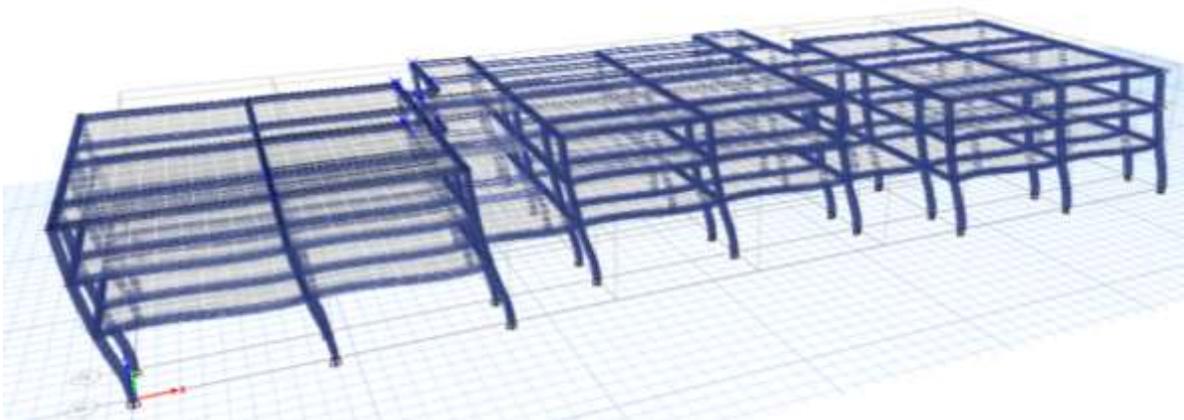


Ilustración 34: Análisis de vibración del edificio.

Espectros de respuestas elásticas con periodo de retorno de 72, 225 y 2500 años, agregados al modelo de Etabs. Se debe recalcar que dicho programa únicamente realiza análisis en el rango elástico de las estructuras y con eso quiere decir que para los sismos de 72 y 250 años el edificio presenta un comportamiento elástico, en cambio desde el sismo de diseño (475 años) y el sismo Muy Raro se debe hacer un análisis en el rango inelástico debido a que no se comporta el edificio elásticamente.

Por medio de las curvas de peligro sísmico se han obtenido los espectros de diseño con periodo de retorno de 72, 225 y 2500, ya que el espectro de diseño de 475 años ya fue realizado.

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T_r (años)	Tasa de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.0004

*Tabla 19: Nivel de amenaza sísmica.
Fuente: (NEC, 2015)*

Niveles de amenaza sísmica con los periodos de retorno y sus respectivas tasas anuales de excedencia para realizar los espectros de diseño en la curva de peligro sísmico.

Espectros de respuestas elásticas con periodo de retorno de **72, 225, 2500** años junto a las curvas de peligro sísmico a continuación:

Sismo Frecuente (72 años)

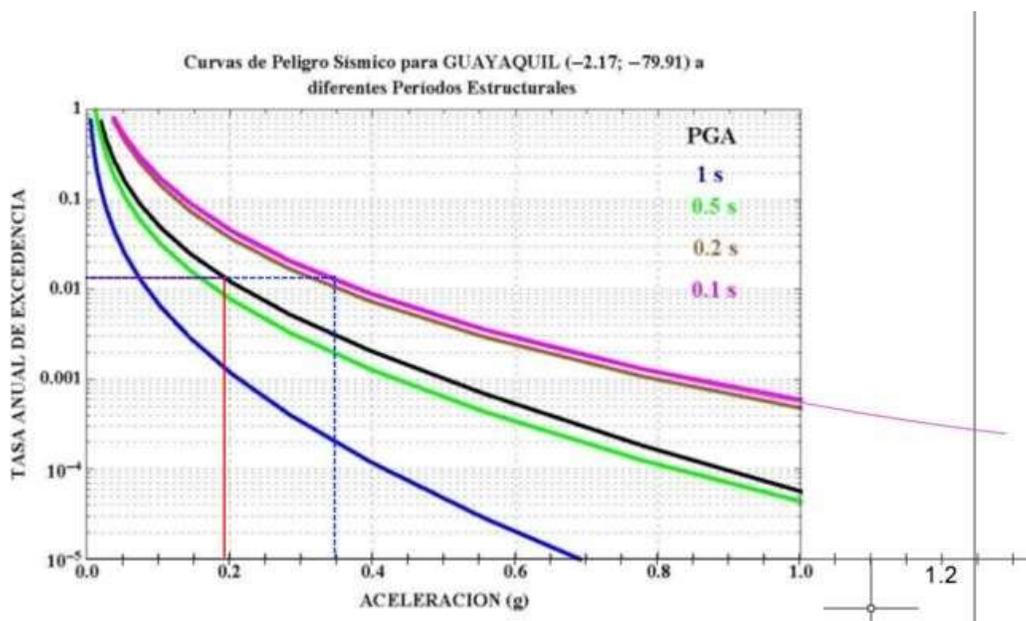
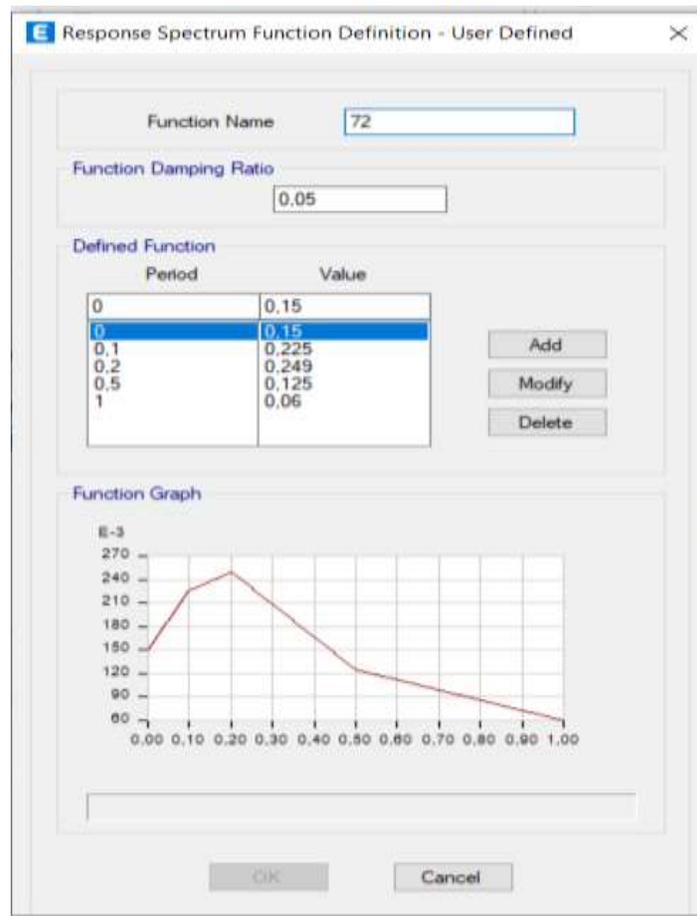


Ilustración 35: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo frecuente.

Sismo Ocasional (225 años)

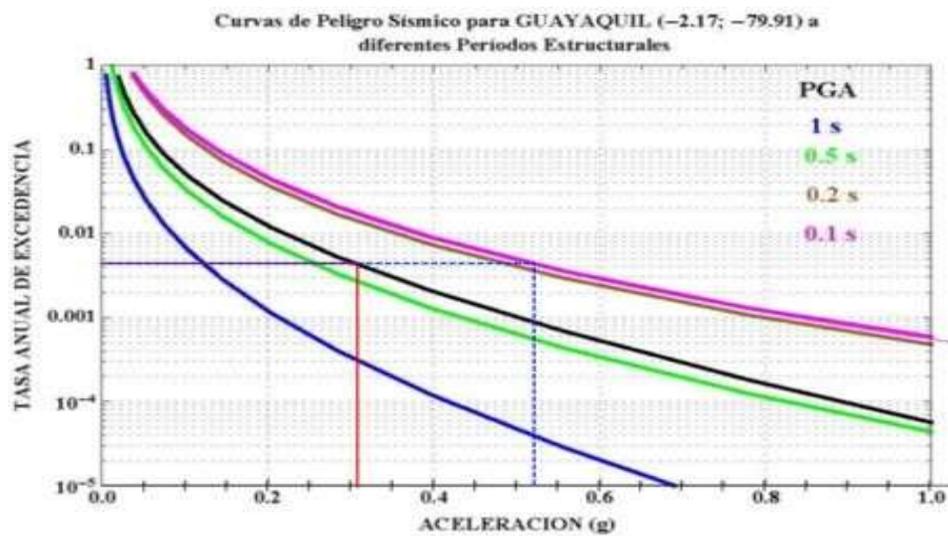
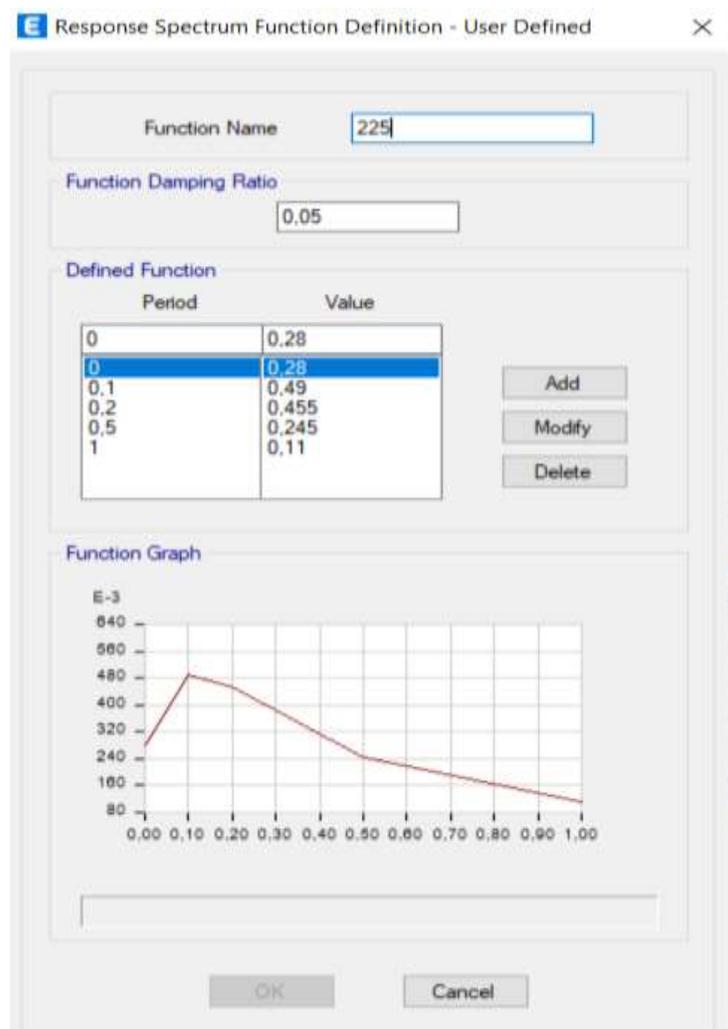


Ilustración 36: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo ocasional.

Sismo “Muy Raro”

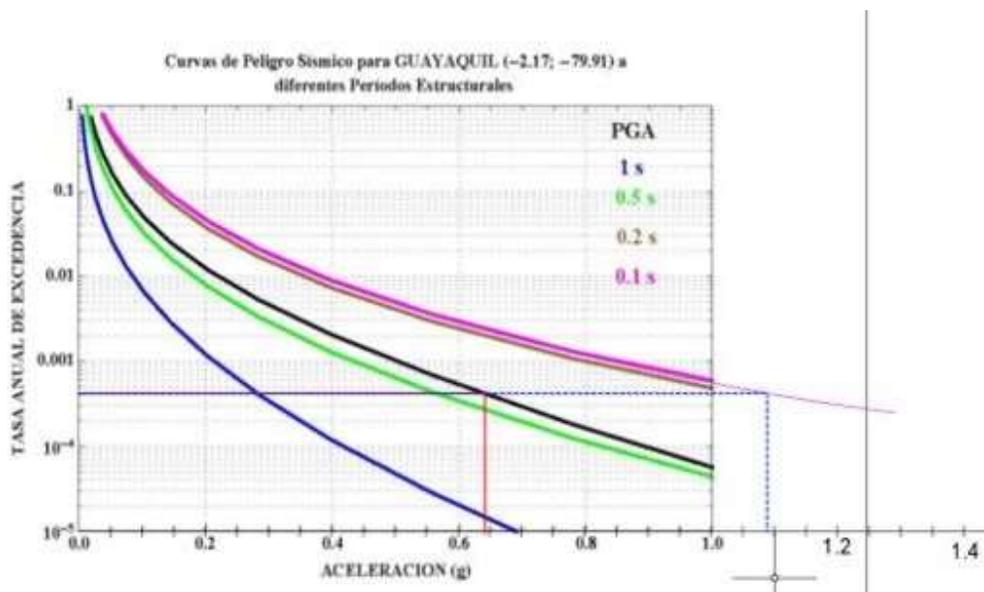
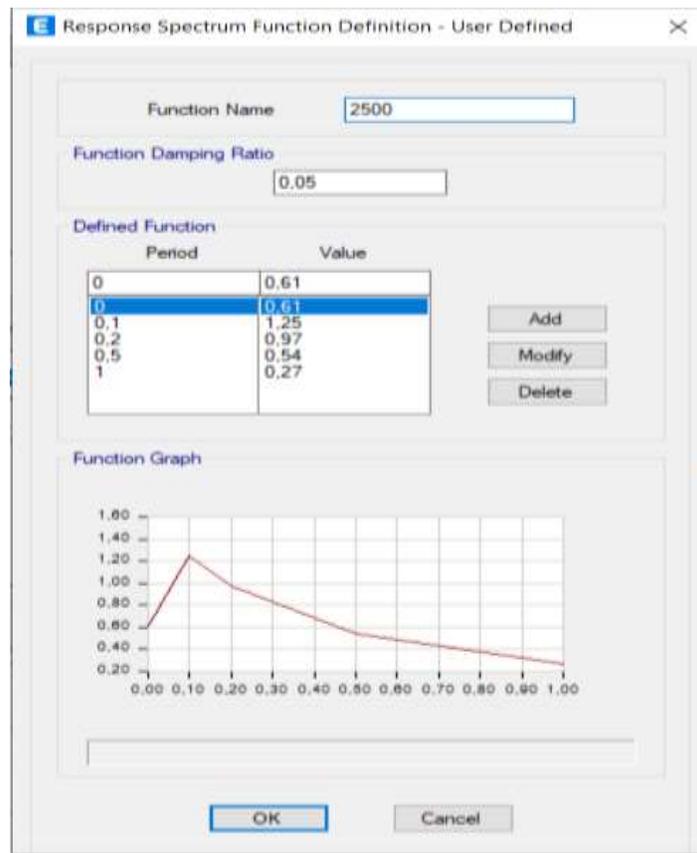


Ilustración 37: Espectros de respuesta y las curvas de peligro sísmico para sismo muy raro.

7.3 Resultado del modelo

7.3.1 Derivas

Periodo de la estructura

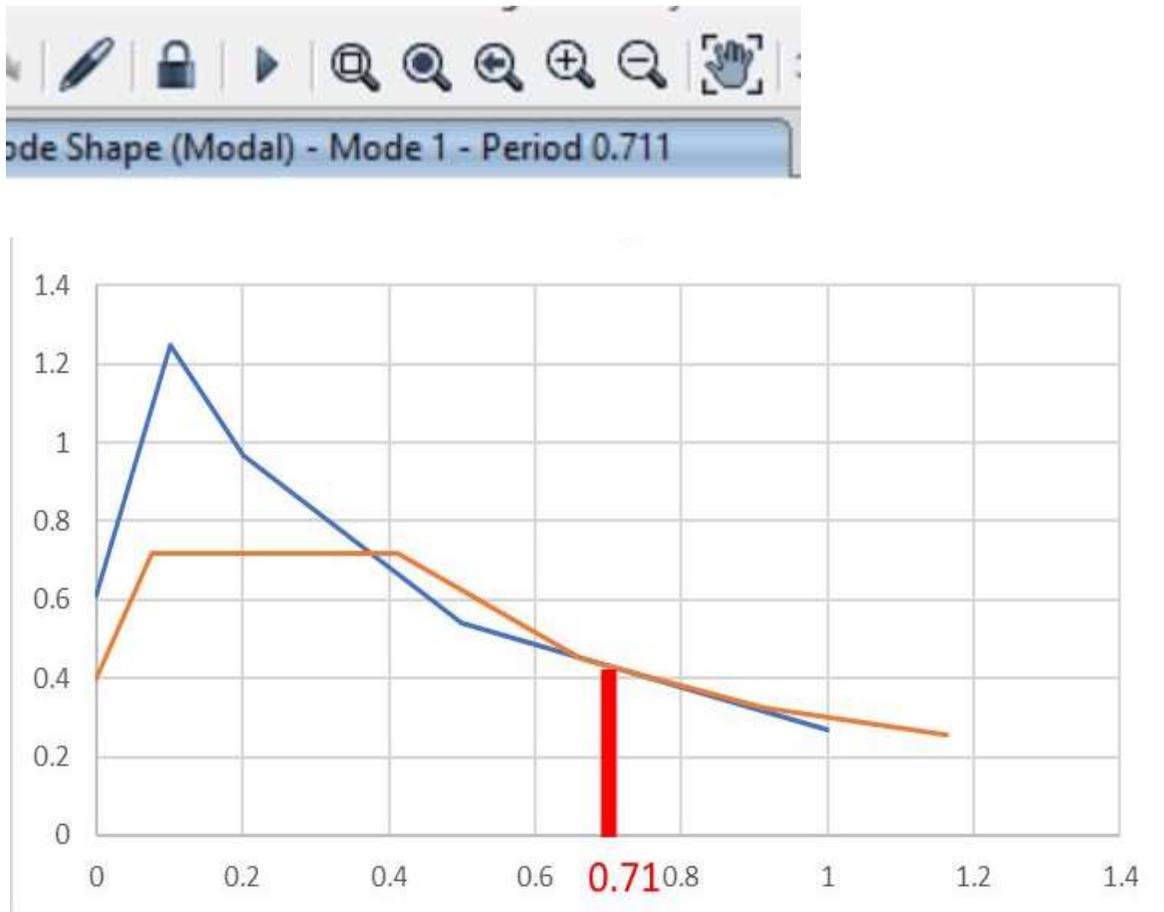


Ilustración 38: Periodo de vibración de la estructura.

Sismo de diseño 475 años

Con los datos que se obtuvieron anteriormente, se realiza los siguientes cálculos:

$$I=1.3$$

$$\text{phi } p = 0.9$$

$$R = 3$$

$$\frac{(1.3) * Sa}{1 * 0.9 * 3} = 0.48Sa$$

Derivas para los diferentes tipos de sismo

$$D.i. = 0.75 * 3 * D.E.$$

$$D.i. = 2.5 * D.E.$$

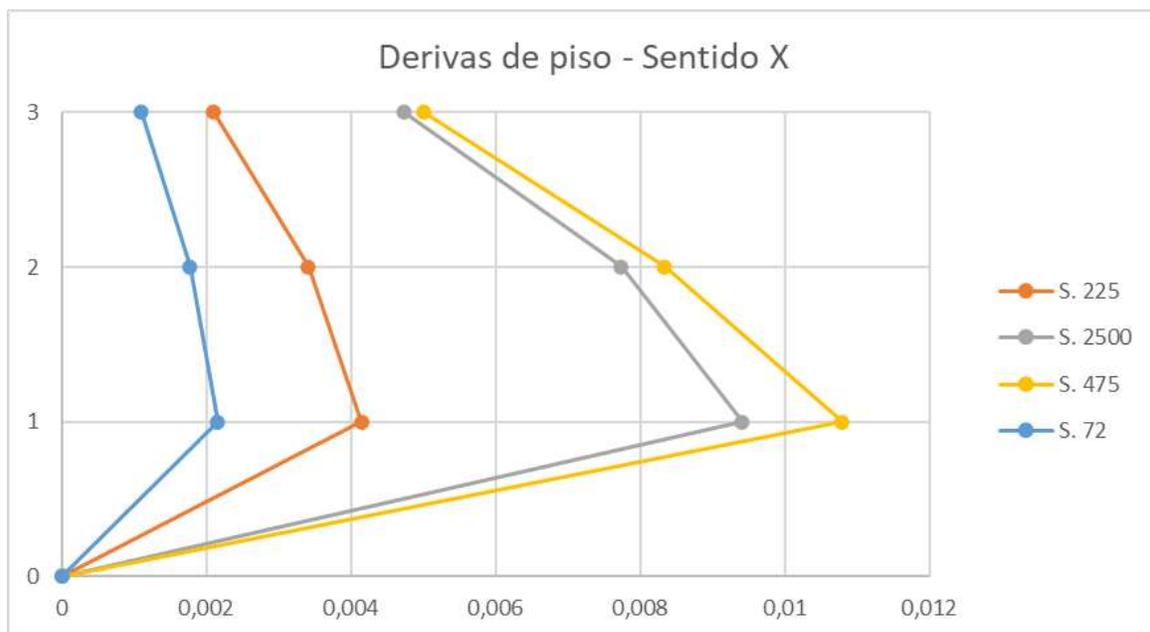
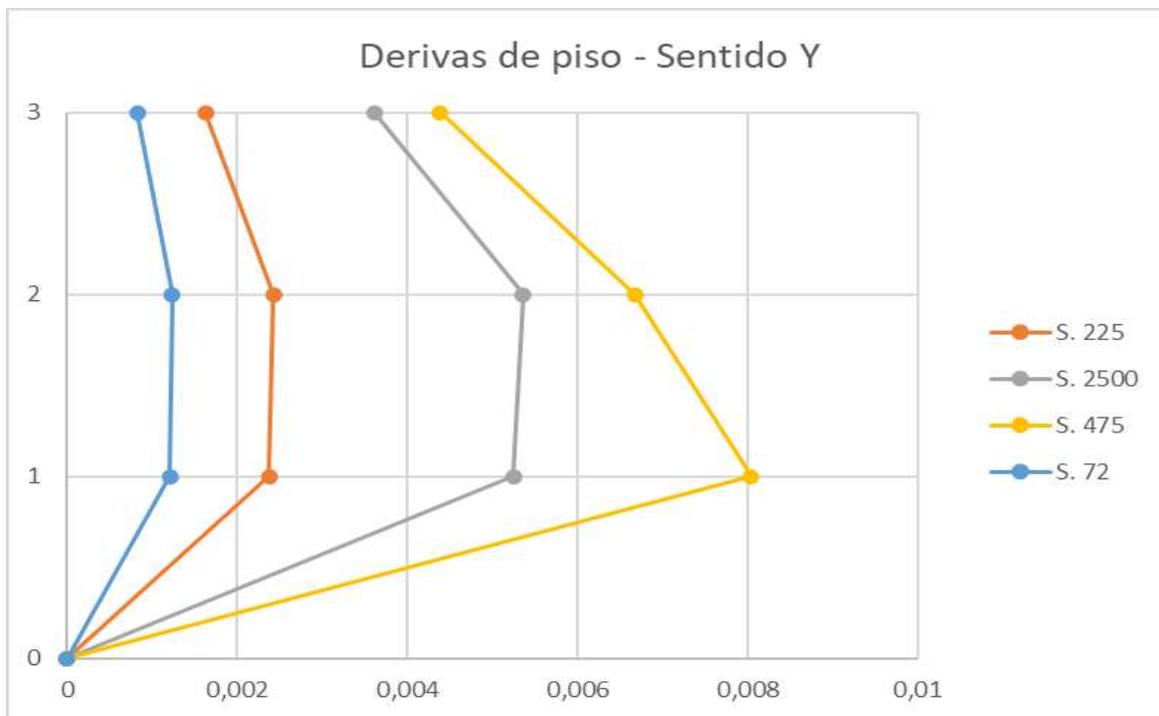


Ilustración 39: Derivas del edificio en los diferentes sismos.

7.4 Derivas reducidas

			Elástica	Inelástica
Story3	Sx475/R Max	X	0,0022	0,0050
Story2	Sx475/R Max	X	0,0037	0,0083
Story1	Sx475/R Max	X	0,0048	0,0108
Story3	Sy475/R Max	Y	0,0019	0,0044
Story2	Sy475/R Max	Y	0,0030	0,0067
Story1	Sy475/R Max	Y	0,0036	0,0080

Tabla 20: Derivas inelásticas para el sismo de diseño (reducidas).

8 CAPITULO

8.1 Análisis No Lineal (PUSHOVER)

Este análisis se basa de resultados obtenidos a través de investigaciones en las que se sometieron varios elementos estructurales a fuerzas laterales para poder conocer el comportamiento y el origen de las rotulas plásticas. Este análisis estático no lineal (AENL) nos permite determinar la capacidad que tiene una estructura para ponerla a prueba ante un posible evento natural y conocer la demanda que necesitara. Esta demanda se la relaciona con eventos sísmico y también depende de la ubicación de la estructura mientras que la capacidad depende de la resistencia, deformación y rigidez de cada elemento de la estructura. Por lo que es necesario conocer los parámetros y tener claro la información específica sobre la estructura cuando se desea ejecutar este análisis no lineal, los principales parámetros son (ALTAMIRANO, 2019):

- Características de los materiales.
- Dimensiones y geométrica de las secciones de los elementos estructurales.
- Disposición del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal.
- Fuerza gravitacional como son las cargas muertas y cargas vivas.
- Resistencia de las vigas y columnas
- Identificar posibles ubicaciones donde se pueden generar rotulas plásticas.
- Cargas laterales aplicada a la estructura (ALTAMIRANO, 2019).

Este análisis estático no lineal consistirá en hacer actuar primero las cargas gravitacionales para observar las primeras deformaciones, luego se ejecutarán cargas laterales que incrementaran de forma monolítica hasta que se genere la primera rotula plástica y se después se revisará el comportamiento de la estructura en un proceso iterativo hasta que la estructura falle.

Tener en cuenta que la técnica de análisis no lineal Pushover es apropiada para:

- Obtener la curva de capacidad más allá de rango elástico.

- Obtener información secuencial del comportamiento de la estructura y fallas de los elementos de esta.

Se debe considerar que este análisis modal Pushover tendrá en cuenta el aporte del primer modo de vibración ya que es por lo general el mayor factor de participación modal.

8.1.1 Definición de los materiales en Etabs

8.1.1.1 Hormigón

The image shows a dialog box for defining material properties for concrete. It is organized into several sections:

- General Data:**
 - Material Name: 400 Kg/cm2
 - Material Type: Concrete
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: [Color swatch] Change...
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:**
 - Specify Weight Density Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 2402.77 kgf/m³
 - Mass per Unit Volume: 2402.77 kg/m³
- Mechanical Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 3020 kgf/mm²
 - Poisson's Ratio, U: 0.2
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 1258.33 kgf/mm²
- Design Property Data:**
 - Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data:**
 - Nonlinear Material Data...
 - Material Damping Properties...
 - Time Dependent Properties...
- Modulus of Rupture for Cracked Deflections:**
 - Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)
 - User Specified []

Buttons at the bottom: OK, Cancel.

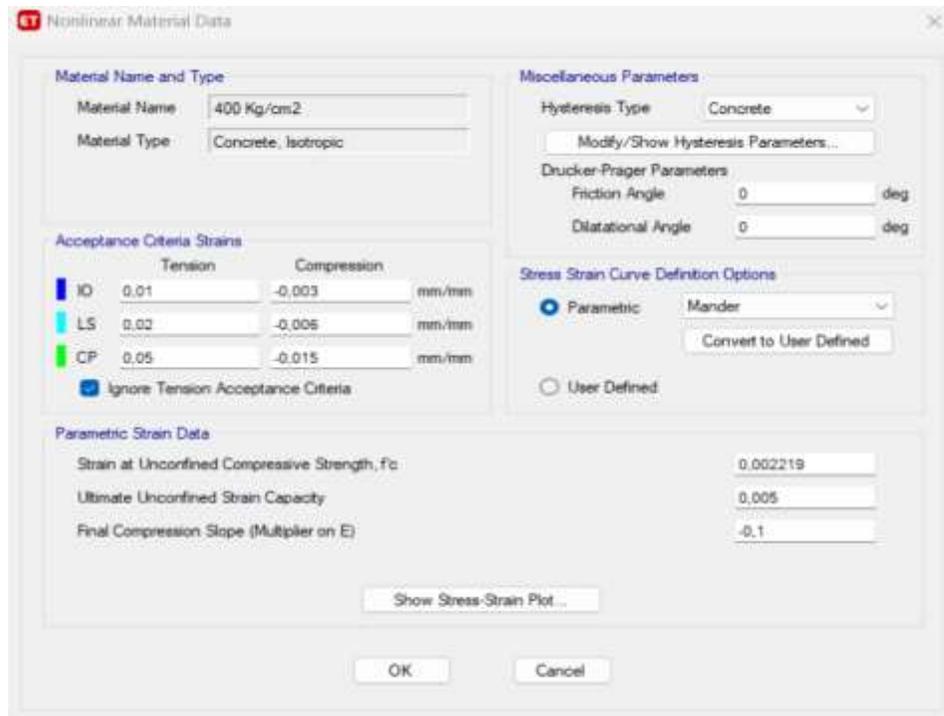
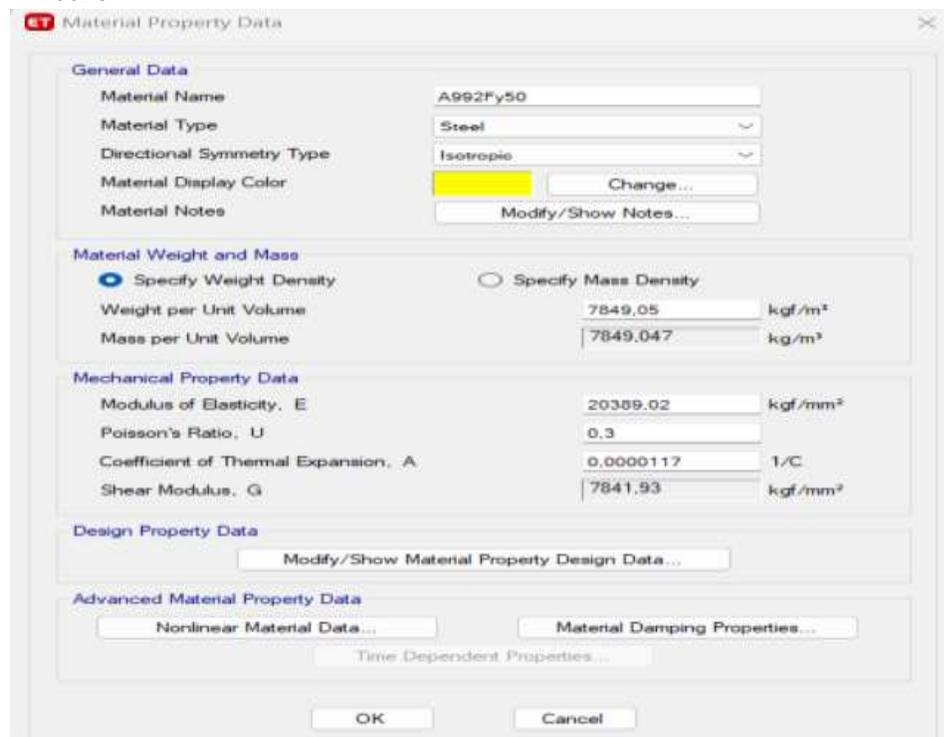


Ilustración 40: Definición de las propiedades lineales y no lineales del hormigón.

8.1.1.2 Acero



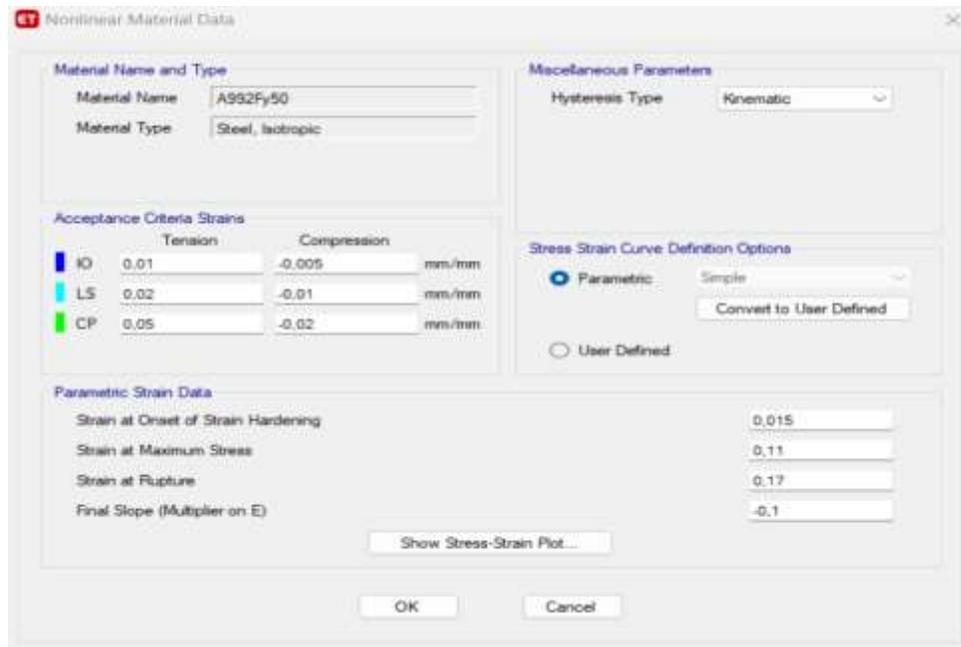
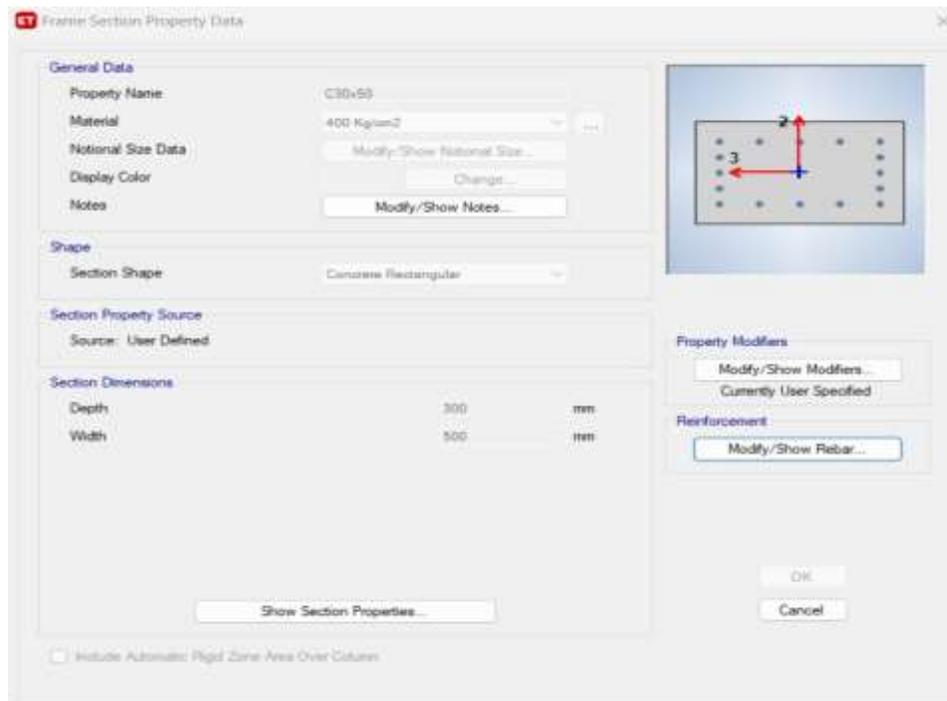


Ilustración 41: Definición de las propiedades lineales del acero.

8.1.2 Definición de los elementos estructurales en Etab

8.1.2.1 Columna



Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Confinement Bars

Ties

Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 5

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 14 mm² (Area: 154 mm²)

Corner Bar Size and Area: 14 mm² (Area: 154 mm²)

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 8 mm² (Area: 50 mm²)

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area: 1

Shear Area in 2 direction: 1

Shear Area in 3 direction: 1

Torsional Constant: 1

Moment of Inertia about 2 axis: 0,8

Moment of Inertia about 3 axis: 0,8

Mass: 1

Weight: 1

OK Cancel

Ilustración 42: Definición de la distribución del acero en las columnas.

8.1.2.2 Vigas

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: V30-30
Material: 400 Kg/cm² ...
National Size Data: Modify/Show National Size...
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

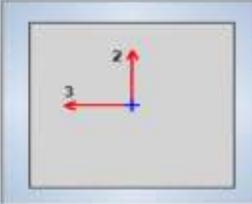
Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column



Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,5
Moment of Inertia about 3 axis	0,5
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Design Type	Rebar Material
<input type="radio"/> P-M2-M3 Design (Column)	Longitudinal Bars: A615Gr60
<input checked="" type="radio"/> M3 Design Only (Beam)	Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid	Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams
Top Bars: 40 mm	Top Bars at I-End: 804 mm ²
Bottom Bars: 40 mm	Top Bars at J-End: 804 mm ²
	Bottom Bars at I-End: 402 mm ²
	Bottom Bars at J-End: 402 mm ²

Ilustración 43: Definición de la distribución del acero en las vigas.

8.2 Definición de rótulas plásticas

Para definir la capacidad individual de los elementos estructurales se asigna rótulas plásticas en las zonas donde se espera conversión de momentos (fluencia).

Las articulaciones coloreadas indican el estado de las mismas, es decir, donde se encuentran a largo de su curva fuerza-desplazamiento. La leyenda para los colores de la articulación se incluye en el fondo de la pantalla de ETABS. Los puntos B, C, D y E se muestran como niveles de acuerdo al estado de la articulación y van de acuerdo con el nivel de desempeño (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

La Figura representa la curva de deformación plástica, en la que se muestra la fuerza y la deformación en una rótula plástica, y se identifican cinco puntos denominados A, B, C, D y E; entre B y C, se definen tres puntos marcados como IO, LS y CP.

A = origen corresponde a la condición sin carga lateral.

B = límite de fluencia nominal que corresponde al inicio de daños estructurales.

C = límite de seguridad estructural. Representa el punto de máxima capacidad. El tramo entre B y C tienen una pendiente entre el 5 y el 10%, pero como el punto C es difícil de predecir, puede considerarse una línea recta horizontal. La abscisa en C corresponde a la

deformación en que comienza una degradación significativa de la resistencia. Más allá de esta deformación, no puede ser garantizada la reversión de las fuerzas laterales cíclicas. Para los elementos frágiles como el concreto, esta deformación está muy cerca de la deformación a la que se alcanzó la fluencia. Para los elementos dúctiles como el acero, esta deformación es mayor que la deformación de fluencia (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

D = esfuerzo residual. Los tramos C-D y D-E pueden tener una pendiente especificada. La caída en la resistencia de C a D representa el fracaso inicial del elemento estructural. Puede estar asociado con fenómenos como la fractura del refuerzo longitudinal, desprendimiento del hormigón, o fallas en el confinamiento del refuerzo transversal. Más allá del punto C por lo general no es confiable la resistencia a cargas laterales. Por lo tanto no se debe permitir a deformarse más allá de este punto (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

E = colapso. El punto E es un punto que define la máxima deformación más allá de la cual el elemento ya no puede sostener la carga gravitacional. En algunos casos, la falla inicial en C puede resultar en la pérdida de resistencia gravitacional, en cuyo caso el punto E puede tener una deformación igual que en C (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018).

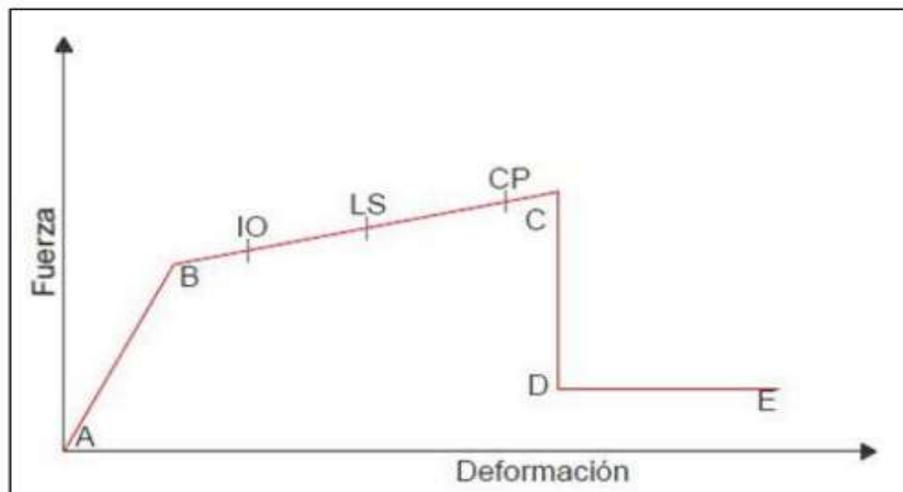
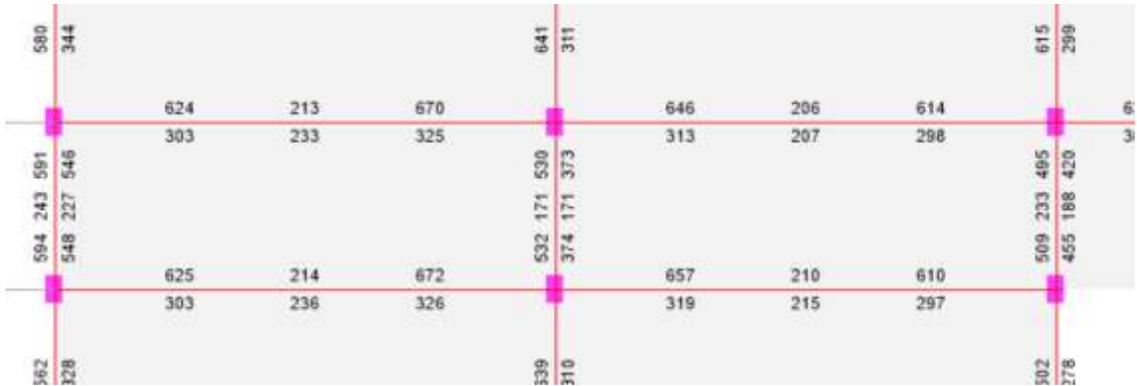


Ilustración 44: Diagrama de fuerza vs deformación de para analizar elementos estructurales.

Fuente: (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018)

Se procede a ubicar las rotulas plásticas tanto para las vigas y las columnas en el programa.



Captura de pantalla de la interfaz de usuario de ETABS para configurar rotulas plásticas. El formulario contiene los siguientes campos y opciones:

- Auto Hinge Type:** From Tables in ASCE 41-13
- Select a Hinge Table:** Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item 1
- Degree of Freedom:**
 - M2
 - M3
- V Value From:**
 - Case/Combo: Dead
 - User Value: V2
- Transverse Reinforcing:**
 - Transverse Reinforcing is Conforming
- Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced:**
 - From Current Design
 - User Value (for positive bending)
- Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:**
 - Drops Load After Point E
 - Is Extrapolated After Point E

Ilustración 45: Asignación de parámetros para rotulas plásticas en vigas.

Fuente: ETABS

Asignación de rotulas al inicio y al final de la viga en Etabs:

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto	1
Auto M3	0
Auto M3	0

Add
Modify
Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In ASCE 41-13
Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i
DOF: M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

Define Frame/Wall Hinge Properties

All Hinge Props

Name
B1H1
B1H2
B2H1
B2H2
B3H1
B3H2
B4H1
B4H2
B5H1
B5H2
B6H1
B6H2
B7H1
B7H2
B8H1
B8H2

Click to:

Add New Property...
Add Copy of Property...
Modify/Show Property...
Delete Property

Show Hinge Details
 Show Generated Props

Convert Auto To User Prop

OK
Cancel

Hinge Property Data for B1H1 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.019137
D-	-0.2	-0.012758
C-	-1.1	-0.012758
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.02
D	0.2	0.02
E	0.2	0.03

Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero
 Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment Moment SF Positive: 9.6298 Negative: 18.3429 tonf-m
 Use Yield Rotation Rotation SF Positive: 1 Negative: 1

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy Positive: 0.005 Negative: -0.005
 Life Safety Positive: 0.02 Negative: -0.012758
 Collapse Prevention Positive: 0.03 Negative: -0.019137

Show Acceptance Criteria on Plot

Frame Assignment - Hinge Overwrites

Auto Subdivide

Auto Subdivide Frame Objects At Hinges

Relative Length of Frame Element At Hinge 0.02

Hinge Behavior

Do Not Allow Hinges To Drop Load
(Does Not Apply To Fiber Hinges)

Ilustración 46: Asignación de rotulas plásticas.

Fuente: ETABS

8.3 Fuerzas de empuje o Pushover

Se establecerán las cargas de empuje a la estructura en dos direcciones como son en “X” y en “Y”.

8.3.1 Carga Pushover “X”

Load Case Data

General

Load Case Name: PUSHOVER X - 2500 [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Acceleration	UX	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control [Modify/Show...]

Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Ilustración 47: Patrón de carga Push X.

Fuente: ETABS

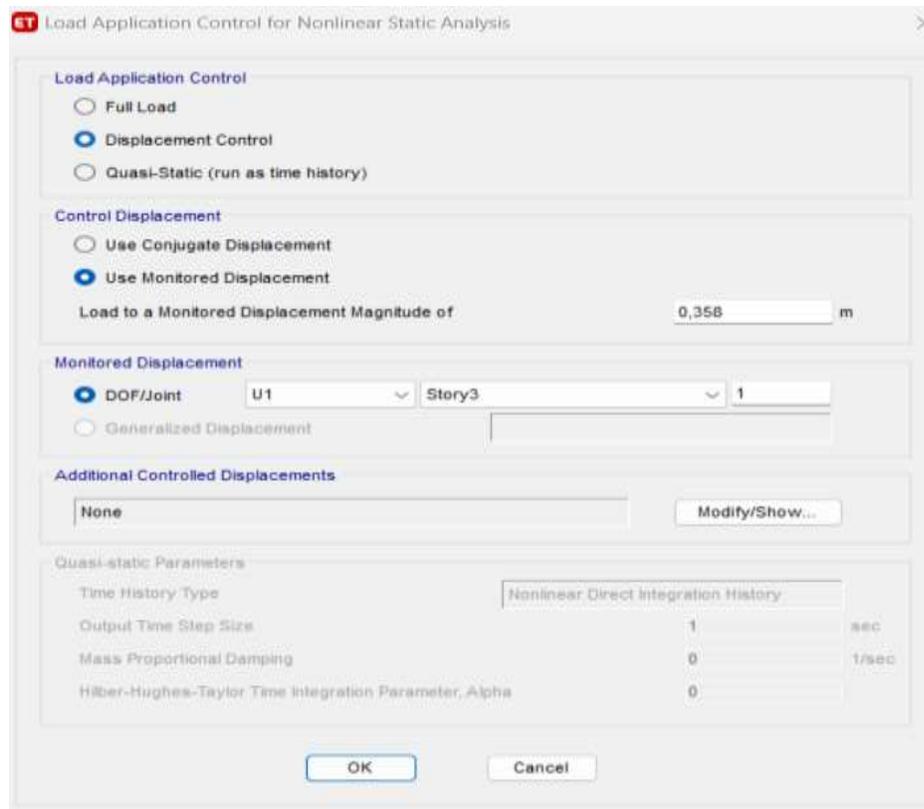


Ilustración 48: Coeficiente de desplazamiento.

Fuente: ETABS

Se puede observar en la figura la opción de “Load to a Monitored Displacement Magnitude of”, en esta opción se ingresa un coeficiente desplazamiento máximo que se obtiene en base al FEMA-356 (Cap.3) el cual indica que el rango inelástico de una estructura se deformara hasta un 4% de la altura total de la estructura (FILIAN A. y MACÍAS R., 2018), entonces como la altura del edificio en estudio es de 8.9 m.

$$\text{Coeficiente} = 8.9 \times 0.04 = 0.358 \text{ m}$$

8.3.2 Carga pushover “Y”

Se analizará de igual manera que para el Push Y con tipo de carga no lineal.

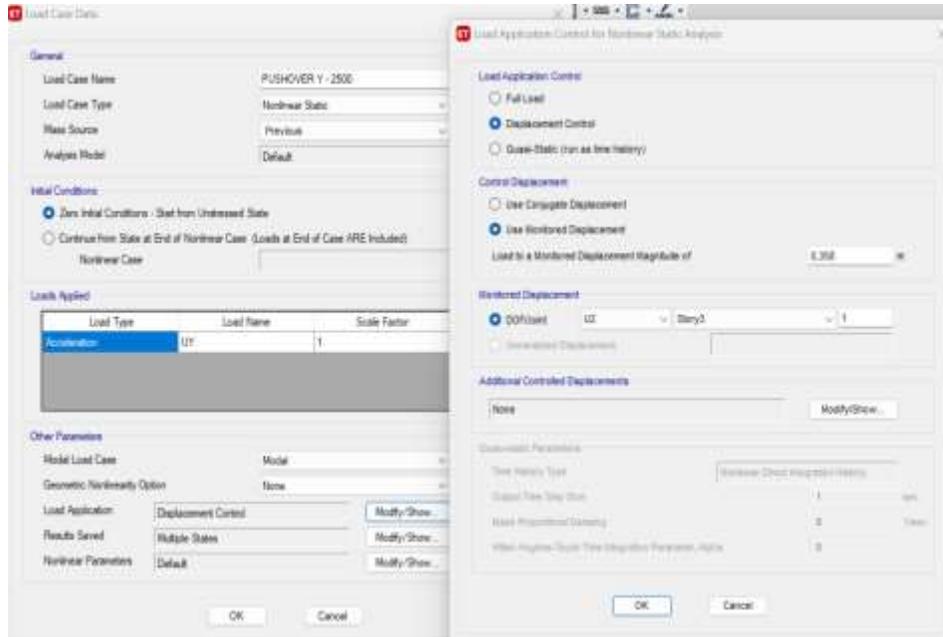
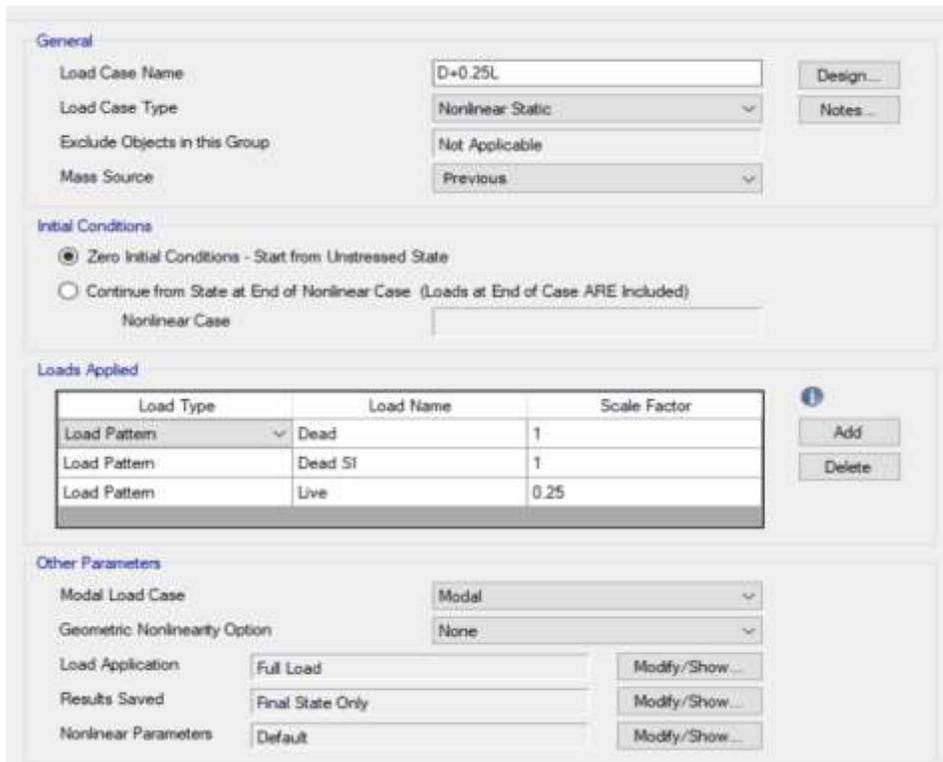


Ilustración 49: Patrón de carga Push Y.

Fuente: ETABS

8.4 Análisis Modal del PushOver.



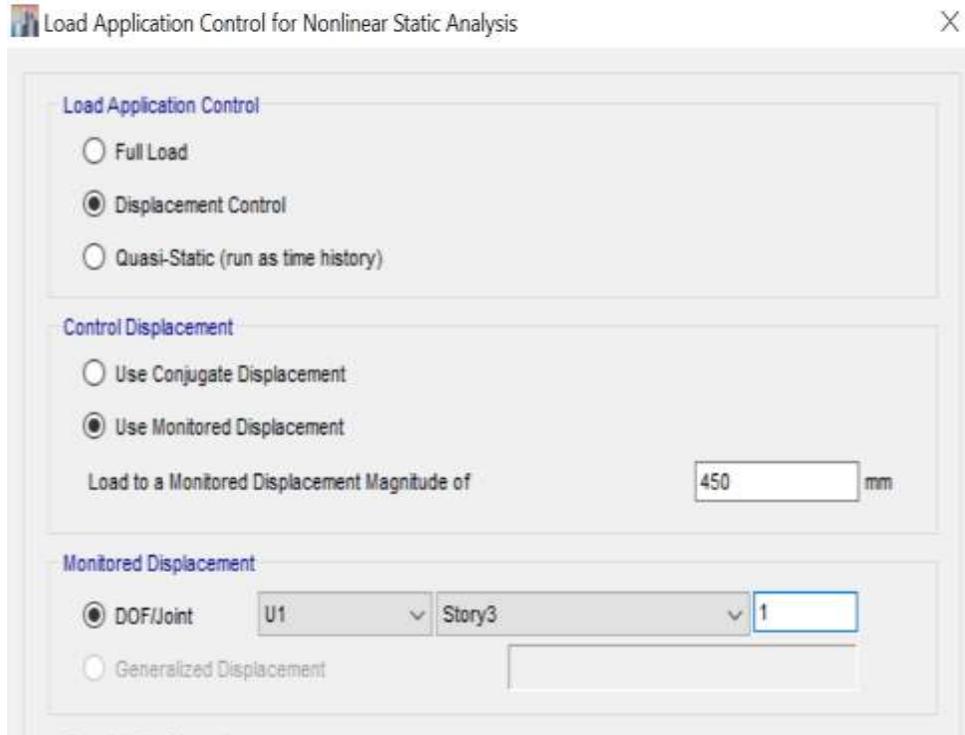


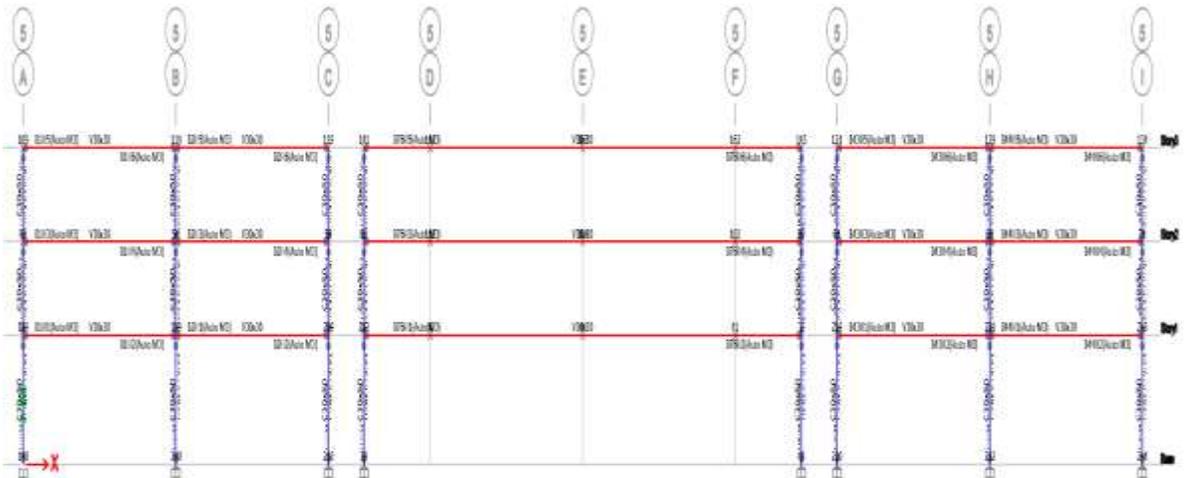
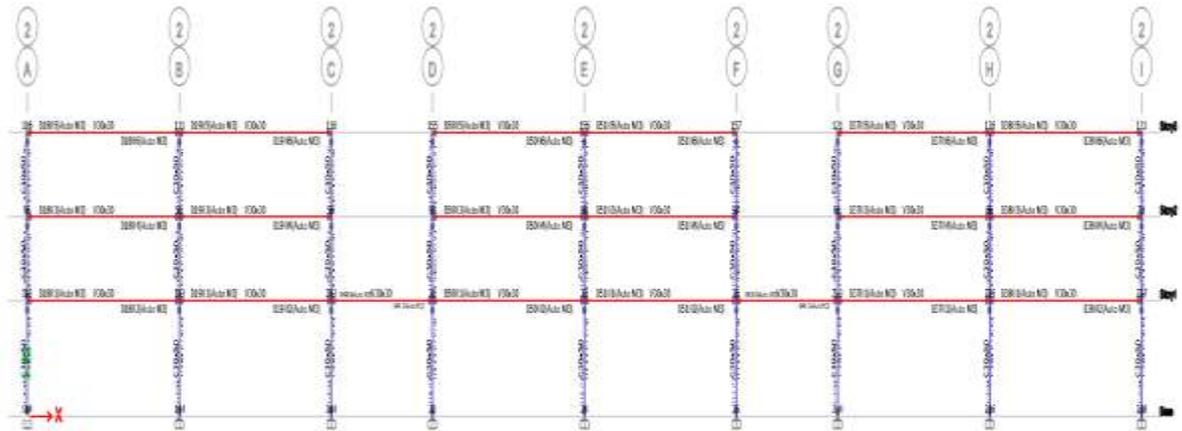
Ilustración 50: Casos de cargas a analizar.

9 CAPITULO

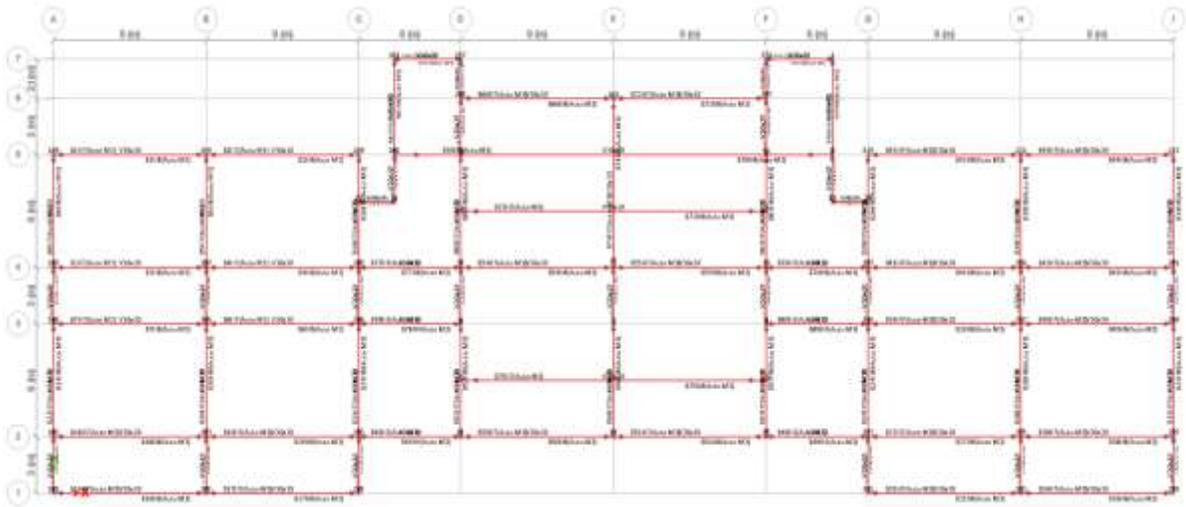
9.1 Resultados

Una vez realizado el análisis No Lineal (Pushover) se obtienen los siguientes resultados:

9.1.1 Rotulas en columnas



9.1.2 Rotulas en vigas



9.2 PUSHOVER

9.2.1 Pushover en Y

▼ Name	
Name	Pushover3
▼ Plot Definition	
Plot Type	ASCE 41-13 NSP
Load Case	PUSHOVER Y - 2500
Legend Type	Integrated
▼ Demand Spectrum	
Damping Ratio	0,05
Spectrum Source	Defined Function
Function Name	2500
SF (m/sec ²)	9,8
Ts (sec)	1
Include SSI	No
C2 Type	Default Value
Cm Type	Default Value
▼ Capacity Curve	

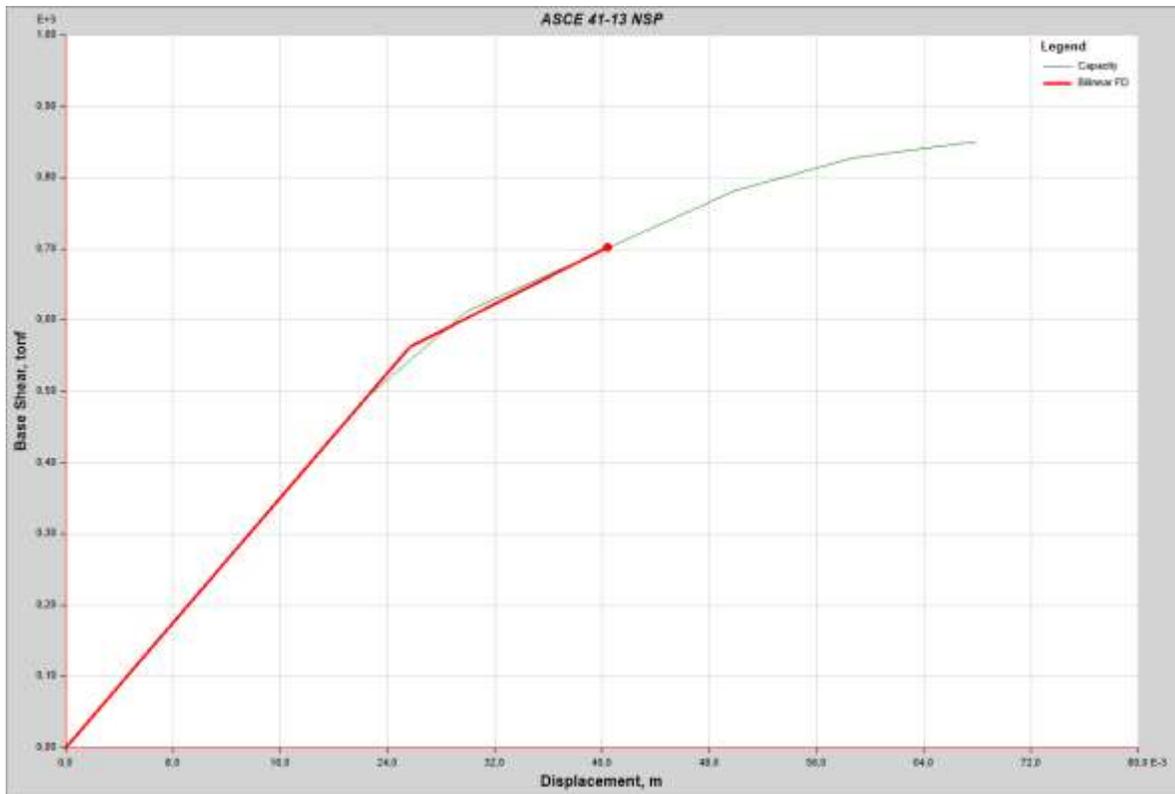


Ilustración 51: Diagrama de Demanda vs Capacidad en sentido “Y”.

De acuerdo con la anterior gráfica se observa que la estructura si resiste a un evento sísmico ya que comparativamente el sismo es menor a la capacidad (guiarse por la curva roja que es el sismo y la verde la capacidad).

9.2.2 Pushover en X

<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Name 	Pushover3
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Plot Type 	ASCE 41-13 NSP
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Load Case 	PUSHOVER X - 2500
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Legend Type 	Integrated
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Damping Ratio 	0,05
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Spectrum Source 	Defined Function
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Function Name 	2500
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> SF (m/sec²) 	9,8
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Ts (sec) 	1
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Include SSI 	No
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> C2 Type 	Default Value
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Cm Type 	Default Value
<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> Capacity Curve 	

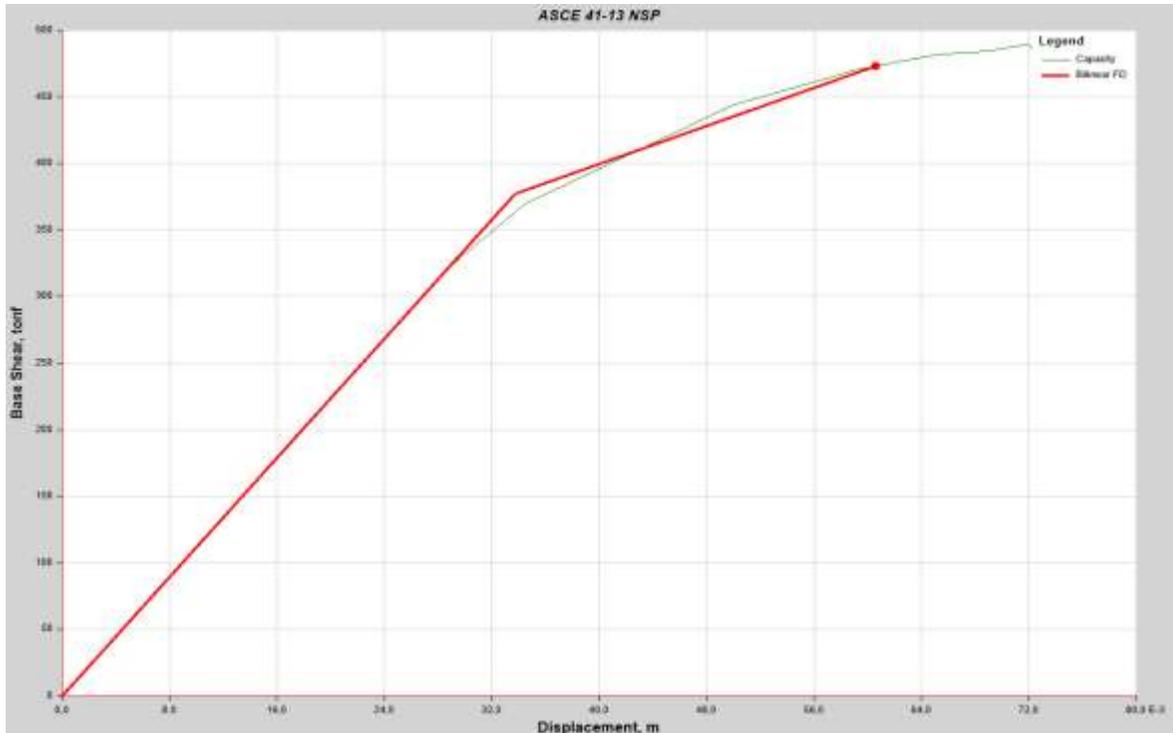


Ilustración 52: Diagrama de Demanda vs Capacidad en sentido “X”.

En este sentido (“X”) la estructura es más susceptible al colapso, pero aún tiene capacidad de resistencia al sismo.

9.2.3 Tabla de resultados pushover en “Y”

A continuación, se presenta la siguiente tabla con los desplazamientos vs cortante que se obtuvieron como resultados después del análisis:

Displacement	Base Shear
m	tonf
0	0
0,017	392,12
0,022	486,85
0,029	612,50
0,049	781,98
0,058	827,51
0,067	849,48
0,067	848,89

9.2.4 Tabla de resultados pushover en “X”

Displacement	Base Shear
m	tonf
0	0
0,017	200,00
0,028	323,36
0,034	369,22
0,049	443,88
0,059	470,70
0,064	481,08
0,065	482,37
0,068	484,38
0,071	489,06
0,071	489,19
0,072	486,46

9.3 Capacidad

Para comprobar si la estructura soporta un evento sísmico se procede a calcular la capacidad de la misma.

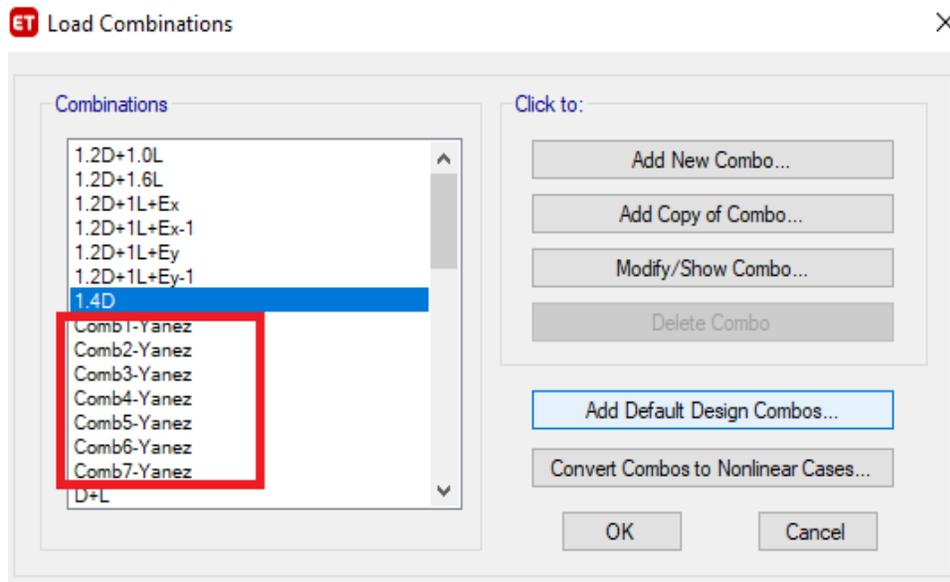


Ilustración 53: Combinación de las diferentes cargas.

9.4 Diagrama de interacción para la columna 30x50cm

Las secciones de las columnas y las vigas junto a la distribución del acero que ya se mencionaron anteriormente se realizan los cálculos de capacidad que tienen los elementos estructurales.

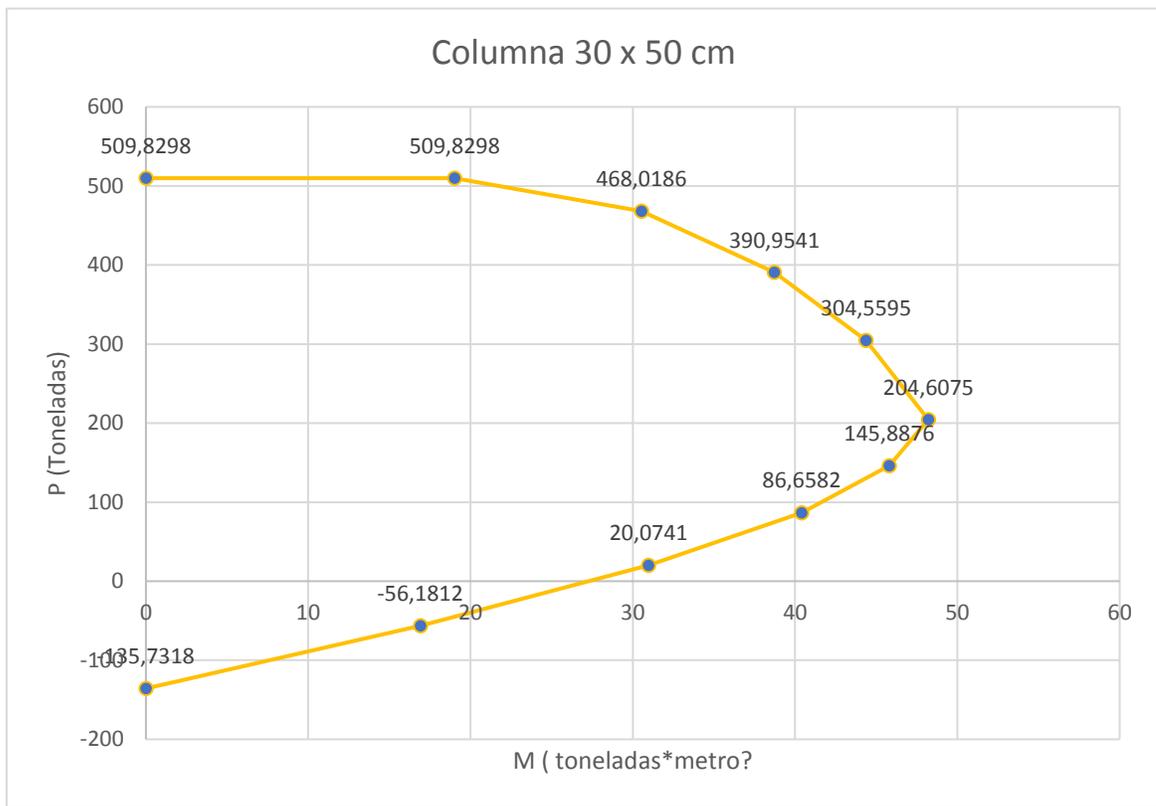
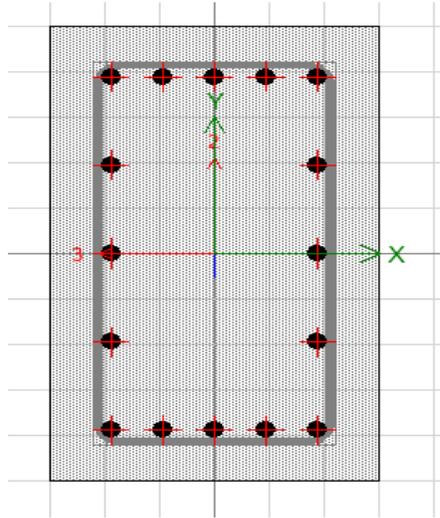
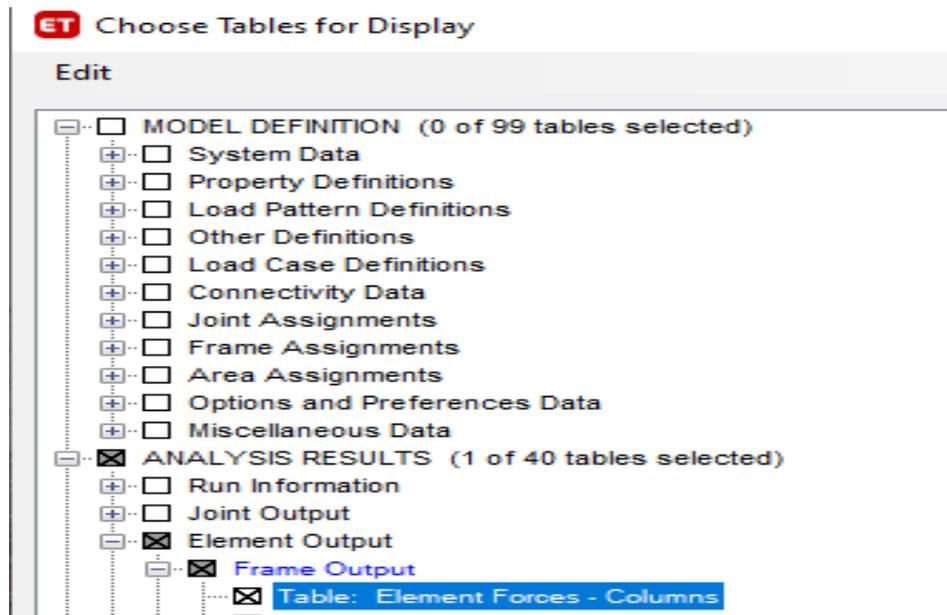


Ilustración 54: Diagrama de interacción de columna.

Corremos el Programa y buscamos la tabla de resultados de columnas:



ET Element Forces - Columns

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Element Forces - Columns

Filter: None

	Story	Column	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station m	P tonf	V2 tonf	V3 tonf
	Story3	C16	271	Envolvente	Combination	Min	2,35	-7,5847	-4,7483	-5,2806
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		0	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		0,1175	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		0,1175	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		1,175	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		2,2325	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		2,2325	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb1-Yanez	Combination		2,35	-1,0499	-1,2855	-0,4102
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	0	1,4925	1,9705	1,0977
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	0,1175	1,4925	1,9705	1,0977
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	0,1175	1,4925	1,9701	1,0975
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	1,175	1,4925	1,9701	1,0975
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	2,2325	1,4925	1,9701	1,0975
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	2,2325	1,4925	1,9696	1,0973
	Story3	C16	271	Comb3-Yanez	Combination	Max	2,35	1,4925	1,9696	1,0973

Record: << < 1 > >> of 19278

Add Tables... Done

Y ubicamos todos los resultados de las combinaciones en el diagrama que se hizo anteriormente.

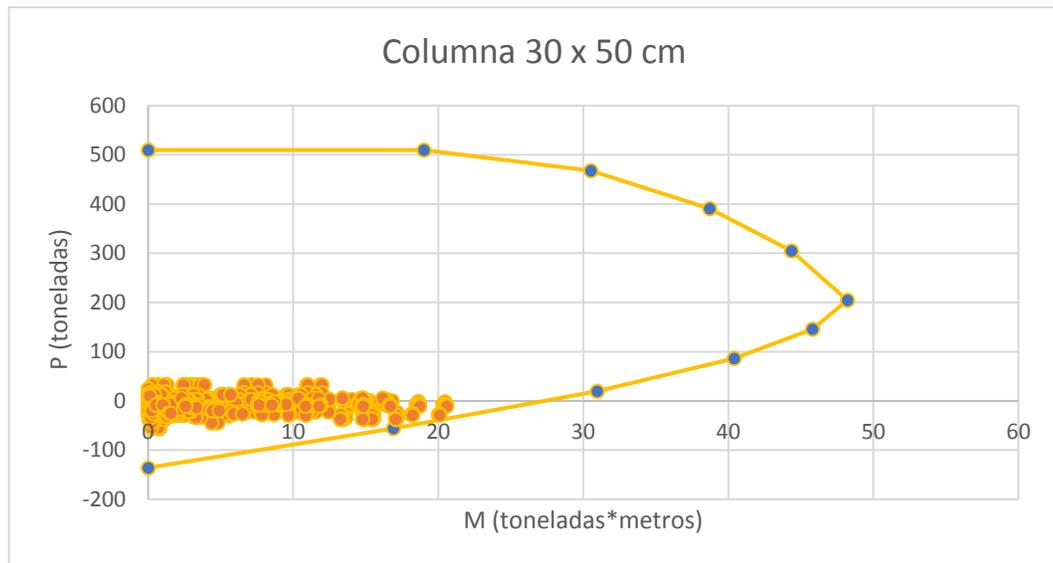
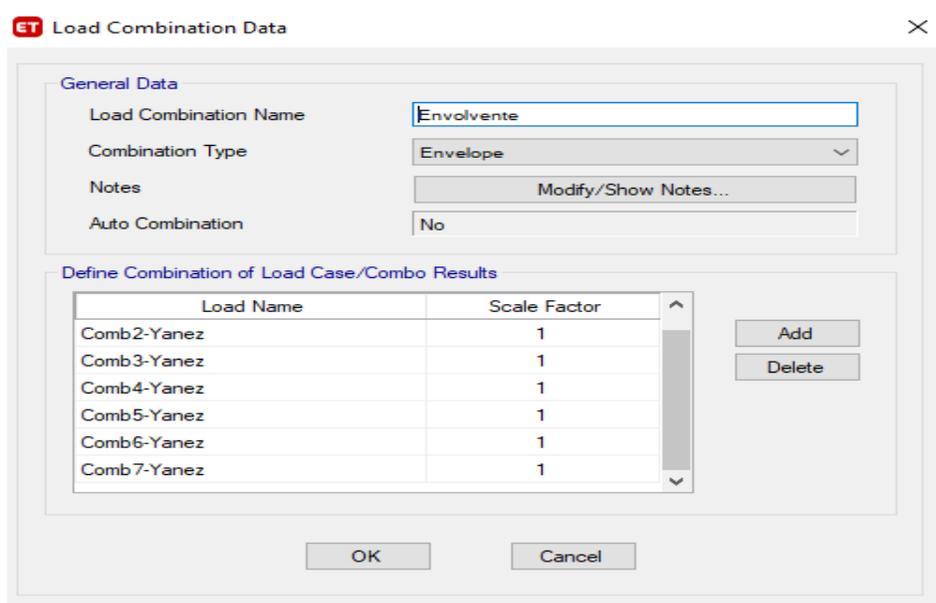


Ilustración 55: Diagrama de interacción aplicada la demanda.

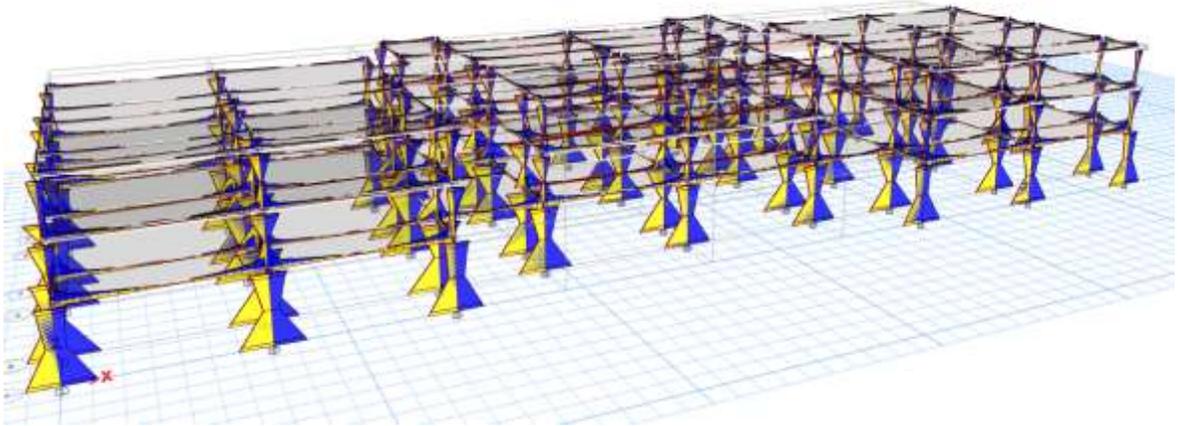
9.5 Capacidad en vigas

De igual manera que se hizo para las columnas se debe hacer para las vigas.

9.5.1 Combinación de envolvente



Se corre el programa y se ven los momentos con la “Comb de Envolvente”.



Verificando una de las columnas más críticas

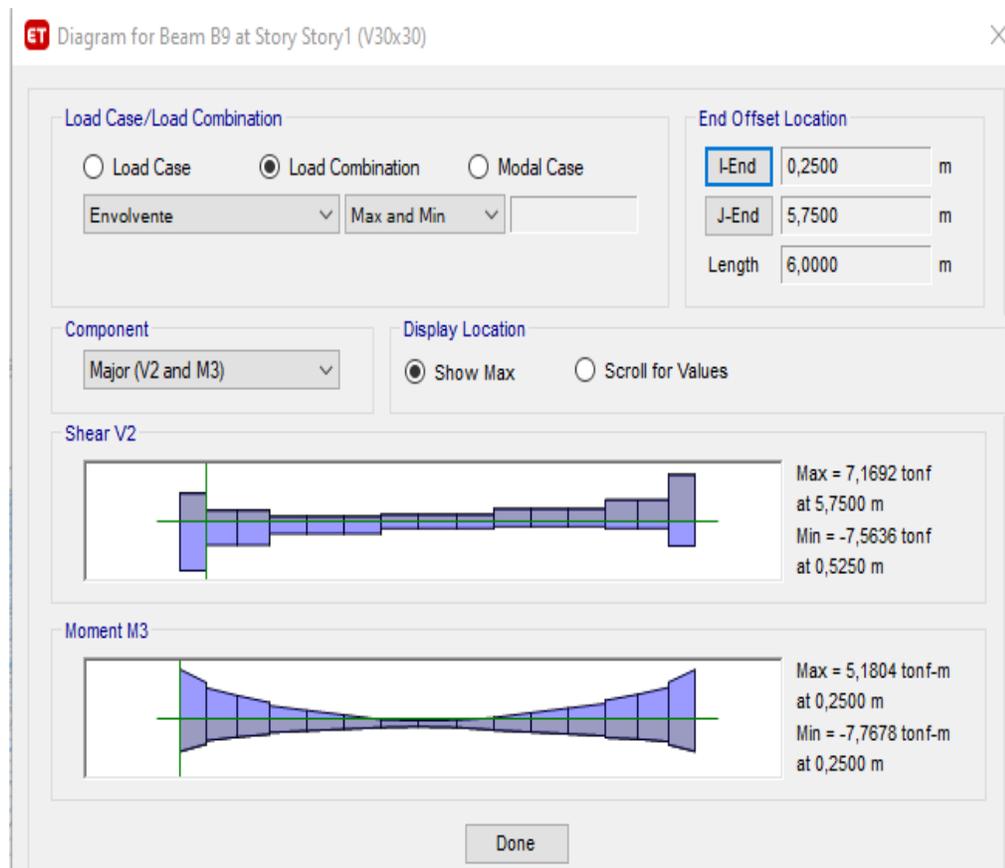


Ilustración 56: Momento y Cortante que resiste la columna.

9.6 Demanda

Para poder hacer la comparativa de la Demanda-Capacidad se realiza el cálculo de los momentos producidos en la estructura.

$$Mu \text{ negativo} = -7.77 \text{ ton.m}$$

$$Mu \text{ positivo} = 5.18 \text{ ton.m}$$

$$Vu \text{ max} = 7.56 \text{ ton}$$

$$Mn = As * fy * \left(d - \frac{As * fy}{2 * 0.85 * f'c * b} \right)$$

$$\phi Vc = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$\phi Vs = \frac{\phi * Au * fy * d}{S}$$

$$\phi Vn = \phi Vc + \phi Vs$$

Detalles de los elementos estructurales:

-Vigas 6(phi)14mm (1,03%)

-f'c = 400kg/cm²

-Estribo de 8mm = 1*0.5cm²

-S=150mm

-Rec=4cm

$$Mn+ = (1.53 * 3) * (4200) * \left(46 - \frac{1.53 * 3 * 4200}{2 * 0.85 * 400 * 30} \right) = 8.68 \text{ ton.m} > 5.18 \text{ ton.m ok}$$

$$Mn+ = Mn -$$

$$Mn- = 8.68 \text{ ton.m} > 7.77 \text{ ton.m ok}$$

9.7 Cortante

$$\phi Vc = 0.75 * 0.53 * \sqrt{400} * 30 * 46 = 10.97 \text{ ton}$$

$$\phi V_s = \frac{0.75 * 1 * 0.5 * 4200 * 46}{15} = 4.83 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = 10.97 + 4.83 = 15.8 \text{ ton} > 7.56 \text{ ton ok}$$

9.8 Conclusión

En el presente estudio se determinó la evaluación de vulnerabilidad sísmica, el desempeño y la capacidad del Edificio de la antigua Facultad de Economía, a través de un modelo estructural en tres dimensiones (ETABS) donde se llegó a las siguientes conclusiones:

- La estructura tiene un buen comportamiento provocado por los sismos revisados en el desarrollo de este estudio y son los siguientes: Sismo “Frecuente” (**72 años**), Sismo “Ocasional” (**225 años**), Sismo de Diseño o Sismo “Raro” (**475 años**) y Sismo “Muy Raro” (**2500 años**).
- Las derivas entrepiso en ambos sentidos (“X” y “Y”) no sobrepasan los estipulado en la norma NEC-2015 (2%) y son mucho menor al 1.5% que es considerado un porcentaje más seguro debido al año en el cual fue construida la estructura que fue en 1981.
- Para el análisis No Lineal (**Pushover**) se utilizó el sismo con periodo de retorno de 2500 años. Se aplicó el 4% de altura del edificio para determinar el desplazamiento donde la estructura presentó rotulas en el rango B (límite de fluencia nominal que corresponde al inicio de daños estructurales) y en el rango C (límite de seguridad estructural) donde representa el punto de máxima capacidad cumpliendo con el desplazamiento establecido sin llegar al colapso.
- Se utilizó la envolvente para determinar los momentos y cortantes máximos, donde se pudo verificar que los elementos cumplían tanto a Momento como a Cortante.

En conclusión, la estructura (Antigua Facultad De Economía) presenta un desempeño adecuado a futuros sismos, debido a su alta resistencia de hormigón (400Kg/cm^2) y la gran cantidad de columnas distribuidas en toda la edificación. Por lo que se establece que la estructura no necesita una rehabilitación o reforzamiento.

9.9 Recomendaciones

La edificación (antigua Facultad de Economía) cumple de forma óptima a futuros sismos que puedan ponerla a prueba, pese a que las evaluaciones realizadas determinaron que la estructura no necesita ser reforzada se solicitan las siguientes recomendaciones.

- Cubrir grietas que se pueden observar en algunas columnas donde es visible el acero el cual queda expuesto al ambiente y puede sufrir de corrosión.
- Implementar diagonales rigidizadores en el sentido donde se producen las máximas derivas (sentido x), debido a que la ciudad se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica.

10 BIBLIOGRAFÍA

- altamirano, D. A. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico del edificio de la OSCUS*.
Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29942/1/Tesis-I.C.1334-Galarza-Altamirano-Daniela-Alexandra.pdf>
- Filian A. y Macías R. (2018). *Evaluacion de una edificacion*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32564/1/Macias_Filian_Trabajo_titulacion_estructuras_enero_2018.pdf
- IGEPN. (10 de junio de 2011). *SISMOS*. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/16479-triptico-sismos-generalidades/file>
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf
- Pardo, M. (enero de 2020). *CUANTÍA*. Obtenido de <https://marcelopardo.com/cuantia-concepto-y-tipos/#:~:text=Una-columna-no-debe-contener,entre-1-y-2-porciento>.
- Toapanta, G. (2022). *ACADEMIA*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6740/7/Capitulo-2.pdf>
- UCSG. (2011). *Reseña historica*. Obtenido de <https://www.ucsg.edu.ec/la-universidad/>
- UCSG. (2019). *Reseña de facultad*. Obtenido de [https://www.ucsg.edu.ec/cea/historia-facultad/#:~:text=Es-en-1963-que-se,Escandon \(%2B\) y-el-Econ](https://www.ucsg.edu.ec/cea/historia-facultad/#:~:text=Es-en-1963-que-se,Escandon (%2B) y-el-Econ).
- UCSG. (s.f.). Memorias de la UCSG. En U. C. Guayaquil. Guayaquil.

11 ANEXOS



Ilustración 57: Antiguo Edificio de Economía de la UCSG.



Ilustración 58: Comprobación de las medidas en el plano arquitectónico con las reales.



Ilustración 59: Ensayo de esclerometría.



Ilustración 60: Superficie sin enlucir que se utilizó para el ensayo esclerometría.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Yánez Silva, Diego Alexander y Verduga Panezo, Joshue Ariolfo**, con C.C: 060466713-9 y 080323544-9 autores del trabajo de titulación: **Estudio de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación del Antiguo Edificio de la Facultad de Economía de la UCSG**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de febrero del 2023

Yánez Silva, Diego Alexander
C.C: 060466713-9

Verduga Panezo, Joshue Ariolfo

C.C: 0803235449

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación del Antiguo Edificio de la Facultad de Economía de la UCSG.		
AUTOR(ES)	Yáñez Silva, Diego Alexander y Verduga Panezo, Joshue Ariolfo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de enero del 2023	No. DE PÁGINAS:	98
ÁREAS TEMÁTICAS:	Análisis Estructural, Hormigón Reforzado, Sísmica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Análisis Modal, Espectros, Pushover, Sismos, NEC, Derivas, Etabs, Desempeño.		
RESUMEN:	<p>En el presente trabajo se realiza una evaluación de riesgo sísmico de uno de los edificios de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (Antigua Facultad de Economía) comenzando con recopilación de información de la estructura (planos arquitectónicos, año de construcción, planos estructurales, persona encargada de la construcción) para así empezar con los primeros capítulos de este trabajo. Se tomó como referencia estudios de suelos realizado para la construcción del edificio de post Grado de la Universidad, el cual determinaba el tipo de suelo que se encontraba bajo la edificación (tipo B) para así comenzar con la creación de los espectros. Una vez obtenido los datos se realiza un modelo en tres dimensiones de la edificación en el programa ETABS el cual permitió conocer el comportamiento de la estructura en futuros sismos. Se determina la resistencia del hormigón a través de un ensayo de esclerometría (400kg/cm²) para así conocer las derivas de entre piso de las estructuras las cuales fueron menores al 2%.</p> <p>Se realiza un análisis No Lineal de la estructura con el sismo de 2500 años para observar la formación de las rotulas plásticas las cuales estuvieron dentro del rango B – C lo que determina que la estructura no llega al colapso con el sismo analizado.</p> <p>Finalmente se pudieron obtener los resultados que nos da como conclusión que la estructura no necesita de una rehabilitación y de ningún reforzamiento, pero si se nombra alguna recomendación que se le podrían realizar en la edificación.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-985227290 +593-960279738	E-mail: diego.yanez@cu.ucsg.edu.ec joshe.verduga@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Clara Catalina Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			