



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

“EVALUACIÓN SÍSMICA DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA MEDIANTE CÓDIGO ASCE 41-13”

AUTOR:

FRANCISCO JAVIER REDIN SANTACRUZ

DIRECTOR:

ING. ROBERTO UNDA

QUITO, 2018

DEDICATORIA

A mis padres Francisco y Maritza;

A mi hermana María Cristina;

A mi sobrina Vicky

A mis abuelitos Ali, Paquito (+), Merce (+) y Virgilio (+) y

A mis tíos y tías.

Ustedes son la razón de mi vida.

Francisco Javier Redín Santacruz

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios porque sin su guía nada es posible.

Agradezco a mis padres Francisco y Maritza porque ellos me brindaron el apoyo en las buenas y las malas; además de ellos recibo siempre el ejemplo de esfuerzo y honestidad en el diario actuar de mi vida.

A mi hermana María Cristina que me demostraste que no hay dificultad que impida alcanzar una meta.

A mi sobrina Vicky, que siempre me brinda alegría y llena de luz mi vida.

A todos mis abuelitos, ustedes sembraron las semillas para ser la persona que ahora soy. Mucho de ustedes está dentro de mí.

A todos mis tíos y tías gracias por su apoyo incondicional.

Al Ing. Roberto Unda, Ing. Patricio Castro e Ing. Óscar Jaramillo mi eterno agradecimiento durante esta disertación y a lo largo de mi formación académica.

A todos ustedes un gracias infinito, este logro no hubiera sido posible sin ustedes.

Francisco Javier Redín Santacruz

RESUMEN

El Ecuador es un país de alta actividad sísmica por su ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico o por las formaciones volcánicas presentes en la zona de la Sierra. El último evento sísmico presentado en abril de 2016 dejó en evidencia las condiciones precarias de las estructuras y su falta de un adecuado desempeño sísmico; dejando como resultado altos costos económicos por daños en infraestructura así como la pérdida de vidas humanas.

El edificio de la Facultad de Ingeniería es la edificación más reciente que se ha construido en la PUCE, por lo que es necesario que se realice una evaluación de comportamiento sísmico por la importancia que la facultad representa no solo en el área académica, sino también el aporte que brinda a la sociedad ecuatoriano en especial al sector de la construcción.

En esta disertación se desarrolla principalmente la metodología de evaluación visual propuesta en ASCE 41-13 la cual comprende el uso de checklists según el tipo de estructura con su sistema sismo resistente. Esta evaluación emplea cálculos de resistencia que en su mayoría se basan en información de la configuración estructural, materiales e información de documentos existentes de la estructura. Complementariamente a esta evaluación se presenta un modelo computacional en el programa ETABS para verificar el desempeño estructural.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo General.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Metodología	2
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	3
2.1 Definiciones y Abreviaturas.....	3
2.1.1 Definiciones	3
2.1.2 Abreviaturas	4
2.2 Evaluación Sísmica de Edificios Existentes.....	6
2.3 Reseña de Procedimientos de Evaluación	6
2.4 Proceso de Evaluación Sísmica	7
2.4.1 Selección del Nivel de Desempeño Objetivo	8
2.4.2 Nivel de Sismicidad	9
2.4.3 Información As-Built	9
2.4.4 Procedimientos de Evaluación	10
2.4.5 Reporte de Evaluación	10
2.5 Niveles de Desempeño Objetivo	12
2.5.1 Niveles de Desempeño Objetivo para Edificaciones Existentes (BPOE)...	13
2.5.2 Niveles de Desempeño Objetivo Equivalente a Nuevas Edificaciones (BPON)	15
.....	15
2.6 Niveles de Desempeño Objetivo en Edificaciones	16

2.6.1	Niveles de Desempeño Estructural.....	18
2.6.1.1	Nivel de Desempeño Estructural Inmediata Ocupación (S-1)	18
2.6.1.1.1	Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Mejorada	19
2.6.1.2	Nivel de Desempeño Estructural Daño Controlado (S-2).....	19
2.6.1.3	Nivel de Desempeño Estructural Preservación de Vida (S-3).....	19
2.6.1.4	Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Limitada (S-4).....	19
2.6.1.5	Nivel de Desempeño Estructural Prevención de Colapso (S-5)	20
2.6.1.6	Nivel de Desempeño Estructural No Considerado (S-6)	20
2.6.2	Niveles de Desempeño No Estructural	21
2.6.2.1	Nivel de Desempeño No Estructural Operacional (N-A)	22
2.6.2.2	Nivel de Desempeño No Estructural En Posición (N-B)	22
2.6.2.3	Nivel de Desempeño No Estructural Preservación de Vida (N-C).....	23
2.6.2.4	Nivel de Desempeño No Estructural No Considerado (N-D).....	23
2.6.3	Asignación de Niveles de Desempeño Objetivo.....	27
2.6.3.1	Nivel de Desempeño Objetivo Operacional (1-A).....	28
2.6.3.2	Nivel de Desempeño Objetivo Inmediata Ocupación (1-B)	28
2.6.3.3	Nivel de Desempeño Objetivo Preservación de Vida (3-C)	29
2.6.3.4	Nivel de Desempeño Objetivo Prevención de Colapso (5-D)	29
2.7	Riesgo Sísmico	29
2.7.1	Procedimiento General Para El Peligro Causado Por Movimiento De Suelo	29
2.7.1.1	Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-2N.....	30
2.7.1.2	Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-1N.....	31
2.7.1.3	Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-2E	31
2.7.1.4	Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-1E	31

2.7.1.5	Parámetros De Aceleración De Respuesta Para Otras Probabilidades De Espectros De Respuesta De Aceleración.....	31
2.7.1.6	Ajuste Por Clase De Sitio (Perfil De Suelo).....	32
2.7.1.6.1	Clase De Sitio (Perfil De Suelo).....	33
2.7.1.7	Espectro General de Respuesta	34
2.8	Nivel de Sismicidad	35
CAPITULO 3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA		36
3.1	Antecedentes.....	36
3.2	Descripción Arquitectónica	37
3.3	Descripción Estructural	41
3.3.1	Sistema Sismo Resistente.....	41
3.3.2	Cimentación De La Estructura	42
3.3.3	Elementos Estructurales	43
3.3.3.1	Armado De Vigas.....	43
3.3.3.2	Armado De Columnas.....	46
3.3.3.3	Configuración De Losas De Entrepiso Y Cubierta.....	46
3.4	Materiales.....	46
3.4.1	Acero de Refuerzo	46
3.4.2	Hormigón.....	47
3.5	Cargas Aplicadas En La Estructura	47
CAPITULO 4 NIVEL DE EVALUACIÓN 1: EVALUACIÓN VISUAL.....		49
4.1	Descripción General De La Metodología De Evaluación.....	49
4.2	Limitaciones de Uso del Nivel de Evaluación 1 y 2.....	50
4.3	Requisitos Previos Para Evaluación De Nivel 1.....	51
4.3.1	Nivel De Desempeño	51
4.3.2	Nivel De Riesgo Sísmico	52

4.3.3	Nivel De Sismicidad	52
4.3.4	Investigación En Sitio	52
4.3.5	Tipos De Edificaciones.....	53
4.3.6	Valores De Materiales Por Defecto	54
4.4	Edificaciones Objetivo	55
4.4.1	Documentación Existente	57
4.4.2	Verificación En Campo	57
4.4.3	Evaluación De Condiciones	57
4.4.4	Riesgos Geológicos En Sitio	58
4.5	Selección Y Uso De Checklists.....	58
4.6	Análisis En Nivel De Evaluación 1	59
4.6.1	Fuerzas Sísmicas	59
4.6.1.1	Fuerzas Pseudo Sísmicas	59
4.6.1.2	Corte Basal De Pisos	60
4.6.1.3	Aceleración Espectral	61
4.6.1.4	Período	61
4.6.2	Chequeos Breves De Resistencia Y Rigidez	62
4.6.2.1	Desplazamiento De Piso En Pórticos A Momento	62
4.6.2.2	Resistencia Al Corte En Columnas De Pórticos De Concreto.....	63
CAPÍTULO 5 MEMORIA DE EVALUCIÓN SÍSMICA NIVEL 1 DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA		64
5.1	Antecedentes.....	64
5.1.1	De La Facultad De Ingeniería	64
5.1.2	Riesgos Y Amenazas Sísmica De La Edificación	64
5.2	Alcance de la Evaluación	65
5.3	Documentación Existente de la Edificación	65

5.4	Consideraciones para la Evaluación en Base al Estándar ASCE 41-13.....	65
5.4.1	Nivel de Desempeño Objetivo.....	65
5.4.2	Riesgo Sísmico	66
5.4.3	Nivel de Sismicidad	66
5.4.4	Tipo de Edificación.....	67
5.4.5	Cargas.....	68
5.4.5.1	Cargas No Sísmicas.....	68
5.4.5.2	Cargas Sísmicas	68
5.4.6	Materiales	68
5.4.7	Edificaciones Adyacentes.....	69
5.4.8	Geotecnia y Cimentaciones.....	69
5.5	Verificación de Campo	70
5.5.1	Verificación de Cimentaciones	70
5.5.2	Verificación de Vigas y Columnas	71
5.5.3	Verificación de Uniones Viga-Columna.....	72
5.5.4	Verificación de Elementos No Estructurales	73
5.5.5	Verificación de Otros Elementos No Estructurales	75
5.6	Análisis Numérico del Nivel de Evaluación 1.....	76
5.6.1	Pseudofuerzas Sísmica	76
5.6.2	Cortante Basal de Piso	76
5.6.3	Aceleración Espectral.....	76
5.6.4	Período.....	76
5.7	Justificación de Checklist.....	77
CAPÍTULO 6 VERIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE SOFTWARE ETABS		85
6.1	Consideraciones	85
6.2	Procedimiento con capturas de pantalla.....	85

6.2.1	Materiales y Elementos Estructurales	85
6.2.2	Definición de Espectro de Diseño.....	85
6.2.4	Definición de Patrones de Carga	87
6.2.5	Definición de Casos de Carga	87
6.2.6	Correr el Análisis de la Estructura	88
6.2.7	Revisión de Resultados	88
6.3	<i>Resultados de Análisis Lineal</i>	89
6.3.2	Cortante Basal Estático vs. Cortante Basal Dinámico.....	89
6.3.3	Derivas Máximas de Piso.....	90
6.3.4	Desplazamientos Máximos	91
6.4	<i>Análisis No Lineal Estático – Pushover de la Estructura</i>	92
6.4.1	Definir Patrones de Carga	92
6.4.2	Definir Casos de Carga	92
6.4.3	Asignar rótulas plásticas a vigas y columnas.....	96
6.4.4	Correr los casos de carga	98
6.4.5	Resultados del Análisis Estático No Lineal	98
6.4.5.1	Rótulas Plásticas.....	98
6.4.5.2	Curvas Pushover.....	100
6.4.5.3	Puntos de Desempeño	101
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES		102
BIBLIOGRAFÍA.....		104
ANEXO 1 ESPECTRO DE DISEÑO ASCE 41-13.....		105
ANEXO 2 ESPECTRO DE DISEÑO NEC-15		109
ANEXO 3 NIVEL DE SISMICIDAD ASCE 41-13.....		113
ANEXO 4 PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS		115
ANEXO 5 CHECKLIST ESTRUCTURAL INMEDIATA OCUPACION C1.....		121

ANEXO 6 CHECKLIST DE CONFIGURACIÓN BÁSICA PARA INMEDIATA OCUPACION .	124
ANEXO 7 DERIVAS MÁXIMAS DE PISO.....	128
ANEXO 8 DEPLAZAMIENTOS MÁXIMAS DE PISO	132
ANEXO 9 CORTANTE BASAL – FUERZAS LATERALES	134
ANEXO 10 CORTANTE BASAL – NEC 15	136
ANEXO 11 PUSHOVER X – PUSHOVER Y	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Niveles de Desempeño Objetivo Estructural.....	14
Tabla 02: Niveles de Desempeño Objetivo No Estructural	14
Tabla 03: Niveles de Sismicidad. Fuente ASCE 7	15
Tabla 04: Probabilidad de Ocurrencia y Período de Retorno	19
Tabla 05: Niveles de Desempeño.	19
Tabla 06: Niveles Básicos de Desempeño en Edificaciones Existentes (BPOE).	20
Tabla 07: Nivel de Desempeño Objetivo Equivalente a Estándares de Nuevas Edificaciones.....	21
Tabla 08: Lista de Daños y Niveles de Desempeño de Edificación.	22
Tabla 09: Nivel de Desempeño Estructural e Ilustración de Daños.	25
Tabla 10: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños-Componentes Arquitectónicos	28
Tabla 11: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños-Sistemas Mecánicos, Eléctricos, Hidrosanitarios y Componentes.....	29
Tabla 12: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños-Equipamiento/Mobiliario.	30
Tabla 13: Niveles de Desempeño Objetivo en Edificaciones.....	31
Tabla 14: Valores de F_a como función de Clase de Sitio y Períodos Cortos de Aceleración de Respuesta Espectral S_s	35
Tabla 15: Valores de F_v como función de Clase de Sitio y Períodos de 1seg de Aceleración de Respuesta Espectral S_1	35
Tabla 16: Definición de Nivel de Sismicidad	38
Tabla 17: Armado Vigas Nivel +0.60m y +4.00m	47
Tabla 18: Armado Vigas Nivel +7.40m y +10.80m	48
Tabla 19: Armado Vigas Nivel +14.20m y +17.60m	48

Tabla 20: Armado Vigas Nivel +21.00m y +24.40m	48
Tabla 21: Armado Columnas Bloque 1	49
Tabla 22: Resistencia de Hormigón en Elementos Estructurales	50
Tabla 23: Carga Viva sobre Estructura.....	50
Tabla 24: Patrones de Defectos o Falencias en Edificaciones.	53
Tabla 25: Limitaciones para el uso de procedimientos de Evaluación Nivel 1 y Nivel 2.	54
Tabla 26: Tipos de Edificaciones con Sistemas Sismo Resistentes	56
Tabla 27: Resistencia a la Compresión por Defecto para Concreto Estructural.....	58
Tabla 28: Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero de Refuerzo.....	58
Tabla 29: Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero Estructural.	58
Tabla 30: Códigos aplicables para edificaciones objetivo de sistemas estructurales	60
Tabla 31: Checklists requeridos para nivel de evaluación 1: Evaluación visual.	63
Tabla 32: Factor de Modificación C.....	64
Tabla 33: Valores de Ct.....	65
Tabla 34: Valores de Ct.....	65
Tabla 35: Comprobación de resistencia al corte de columnas en sentido X.	82
Tabla 36: Comprobación de resistencia al corte de columnas en sentido Y	82
Tabla 37: Comprobación de resistencia de fuerza axial de columnas en sentido X y Y..	83

ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1: Flujograma General del Proceso de Evaluación Sísmica de Edificaciones Existentes.	12
Ilustración 2: Espectro General de Respuesta Horizontal.....	34
Ilustración 3: Implantación de la Facultad de Ingeniería-PUCE Quito.....	37
Ilustración 4: Fachada Oeste de la Facultad de Ingeniería.	37
Ilustración 5: Subsuelo de la Facultad de Ingeniería.	38
Ilustración 6: Planta Baja de la Facultad de Ingeniería.	38
Ilustración 7: Primera Planta Alta de la Facultad de Ingeniería.	39
Ilustración 8: Segunda Planta Alta de la Facultad de Ingeniería.	40
Ilustración 9: Tercera, Cuarta y Quinta Planta Alta de la Facultad de Ingeniería.	40
Ilustración 10: Sexta Planta Alta de la Facultad de Ingeniería.	41
Ilustración 11: Esquema en Planta de Bloque 1 y 2.....	41
Ilustración 12: Modelación de Sistema Sismo Resistente.	42
Ilustración 13: Esquema de Muro de Corte Ascensor 2.....	42
Ilustración 14: Dimensiones y Armado de Cimentación.	43
Ilustración 15: Corte Típico de Losa.	46
Ilustración 16: Cargas Concentradas y Puntuales.....	48
Ilustración 17: Proceso de Evaluación Nivel 1.....	50
Ilustración 18: Edificaciones Adyacentes a la Facultad de Ingeniería-PUCE Quito.	69
Ilustración 19: Estado de elementos sobre la cimentación.	71
Ilustración 20: Viga exterior de losa de cubierta.....	71
Ilustración 21: Viga y columna interior de laboratorio TI.	72
Ilustración 22: Agrietamiento de mampostería en zona unión viga-columna 4to piso. 72	
Ilustración 23: Fisura por elementos de diferente rigidez.	73
Ilustración 24: Efecto similar a “columna corta” entre mampostería y ventanas.	74
Ilustración 25: Relación de dimensiones de mampostería y ventanas de aulas 2do, 3ro, 4to, 5to y 6to piso.	74
Ilustración 26: Separación de elementos de techo falso.	74

Ilustración 27: Equipamiento de ascensores.....	75
Ilustración 28: Equipamiento de aulas.....	75
Ilustración 29: Equipamiento de laboratorio de TI.....	75
Ilustración 30: Servidores de laboratorio de TI.	75
Ilustración 31: Cubículos de profesores.....	76
Ilustración 32: Redundancia de pórticos en sentido X. Fuente:.....	77
Ilustración 33: Redundancia de pórticos en sentido Y. Fuente:.....	78
Ilustración 34: Corte típico de columna. Fuente: Planta Física-PUCE.	80
Ilustración 35: Corte típico de losa. Fuente: Planta Física-PUCE.....	80
Ilustración 36: Ubicación de traslapes en vigas. Fuente: Planta Física-PUCE.	82
Ilustración 37: Ubicación típica de estribos en columnas.....	82
Ilustración 38: Ubicación típica de estribos en vigas.....	83
Ilustración 39: Geometría estribo tipo “O” con gancho.	84

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual abarca toda la costa del Océano Pacífico rodeando hasta las costas de Rusia, Japón, Filipinas e Indonesia. Por este motivo, nuestro país presenta un alto riesgo sísmico por la presencia de placas tectónicas así como eventos sísmicos por actividad volcánica en la Cordillera de los Andes que atraviesa la región centro del país. Con estos antecedentes, es necesario que las edificaciones cuenten con un adecuado comportamiento ante la acción de fuerzas sísmicas en su estructura.

El edificio de la Facultad de Ingeniería es la edificación más reciente que se ha construido en la PUCE, por lo que es necesario que se realice una evaluación de comportamiento sísmico por la importancia que la facultad representa no solo en el área académica, sino también el aporte que brinda a la sociedad ecuatoriana en especial al sector de la construcción. Además con el reciente sismo ocurrido en Pedernales el 16 de abril de 2016, es necesario realizar una evaluación sísmica no solo del edificio de la Facultad de Ingeniería sino también de las edificaciones que conforman el campus de la PUCE; debido a que estas edificaciones fueron diseñadas con normas muy anteriores a la actual NEC y por lo tanto con diversos cambios respecto a las exigencias sísmicas.

Actualmente, en el Ecuador únicamente se cuenta con el capítulo “Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras” de la Norma Ecuatoriana de Construcción aprobada en enero del 2015. Este capítulo de la norma si bien no cuenta con una metodología propia para la evaluación sísmica de estructuras, nos provee una guía de las diferentes normas internacionales que pueden ser aplicadas en el caso de requerir la evaluación sísmica de estructuras.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Realizar el análisis sísmico del edificio de la Facultad de Ingeniería de la PUCE mediante código ASCE 41-13

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el riesgo sísmico del edificio de la Facultad de Ingeniería.
- Determinar posibles vulnerabilidades estructurales presentes del edificio de la Facultad de Ingeniería.
- Realizar la evaluación Nivel 1: Evaluación Visual del edificio de la Facultad de Ingeniería.

1.3 Alcance

La presente disertación se enfocará en la evaluación sísmica del edificio de la Facultad de Ingeniería mediante el Nivel de Evaluación 1: Evaluación Visual; esta metodología de evaluación se detalla en el estándar ASCE 41-13 *“Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings”*.

1.4 Metodología

Para la presente disertación se utilizará los siguientes procedimientos metodológicos:

- Investigación y recopilación de información técnica (estudios de suelo, memorias de cálculo, planos de diseño, planos definitivos) utilizados en la construcción del edificio de la Facultad de Ingeniería.
- Evaluación visual del edificio de la Facultad de Ingeniería.
- Verificación de información mediante listas de chequeo (checklists) en sitio.
- Aplicación de la metodología propuesta en ASCE 41-13 para la evaluación sísmica de edificios existentes.
- Redacción de reportes finales en base a los resultados obtenidos.
- Emisión de conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones y Abreviaturas

2.1.1 *Definiciones*

- **Análisis Lineal Dinámico (LDP)**

Análisis basado en espectro de respuesta.

- **Análisis Lineal Estático (LSP)**

Análisis basado en fuerzas laterales usando pseudofuerzas laterales.

- **Checklist**

Conjunto de chequeos de evaluación que se completarán como parte del Nivel 1. Cada chequeo representa potenciales deficiencias basada en el desempeño en terremotos pasados.

- **Demanda**

Cantidad de fuerza o deformación impuesta a un elemento o componente.

- **Edificio Objetivo**

Una edificación diseñada y construida o evaluada bajo un nivel de desempeño específico usando un código o estándar.

- **Evaluación de Nivel 1**

Listas de verificación de chequeos de evaluación que identifican posibles deficiencias en un edificio basadas en el desempeño de edificios similares en terremotos pasados.

- **Evaluación de Nivel 2**

Enfoque aplicable a ciertos tipos de edificios y Objetivos de Desempeño basados en la evaluación específica de deficiencias potenciales para determinar si

representan deficiencias reales que pueden requerir mitigación. El análisis de la respuesta de todo el edificio puede no ser necesario.

- **Nivel de Desempeño en Edificaciones**

Estado límite de daño para una edificación, considerando componentes estructurales y no estructurales, usados en la definición de nivel de desempeño objetivo.

- **Nivel de desempeño**

Uno o más pares de un nivel de riesgo sísmico seleccionado con un nivel de rendimiento estructural aceptable o deseado y un nivel de rendimiento no estructural aceptable o deseado.

- **Nivel de Peligro Sísmico**

Requisitos de severidad especificados, desarrollados sobre una base probabilística o determinista.

- **Nivel de sismicidad**

Nivel de daño sísmico esperado. Para este estándar se lo clasifica como muy bajo, bajo, moderado o alto basado en los valores de aceleraciones y factores de amplificación de sitio.

- **Pórtico Resistente a Momento (MRF)**

Pórtico capaz de resistir fuerzas laterales en sus componentes (vigas-columnas) y nudos que resisten principalmente fuerzas de flexión.

2.1.2 Abreviaturas

- **NBC**

National Building Code (Código Nacional de Edificaciones).

- **SBC**

Standard Building Code (Código Estándar de Edificaciones).

- **UBC**

Uniform Building Code (Código Uniforme de Edificaciones).

- **IBC**

International Building Code (Código Internacional de Edificaciones).

- **IEBC**

International Existing Building Code (Código Internacional para Edificaciones Existentes).

- **NEHRP**

FEMA 368 and 369, NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings (BSSC 2000) (Provisiones y Recomendaciones para el Desarrollo de Regulaciones Sísmicas de Edificaciones Nuevas).

- **FEMA 178**

NEHRP Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Manual para la Evaluación Sísmica de Edificaciones).

- **FEMA 310**

Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard (Manual para la Evaluación Sísmica de Edificaciones: Un Pre estándar).

- **FEMA 356**

Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (Pre estándar y Comentarios para Rehabilitación Sísmica de Edificaciones).

- **ASCE 31-03**

Seismic Evaluation of Existing Buildings (Evaluación Sísmica de Edificaciones Existentes).

- **ASCE 41-06**

Seismic Evaluation of Existing Buildings (Evaluación Sísmica de Edificaciones Existentes).

2.2 Evaluación Sísmica de Edificios Existentes

La evaluación sísmica de edificaciones se define como un conjunto de procesos o metodologías para evaluar las deficiencias en edificaciones y que impiden que estas alcancen un específico nivel de desempeño deseado; sea determinado por sus propietarios, profesionales evaluadores, normas o leyes vigentes, etc. La evaluación sísmica comprende el estudio de los componentes estructurales de una edificación como: suelo, tipo de cimentación, sistema estructural sismo resistente así como los componentes no estructurales: instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas y ciertos elementos arquitectónicos propios de las edificaciones.

Cabe resaltar que la metodología descrita en ASCE 41-13 incluye la mayor parte de tipologías en sistemas estructurales en edificaciones existentes en la actualidad; mas no incluye a aquellas estructuras que por su naturaleza o especificación utilizada para el diseño no se consideran en este estándar. Además que no se contempla ciertos fenómenos ocasionados al suelo por la acción de un sismo como licuefacción de suelo, deslizamiento de suelo, falla por rotura en superficie e incidencia de las estructuras vecinas a la estructura a ser evaluada.

2.3 Reseña de Procedimientos de Evaluación

Los procedimientos utilizados en ASCE 41-13 para la evaluación de edificaciones se basan en metodologías que tratan de estimar el desempeño que tendrán las estructuras ante acciones de sismos en diferentes períodos de ocurrencia durante su vida útil.

En una breve reseña de la creación de este estándar, ASCE 41-13 proviene de la unificación de dos estándares: ASCE 31 (ASCE 31-03) *Seismic Evaluation of Existing Buildings* y ASCE 41 (ASCE 41-06) *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*; los cuales

fueron en su mayoría actualizados y reorganizados para una mejor comprensión y aplicación. A su vez ASCE 31 y ASCE 41 tuvieron antecesores previos; ASCE 31 reemplazo a FEMA 310 *Handbook of the Seismic Evaluation of Buildings – A prestandar* (FEMA 1998e), el cual contenía las experiencias obtenidas por evaluadores profesionales y lecciones aprendidas de sismos pasados. ASCE 41 fue precedido por FEMA 356 *Prestandar and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, el cual se basaba en experiencia de equipos de investigación en Ingeniería Sísmica y de Terremotos y que recopilaba los resultados obtenidos en proyectos avanzados de investigación en laboratorio en el análisis y diseño de edificaciones bajo varios niveles de desempeño.

Como complemento a ASCE 41-13, se incluyen comentarios de estos códigos y estándares:

- ASCE/SEI 7-10 (2010) *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- FEMA P-750 (2009c) *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*.
- FEMA 172 (1992a) *NEHRP Handbook of Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*.
- FEMA 275 (1998a) *Planning for Seismic Rehabilitation: Societal Issues*.
- FEMA 276 (1997c) *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Examples Applications*.

Si bien para los procesos de evaluación se requiere de códigos y estándares que nos permitan tener procedimientos claros no debemos dejar de lado el criterio que el profesional evaluador debe proveer en su trabajo. Cada estructura tiene el carácter de única, es aquí donde el profesional deberá aplicar los procedimientos de evaluación y analizar aquellos aspectos de su proyecto que se presenten diferentes y puedan representar variaciones en el comportamiento promedio al que se describe en las normas y códigos.

2.4 Proceso de Evaluación Sísmica

La evaluación sísmica de edificaciones nos permite evaluar el comportamiento que estas tendrían ante la acción de fuerzas sísmicas. La evaluación permitirá comprobar si la edificación fue correctamente diseñada y construida para resistir las acciones de eventos sísmicos. Dependiendo del nivel de evaluación que se aplique, se puede identificar potenciales deficiencias y vulnerabilidades en diferentes niveles:

- Nivel 1: Evaluación Visual
- Nivel 2: Evaluación Basada en Deficiencias
- Nivel 3: Evaluación Sistemática

En base a las conclusiones que se obtengan de las evaluaciones se pueden generar posibles hojas de rutas para acciones futuras: reportar las deficiencias identificadas y generar acciones preventivas y correctivas o seguir con niveles de evaluación más a detalle en función de los requerimientos de evaluación.

2.4.1 Selección del Nivel de Desempeño Objetivo

Los niveles de desempeño objetivo responden a requerimientos que se desearía tener en una edificación determinada en base a requisitos normativos, decretos de ley o voluntad que el propietario de la edificación quisiera tener en su bien inmueble. En ASCE 41 se determinan seis niveles de desempeño objetivo estructural:

Nivel de Desempeño Objetivo Estructural

Nomenclatura	Nivel de Desempeño
S-1	Ocupación Inmediata
S-2	Daño Controlado
S-3	Preservación de Vida
S-4	Seguridad Limitada
S-5	Prevención de Colapso
S-6	No Considerado

Tabla 01: Niveles de Desempeño Objetivo Estructural

Para aspectos no estructurales se determina cuatro niveles:

Nivel de Desempeño Objetivo No Estructural

Nomenclatura	Nivel de Desempeño
N-A	Operacional

N-B	Mantienen Posición
N-C	Preservación de Vida
N-D	No Considerado

Tabla 02: Niveles de Desempeño Objetivo No Estructural

Los niveles de desempeño objetivo estructural y no estructural se tratarán más a detalle posteriormente.

2.4.2 Nivel de Sismicidad

El nivel de sismicidad es el daño que podría producirse en la edificación después de un evento sísmico. Los niveles de sismicidad se clasifican en:

Nivel de Sismicidad	
Nomenclatura	Nivel de Sismicidad
SDC A	Muy Bajo
SDC B	Bajo
SDC C	Moderado
SDC D	Alto

Tabla 03: Niveles de Sismicidad. Fuente ASCE 7

Los niveles de sismicidad dependen la aceleración de períodos cortos del espectro de respuesta S_{DS} y de la aceleración de período un segundo del espectro de respuesta S_{D1} .

2.4.3 Información As-Built

La información As-Built disponible de la edificación nos permitirá tener mejores elementos de juicio para la evaluación sísmica. Dependiendo del nivel de evaluación que se ejecute será necesaria información de mayor precisión.

Entre la información as-built que se puede emplear se encuentra:

- Planos estructurales, arquitectónicos, eléctricos, hidrosanitarios de diseño.
- Planos As-Built estructural, arquitectónico, eléctrico, hidrosanitarios de diseño.
- Memorias de cálculo.
- Estudios de suelo.
- Informes de fiscalización.

- Entrevistas con profesionales de diseño y construcción de la edificación.

2.4.4 Procedimientos de Evaluación

Los procedimientos de evaluación sísmica de edificaciones existentes se dividen en tres niveles de evaluación:

- Nivel 1: Evaluación Visual
- Nivel 2: Evaluación Basada en Deficiencias
- Nivel 3: Evaluación Sistemática

Cada nivel tiene que ser ejecutado en orden secuencial; anotando las limitaciones de cada nivel de evaluación en función del sistema estructural, números de pisos, etc. ASCE 41 permite ciertas excepciones de ejecución en los niveles de evaluación:

- Ejecutar los tres niveles de evaluación.
- Únicamente ejecutar los niveles 1 y 2.
- Únicamente ejecutar el nivel 3.

Estas excepciones pueden basarse en los requerimientos de evaluación, sea por requerimientos normativos o de ley, deseo por parte de propietarios y la intención de determinar el nivel de desempeño de una edificación existente por cambios de estructuración, actualización de normativa o requerimiento de autoridades.

2.4.5 Reporte de Evaluación

El reporte de evaluación es el resultado de la aplicación de los diferentes niveles de evaluación. ASCE 41 no proporciona un formato estándar para la redacción de estos reportes. Sin embargo se propone ciertos puntos relevantes que se debería considerar por parte del profesional evaluador en su informe final. Estos puntos son:

1. Objetivo e Alcance: Resumen de los procedimientos de evaluación y los niveles de investigación.
2. Información de la edificación:

- a. Descripción e información general de la edificación.
 - b. Descripción del sistema estructural (sistema sismo resistente, sistema de cargas gravitacionales, cimentación).
 - c. Sistemas no estructurales que podrían sufrir daños o afectaciones por eventos sísmicos.
 - d. Configuración arquitectónica.
 - e. Niveles de desempeño estructural y no estructural.
 - f. Nivel de sismicidad.
 - g. Tipo de suelo.
3. Propiedades de materiales.
 4. Deficiencias encontradas.

Adicionalmente se debería incluir los siguientes elementos, para obtener un informe claro y de fácil comprensión:

1. Información de la edificación:
 - a. Uso y ocupación de la edificación.
 - b. Nivel de inspección y pruebas realizadas.
 - c. Disponibilidad de información de diseño y construcción.
2. Recomendaciones: Medidas de corrección y futuras evaluaciones.
3. Referencias, cálculos, registros fotográficos, resultados de pruebas, checklists, procedimientos de análisis.

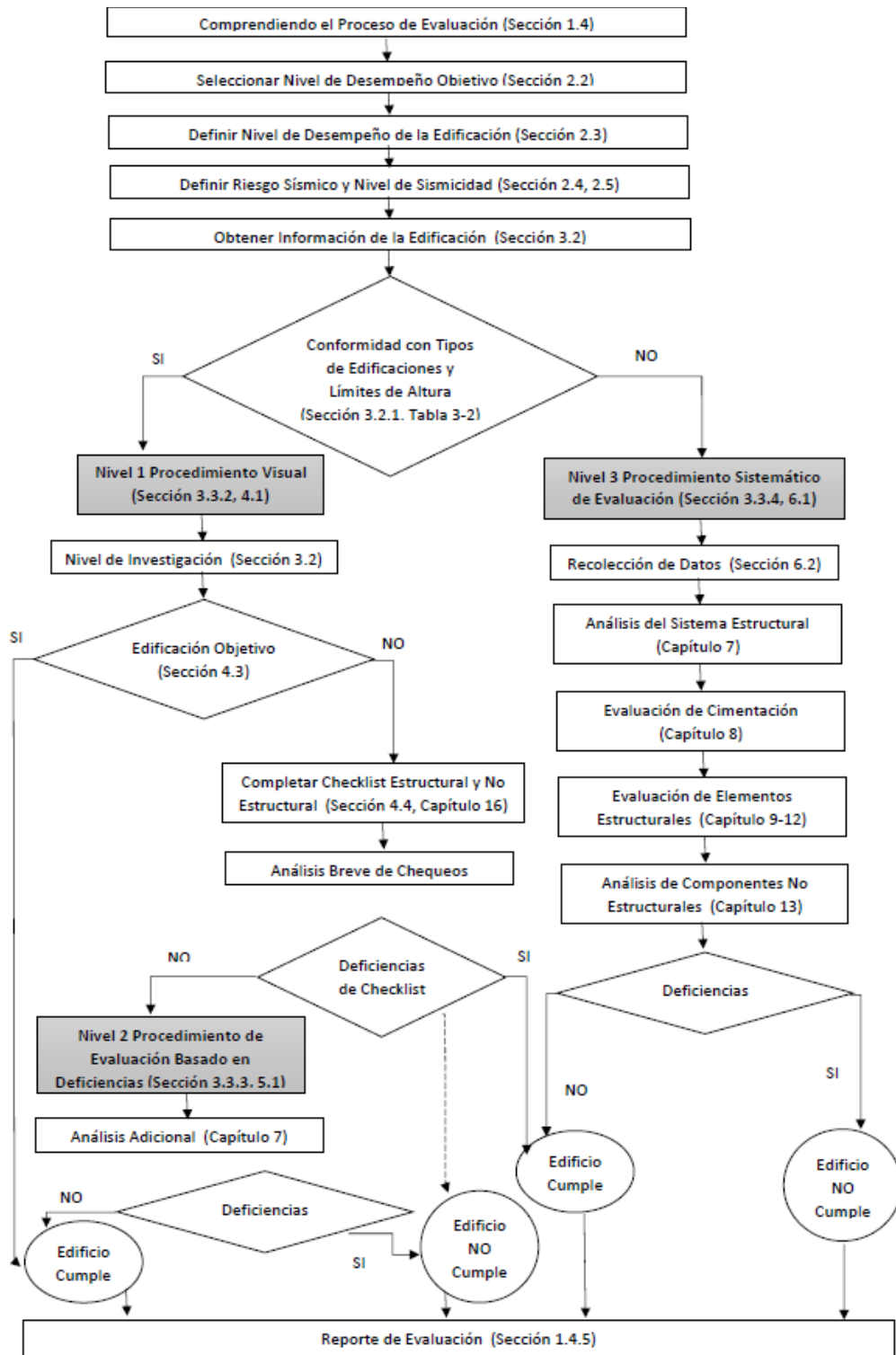


Ilustración 1: Flujograma General del Proceso de Evaluación Sísmica de Edificaciones Existentes. Fuente ASCE 41

2.5 Niveles de Desempeño Objetivo

Los niveles de desempeño aplicados a edificaciones existentes tratan de simular las condiciones básicas, condiciones mejoradas, limitadas o parciales al desempeño que

tendrían si hubieran sido diseñadas como edificaciones nuevas y con normativas actualizadas. Se identifican cuatro niveles de desempeño objetivos, los cuales han sido estudiados a mayor detalle en el código *International Existing Building Code (ICC 2012)*, además del código ICC 2012, ASCE 7 explican los niveles de desempeño objetivo tanto a nivel estructural como no estructural en base del nivel de riesgo sísmico.

El desempeño de una edificación permite determinar de manera cualitativa los niveles de seguridad que puede desarrollar durante y después de eventos sísmicos. A su vez permite establecer los daños potenciales en sus componentes estructurales como no estructurales, el tiempo que la edificación podría estar inhabilitada para su uso y ocupación así como obtener una valoración económica aproximada de los daños y costos de reparación.

2.5.1 Niveles de Desempeño Objetivo para Edificaciones Existentes (BPOE)

Los niveles de desempeño objetivo para edificaciones existentes (BPOE) son niveles de desempeño objetivo que se pretende alcanzar en la edificación en función de sus categorías de riesgo. Para demostrar estos niveles de desempeño se tienen tres niveles de investigación descritos en ASCE 41:

- Nivel 1: Evaluación Visual
- Nivel 2: Evaluación Basada en Deficiencias
- Nivel 3: Evaluación Sistemática

Los procedimientos de evaluación deben ser aplicados en base a dos principios: Nivel de evaluación requerido y aplicabilidad del nivel de evaluación en base de las restricciones establecidas en ASCE 41 por el tipo de sistema estructural.

Los niveles de desempeño se determinan en función de las probabilidades de ocurrencia del evento sísmico máximo de diseño.

<i>Probabilidad de Ocurrencia</i>	<i>Período de Retorno (años)</i>
50% / 30 años	43
50% / 50 años	72

20% / 50 años	225
10% / 50 años	475
5% / 50 años	975
2% / 50 años	2475

Tabla 04: Probabilidad de Ocurrencia y Período de Retorno. Fuente ASCE 41

Niveles de Desempeño Objetivo

Nivel de Riesgo Sísmico	Nivel de Desempeño Operacional (1-A)	Nivel de Desempeño Inmediata Ocupación (1-B)	Nivel de Desempeño Preservación de Vida (3-C)	Nivel de Desempeño Prevención de Colapso (5-D)
50% / 50 años	a	b	c	d
BSE-1E	e	f	g	h
20% / 50 años				
BSE-2E	i	j	k	l
5% / 50 años				
BSE-2N	m	n	o	p
(ASCE 7 MCEg)				
Nivel de Desempeño Básico en Edificaciones Existentes (BPOE)			g y l	
Objetivos Mejorados			g y i, j, m, n, o b, k, m, n, o solo o	
Objetivos Límites			Solo g Solo l c, d, e, o f	

Tabla 05: Niveles de Desempeño. Fuente ASCE 41

Los niveles básicos de desempeño en edificaciones existentes (BPOE) corresponden a un nivel de riesgo, los cuales están clasificadas: ^a

Categoría de Riesgo	Nivel 1¹	Nivel 2¹	Nivel 3	
	BSE-1E	BSE-1E	BSE-1E	BSE-2E
I & II	Desempeño Estructural: Preservación de Vida	Desempeño Estructural: Preservación de Vida	Desempeño Estructural: Preservación de Vida	Desempeño Estructural: Prevención de Colapso

¹ Para las evaluaciones de nivel 1 y 2, el rendimiento sísmico para el BSE-2E no se evalúa explícitamente.

	Desempeño No Estructural: Preservación de Vida (3-C)	Desempeño No Estructural: Preservación de Vida (3-C)	Desempeño No Estructural: Preservación de Vida (3-C)	Desempeño No Estructural: No Considerado (5-D)
III	Desempeño Estructural: Ver Nota ² Desempeño No Estructural: En Posición (2-B)	Desempeño Estructural: Daño Controlado Desempeño No Estructural: En Posición (2-B)	Desempeño Estructural: Daño Controlado Desempeño No Estructural: En Posición (2-B)	Desempeño Estructural: Seguridad Limitada Desempeño No Estructural: No Considerada (4-D)
IV	Desempeño Estructural: Inmediata Ocupación Desempeño No Estructural: En Posición (1-B)	Desempeño Estructural: Inmediata Ocupación Desempeño No Estructural: En Posición (1-B)	Desempeño Estructural: Inmediata Ocupación Desempeño No Estructural: En Posición (1-B)	Desempeño Estructural: Preservación de Vida Desempeño No Estructural: En Posición (3-D)

Tabla 06: Niveles Básicos de Desempeño en Edificaciones Existentes (BPOE). Fuente

ASCE 41

2.5.2 Niveles de Desempeño Objetivo Equivalente a Nuevas Edificaciones (BPON)

Los niveles de desempeño objetivo equivalente a nuevas edificaciones (BPON) son relaciones equivalentes que una edificación existente tendría si fuera una nueva edificación. A continuación se muestran las equivalencias entre BPOE y BPON. Además de los posibles daños estructurales y no estructurales para diferentes niveles de desempeño. Estas equivalencias son utilizadas para realizar el nivel de evaluación 3, el cual no será ejecutado en la presente disertación. Las siguientes tablas son de propósito informativo.

² Para la Categoría de Riesgo III, los checklist de Nivel 1 se basarán en el Nivel de Desempeño Preservación de Vida (S-3), excepto que los procedimientos de verificación rápida de la Sección 4.5.3 se basarán en factores MS y otros límites que sean un promedio de los valores para Preservación de Vida e Inmediata Ocupación.

Categoría de Riesgo	Nivel de Riesgo Sísmico			
	BSE-1N		BSE-2E	
I & II	Desempeño Estructural: Preservación de Vida	Desempeño No Estructural: En Posición (3-B)	Desempeño Estructural: Preservación del Colapso	Desempeño No Estructural: No Considerado (5-D)
III	Desempeño Estructural: Daño controlado	Desempeño No Estructural: En Posición (2-B)	Desempeño Estructural: Seguridad Limitada	Desempeño No Estructural: No Considerado (4-D)
IV	Desempeño Estructural: Inmediata Ocupación	Desempeño No Estructural: Operacional (1-A)	Desempeño Estructural: Preservación de Vida	Desempeño No Estructural: No Considerado (3-D)

Tabla 07: Nivel de Desempeño Objetivo Equivalente a Estándares de Nuevas Edificaciones. Fuente ASCE 41

2.6 Niveles de Desempeño Objetivo en Edificaciones

Los niveles de desempeño en una edificación son la combinación del desempeño estructural y no estructural de sus componentes. Los daños que se podrían producir van a depender de la magnitud del evento sísmico actuante. En la tabla 8: *Lista de daños y niveles de desempeño de edificación*, se muestran ejemplos de posibles daños estructurales y no estructurales. Estas estimaciones han sido tomadas de experiencias de sismos anteriores e investigaciones experimentales de diversos espectros de respuesta. Los daños citados tienden a ser conservadores y dependerán de las condiciones anteriormente citadas.

	Revisión de Daños para Niveles de Desempeño			
	Prevención de Colapso (5-D)	Preservación de Vida (3-C)	Inmediata Ocupación (1-B)	Operacional (1-A)
Daño General	Severo	Moderado	Leve	Muy Leve
Componentes Estructurales	Poca rigidez residual y	Resistencia y rigidez residual	No presenta derivas	No presenta derivas

	<p>resistencia para soportar cargas laterales, pero funcionan las columnas y paredes por carga gravitacional. Grandes deriva permanente. Algunas salidas bloqueadas. El edificio está cerca del colapso en las réplicas y no debe ser ocupado.</p>	<p>en todas las plantas. Los elementos portadores de carga gravitacionales funcionan. No hay fallas en el plano de las paredes. Algunas derivas permanente.</p>	<p>permanentes. La estructura conserva resistencia y rigidez. La ocupación es probable.</p>	<p>permanentes. La estructura conserva resistencia y rigidez original. Fisuras menores de fachadas, paredes y techos, así como elementos en estructurales. Todos los sistemas importantes para el funcionamiento normal son funcionales. La ocupación es muy probable.</p>
<p>Componentes No Estructurales</p>	<p>Daños severos</p>	<p>La ocupación podría ser posible después de reparaciones. Las reparaciones podrían no ser económicas. Peligro de caída de elementos, muchos sistemas arquitectónicos, mecánicos y eléctricos están dañados.</p>	<p>Equipamiento en estado operativo pero no podrían operar por fallas mecánicas o falta energía. Algunos agrietamientos de fachadas, paredes y techos, así como elementos estructurales. Los ascensores pueden volver a funcionar. Protección contra incendios operable.</p>	<p>Daños insignificantes. Servicios básicos disponibles.</p>

Comparación con el desempeño destinado a edificios típicos diseñados con códigos o normas para edificios nuevos, en función del sismo de diseño	Muy alto daño y gran riesgo de prevención de vida	Alto daño y baja preservación de vida	Poco daño y alta preservación de vida	Muy poco daño y muy alta preservación de vida
---	---	---------------------------------------	---------------------------------------	---

Tabla 08: Lista de Daños y Niveles de Desempeño de Edificación. Fuente ASCE 41

2.6.1 Niveles de Desempeño Estructural

Los niveles de desempeño estructural se definen cuatro niveles básicos de acuerdo a ASCE 41:

- Nivel de Desempeño Estructural Inmediata Ocupación (S-1)
- Nivel de Desempeño Estructural Daño Controlado (S-2)
- Nivel de Desempeño Estructural Preservación de Vida (S-3)
- Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Limitada (S-4)
- Nivel de Desempeño Estructural Prevención de Vida (S-5)
- Nivel de Desempeño Estructural No Considerado (S-6)

Además estima dos niveles intermedios definidos como:

- Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Mejorada: Interpolación entre niveles de desempeño estructural Inmediata Ocupación (S-1) y Preservación de Vida (S-3).
- Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Reducida (S-4): Interpolación entre niveles de desempeño estructural Preservación de Vida (S-3) y Prevención de Colapso (S-5).

2.6.1.1 Nivel de Desempeño Estructural Inmediata Ocupación (S-1)

Se define como el daño producido después de un sismo muy mínimo. Las características de resistencia y rigidez en elementos horizontales y verticales permanecen muy similares a las características previas al sismo. Los daños a nivel de elementos no estructural no implican complicaciones para la reocupación de la edificación.

2.6.1.1.1 Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Mejorada

Este nivel de desempeño se define como la interpolación entre niveles de desempeño estructural Inmediata Ocupación (S-1) y Preservación de Vida (S-3). Bajo este nivel de desempeño los daños y reparaciones necesarios en la edificación no impiden su operatividad y reocupación. Los componentes no estructurales presentan daños mínimos o nulos.

2.6.1.2 Nivel de Desempeño Estructural Daño Controlado (S-2)

Se define como los daños producidos se encuentran entre los niveles Inmediata Ocupación (S-1) y Preservación de Vida (S-3). Los tiempos de reocupación y reparación de la edificación no son rápido ni muy lentos como los niveles que definen sus puntos extremos.

2.6.1.3 Nivel de Desempeño Estructural Preservación de Vida (S-3)

Se define como los efectos producidos después del sismo han causado daños o caídas de componentes internos o externos de la estructura pero mantiene sus condiciones de seguridad para prevenir colapsos parciales o totales. En este nivel de desempeño es probable que resulten personas heridas durante el evento sísmico pero la probabilidad de pérdidas humanas es muy bajo. Respecto a costos de reparación de daños puede ser posible pero a un alto costo. La reocupación de la edificación podría darse después de las reparaciones o apuntalamiento de elementos dañados.

2.6.1.4 Nivel de Desempeño Estructural Seguridad Limitada (S-4)

Se define como un nivel de desempeño intermedio entre Preservación de Vida (S-3) y Prevención de Colapso (S-5). El grado de seguridad que presenta la estructura después del sismo no representa un colapso inminente pero la seguridad para ocupantes no permite su ocupación por posibles daños no estructurales.

2.6.1.5 Nivel de Desempeño Estructural Prevención de Colapso (S-5)

Se define como los daños producidos a la estructura después del sismo han afectado a elementos estructurales y los danos a elementos de soporte de cargas gravitacionales son de alto grado con posibilidad de colapso. Las características de resistencia y rigidez de los elementos se han reducido pudiendo llevar a colapsos parciales o totales. Las deformaciones producidas en los elementos se hacen visibles y permanentes. Se pueden producir heridas y pérdidas de vida por la caída de elementos tanto estructurales como no estructurales. Respecto a costos de reparación, pueden resultar mayores al de la edificación.

2.6.1.6 Nivel de Desempeño Estructural No Considerado (S-6)

Este nivel de desempeño puede presentarse cuando el nivel de evaluación no considera o no requiere incluir el componente estructural de evaluación. Nivel de Desempeño Estructural

Niveles de Desempeño Estructural

Sistema Sismo Resistente	Tipo	Prevención de Colapso (S-5)	Preservación de Vida (S-3)	Ocupación Inmediata (S-1)
Pórticos de Concreto	Elementos Primarios	Agrietamiento excesivo y formación de rótulas en elementos dúctiles. Agrietamiento o falla en uniones de algunas	Daño excesivo en vigas y agrietamientos por cortante en columnas dúctiles. Menor agrietamiento de algunas columnas no	Menor agrietamiento. Fluencia localizada en pocas zonas. Poco desprendimiento de concreto.

		columnas dúctiles. Daño severo en columnas cortas.	no dúctiles. Agrietamiento de nudos.	
Elementos Secundarios		Desprendimiento excesivo en columnas y vigas. Acortamiento limitado de la columna. Daños en nudos severos. Algunos reforzamientos pandeados.	Presenta varios agrietamientos y formación de rótulas en elementos dúctiles. Agrietamiento en juntas de columnas no dúctiles. Daño severo en columnas cortas.	Pequeño agrietamiento en algunos lugares de columnas no dúctiles. Agrietamiento por flexión en vigas y columnas. Agrietamiento por cortante en nudos.
Derivas		Excesiva deriva causa daños en elementos estructurales. Excesivas derivas permanentes.	Derivas transitorias causan daños en elementos estructurales. Derivas permanentes visibles.	Derivas transitorias causan daños menores o no en elementos no estructurales. No presenta derivas permanentes.
Cimentación General		Grandes asentamientos e inclinación del edificio con cimentación superficial o en edificios con suelos licuables.	Asentamientos localizados en edificios con cimentación superficial.	Menor o nulo asentamiento e inclinación.

Tabla 09: Nivel de Desempeño Estructural e Ilustración de Daños. Fuente ASCE 41

2.6.2 Niveles de Desempeño No Estructural

De acuerdo a ASCE 41, los niveles de desempeño no estructural se definen cuatro niveles:

- Nivel de Desempeño No Estructural Operacional (N-A)
- Nivel de Desempeño No Estructural En Posición (N-B)
- Nivel de Desempeño No Estructural Preservación de Vida (N-C)
- Nivel de Desempeño No Estructural No Considerado (N-D)

Estas categorías proveen guías de carácter conservativo tanto a nivel de desempeño como de sus posibles daños. Bajo la filosofía de ASCE 41, se enfoca la evaluación del componente estructural mayoritariamente, debido a que considera a los elementos no estructurales como suficientemente resistente por sí mismos bajo las categorías N-A y N-B; o bien el costo de reacondicionamiento, reposición o reparación son relativamente bajos. Sin embargo en caso de requerir mayores especificaciones de comportamiento de elementos no estructurales se recomienda consultar documentos complementarios a ASCE 41 como FEMA E-74 Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage (2011).

2.6.2.1 Nivel de Desempeño No Estructural Operacional (N-A)

Este nivel de desempeño define a los daños producidos a nivel operacional y funcional de componentes no estructurales después del sismo igual al que tiene en su normal uso antes del sismo. Los componentes están en su correcta ubicación, totalmente operativos y solo requerirán de limpieza o muy mínimas reparaciones.

2.6.2.2 Nivel de Desempeño No Estructural En Posición (N-B)

Se define como la posibilidad de producirse interrupciones en la operación y funcionamiento de sistemas y elementos no estructurales por la interrupción de fuentes externas como cortes de energía eléctrica, interrupción del suministro de agua potable o fallas en las comunicaciones pero pueden volverse operativos al conectarse a sistemas auxiliares de energías (plantas o generadores eléctricos) o bombeo de agua desde reservorios (cisternas o tanques de almacenamiento). Los sistemas de emergencia y de

preservación de vida están operativos. Elementos como techos falsos, ventanas o mamposterías pueden presentar daños o fisuras que no representan riesgo al momento de ponerse en operación y funcionamiento a la edificación después del sismo. La probabilidad de presentarse pérdidas humanas es muy bajas.

2.6.2.3 Nivel de Desempeño No Estructural Preservación de Vida (N-C)

Bajo este nivel de desempeño los daños presentes en los elementos no estructurales no representan riesgo a la vida humana por su ubicación fuera de lugar, roturas u otros tipos de daños. Adicionalmente los sistemas de emergencia están operativos.

2.6.2.4 Nivel de Desempeño No Estructural No Considerado (N-D)

Este nivel de desempeño puede presentarse cuando el nivel de evaluación no considera o no requiere incluir el componente no estructural de evaluación. La posibilidad de no considerar el componente no estructural puede deberse a que estos componentes no afectan el normal funcionamiento u operatividad de la edificación. El mayor riesgo de pérdidas humanas puede producirse por colapsos parciales o totales de la parte estructural.

Niveles de Desempeño No Estructural

Grupo de Componentes	Preservación de Vida (N-C)	En Posición (N-B)	Operacional (N-A)
Revestimiento	Daño excesivo en conexiones y daños a componentes de revestimiento. Los paneles aéreos no caen.	Conexiones desfiguradas; pequeñas grietas o flexiones en el revestimiento.	Conexiones desfiguradas; daños insignificantes a los paneles.
Ventanas	Excesivo daño con probabilidad de caídas de pedazos. Pérdida de seguridad.	Pequeñas fisuras. No hay rotura.	No fisurados ni rotos.

Cerámica paredes	de	Daño distribuido; roturas y desprendimiento de algunas piezas.	Pequeñas fisuras. Roturas pequeñas en las esquinas	Pequeñas fisuras. Pequeñas roturas en las esquinas.
Particiones gypsum	de	Daños distribuidos. Agrietamiento y rotura en ciertas áreas.	Agrietamiento en las juntas.	Daños menores.
Techo		Daño extenso. Techos falsos. Elementos colgantes desprendidos y caídos. Soportes distorsionados y separados. Posible impacto en la salida inmediata. Daño potencial a las divisiones adyacentes ya los equipos suspendidos.	Daño limitado. Techos falsos agrietados. Baja posibilidad de caída. Estructura de soporte no presenta daños.	Generalmente no presenta daño o peligro para estar operativo.
Barandas ornamentos	y	Daño extenso; caídas de elementos.	Daños menores.	Daños menores.
Marquesinas		Daño extenso; pero no hay caída de elementos.	Algunos daños en sus elementos, estructura en posición.	Daños menores en sus elementos, estructura en posición.
Chimeneas pilares decorativos	y	Daño extenso.	Pequeñas fisuras.	Daño despreciable.
Escaleras y salidas de emergencia		Agrietamiento en elementos, pero se pueden usar.	Daños menores.	Daño despreciable.
Puertas		Daños visibles. Algunas dañadas y trabadas.	Daños menores. Puertas operativas.	Daños menores. Puertas operativas.

Tabla 10: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños-Componentes Arquitectónicos

Niveles de Desempeño No Estructural

Grupo de Componentes	Preservación de Vida (N-C)	En Posición (N-B)	Operacional (N-A)
Ascensores	Fuera de servicio. Contrapesos no se deslizan.	Operativos pero necesitan energía para funcionar.	Funcionando de para
Equipos de Aire Acondicionado	Equipos desplazados de soportes; daños en ductos, tuberías pero no caídos. Equipos pueden no funcionar.	Equipos en posición y funcionando si hay provisión de energía de emergencia.	Equipos en posición y funcionando si hay provisión de energía de emergencia.
Equipos de Trabajo	Equipos desplazados, volteados y desconectados. Equipos pesados requieren reconexión y colocación en posición. Equipos sensibles podrían no funcionar.	Equipos en posición pero posiblemente no operacionales.	Equipos en posición y funcionando si hay energía disponible.
Ductos	Ductos de equipos rotos. Soportes dañados y ductos caídos.	Daños menores en juntas, pero en servicio	Daño despreciable.
Tuberías	Tuberías rotas. Soportes dañados y tuberías caídos.	Pequeñas separaciones en juntas. Algunos soportes dañados pero el sistema en posición.	Daño despreciable.
Tuberías de Sistemas Anti incendios	Rociadores dañados por movimiento del techo. Fugas de agua en juntas.	Pequeñas separaciones en juntas y salidas. Sistema funcionando.	Daño despreciable.

Luces de Emergencia	de	Luces caídas. Requieren energía de emergencia para funcionar	Sistema funcionando.	Sistema funcionando.
Sistemas de Alarma Anti incendios		Sensores de techo dañados. Podría no funcionar.	Sistema funcionando.	Sistema funcionando.
Equipo de Distribución Eléctrica	de	Equipos desplazados de soportes y no funcionando. Solo disponibilidad de energía de emergencia.	Unidades en posición operativas. Operación de generadores de emergencia pero no suplen toda la energía.	Unidades y funcionando. Energía de emergencia disponible si es necesario
Lámparas Colgantes		Algunas luces rotas. Caída de elementos pesados.	Daños menores. Algunas luces rotas.	Daño despreciable.
Plomería		Tuberías rotas y falta de suministro.	Sistema operativo pero podría no haber disponibilidad de servicio.	Sistema funcionando. Distribución de agua disponible.

Tabla 11: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños- Sistemas Mecánicos, Eléctricos, Hidrosanitarios y Componentes. Fuente ASCE 41

Niveles de Desempeño No Estructural

Grupo de Componentes	Preservación de Vida (N-C)	En Posición (N-B)	Operacional (N-A)
Sistemas de Computación	Equipos caídos y volteados, cableado desconectados. Energía no disponible.	Equipos asegurados y conectados. Energía podría no estar disponible para operación; posible daños internos.	Equipos sin daños y operativos; energía disponible.
Equipo Escritorio	Equipos fuera de lugar.	Algunos equipos fuera de lugar.	Equipos en su lugar y operativos.

Archiveros	Archiveros volteados y contenido fuera de lugar.	Cajones abiertos pero los archiveros no se voltearon.	Cajones abiertos pero los archiveros no se voltearon.
Estanterías	Estanterías volteadas y contenido fuera de lugar.	Algunos contenidos fuera de las estanterías.	Contenidos permanecen en su sitio.
Materiales Peligrosos	Daño menor; ocasionalmente materiales derramados; materiales gaseosos en sus envases.	Daño despreciable; materiales en sus envases.	Daño despreciable; materiales en sus envases.

Tabla 12: Nivel de Desempeño de Elementos No Estructurales e Ilustración de Daños- Equipamiento/Mobiliario. Fuente ASCE 41

2.6.3 Asignación de Niveles de Desempeño Objetivo

La designación de niveles de desempeño objetivo se asigna mediante combinaciones alfa numéricas para los niveles de desempeño estructural y no estructural. El nivel de desempeño estructural corresponde la parte numérica del uno al seis y el nivel de desempeño no estructural se asigna con letras de la A-D. El nivel de desempeño objetivo puede darse con todas las combinaciones alfa numéricas posibles.

Nivel de Desempeño	Nivel de Desempeño Estructural				
	Inmediata Ocupación (S-1)	Control de Daños (S-2)	Preservación de Vida (S-3)	Seguridad Limitada (S-4)	Prevención de Colapso (S-5)
No Estructural					
Operacional (N-A)	Operacional 1-A	2-A	NR ³	NR ³	NR ³

NR= No Recomendado

³ La combinación de bajo nivel de rendimiento estructural con alto nivel de rendimiento no estructural, o viceversa, no se recomienda por varias razones. Por ejemplo, tener un Nivel de Rendimiento Estructural bajo puede conducir a un daño que prohíbe realmente alcanzar el Nivel de Desempeño No Estructural deseado, independientemente de si los elementos no estructurales fueron adaptados para cumplir con ese Nivel de Desempeño. Además, no se abordan los riesgos no estructurales cuando se lleva a cabo una

En Posición (N-B)	Inmediata Ocupación 1-B	2-B	3-B	4-B	NR ³
Preservación de Vida (N-C)	1-C	2-C	Preservación de Vida (3-C)	4-C	5-C
No Considerado (N-D)	NR (a)	NR (a)	3-D	4-D	Prevención de Colapso 5-D

Tabla 13: Niveles de Desempeño Objetivo en Edificaciones. Fuente ASCE 41

2.6.3.1 Nivel de Desempeño Objetivo Operacional (1-A)

Nivel objetivo que alcanza las características de Nivel de Desempeño Estructural Inmediata Ocupación (S-1) y Nivel de Desempeño No Estructural Operacional (N-A). Los daños estructurales y no estructurales son muy mínimos; estos daños no producen heridas ni pérdidas humanas. El funcionamiento, operación y ocupación de la edificación después del sismo se limita a limpieza de espacios o restauración de servicios interrumpidos (energía eléctrica, agua potable, comunicaciones).

2.6.3.2 Nivel de Desempeño Objetivo Inmediata Ocupación (1-B)

Nivel objetivo que alcanza las características de Nivel de Desempeño Estructural Inmediata Ocupación (S-1) y Nivel de Desempeño No Estructural En Posición (N-B). Bajo este nivel objetivo está garantizado la seguridad de la estructura y de la vida humana. Sin embargo la edificación puede presentar afectaciones menores que no implican problemas para la reocupación de la edificación. Los componentes no estructurales pueden volverse operativos al realizar reparaciones menores o activar sistemas alternos para funcionamiento.

modernización del nivel de rendimiento estructural más elevado, lo que puede dar lugar a un diseño desequilibrado, en el que los riesgos para la seguridad en la vida son causados por elementos no estructurales.

2.6.3.3 Nivel de Desempeño Objetivo Preservación de Vida (3-C)

Nivel objetivo que alcanza las características de Nivel de Desempeño Estructural Preservación de Vida (S-3) y Nivel de Desempeño No Estructural Preservación de Vida (N-C). Este nivel de desempeño objetivo estima la ocurrencia de daños significativos a nivel estructural; a su vez la reparación de estos daños pueden resultar antieconómicos. Adicionalmente pueden existir personas heridas después del sismo.

2.6.3.4 Nivel de Desempeño Objetivo Prevención de Colapso (5-D)

Nivel objetivo que alcanza las características de Nivel de Desempeño Estructural Prevención de Colapso (S-5) y Nivel de Desempeño No Estructural No Considerado (N-D).

2.7 Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico es causado por acciones sísmicas se basa en la ubicación de la edificación, características geológicas y geotécnicas del suelo y específicas del sitio, y los niveles de riesgo sísmico especificados. El riesgo sísmico del suelo se definirá mediante espectros de respuesta de aceleración o historiales de aceleración del movimiento del suelo determinados en base probabilística o determinista. El procedimiento específico del sitio se utilizará cuando aplique cualquiera de las siguientes condiciones:

1. El edificio está ubicado en los suelos del Sitio Clase E y la aceleración de la respuesta espectral BSE-2N asignada en períodos cortos (S_x s) supera 2.0;
2. El edificio se ubica en los suelos del Sitio Clase F.

EXCEPCIÓN: Cuando SS determinado sea menor a 0.20 para edificios ubicados en suelos Clase F, se permite el uso de un perfil de suelo del Sitio Clase E sin un estudio específico del sitio.

2.7.1 Procedimiento General Para El Peligro Causado Por Movimiento De Suelo

El peligro sísmico causado por la agitación del suelo se define para cualquier Nivel de Peligro Sísmico usando ordenes de espectro de respuesta con amortiguación del 5% aprobadas para períodos cortos (0.2 s) y largos (1 s), en la dirección de la respuesta horizontal máxima.

El parámetro de aceleración de respuesta espectral de período corto de diseño, SXS , y el parámetro de aceleración de respuesta de período largo de diseño, $SX1$, se determinarán de la siguiente manera:

1. Si el nivel de riesgo sísmico deseado es BSE-2N, BSE-1N, BSE-2E o BSE-1E, obtenga los parámetros de aceleración de respuesta espectral de diseño;
2. Si el nivel de riesgo sísmico deseado es uno para el cual los mapas de peligro sísmico aprobados, obtener directamente los parámetros de aceleración de respuesta espectral de ellos. Los valores entre las líneas de contorno del mapa se deben interpolar entre líneas de contorno a cada lado del sitio, o utilizando el valor que se muestra en el mapa para el contorno más alto adyacente al sitio;
3. Si el nivel de peligro sísmico deseado es uno para el cual están disponibles las curvas probabilísticas de riesgo sísmico probabilístico, obtener los parámetros de aceleración de la respuesta espectral mediante interpolación logarítmica directa de las curvas de peligro sísmico;
4. Obtener los parámetros de aceleración de respuesta espectral de diseño ajustando los parámetros de aceleración de respuesta espectral asignados o interpolados para los efectos de clase de sitio;
5. Utilizando los parámetros de aceleración de respuesta espectral de diseño que se han ajustado para efectos de clase de sitio, desarrolle el espectro de respuesta general.

2.7.1.1 Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-2N

El diseño del parámetro de aceleración de la respuesta espectral a corto plazo, Sxs y el parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un período de 1-s, $Sx1$, para el Nivel de Riesgo Sísmico BSE-2N deberá se determinado usando los valores de SS

y S1 tomados del espectro de terremotos considerados máximos (MCE-R) espectral, modificado para el perfil de suelo.

2.7.1.2 Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-1N

El diseño del parámetro de aceleración de la respuesta espectral a corto plazo, Sxs y el parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un período de 1-s, Sx1, para el Nivel de Riesgo Sísmico BSE-1N se tomará como los dos tercios de los valores de los parámetros para el Nivel de Riesgo Sísmico BSE-2N.

2.7.1.3 Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-2E

El diseño del parámetro de aceleración de la respuesta espectral a corto plazo, Sxs y el parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un período de 1-s, Sx1, para el Nivel de Riesgo Sísmico BSE-2E debe ser tomado como los valores de la dirección máxima aprobada del 5% / 50 años de aceleración de respuesta espectral.

2.7.1.4 Parámetros De Aceleración De Respuesta Espectral BSE-1E

El diseño del parámetro de aceleración de la respuesta espectral a corto plazo, Sxs y el parámetro de aceleración de la respuesta espectral de diseño en un período de 1-s, Sx1, para el Nivel de Riesgo Sísmico BSE-1E deberá Se tomará como valores de la dirección máxima aprobada del 20% / 50 años de aceleración de respuesta espectral.

2.7.1.5 Parámetros De Aceleración De Respuesta Para Otras Probabilidades De Espectros De Respuesta De Aceleración

Niveles de riesgo sísmico correspondientes a probabilidades de superación distintos de BSE-2E, BSE-1E se obtendrán directamente de curvas de peligro sísmico aprobadas o un peligro sísmico específico del sitio evaluación.

2.7.1.6 Ajuste Por Clase De Sitio (Perfil De Suelo)

El parámetro de aceleración de respuesta espectral de período corto de diseño, S_{XS} , y el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño a 1 s, S_{X1} , se obtendrán a partir de las siguientes ecuaciones:

$$S_{XS} = F_a S_s \text{ (ASCE41-13, Ecuación 2-1)}$$

$$S_{X1} = F_v S_1 \text{ (ASCE 41-13, Ecuación 2-2)}$$

Ecuación x: Valores de S_{XS} y S_{X1} (Fuente ASCE 41, 2013)

Los valores de F_a y F_v se obtendrán de las siguientes tablas en función del tipo de suelo:

Aceleración Espectral en Períodos Cortos S_s (a)					
Sitio Clase	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

Tabla 14: Valores de F_a como función de Clase de Sitio y Períodos Cortos de Aceleración de Respuesta Espectral S_s

- (a) Para valores intermedios de S_s se realizará interpolación en línea recta.
- (b) Se llevará a cabo una investigación geotécnica específica del emplazamiento y un análisis dinámico de la respuesta del emplazamiento.

Aceleración Espectral en Período = 1seg S_1 (a)					
Sitio Clase	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)

Tabla 15: Valores de F_v como función de Clase de Sitio y Períodos de 1seg de Aceleración de Respuesta Espectral S_1

- (a) Para valores intermedios de S_1 se realizará interpolación en línea recta.

- (b) Se llevará a cabo una investigación geotécnica específica del emplazamiento y un análisis dinámico de la respuesta del emplazamiento.

2.7.1.6.1 Clase De Sitio (Perfil De Suelo)

El perfil de suelo se determinará de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Suelo Clase A: Roca dura con velocidad de onda de corte promedio $\bar{v}_s > 5000$ ft/s (1524 m/s);
2. Suelo Clase B: Roca con 2500 ft/s (762 m/s) $\bar{v}_s < 5000$ ft/s (1524 m/s);
3. Suelo Clase C: Suelo muy denso y roca suave con 1200 ft/s (365 m/s) $\bar{v}_s < 2500$ ft/s (762 m/s), número promedio de golpes del SPT $\bar{N} > 50$ o resistencia al corte no drenado $\bar{s}_u = 2000$ lb/ft² (0.978 kg/cm²);
4. Suelo Clase D: Suelo rígido con 600 ft/s (182 m/s) $\bar{v}_s < 1200$ ft/s (365 m/s), número promedio de golpes del SPT $15 < \bar{N} < 50$ o resistencia al corte no drenado 1000 lb/ft² (0.489 kg/cm²) $< \bar{s}_u < 2000$ lb/ft² (0.978 kg/cm²);
5. Suelo Clase E: Cualquier perfil de suelo con más de 10 ft (3 m) definido con índice del plasticidad IP > 20, o contenido de humedad $w > 40\%$ y $\bar{s}_u = 500$ lb/ft² (0.245 kg/cm²) o perfil de suelo con $\bar{v}_s < 600$ ft/s (182 m/s); y
6. Sitio Clase F: Suelos que requieren evaluaciones específicas del sitio:
 - A. Suelos vulnerables a posibles fallas o colapso bajo carga sísmica, como suelos licuables, arcillas altamente sensibles, o suelos poco cohesivos y colapsables;
 - B. Turbas o arcillas altamente orgánicas (Espesor del estrato de suelo $H > 10$ ft (3 m) de turba o arcilla altamente orgánica);
 - C. Arcillas de plasticidad muy alta ($H > 25$ ft (7 m) con $PI > 75$); o
 - D. Arcillas muy gruesas, blandas o de rigidez media ($H > 120$ ft (36 m)).

$$\bar{v}_s, \bar{N}, \bar{s}_u = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}, \frac{d_i}{N_i}, \frac{d_i}{s_{ui}}}$$

N_i = Número de golpes del SPT en la capa de suelo;

n = Número de capas de similar suelo;

d_i = Profundidad de la capa de suelo;

s_{ui} = Esfuerzo cortante No Drenado en la capa i ;

v_{si} = Velocidad de onda de corte y

$$\sum_{i=1}^n d_i = 100 \text{ ft (30 m)}$$

2.7.1.7 Espectro General de Respuesta

El espectro general de respuesta se calculará mediante el siguiente conjunto de ecuaciones relacionando la aceleración de respuesta espectral S_a versus el período estructural T .



Ilustración 2: Espectro General de Respuesta Horizontal. Fuente: ASCE 41-13, Figura 2-1

$$S_a = \left[\left(\frac{5}{B_1} - 2 \right) \frac{T}{T_s} + 0.4 \right] \quad (\text{ASCE 41-13 Ecuación 2-5})$$

Para $0 < T < T_0$ y

$$S_a = S_{XS} / B_1 \quad \text{para } T_0 < T < T_s, \text{ y (ASCE 41-13 Ecuación 2-6)}$$

$$S_a = S_{X1} / (B_1 T) \quad \text{para } T_s < T < T_L \text{ (ASCE 41-13 Ecuación 2-7)}$$

$$S_a = T_L S_{X1} / (B_1 T^2) \quad \text{para } T > T_L \text{ (ASCE 41-13 Ecuación 2-8)}$$

T_s y T_0 están dados por:

$$T_s = S_{X1} / S_{XS} \quad (\text{ASCE 41-13 Ecuación 2-9})$$

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (\text{ASCE 41-13 Ecuación 2-10})$$

T_L = Período largo de transición, debe ser obtenido de mapas, análisis de respuesta de sitio específico, publicaciones previas u otro método o procedimiento.

$$B_1 = 4 / [5.6 - \ln(100\beta)] \text{ (ASCE 41-13 Ecuación 2-11)}$$

β = Porcentaje de amortiguamiento

2.8 Nivel de Sismicidad

El nivel de sismicidad en la zona de implantación de la estructura se define en base a los períodos cortos del espectro de respuesta S_{DS} y de la aceleración de período un segundo del espectro de respuesta S_{D1} de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s \text{ (ASCE 41, Ec. 2-12)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \text{ (ASCE 41, Ec. 2-13)}$$

Ecuación x: Valores de S_{DS} y S_{D1} (Fuente ASCE 41, 2013)

Los niveles de sismicidad se categorizan en base a las Categorías de Diseño Sísmico de ASCE 7:

- SDC A: Muy Bajo
- SDC B: Bajo
- SDC C: Moderado
- SDC D: Alto

Definición de Nivel de Sismicidad

Nivel de Sismicidad (a)	S_{DS}	S_{D1}
Muy bajo	<0.167g	<0.067g
Bajo	$\geq 0.167g$	$\geq 0.067g$
	<0.33g	<0.133g
Moderado	$\geq 0.33g$	$\geq 0.133g$
	<0.50g	<0.20g
Alto	$\geq 0.50g$	$\geq 0.20g$

Tabla 16: Definición de Nivel de Sismicidad (Fuente: ASCE 41-13, Tabla 2-5)

CAPITULO 3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

En este capítulo se presentará las características estructurales y arquitectónicas del edificio de la Facultad de Ingeniería. Arquitectónicamente se proporcionará características generales de la edificación, mientras que a nivel estructural se hará la definición del bloque 1, porque en esta sección de la edificación será la que posteriormente se desarrollará la evaluación sísmica por considerarse el área donde se desarrollan la mayoría de actividades principales de la facultad, además de albergar la mayor parte de infraestructura para su funcionamiento.

3.1 Antecedentes

En 2006, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador inicia la construcción del edificio de la Facultad de Ingeniería; el cual alberga principalmente a las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería en Tecnologías de la Información. Esta edificación fue implantada en el área donde funcionaban parte de las antiguas aulas de la Facultad de Ingeniería, que fueron derrocadas para la implementación de este proyecto.



Ilustración 3: Implantación de la Facultad de Ingeniería-PUCE Quito. Fuente: Google Earth. Modificado por: Francisco Redín

3.2 Descripción Arquitectónica

De acuerdo a los planos arquitectónicos obtenidos en Planta Física-PUCE, se especifica las siguientes características arquitectónicas de la edificación:

ELEVACIÓN: La edificación se eleva desde el nivel -2.80m en el subsuelo hasta +24.40m sobre el nivel natural de suelo en toda la edificación excepto en el área de bloque de ascensores donde se alcanza una altura de 26.50m.

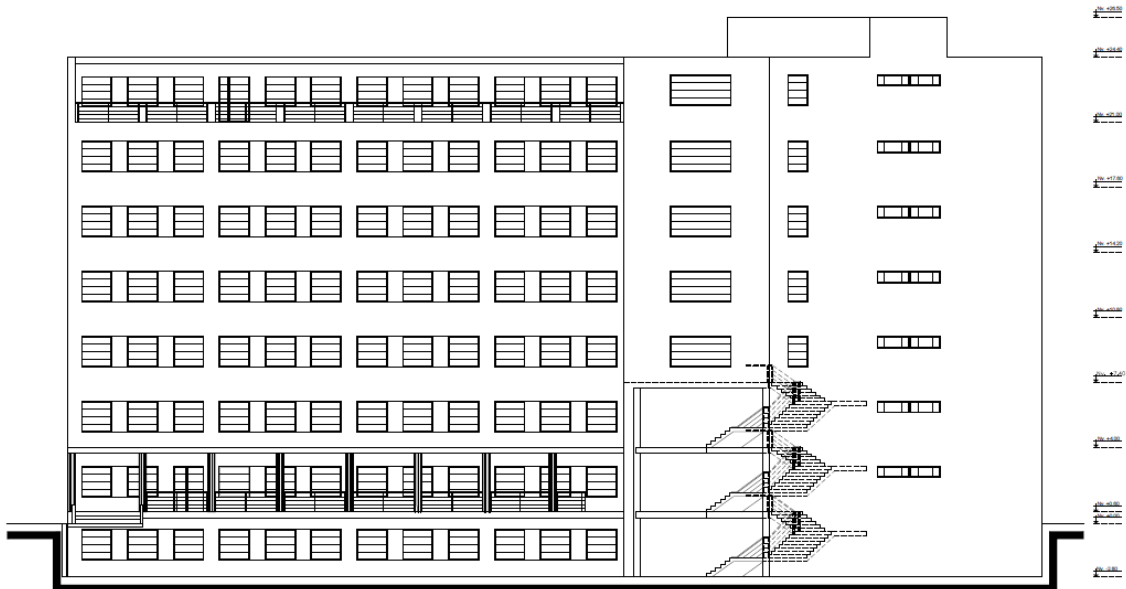
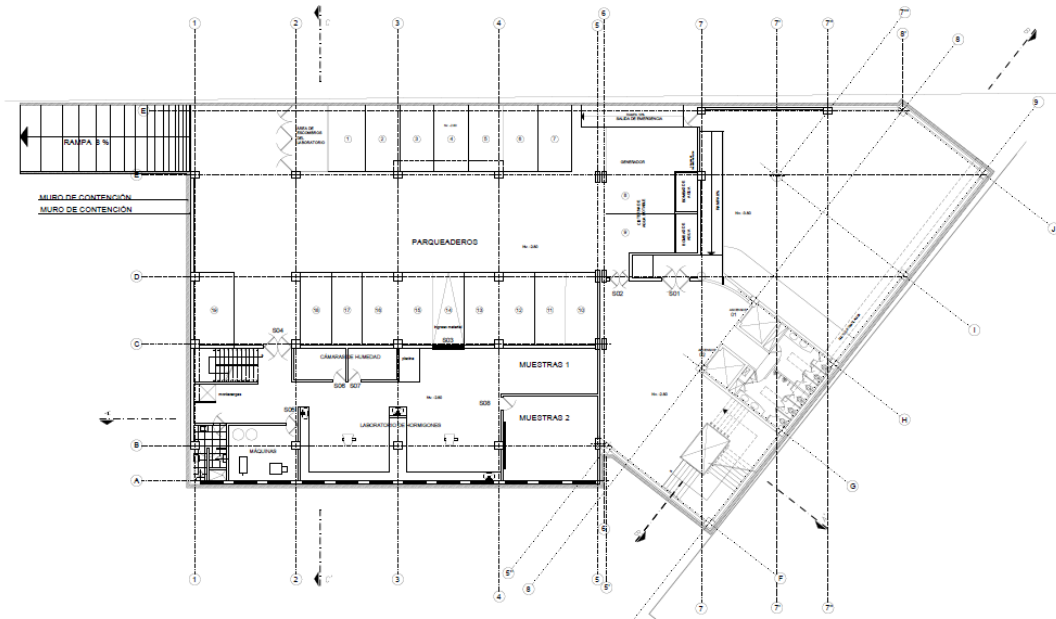


Ilustración 4: Fachada Oeste de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

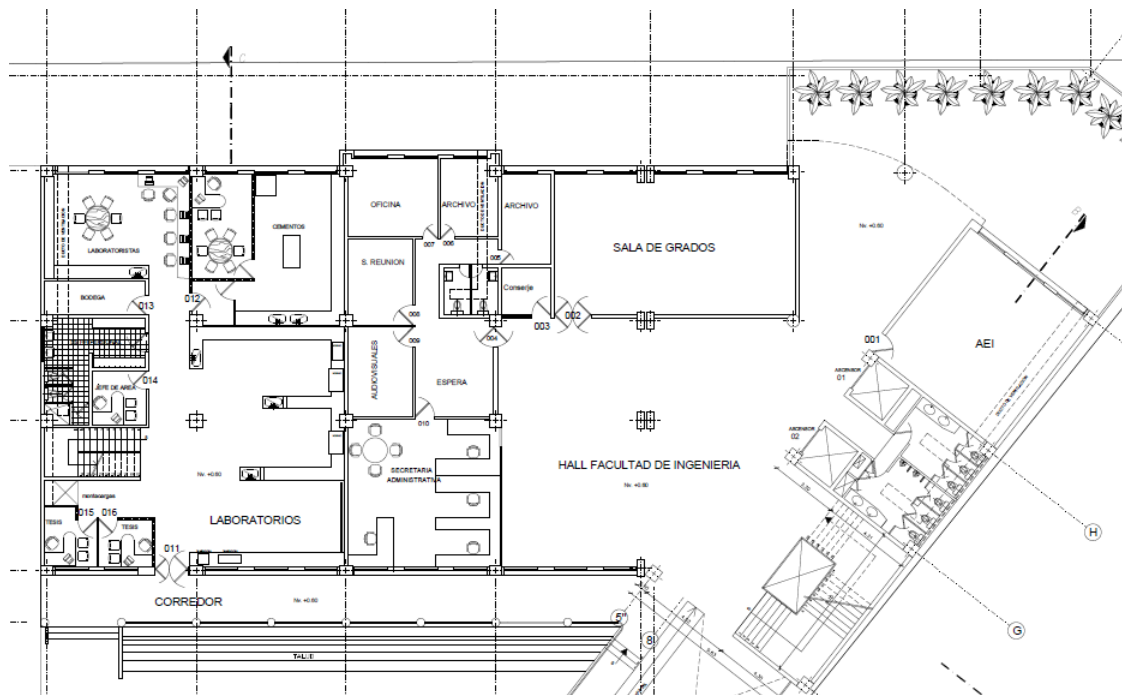
IMPLANTACIÓN: La edificación cuenta con un área bruta total de construcción de 7424.06m² distribuidos de la siguiente forma:

- **SUBSUELO:** Con un área neta de 1149.64m², este nivel cuenta con Parquaderos para Profesores, Laboratorio de Hormigones, Área de Muestras, Auditorio, generador eléctrico, cisternas de agua.



*Ilustración 5: Subsuelo de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE.
Modificado por: Francisco Redín*

- PLANTA BAJA: Con un área neta de 1035.85m², este nivel cuenta con Laboratorios de Pavimentos y Cemento, Secretaría de Facultad, Sala de Grados, Zona de Cafetería y Asociación de Escuela de Ingeniería.



*Ilustración 6: Planta Baja de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE.
Modificado por: Francisco Redín*

- PRIMERA PLANTA ALTA: Con un área neta de 955.27m², este nivel cuenta con Gabinete de Topografía, Decanato, Sub decanato, Sala de Profesores y Cubículos de Profesores.

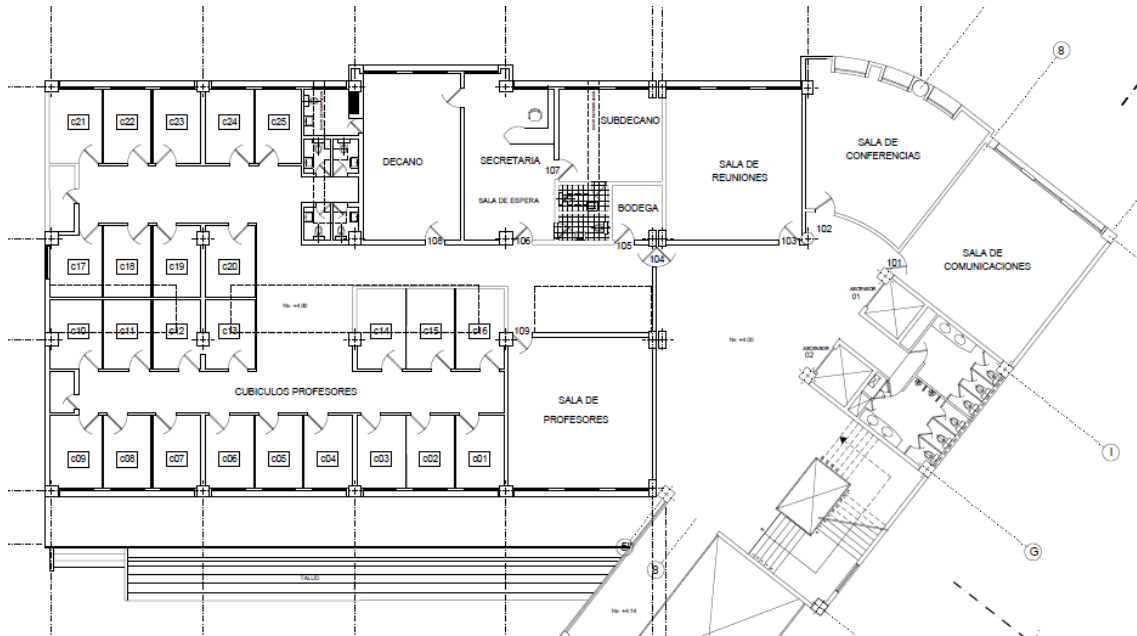


Ilustración 7: Primera Planta Alta de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

- SEGUNDA PLANTA ALTA: Con un área neta de 904.14m², este nivel cuenta con Laboratorios de Tecnologías de Información, Servidores Internos, Dirección de Laboratorios y Área de Ploteo e Impresión.

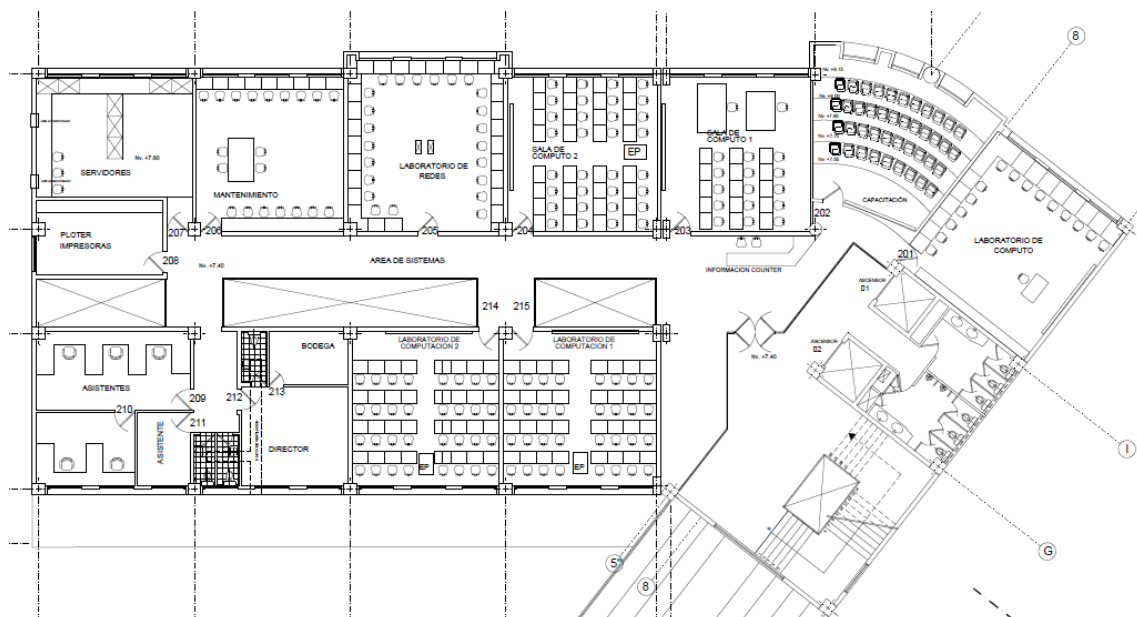


Ilustración 8: Segunda Planta Alta de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

- TERCERA, CUARTA Y QUINTA PANTA ALTA: Con un área neta de 2712.42 m², este nivel cuenta con Aulas.

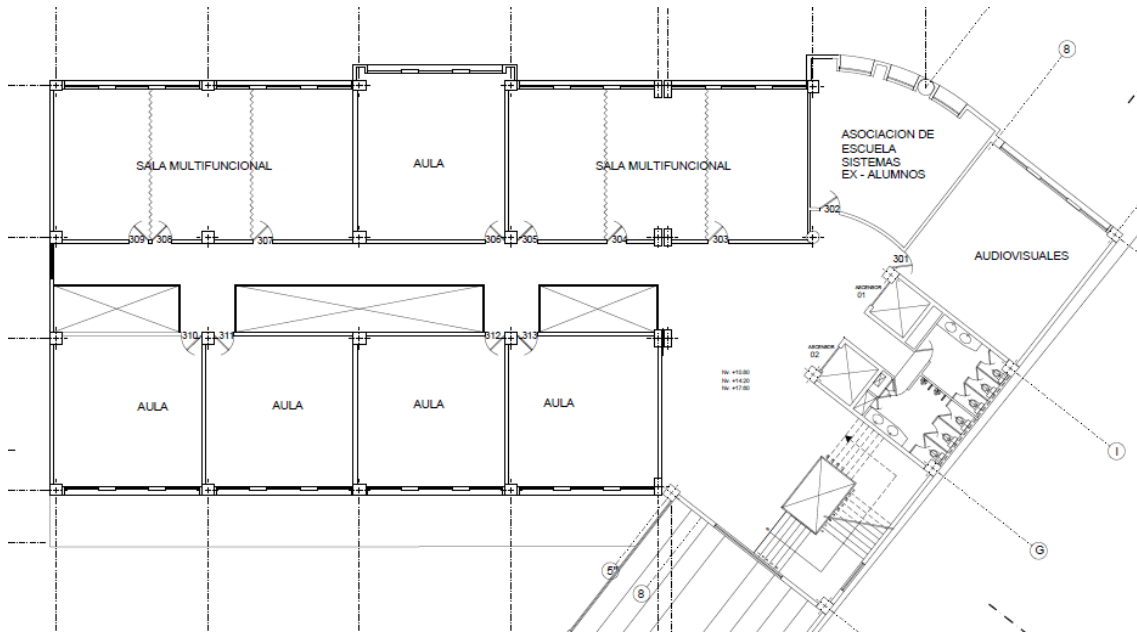


Ilustración 9: Tercera, Cuarta y Quinta Planta Alta de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

- SEXTA PLANTA ALTA: Con un área neta de 666.74 m², este nivel cuenta con Aulas y Terraza Accesible.

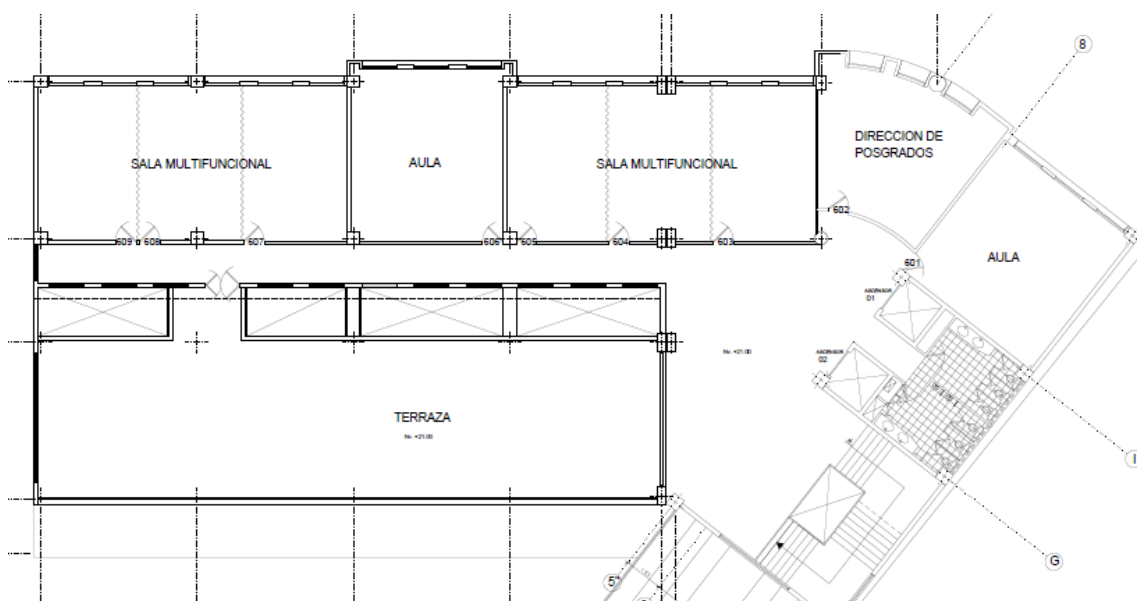


Ilustración 10: Sexta Planta Alta de la Facultad de Ingeniería. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

3.3 Descripción Estructural

La configuración estructural de la edificación está dividida en dos bloques:

- Bloque Uno: Corresponde al área de laboratorio de hormigones, pavimentos y cementos, secretaria de facultad, sala de grados, sala de profesores, cubículos de profesores, decanato, sub decanato, laboratorios de tecnologías de la información y aulas.
- Bloque Dos: Corresponde al área de escaleras, baños y ascensores.

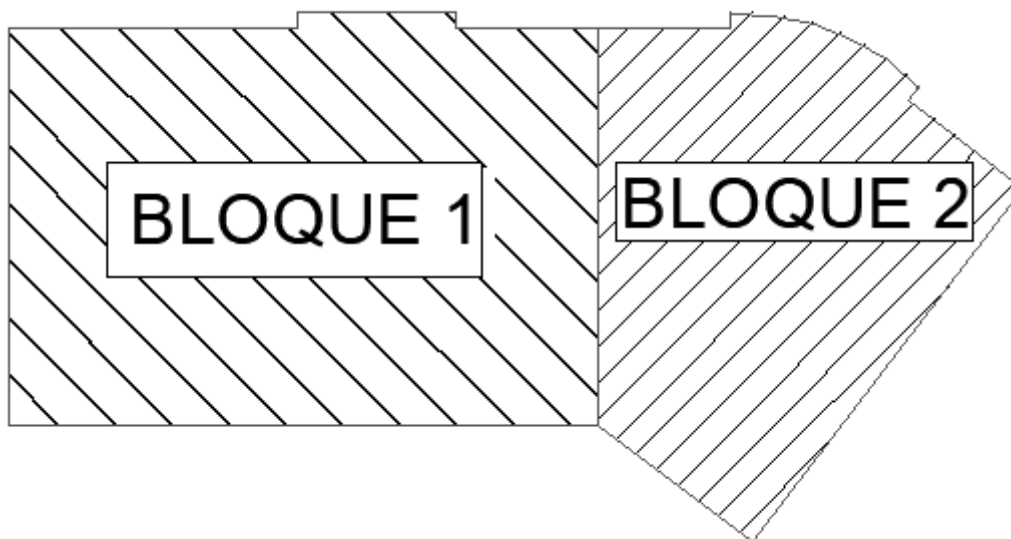


Ilustración 11: Esquema en Planta de Bloque 1 y 2. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

3.3.1 Sistema Sismo Resistente

El sistema sismo resistente utilizado en la edificación corresponde a Pórticos de Hormigón Armado Resistentes a Momento. Este sistema está presente en el bloque uno y en el bloque do además de este sistema se tiene muros de corte construidos alrededor de los ductos de ascensores.

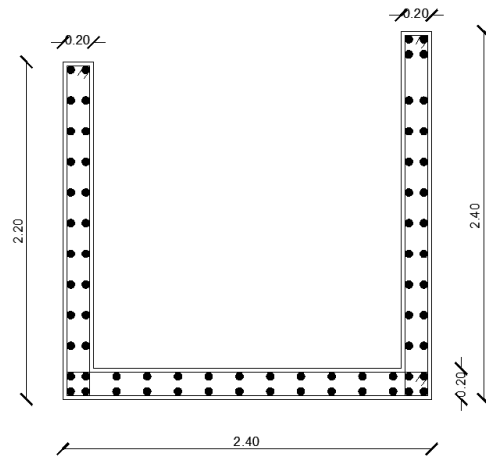
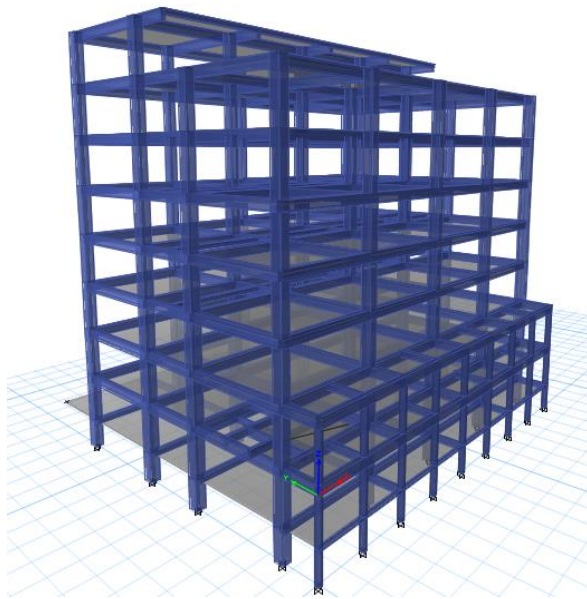


Ilustración 12: Modelación de Sistema Sismo Resistente. Fuente: Modelo ETABS.
Elaborado por: Francisco Redín

Ilustración 13: Esquema de Muro de Corte Ascensor 2. Fuente: Planta Física-PUCE.
Modificado por: Francisco Redín

3.3.2 Cimentación De La Estructura

En base a los planos estructurales obtenidos de la edificación, la cimentación del bloque uno cuenta con zapatas aisladas y combinadas además de cadenas de amarre entre ellas. La zapata combinada de las columnas A5, B5 y B6 cuenta con un diseño geométrico particular.

CUADRO DE PLINTOS COMBINADOS

Ubicación	No.	dimensiones			Armadura							
		A	B	H	Asx superior	Asx inferior	d1	Asy1	d2	Asy2	d3	Asy3
C1-D1	1	7.4	2.6	0.6	1ø20@20 Mc 100	1ø18@20 Mc 101	2.3	1ø16@20 Mc 102	2.5	1ø16@20 Mc 102	2.6	1ø18@20 Mc 103
C2-D2, C3-D3, C4-D4	3	7.6	4	0.6	1ø25@20 Mc 104	1ø20@20 Mc 105	2.6	1ø25@20 Mc 106	2.1	1ø20@20 Mc 107	2.1	1ø32@30 Mc 108
A2-B2, A3-B3, A4-B4	3	4.2	2.8	0.5	1ø16@20 Mc 109	1ø25@20 Mc 110	1.05	1ø14@20 Mc 111	1.25	1ø14@20 Mc 111	1.9	1ø20@20 Mc 112
A1-B1	1	4.2	2.7	0.45	1ø14@20 Mc 111	1ø16@20 Mc 111	1.05	1ø14@20 Mc 113	1.25	1ø14@20 Mc 114	1.9	1ø18@20 Mc 115
(C5-D5)- (C6-D6)	1	VER DETALLE										
A5-B5-B6	1	VER DETALLE										

CUADRO DE PLINTOS AISLADOS

Ubicación	No	Dimensiones			Armadura	
		A	B	H	Asx	Asy
E1, B1	2	3,6	3,6	0,5	1ø20@25 Mc 119	1ø20@25 Mc 119
E2, E3, E4, E5-6	4	2,7	2,7	0,55	1ø22@20 Mc 120	1ø22@20 Mc 120
AW, AX, AY, AZ	4	1,0	1,0	0,30	1ø14@25 Mc 121	1ø14@25 Mc 121

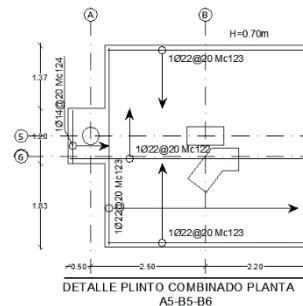


Ilustración 14: Dimensiones y Armado de Cimentación. Fuente: Planta Física-PUCE.
Modificado por: Francisco Redín

3.3.3 Elementos Estructurales

Los elementos estructurales principales están conformados por vigas y columnas. Cada elemento es dimensionado en base a los criterios de análisis y cálculo estructural considerado por el calculista de la edificación.

3.3.3.1 Armado De Vigas

V1-L1-35x60-B1						Vw-L1-30x40-B1						VE-L1-35x60-B1					
#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2	
As sup	2	25	3,8175	22,7765	11,39	As sup	1	22	3,8013	10,0845	5,04	As sup	2	25	3,8175	28,0440	14,52
	2	25	3,8175				2	20	6,2832			2	32	16,0850			
	1	20	3,1416			As inf	3	14	4,8181	4,6181	2,31	As inf	1	20	3,1416	13,3204	6,66
As inf	3	18	7,6341	11,6553	5,83		0	16	0,0000			4	18	10,1788			
	2	16	4,0212									1	20	3,1416			
V2-L1-35x60-B1						Vz-L1-30x40-B1						VD-L1-35x60-B1					
#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2	
As sup	2	25	3,8175	28,4471	14,22	As sup	1	22	3,8013	10,0845	5,04	As sup	2	25	3,8175	33,9449	16,97
	2	32	16,0850				2	20	6,2832			3	32	24,1274			
	1	18	2,5447			As inf	2	14	3,0788	5,0894	2,54	As inf	3	18	7,6341	13,8173	6,96
As inf	5	20	15,7080	15,7080	7,85		1	16	2,0106			2	20	6,2832			
	0	16	0,0000														
V3-L1-35x60-B1						Vg-L1-30x40-B1						VC-L1-35x60-B1					
#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2	
As sup	2	25	3,8175	28,4471	14,22	As sup	1	22	3,8013	10,0845	5,04	As sup	2	25	3,8175	33,9449	16,97
	2	32	16,0850				2	20	6,2832			3	32	24,1274			
	1	18	2,5447			As inf	2	14	3,0788	5,0894	2,54	As inf	4	18	10,1788	13,3204	6,66
As inf	5	20	15,7080	15,7080	7,85		1	16	2,0106			1	20	3,1416			
	0	16	0,0000														
V4-L1-35x60-B1						Vz-L1-30x40-B1						VB-L1-35x60-B1					
#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2	
As sup	2	25	3,8175	28,4471	14,22	As sup	3	18	7,6341	7,6341	3,82	As sup	2	25	3,8175	22,7765	11,39
	2	32	16,0850				0	25	0,0000			1	20	3,1416			
	1	18	2,5447			As inf	4	18	10,1788	10,1788	5,09	As inf	3	18	7,6341	11,6553	5,83
As inf	5	20	15,7080	15,7080	7,85		0	16	0,0000			2	16	4,0212			
	0	16	0,0000														
V5-L1-35x60-B1						Va-L1-20x50-B1						VA-L1-35x60-B1					
#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	total (cm ²)	As total#2		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total	As total#2	
As sup	2	25	3,8175	21,2215	10,61	As sup	3	18	7,6341	7,6341	3,82	As sup	2	16	4,0212	6,2832	3,14
	3	22	11,4040				0	25	0,0000	4,6181	2,31	As inf	2	12	2,2619		
	0	18	0,0000			As inf	3	14	4,8181	4,6181	2,31		3	12	3,3929	4,3323	2,47
As inf	5	20	15,7080	15,7080	7,85		0	16	0,0000			1	14	1,5394			
	0	16	0,0000														

Tabla 17: Armado Vigas Nivel +0.60m y +4.00m (Fuente: Planta Física-PUCE. Elaborado por: Francisco Redín)

V1-L2-35x60-B1				VM-L2-20x31-B1				VE-L2-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)
As sup	2	25	9,8175	24,1431	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	25	9,8175	29,7038
	2	20	6,2832			2	32	16,0850			2	32	16,0850	
	1	32	8,0425			1	22	3,8013			1	22	3,8013	
As inf	5	18	12,7235	12,7235	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	18	7,6341	13,9173
	2	20	7,6027			2	20	6,2832						
V2-L2-35x60-B1				VN-L2-20x31-B1				VD-L2-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	33,9449	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	25	9,8175	29,7038
	3	32	24,1274			2	32	16,0850						
As inf	3	20	9,4248	17,0274	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	5	18	12,7235	12,7235
	2	22	7,6027			2	22	3,8013						
V3-L2-35x60-B1				VO-L2-20x31-B1				VC-L2-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	33,9449	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	25	9,8175	26,9077
	3	32	24,1274			0	25	0,0000			2	24	9,0478	
	3	20	9,4248			0	20	0,0000			1	32	8,0425	
As inf	2	22	7,6027	17,0274	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	5	18	12,7235	12,7235
	2	22	7,6027			3	12	3,3929						
V4-L2-35x60-B1				VP-L2-20x31-B1				VB-L1-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	33,9449	As sup	0	14	4,6181	4,6181	As sup	2	25	9,8175	25,4626
	3	32	24,1274			3	14	4,6181			2	22	7,6027	
	3	20	9,4248			0	20	0,0000			1	32	8,0425	
As inf	2	22	7,6027	17,0274	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	18	7,6341	11,6553
	2	22	7,6027			4	12	4,5239			2	16	4,0212	
V5-L2-35x60-B1				VQ-L2-20x31-B1										
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total					
As sup	2	25	9,8175	22,3289	As sup	2	18	5,0894	11,3726					
	2	22	7,6027			2	20	6,2832						
	1	25	4,9087			0	20	0,0000						
As inf	5	18	12,7235	12,7235	As inf	4	12	4,5239	4,5239					
	2	22	7,6027											

Tabla 18: Armado Vigas Nivel +7.40m y +10.80m (Fuente: Planta Física-PUCE).

Elaborado por: Francisco Redín

V1-L3-35x60-B1				VM-L3-20x31-B1				VE-L3-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)
As sup	3	18	7,6341	19,0381	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	18	5,0894	24,3159
	3	22	11,4040			0	25	0,0000			1	20	3,1416	
As inf	4	16	8,0425	10,5872	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	2	32	16,0850	11,6553
	1	18	2,5447			2	16	4,0212						
V2-L3-35x60-B1				VN-L3-20x31-B1				VD-L3-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	27,6774	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	25	9,8175	25,0228
	2	25	9,8175			3	14	4,6181			4	22	15,2053	
	1	32	8,0425			3	12	3,3929			3	18	7,6341	
As inf	4	20	12,5664	15,1111	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	2	16	4,0212	11,6553
	1	18	2,5447											
V3-L3-35x60-B1				YO-L3-20x31-B1				VC-L3-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	27,6774	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	3	18	7,6341	22,3603
	2	25	9,8175			3	14	4,6181			3	25	14,7262	
	1	32	8,0425			3	12	3,3929			4	16	8,0425	
As inf	4	16	8,0425	10,0531	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	1	18	2,5447	10,5872
	1	16	2,0106											
V4-L3-35x60-B1				YP-L3-20x31-B1				VB-L1-35x60-B1						
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	2	25	9,8175	27,6774	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	3	18	7,6341	20,1455
	2	25	9,8175			3	14	4,6181			2	22	7,6027	
	1	32	8,0425			3	12	3,3929			1	25	4,9087	
As inf	4	16	8,0425	10,0531	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	16	6,0319	9,1106
	1	16	2,0106											
V5-L3-35x60-B1				YQ-L3-20x31-B1										
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total					
As sup	3	18	7,6341	17,7186	As sup	2	18	5,0894	11,3726					
	1	20	6,2832			2	20	6,2832						
	2	22	3,8013			4	12	4,5239						
As inf	3	18	7,6341	11,6553	As inf	4	12	4,5239	4,5239					
	2	16	4,0212											

Tabla 19: Armado Vigas Nivel +14.20m y +17.60m (Fuente: Planta Física-PUCE).

Elaborado por: Francisco Redín

V1-L4-35x60-B1					VM-L4-20x31-B1					VE-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)		#varillas	d(mm)	Área (cm ²)	As total (cm ²)
As sup	2	18	5,0894	14,0429	As sup	3	14	4,6181	4,6181	As sup	2	18	5,0894	14,5142
	1	16	2,0106			3,3929	As inf	3			16	6,0319		
	1	20	3,1416					2			14	3,0788		
As inf	5	14	7,6969	7,6969	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	2	14	3,0788	9,1106
Y2-L4-35x60-B1					YN-L4-20x31-B1					YD-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	3	18	7,6341	20,5931	As sup	3	12	3,3929	3,3929	As sup	3	18	7,6341	18,3783
	2	25	9,8175			0	25	0,0000			2	22	7,6027	
	1	20	3,1416			0	20	0,0000			1	20	3,1416	
As inf	3	18	7,6341	11,6553	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	16	6,0319	9,1106
	2	16	4,0212								2	14	3,0788	
Y3-L4-35x60-B1					YD-L4-20x31-B1					YC-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	3	18	7,6341	22,3603	As sup	3	12	3,3929	3,3929	As sup	3	18	7,6341	15,2367
	3	25	14,7262					2			22	7,6027		
As inf	3	18	7,6341	11,6553	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	5	14	7,6969	7,6969
	2	16	4,0212											
Y4-L4-35x60-B1					YP-L4-20x31-B1					YB-L1-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total
As sup	3	18	7,6341	22,3603	As sup	3	12	3,3929	3,3929	As sup	3	18	7,6341	16,4619
	3	25	14,7262					2			20	6,2832		
													1	
As inf	3	18	7,6341	11,6553	As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	14	4,6181	6,8801
	2	16	4,0212								2	12	2,2619	
Y5-L4-35x60-B1					YQ-L4-20x31-B1									
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total		#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total					
As sup	2	18	5,0894	13,3832	As sup	2	18	5,0894	10,1788					
	1	16	2,0106			2	18	5,0894						
	2	20	6,2832			4	12	4,5239						
As inf	5	14	7,6969	7,6969	As inf	5	14	7,6969	7,6969					
VX-L4-20x31-B1														
	#varillas	d(mm)	Área (m ²)	As total										
As sup	3	12	3,3929	3,3929	As sup	3	12	3,3929	3,3929					
As inf	3	12	3,3929	3,3929	As inf	3	12	3,3929	3,3929					

Tabla 20: Armado Vigas Nivel +21.00m y +24.40m (Fuente: Planta Física-PUCE.

Elaborado por: Francisco Redín)

3.3.3.2 Armado De Columnas

	COLUMNAS C1-C2-C3-C4-D1-D2-D3-D4	COLUMNAS B2-B3-B4-E2-E3-E4	COLUMNAS B1-E1	COLUMNAS B5-E5-C5-D5	COLUMNAS A1-A2-A3-A4-A5-AW-AX-AY-AZ
NIVEL +24,40	60x60 Suben D1-D2-D3-D4	60x60 Suben E2-E3-E4	65x60 Suben E1	40x80 Suben D5-E5	
	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	
	8 22 30,41	8 22 30,41	12 22 45,62	10 22 38,01	
	4 20 12,57	4 20 12,57			
NIVEL +21,00	Area total 42,98 60x60	Area total 42,98 60x60	Area total 45,62 65x60	Area total 38,01 40x80	
	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	
	8 22 30,41	8 22 30,41	12 22 45,62	10 22 38,01	
	4 20 12,57	4 20 12,57			
NIVEL +14,20	Area total 42,98 65x70	Area total 42,98 65x60	Area total 45,62 65x60	Area total 38,01 40x80	
	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	
	8 25 39,27	12 22 45,62	12 22 45,62	12 22 45,62	
	4 22 15,21				
NIVEL +4,00	Area total 54,48 65x70	Area total 45,62 65x60	Area total 45,62 65x60	Area total 45,62 40x80	Circular D=40cm
	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)	#varillas d (mm) Area (cm ²)
	4 32 32,17	4 25 19,63	8 22 30,41	12 22 45,62	9 12 10,18
	4 25 19,63	8 22 30,41	4 20 12,57		
NIVEL -4,80	Area total 67,01	Area total 50,05	Area total 42,98	Area total 45,62	Area total 10,18

Tabla 21: Armado Columnas Bloque 1 (Fuente: Planta Física-PUCE. Elaborado por: Francisco Redín)

3.3.3.3 Configuración De Losas De Entrepiso Y Cubierta

Para esta estructura, el calculista utilizó losa nervada en dos direcciones con aliviamientos huecos. Los nervios cuentan con refuerzo de acero y la loseta de compresión de 6 cm de espesor se refuerza con malla electrosoldada R-158 de diámetro de acero 5.5 mm y de separación en los dos sentidos de 15 cm.

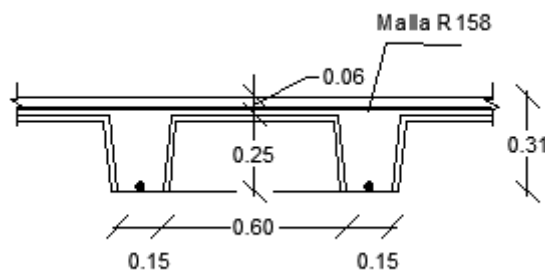


Ilustración 15: Corte Típico de Losa. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

3.4 Materiales

3.4.1 Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo empleado en la estructura tiene un esfuerzo de fluencia $f_y = 4200$ kg/cm². Los diámetros de varillas para elementos estructurales varían de 10, 12, 14, 20, 25 y 32 mm. Para refuerzo transversal en los elementos el diámetro es de 10 mm.

3.4.2 Hormigón

La resistencia del hormigón utilizado para diferentes elementos estructurales y no estructurales se detalla a continuación:

ELEMENTO	$f'c$ (kg/cm ²)
Replanteo	140
Vigas, columnas, zapatas, muros, escaleras	250

Tabla 22: Resistencia de Hormigón en Elementos Estructurales (Fuente: Planta Física-PUCE. Elaborado por Francisco Redín)

3.5 Cargas Aplicadas En La Estructura

Las cargas aplicadas en la estructura para el análisis y cálculo se detallan en las siguientes tablas. Para Carga Viva se ha tomado los valores determinados por el calculista en los planos estructurales y para Carga Muerta se hace referencia al Código Ecuatoriano de Construcción vigente en el año de diseño de la estructura.

Nivel (m)	Carga Viva C.V. (kg/cm ²)
+0.60	400
+4.00	400
+7.40	400
+10.80	400
+14.20	400
+17.60	400
+21.00	400
+24.40	150

Tabla 23: Carga Viva sobre Estructura (Fuente: Planta Física-PUCE. Elaborado por Francisco Redín)

TABLA 4.1 Cargas uniformes y concentradas

USO U OCUPACIÓN		Carga uniforme (1) Kg/m ²	Carga concentrada kg
CATEGORIA	DESCRIPCIÓN		
Armerías		750	0
Áreas de reuniones (4)	Áreas de asientos fijos	250	0
	Áreas de asientos móviles y otras áreas	500	0
Auditorios y galerías	Escenarios y plataformas	600	0
Comisas, marquesinas y balcones de residencias		300	0
Facilidades de salida públicas (5)		500	0
Garajes	Almacenaje general y/o reparación	500	(3)
	Almacenaje particular	250	(3)
Hospitales	Salas y cuartos	200	450 (2)
Bibliotecas	Salas de lectura	300	450 (2)
	Cuartos de anaqueles	600	700 (2)
Fabricas	Livianas	400	900 (2)
	pesadas	600	1400 (2)
Oficinas		250	900 (2)
	Cuartos de impresión	750	1200 (2)
Imprentas	Cuartos de composición y linotipos	500	900 (2)
Residencias (6)		200	0
Salas de descanso (7) Plataformas de revisión Grandes tribunas y Graderíos.		500	0
Escuelas	Aulas	200	450 (2)
Veredas y calzadas	Acceso público	1200	(3)
Bodegas	Livianas	600	
	pesadas	1200	
Almacenes	Minoristas	400	900 (2)
	Mayoristas	500	1400 (2)

Ilustración 16: Cargas Concentradas y Puntuales. Fuente: Código Ecuatoriano de Construcción, 2001. Modificado por: Francisco Redín

CAPITULO 4 NIVEL DE EVALUACIÓN 1: EVALUACIÓN VISUAL

4.1 Descripción General De La Metodología De Evaluación

El nivel de evaluación 1: Evaluación Visual, permite una visualización de las potenciales deficiencias tanto estructurales como no estructurales que las edificaciones podrían presentar ante la acción sísmica sobre ellas. ASCE 41-13 establece como primer paso para la evaluación, investigar si la edificación se encuentra dentro de las edificaciones objetivo que básicamente se determina si fue diseñada mediante códigos para diversos sistemas estructurales especificados en ASCE 41-13. Si la edificación analizada no se enmarca dentro de las edificaciones objetivos, se debe realizar la evaluación estructural mediante listas Checklists de acuerdo a la configuración estructural; también se deberá desarrollar la evaluación de los elementos no estructurales.

Patrones de Defectos o Falencias en Edificaciones

Componente o material	Defecto o Deterioro
Cimentación	Evidencia de asentamiento o daño.
Elementos de cimentación	Deterioro causado por corrosión, ataque de sulfatos o roturas en los materiales.
Concreto	Deterioro visible en el concreto o acero de refuerzo.
Paredes de concreto	Fisuras de espesor 1/16 in (1.6mm) o mayor, concentrada en una sección y con forma de X.
Mampostería no reforzada	Daños visibles.
Juntas de mampostería no reforzada	Mortero desgastado o que se desprende fácilmente de las juntas a mano o con una herramienta metálica.
Recubrimiento de bloques o similares	Deterioro, daño o corrosión.
Recubrimiento de bloques o similares	Mortero desgastado o que se desprende fácilmente de las juntas a mano o con una herramienta metálica.
Equipamiento de material peligroso	Daño en líneas de conducción.
Equipamiento eléctrico o mecánico	Deterioro, daño o corrosión en anclajes o soportes.
Revestimiento	Deterioro, daño o corrosión.

Tabla 24: Patrones de Defectos o Falencias en Edificaciones. (Fuente ASCE 41-13, Tabla 4-1)

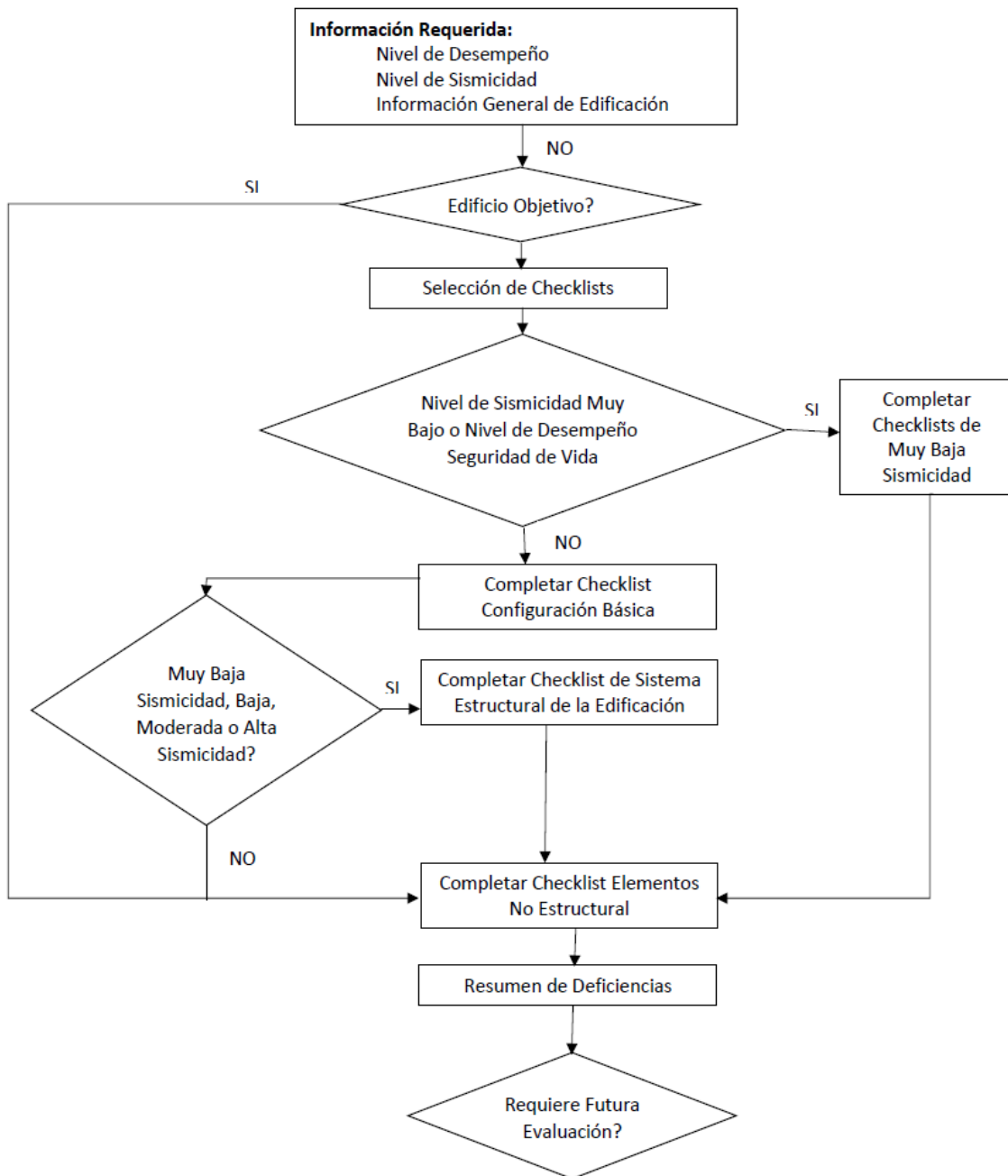


Ilustración 17: Proceso de Evaluación Nivel 1. Fuente: ASCE 41-13, Figura 4-1. Modificado por Francisco Redín

4.2 Limitaciones de Uso del Nivel de Evaluación 1 y 2

Los Niveles de Evaluación 1 y 2 se permiten para demostrar los siguientes Niveles de Desempeño:

- Nivel de Desempeño Estructural: Inmediata Ocupación (S-1), Daños Controlados (S-2) o Preservación de Vida (S-3).
- Nivel de Desempeño No Estructural: En Posición (N-B), o Preservación de Vida (N-C).

Además para si la edificación supera

Número de pisos más allá de los cuales se requieren los procedimientos de Nivel de Evaluación 3

	Nivel de Sismicidad							
	Muy Bajo		Bajo		Moderado		Alto	
	S-3	S-1	S-3	S-1	S-3	S-1	S-3	S-1
Pórticos Resistentes a Momento (C1)	NL	NL	NL	12	12	8	8	6
Muros de Corte								
Diafragma rígido (C2)	NL	NL	NL	12	12	8	8	6
Diafragma flexible (C2a)	NL	NL	NL	12	12	8	8	6
Pórticos con muros de corte de mampostería								
Diafragma rígido (C3)	NL	NL	NL	12	12	8	8	4
Diafragma flexible (C3a)	NL	NL	NL	12	12	8	8	4
Paredes de Hormigón Prefabricadas o Inclinadas								
Diafragma rígido (PC1)	NL	NL	3	2	2	2	2	2
Diafragma flexible (PC1a)	NL	NL	3	2	2	2	2	2
Pórticos de Hormigón Prefabricado								
Con muros de corte (PC2)	NL	NL	NL	6	6	NP	4	NP
Sin muros de corte (PC2a)	NL	NL	NL	6	6	NP	4	NP

NL= No Límite

NP= No Permitido

Tabla 25: Limitaciones para el uso de procedimientos de Evaluación Nivel 1 y Nivel 2

(Fuente: ASCE 41-13, Figura 3-2)

4.3 Requisitos Previos Para Evaluación De Nivel 1

4.3.1 Nivel De Desempeño

El Nivel de Desempeño Objetivo debe ser definido previo al desarrollo de la evaluación sísmica. Al seleccionar un Nivel de Desempeño Objetivo se definen los procedimientos

y parámetros que se tendrán que evaluar en la edificación. Los Niveles de Desempeño Objetivo podrán ser definidos por:

- Propietario de la edificación conjuntamente con un profesional evaluador; y/o
- Autoridad competente con jurisdicción

Para el Nivel de Evaluación 1 los Niveles de Desempeño establecidos en esta instancia para edificaciones son: Preservación de Vida (S-3, N-C) e Inmediata Ocupación (S-1, N-B).

4.3.2 Nivel De Riesgo Sísmico

El Nivel de Riesgo Sísmico para el Nivel de Evaluación 1 deberá ser BSE-1E para Desempeño Básico Objetivo para edificaciones existentes (BPOE).

4.3.3 Nivel De Sismicidad

El Nivel de Sismicidad de la edificación evaluada se definirá como:

- Muy Baja
- Baja
- Moderada
- Alta

4.3.4 Investigación En Sitio

La investigación en sitio permite una primera aproximación al estado real de la estructura. Esta investigación debe estar vinculada a toda la información disponible de la edificación, con la cual se podrá identificar cambios y variaciones entre planos de diseño y la ejecución real. Además se podrá evaluar las condiciones de componentes estructurales por ejemplo suelo y elementos de cimentación, vigas, columnas, losas de entepiso y cubierta; también sistemas no estructurales como sistemas eléctricos,

hidrosanitarios, mecánicos, de emergencia o elementos especiales propios de la edificación.

El objetivo de la investigación en sitio además de conocer el estado de la estructura será la determinación de posibles afectaciones de los elementos estructurales y no estructurales por los efectos de fuerzas sísmicas.

4.3.5 Tipos De Edificaciones

Los tipos de edificaciones se definirán en base del sistema de resistencia de cargas laterales (sistemas sismo resistentes). Si la edificación cuenta con más de un sistema sismo resistente se tendrá que realizar la evaluación con los checklist de cada uno de los sistemas. Además, en caso de que la edificación no se ajuste dentro de las características de las diferentes tipologías de edificaciones; se puede emplear el checklist que se ajuste a él/los sistema/s sismo resistente

Tipos de Edificaciones

Pórticos livianos de madera (W1)

Pórticos de madera para edificaciones residenciales, multi-piso, varios bloques (W1a)

Pórticos de madera para edificaciones comerciales e industriales (W2)

Pórticos de acero con diafragmas rígidos (S1)

Pórticos de acero con diafragmas flexibles (S1a)

Pórticos con arrostramiento articulados y diafragmas rígidos (S2)

Pórticos con arrostramiento articulados y diafragmas flexibles (S2a)

Pórticos de perfiles livianos de acero (S3)

Sistemas duales de pórticos de acero y diafragmas rígidos (S4)

Pórticos de acero con mampostería resistente a corte y diafragmas rígidos (S5)

Pórticos de acero con mampostería resistente a corte y diafragmas flexibles (S5a)

Pórticos resistentes a momentos de concreto (C1)

Pórticos a momentos de concreto con muros de corte y diafragmas rígidos (C2)

Pórticos a momentos de concreto con muros de corte y diafragmas flexibles (C2a)

Pórticos de concreto con mampostería resistente a corte y diafragmas rígidos (C3)

Pórticos de concreto con mampostería resistente a corte y diafragmas flexibles (C3a)

Paneles de concreto y diafragmas flexibles (PC1)

Paneles de concreto y diafragmas rígidos (PC1a)

Pórticos prefabricados de concreto con muros de corte (PC2)

Pórticos prefabricados de concreto sin muros de corte (PC2)

Mampostería reforzada y diafragmas flexibles (RM1)

Mampostería reforzada y diafragmas rígidos (RM2)
Mampostería no reforzada y diafragmas flexibles (URM)
Mampostería no reforzada y diafragmas rígidos (URMa)
Muros de corte con paneles de acero (S6)

Tabla 26: Tipos de Edificaciones con Sistemas Sismo Resistentes (Fuente ASCE 41-13,

Tabla 3-1)

4.3.6 Valores De Materiales Por Defecto

Los valores de materiales por defecto están dados para los chequeos de resistencia y rigidez dentro de la Evaluación de Nivel 1. Si bien estos valores son un punto de partida, será necesario utilizar aquellos valores que se hayan obtenido mediante documentación existente o por pruebas y ensayos de campo realizados antes, durante o después de la construcción de la edificación. Los valores reales de los materiales será la mejor manera de vinculación de materiales con los resultados de las evaluaciones realizadas.

Resistencia a la Compresión por Defecto para Concreto Estructural

Año	Vigas		Columnas y Losas		Muros	
	f'c	f'c	f'c	f'c	f'c	f'c
	(kips/in ²)	(kg/cm ²)	(kips/in ²)	(kg/cm ²)	(kips/in ²)	(kg/cm ²)
1900-1919	2	140	1.5	105	1	70
1920-1949	2	140	2	140	2	140
1950-1969	3	210	3	210	2.5	175
1970-Actualidad	3	210	3	210	3	210

Tabla 27: Resistencia a la Compresión por Defecto para Concreto Estructural. (Fuente

ASCE 41-13, Tabla 4-2)

Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero de Refuerzo

	Grado	<u>60</u>	<u>65</u>	<u>70</u>	<u>75</u>
	Mínima Fluencia (kips/in ²)	60	65	70	75
1900-1919			X		
1920-1949		X	X	X	X
1950-1969		X	X	X	
1970-Actualidad		X	X	X	X

Tabla 28: Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero de Refuerzo. (Fuente ASCE 41-

13, Tabla 4-3)

Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero Estructural

	Especificación			Tipo	Esfuerzo de Fluencia (kips/in ²)
1961 - 1990	ASTM (2004a)	A36/	A36M-04	Acero Estructural	37
1961 - Actualidad	ASTM (2004a),	A572/ Grado 50	A572M-04	Acero Estructural	50
1990 - Actualidad	ASTM (2004a) y Doble Grado	A36/	A36M-04	Acero Estructural	49
1998 - Actualidad	ASTM (2004c)	A992/	A992M-04	Acero Estructural	50

Tabla 29: Esfuerzo de Fluencia por Defecto para Acero Estructural. (Fuente ASCE 41-13, Tabla 4-5)

4.4 Edificaciones Objetivo

Las edificaciones objetivo permite la simplificación en el análisis y evaluación de estructuras. La evaluación sísmica de estructuras no es requerida para aquellas estructuras que se hayan diseñado, construido o evaluado bajo los códigos y normas técnicas que se especifican para la calificación en el Nivel de Evaluación 1. La premisa que permite descartar la necesidad de evaluación sísmica estructural radica en el seguimiento y aplicación de códigos y normativa mandatorias para el diseño sismo resistente de estructura, además de haber sido evaluada, inspeccionada y certificada por alguna autoridad competente después de su construcción.

Los diversos tipos de estructuras sismo resistentes recientes que cumplen con normativas pueden alcanzar niveles de desempeño aceptable bajo los criterios de evaluación nivel 1 de ASCE 41; sin embargo bajo ciertas consideraciones puede no cumplir con los criterios de evaluación. A pesar de esta posibilidad, la evaluación nivel 1 nos permitirá compaginar con las incompatibilidades con las edificaciones objetivos para alcanzar niveles aceptables de desempeño y de seguridad para las estructuras ante acciones sísmicas.

Códigos Aplicables para Edificaciones Objetivo

Tipo de Edificación	Código de Diseño Sísmico				Código de Evaluación o Recondicionamiento Estructural		
	NBC SBC	UBC	IBC	NEHRP	FEMA 178	FEMA 310 (1998)/ ASCE 31	FEMA 356 (2000)/ ASCE 41
Pórticos de madera, Paneles de corte de madera (Tipo W1, W2)	1993	1976	2000	1985		1998	2000
Pórticos de madera, Paneles de corte de madera (Tipo W1a)		1997	2000	1997		1998	2000
Pórticos resistentes a momento de acero (Tipo S1, S1a)		1994	2000	1997		1998	2000
Pórticos con arrostramiento concéntrico de acero (Tipo S2, S2a)		1997	2000			1998	2000
Pórticos con arrostramiento excéntrico de acero (Tipo S2, S2a)		1988	2000	1997			2000
Pórticos con arrostramiento articulados (Tipo S2, S2a)			2000				2000
Pórticos de perfiles livianos de acero (Tipo S3)			2000		1992	1998	2000
Pórticos de acero con muros de corte de concreto (Tipo S4)	1993	1994	2000	1985		1998	2000
Pórticos de acero con mampostería no reforzada (Tipo S5, S5a)			2000			1998	2000
Muros de corte con paneles de acero (Tipo S6)			2000				2000
Pórticos resistentes a momento de concreto armado (Tipo C1)	1993	1994	2000	1997		1998	2000
Muros de corte de concreto armado (Tipo C2, C2a)	1993	1994	2000	1985		1998	2000
Pórticos de concreto armado con mampostería no reforzada (Tipo C3, C3a)			2000			1998	2000
Paneles de concreto (Tipo PC1, PC1a)		1997	2000			1998	2000
Pórticos prefabricados de concreto (PC2, PC2a)			2000		1992	1998	2000
Mampostería reforzada (Tipo RM1)		1997	2000			1998	2000
Mampostería reforzada (Tipo RM2)	1993	1994	2000	1985		1998	2000
Mampostería no reforzada (Tipo URM)		1991	2000		1992	1998	2000
Mampostería no reforzada (Tipo URMa)			2000			1998	2000
Aisladores sísmicos o disipación pasiva		1991	2000				2000

Tabla 30: Códigos aplicables para edificaciones objetivo de sistemas estructurales (Fuente: ASCE 41-13, Tabla 4-6)

4.4.1 Documentación Existente

La recopilación de documentos existentes de la estructura permite la identificación de los sistemas principales sismo resistente, además de la verificación de los detalles de diseño aplicados a los diversos elementos estructurales. Entre los documentos de la estructura están:

- Memorias técnicas de análisis y cálculo estructural.
- Planos de diseño y detallamiento estructural de elementos (Cimentación, columnas, vigas, losas, muros, nudos, etc.).
- Planos arquitectónicos (Ubicación de elementos en planta y elevación).
- Códigos y estándares de diseño estructural.

Adicionalmente a la información recopilada de la estructura, es útil recopilar información de estudios de suelo y geología realizados previo a la construcción de la estructura. Esta información nos permite conocer más a fondo las propiedades físico-mecánica del suelo de cimentación, posibles fallas geológicas u otras características específicas propias del tipo de suelo.

4.4.2 Verificación En Campo

La verificación en campo se desarrolla para la verificación de la estructura tenga concordancia con la información de documentación existente y que pudiera afectar al desempeño del sistema sismo resistente.

El profesional que realice la evaluación debe verificar que la estructura además de estar construida conforme a planos de diseño no haya sido modificada de su diseño original. Las verificaciones en campo permiten en la mayoría de casos identificar si la estructura califica dentro de una edificación objetivo, sin la necesidad de desarrollar investigaciones más complejas o realizar ensayos destructivos.

4.4.3 Evaluación De Condiciones

Después de realizar la verificación en campo se deberá evaluar los resultados del mismo. En primer lugar se evaluará la concordancia la estructura con los planos constructivos. También se incluirá la evaluación de los materiales y el desgaste producido por tiempo de vida útil transcurrido o por eventos sísmicos previos. Finalmente se evaluará el estado de sistemas no estructurales como eléctricos, hidrosanitarios, mecánico, de emergencia u otros presentes en la estructura.

4.4.4 Riesgos Geológicos En Sitio

Dentro de las verificaciones necesarias en campo, es necesario una revisión de la geología en sitio. Se deberá constatar que el suelo de base no presente problemas de licuefacción, falla por deslizamiento o ruptura de la superficie. Las fallas geológicas se ven reflejadas en fallas de los elementos de cimentación como asentamientos diferenciales o desplazamientos laterales por las fallas mencionadas anteriormente. Para el caso de suelos susceptibles a fallas geológicas, el diseño estructural sismo resistente deberá tener en cuenta estos posibles riesgos.

4.5 Selección Y Uso De Checklists

Los Checklists del Nivel de Evaluación se deben seleccionar en función del Nivel de Desempeño y de Sismicidad. Además es necesario completar el checklist de evaluación No Estructural para el Nivel de Sismicidad que lo establezca. Los Checklists cuentan con las siguientes opciones:

- **Cumple (C):** Ratifica el cumplimiento del criterio de evaluación para la estructura en estudio.
- **No Cumple (N/C):** La estructura no cumple con el criterio de evaluación, por lo que es necesario mayor investigación o realizar los siguientes Niveles de Evaluación.
- **Desconocido (D):** No se cuenta con información suficiente o no se puede identificar con claridad y precisión el cumplimiento del criterio de evaluación, se requerirá mayor investigación u otros Niveles de Evaluación.

- No Aplica (N/A): Criterio de Evaluación que no aplica a la estructura en estudio.

El checklist para Nivel de Sismicidad Muy Baja se debe completar para edificaciones de Muy Baja Sismicidad para Nivel de Desempeño Preservación de Vida. Para edificaciones de Muy Baja Sismicidad evaluados con Nivel de Desempeño Inmediata Ocupación y edificaciones de niveles Bajo, Moderado o Alta Sismicidad, se deberá aplicar los Checklists Estructurales y No Estructurales apropiadas para el tipo de sistema sismo resistente de la edificación. Para edificaciones que contengan más de un sistema sismo resistente en sus ejes o con cambios de sistema en la altura de la edificación; se debe utilizar los Checklists estructurales que corresponda a cada sistema por separado.

Para la evaluación de elementos No Estructurales se considera dos Checklists: Preservación de Vida y En Posición de acuerdo al Nivel de Sismicidad.

<i>Checklists requeridos para Nivel de Evaluación 1: Evaluación Visual</i>							
Nivel de Sismicidad	Nivel de Desempeño	Muy Baja Sismicidad Checklist	Configuración Básica Checklist	Preservación de Vida Checklist	Inmediata Ocupación Checklist	Preservación de Vida No Estructural Checklist	En Posición No Estructural Checklist
Muy Bajo	LS	X					
Muy Bajo	IO		X		X		X
Bajo	LS		X	X		X	
Bajo	IO		X		X		X
Moderado	LS		X	X		X	
Moderado	IO		X		X		X
Alto	LS		X	X		X	
Alto	IO		X		X		X

Tabla 31: Checklists requeridos para nivel de evaluación 1: Evaluación visual. (Fuente: ASCE 41-13, Tabla 4-7)

4.6 Análisis En Nivel De Evaluación 1

4.6.1 Fuerzas Sísmicas

4.6.1.1 Fuerzas Pseudo Sísmicas

Las fuerzas pseudo sísmicas en un sentido horizontal dado, deben calcularse con la siguiente expresión:

$$V = CS_a W$$

Ecuación: Fuerzas Pseudo Sísmica (ASCE 41-13, Ecuación 4-1)

C= Factor de modificación para relacionar desplazamientos máximos inelásticos con desplazamientos calculados por respuesta lineal estática, debe ser tomado de la siguiente tabla 32.

Tipo de Edificación	Número de Pisos			
	1	2	3	≥4
Madera (W1, W1a, W2)	1.3	1.1	1.0	1.0
Muros de Corte (S4, S5, C2, C3, PC1a, PC2, RM2, URMa)	1.4	1.2	1.1	1.0
Pórtico Reforzado (S2)				
Mampostería No Reforzada (URM)				
Diafragmas Flexibles (S1a, S2a, S5a, C2a, C3a, PC1, RM1)	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 32: Factor de Modificación *C* (Fuente: ASCE 41-13, Tabla 4-8)

S_a= Aceleración de respuesta espectral para el período fundamental en la dirección considerada, calculado con la ecuación *x* (*S_a*):

W= Peso efectivo actuante ante sismo, incluyendo la carga total muerta.

4.6.1.2 Corte Basal De Pisos

Las fuerzas pseudo sísmicas deben distribuirse verticalmente mediante las siguientes expresiones:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V$$

$$V_j = \sum_{x=j}^n F_x$$

Ecuación *x*, *y*: Ecuaciones de corte basal de piso (ASCE 41-13, Ecuación 4-3a y 4-3b)

V_j= Cortante Basal en el piso *j*;

n= Número total de pisos por encima del nivel de piso;

W= Peso total de acción sísmica;

V= Pseudo fuerza sísmica;

w_i = Porción del peso total W localizado en el piso i ;

w_x = Porción del peso total W localizado en el piso x ;

h_i = Altura (ft) de la base al piso i ;

h_x = Altura (ft) de la base al piso i ;

k = 1.0 si $T \leq 0.5s$ y 2.0 si $T > 2.5s$. Para valores intermedios de T se debe realizar interpolación lineal de k .

4.6.1.3 Aceleración Espectral

La aceleración espectral S_a para el cálculo de pseudo fuerzas sísmicas se debe calcular mediante la expresión:

$$S_a = \frac{S_{X1}}{T}$$

Ecuación: Aceleración espectral (Fuente: ASCE 41-13, Ecuación 4-4)

S_{X1} y S_{Xs} corresponden a los valores obtenidos en el espectro de respuesta del Nivel de Riesgo Sísmico.

4.6.1.4 Período

El período fundamental de la edificación debe calcularse mediante la siguiente expresión:

$$T = C_t h_n^\beta$$

Ecuación: Período fundamental de la edificación (ASCE 41-13, Ecuación 4-5)

Valor C_t	Tipo de edificación
0.035	Pórticos resistente a momento de acero (Tipo S1, S1a)
0.018	Pórticos resistente a momento de concreto (Tipo C1)
0.030	Pórticos de acero con arrojamiento excéntrico (S2, S2a)

Tabla 33: Valores de C_t (Fuente: ASCE 41, 2013)

Valor β	Tipo de edificación
0.80	Pórticos resistente a momento de acero (Tipo S1, S1a)

0.90	Pórticos resistente a momento de concreto (Tipo C1)
0.30	Otros sistemas aporticados

Tabla 34: Valores de C_t (Fuente: ASCE 41, 2013)

h_n = Altura (ft) de la base de la edificación hasta el último nivel de piso

4.6.2 Chequeos Breves De Resistencia Y Rigidez

Los chequeos de resistencia y rigidez de componentes estructurales son necesarios para la verificación de cumplimiento con los criterios de evaluación establecidos en los Checklists utilizados para el Nivel de Evaluación 1.

4.6.2.1 Desplazamiento De Piso En Pórticos A Momento

$$D_r = \left(\frac{k_b + k_c}{k_b k_c} \right) \left(\frac{h}{12E} \right) V_c$$

Ecuación: Desplazamiento de piso: Desplazamiento entre piso dividido por altura de entre piso. (Fuente: ASCE 41-13, Ecuación 4-7)

D_r = Desplazamiento de piso: Desplazamiento entre piso dividido por altura de entre piso;

k_b = I/L para la viga más representativa;

k_c = I/h para la columna más representativa;

h = Altura de entrepiso (in);

I = Momento de inercia (in⁴);

L = Longitud de la viga centro a centro entre columnas (in);

E = Módulo de elasticidad (kip/in²);

V = Fuerza Cortante en la columna (kip).

La fuerza cortante en la columna equivale al cortante basal en cada piso. Para pórticos de concreto armado, se debe aplicar una inercia agrietada que equivale al 50% del valor neto de la inercia.

4.6.2.2 Resistencia Al Corte En Columnas De Pórticos De Concreto

$$v_j^{avg} = \frac{1}{M_s} \left(\frac{n_c}{n_c - n_f} \right) \left(\frac{V_j}{A_c} \right)$$

Ecuación: Resistencia promedio al corte en columnas. (Fuente: ASCE 41-13, Ecuación 4-8)

n_c = Número total de columnas;

n_f = Número total de pórticos en dirección de la carga;

A_c = Sumatoria de las secciones transversales de las columnas en el piso en consideración;

V_j = Cortante basal en el piso en consideración;

M_s = Factor de modificación por tipo de sistema, M_s es igual a 2.0 si la edificación se evalúa bajo Nivel de Desempeño Preservación de Vida y es igual a 1.3 si la edificación se evalúa bajo Nivel de Desempeño Inmediata Ocupación.

CAPÍTULO 5 MEMORIA DE EVALUACIÓN SÍSMICA NIVEL 1 DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

5.1 Antecedentes

5.1.1 *De La Facultad De Ingeniería*

La Facultad de Ingeniería fundada en 1966, es una de las más antiguas facultades de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. En sus inicios la Facultad de Ingeniería contaba únicamente con la carrera de Ingeniería Civil.; en 1991 se implementa la carrera de Ingeniería en Sistemas. En 2005, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador mediante el departamento de Planta Física inicia con el proceso de construcción del nuevo edificio para la Facultad de Ingeniería. Para octubre de 2007, la edificación entra en funcionamiento al comienzo del primer semestre 2007-2008.

5.1.2 *Riesgos Y Amenazas Sísmica De La Edificación*

Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual abarca toda la costa del Océano Pacífico rodeando hasta las costas de Rusia, Japón, Filipinas e Indonesia. Por este motivo, nuestro país presenta un alto riesgo sísmico por la presencia de placas tectónicas así como eventos sísmicos por actividad volcánica en la Cordillera de los Andes que atraviesa la región centro de Ecuador. El edificio de la Facultad de Ingeniería es la edificación más reciente que se ha construido en la PUCE, por lo que es necesario que se realice una evaluación de su respuesta estructural ante eventos sísmicos. Siendo el sismo más reciente el ocurrido de intensidad 7.8 en la escala de Richter con epicentro en la zona de Pedernales y Cojimies el 16 de abril de 2016, es necesario realizar una evaluación sísmica no solo del edificio de la Facultad de Ingeniería sino también de las edificaciones que conforman el campus de la PUCE; debido a que estas edificaciones fueron diseñadas con normas anteriores a la actual Norma Ecuatoriana de Construcción.

5.2 Alcance de la Evaluación

Esta disertación se enfocará en la evaluación sísmica de la parte estructural de la edificación. La evaluación de elementos no estructurales no serán considerados en la porque las referencias normativas consideradas en el estándar ASCE 41-13 no son aplicables para estructuras diseñadas y construidas en el Ecuador.

5.3 Documentación Existente de la Edificación

Para la presente evaluación, se acudió al departamento de Planta Física de la PUCE para la recopilación de información requerida. La información recopilada fue:

- Estudio de Suelos: Estudio realizado por el Laboratorio de Materiales de la PUCE contiene caracterización de suelo, análisis de capacidad de carga, clasificación y propiedades de suelos.
- Planos estructurales: Contiene el detallamiento de elementos estructurales: cimentación, vigas, columnas, losas, muros de ascensores y escaleras.
- Planos arquitectónicos: Contiene la distribución de cada planta, fachadas, cortes.
- Memorias técnicas: Contiene la memoria técnica para sistemas eléctricos, comunicaciones de voz y datos, anti incendios y alarma de vigilancia.

5.4 Consideraciones para la Evaluación en Base al Estándar ASCE 41-13

5.4.1 Nivel de Desempeño Objetivo

Para el edificio de la Facultad de Ingeniería se seleccionó el siguiente Nivel de Desempeño Objetivo:

- Estructural: Inmediata Ocupación (S-1)
- No Estructural: En Posición (N-B)
- NIVEL DE DESEMPEÑO OBJETIVO BPOE: 1-B

5.4.2 Riesgo Sísmico

En base a la sección 2.4 de ASCE 41-13, se determinó los siguientes parámetros de riesgo sísmico para la edificación evaluada:

ESPECTRO DE DISEÑO EN BASE AL CAPÍTULO 2: DESEMPEÑO OBJETIVO Y PELIGRO SÍSMICO DE ASCE 41-13

1. Perfil de Suelo (Sección 2.4.1.6.1)

Tipo de Perfil: D

2. S_s : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 0.2 seg

$$S_s: \quad 2,04$$

3. S_1 : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 1 seg

$$S_1: \quad 0,82$$

4. F_a : Coeficiente de Sitio de Corto Período (Período de 0.2seg) (Tabla 2-3)

$$F_a: \quad 1,00$$

5. F_v : Coeficiente de Sitio de Largo Período (Período de 1seg) (Tabla 2-4)

$$F_v: \quad 1,50$$

6. Ajuste por Clase de Sitio (Sección 2.4.1.6)

$$S_{xs} = F_a S_s \quad 2,04$$

$$S_{x1} = F_v S_1 \quad 1,23$$

5.4.3 Nivel de Sismicidad

En base a la sección 2.5 de ASCE 41-13, se determinó el nivel de sismicidad para la edificación evaluada:

NIVEL DE SISMICIDAD ASCE 41-13. FACTORES EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD (g)

1. S_s : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 0.2 seg

$$S_s: \quad 2,04$$

2. S_1 : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 1 seg

$$S_1: \quad 0,82$$

3. F_a : Coeficiente de Sitio de Corto Período (Período de 0.2seg)

$$F_a: \quad 1,00$$

4. F_v : Coeficiente de Sitio de Largo Período (Período de 1seg)

$$F_v: \quad 1,50$$

5. Nivel de Sismicidad (Sección 2.5)

$$S_{DS} = 2/3 F_a S_s \quad 1,36$$

$$S_{D1} = 2/3 F_v S_1 \quad 0,82$$

6. Definición de Nivel de Sismicidad (Tabla 2-5, ASCE 41-13)

Table 2-5. Level of Seismicity Definitions

Level of Seismicity ^a	S_{DS}	S_{D1}
Very low	<0.167 g	<0.067 g
Low	≥0.167 g	≥0.067 g
Moderate	<0.33 g	<0.133 g
	≥0.33 g	≥0.133 g
	<0.50 g	<0.20 g
High	≥ 0.50 g	≥0.20 g

^aThe higher level of seismicity defined by S_{DS} or S_{D1} shall govern.

7. Definición de Nivel de Sismicidad para el Edificio de la Facultad de Ingeniería PUCE

Nivel de Sismicidad: ALTO

5.4.4 Tipo de Edificación

En base a la sección 3.2.1 de ASCE 41-13, se adopta como tipo de edificación evaluada TIPO C1: Pórticos Resistentes a Momento de Concreto. Este tipo de edificación se define como pórticos ensamblados con concreto colocado en sitio en elementos de vigas y columnas. Los sistemas de piso y entrepiso se encuentran formados por losas planas, aliviadas en uno o dos direcciones de concretos colocado en sitio. Las fuerzas sísmicas

son resistidas por pórticos resistentes a momento que desarrollan su rigidez alrededor de nudos monolíticos de vigas-columnas. Para edificaciones de alta sismicidad se cuenta con reforzamientos en los nudos, separaciones menores de estribos en los elementos y detallamiento estructural más minucioso para proveer a la estructura de un comportamiento dúctil ante la acción de fuerzas sísmicas (Tabla 3-1, ASCE 41, 2013).

5.4.5 Cargas

5.4.5.1 Cargas No Sísmicas

De acuerdo a los planos estructurales se detallan las siguientes cargas no sísmicas aplicadas a la estructura:

- Carga Muerta: Peso propio de la estructura.
- Carga Muerta: Carga permanente no especificada en planos pero se la asume en 200 kg/m^2 .
- Carga Viva: De acuerdo a los planos estructurales se dan 150 kg/m^2 en losas de cubierta y 400 kg/m^2 para losas de entrepisos
-

5.4.5.2 Cargas Sísmicas

Las cargas sísmicas se detallan en los anexo de espectro de respuesta sísmica y corte basal.

5.4.6 Materiales

Los materiales predominantes en la estructura son:

- Hormigón: Se especifica hormigón estructural de 250 kg/m^2 y hormigón de Replanteo de 140 kg/m^2 .
- Acero: El acero de refuerzo es de resistencia a la fluencia de 4200 kg/m^2 en varillas de diámetro de 10, 12, 14, 20, 25 y 32 mm. Para refuerzo transversal en los elementos el diámetro es de 10 mm.

5.4.7 Edificaciones Adyacentes

Las edificaciones adyacentes a la Facultad de Ingeniería son:

- Coliseo PUCE
- Aulas de uso múltiple
- Laboratorio de Materiales de Construcción PUCE

Estas edificaciones no comparten sistemas o elementos estructurales con la edificación evaluada.

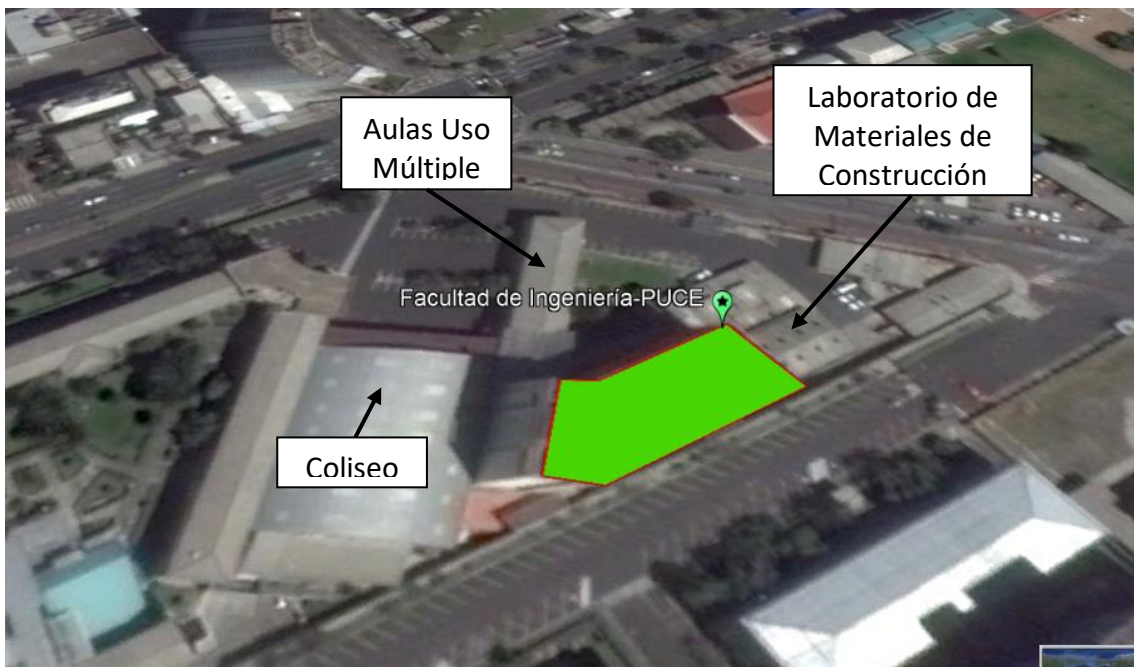


Ilustración 18: Edificaciones Adyacentes a la Facultad de Ingeniería-PUCE Quito. (Fuente: Google Earth). Elaborado por: Francisco Redín

5.4.8 Geotecnia y Cimentaciones

El informe de estudio de Mecánica de Suelos realizado por el Laboratorio de Materiales de Construcción de la PUC Quito reporta los resultados de tres sondeos realizados en el área de implantación de la estructura. Los trabajos realizados en el estudio fueron:

- *Perfil estratigráfico de los puntos de sondeo a 10 m de profundidad cada uno.*
- *Ensayo de penetración estándar NSPT en cada metro de perforación.*
- *Caracterización de suelos.*

- *Análisis de capacidad de carga.*
- *Análisis de asentamientos.*
- *Recomendaciones de tipo y profundidad de cimentación.*

Dentro de las recomendaciones del estudio, se anotaron que la capacidad admisible del suelo de fundación está en 12 t/m² a una profundidad no menor a 2.50 m.

5.5 Verificación de Campo

Para la presente disertación se realizó la verificación de campo de la estructura el 19 de julio de 2017. En esta inspección se procedió a evaluar el estado de los elementos estructurales mediante la inspección de fallas o deterioros visibles que pudieran afectar factores como resistencia, agrietamiento o deformaciones. Adicionalmente se constató el estado de algunos componentes no estructurales que se encontraron accesibles durante la inspección; sin embargo la presente evaluación será de los elementos estructurales y solo un reporte general de los elementos no estructurales.

5.5.1 Verificación de Cimentaciones

La verificación visual de las cimentaciones no fue posible por la ubicación de las mismas dentro del contrapiso del parqueadero de la facultad. Adicionalmente se pudo constatar que las cimentaciones no presentan problemas de asentamientos diferenciales por fallas en el suelo de cimentación. Esta verificación es posible porque las columnas ancladas a las cimentaciones no fisuras o agrietamiento tanto a lo largo de elemento como en las uniones.

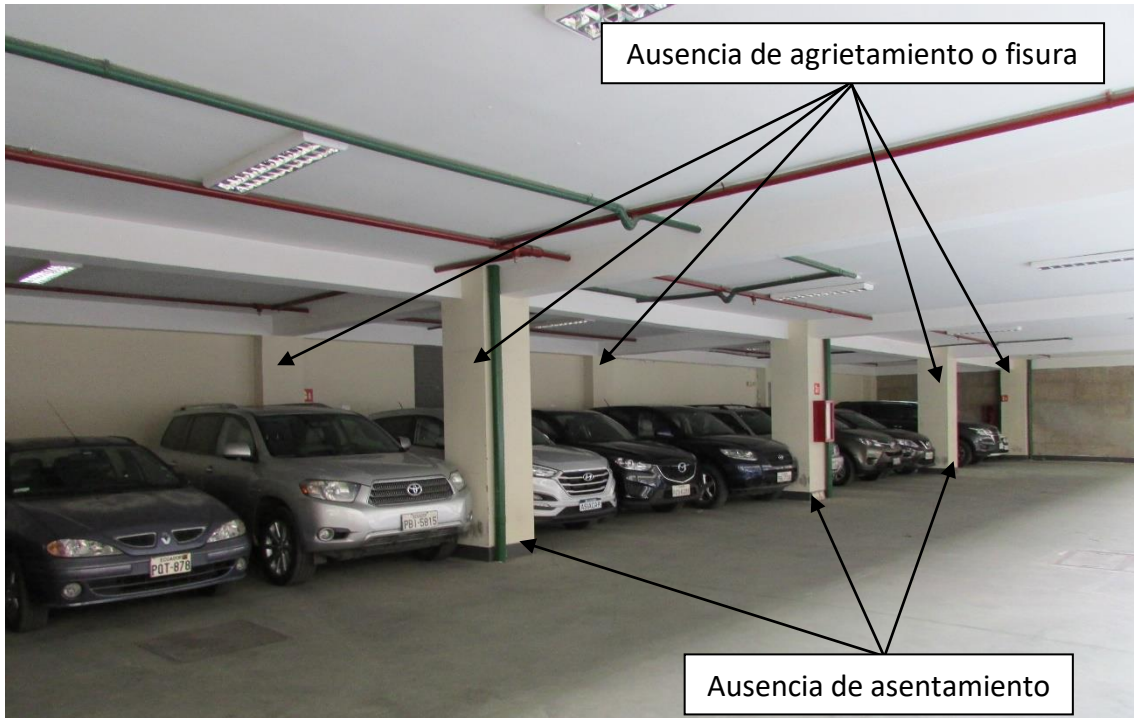


Ilustración 19: Estado de elementos sobre la cimentación. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

5.5.2 Verificación de Vigas y Columnas

En la verificación de las vigas se constató la ausencia de agrietamiento o deflexión; además las columnas no presentan daños o deterioros similares a las citadas para las vigas inspeccionadas.



Ilustración 20: Viga exterior de losa de cubierta. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017



Ilustración 21: Viga y columna interior de laboratorio TI. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

5.5.3 Verificación de Uniones Viga-Columna

Las condiciones encontradas en las uniones vigas-columnas (nudos) no presentan daños estructurales por posibles fallas de corte o confinamiento del núcleo. Sin embargo, se pudo observar agrietamiento en zonas cercanas al nudo que no corresponde a una falla estructural; la falla es el fisuramiento en las juntas de la mampostería con vigas y columnas. Esta falla puede producirse al no estar anclada correctamente la mampostería con los elementos mediante anclajes conocidos como chicotes o al erróneo terminado de las paredes al alcanzar la altura con las vigas.

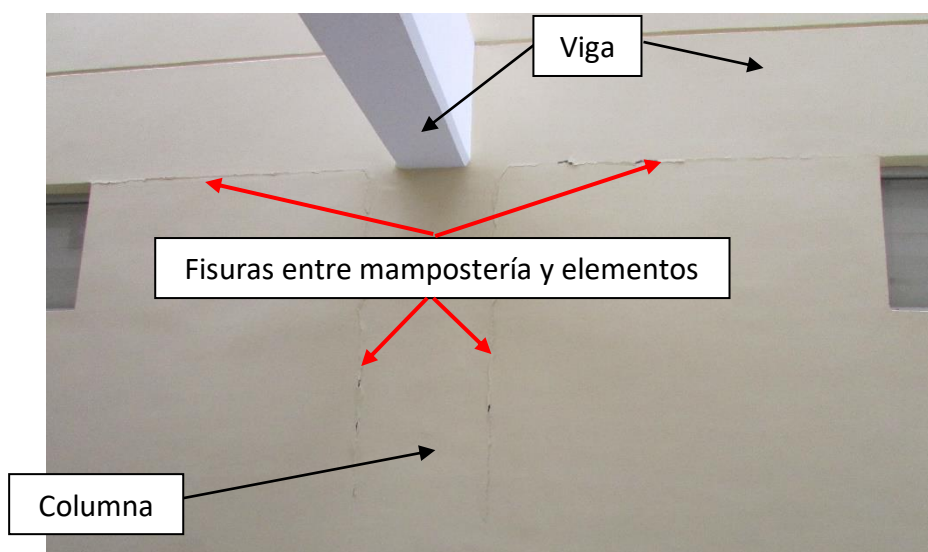


Ilustración 22: Agrietamiento de mampostería en zona unión viga-columna 4to piso. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

5.5.4 Verificación de Elementos No Estructurales

El principal daño no estructural fue en la mampostería. Este elemento puede afectarse de varias maneras:

- Juntar la mampostería con elementos de diferentes características: En este caso la mampostería fue afectada porque la puerta que cuenta con un marco de acero de rigidez mayor al conjunto de bloques que forman la pared.

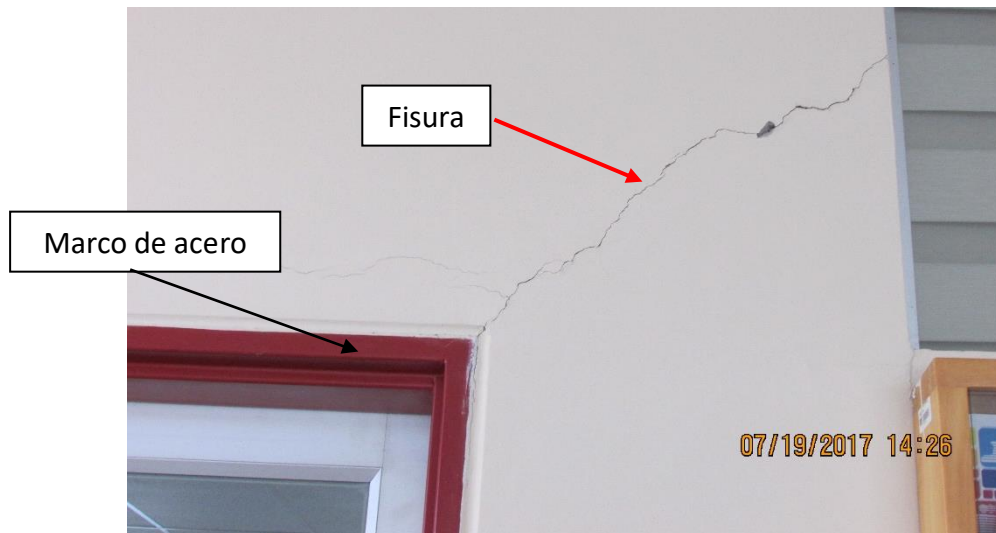
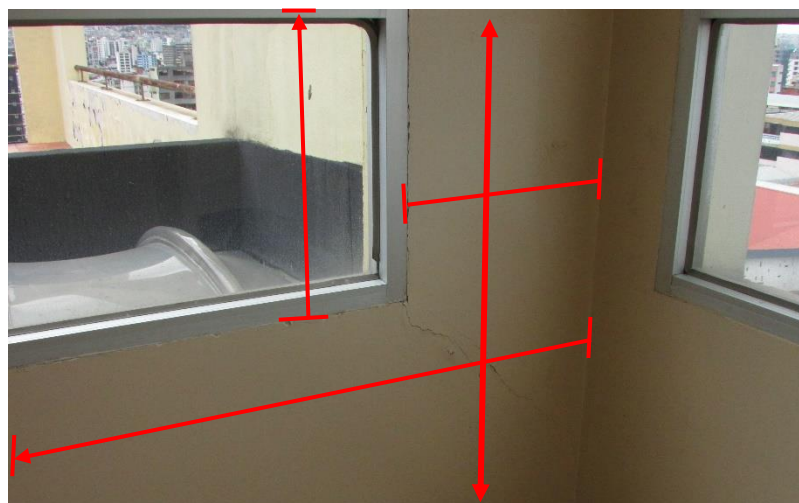


Ilustración 23: Fisura por elementos de diferente rigidez. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

- Configuración incorrecta de elementos: En este caso las ventanas ubicadas en la parte superior de las paredes de aulas para proporcionar iluminación natural; debida a sus dimensiones respecto a la pared producen un efecto similar al de columna corta en la zona de fijación de la ventana.



*Ilustración 24: Efecto similar a "columna corta" entre mampostería y ventanas.
Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017*

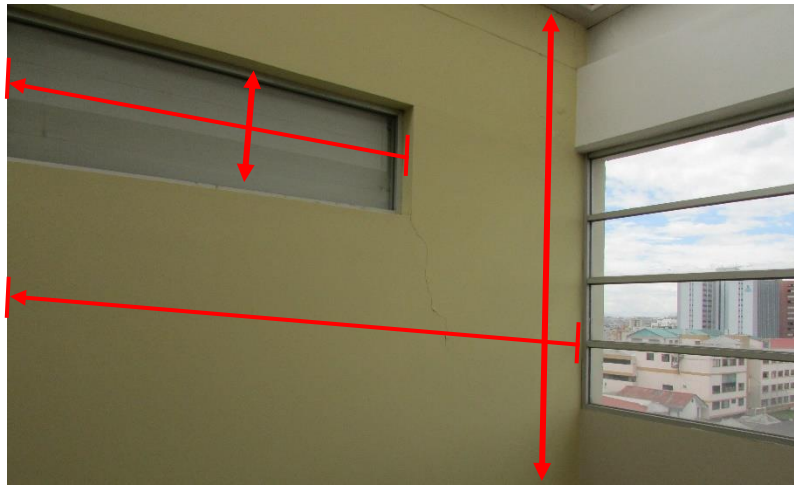


Ilustración 25: Relación de dimensiones de mampostería y ventanas de aulas 2do, 3ro, 4to, 5to y 6to piso. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

- Separación de elementos: Este problema se puede constatar en los techos falsos de la edificación. Al momento de producirse movimientos en la estructura este elemento pierde el material que sella las juntas y se notan separaciones o aspectos de fisuras.



Ilustración 26: Separación de elementos de techo falso. Capturado y modificado por Francisco Redín, 2017

5.5.5 Verificación de Otros Elementos No Estructurales

Se constató el estado operacional de algunos elementos no estructurales como:

- Equipamiento de ascensores
- Equipamiento de aulas
- Equipamiento de laboratorio de TI
- Cubículos de profesores



Ilustración 27: Equipamiento de ascensores. Capturado por Francisco Redín, 2017



Ilustración 28: Equipamiento de aulas. Capturado por Francisco Redín, 2017



Ilustración 29: Equipamiento de laboratorio de TI. Capturado por Francisco Redín, 2017

Ilustración 30: Servidores de laboratorio de TI. Capturado por Francisco Redín, 2017



Ilustración 31: Cubículos de profesores. Capturado por Francisco Redín, 2017

5.6 Análisis Numérico del Nivel de Evaluación 1

5.6.1 Pseudofuerzas Sísmica

$$V = C S_a W$$

$$\begin{aligned} C &= 1,0 \text{ Tabla 4-8} \\ S_a &= 0,68 \text{ Sección 4.5.2.3} \\ W &= 4094,97 \text{ Ton} \\ V &= 2786,44 \text{ Ton} \end{aligned}$$

5.6.2 Cortante Basal de Piso

$$\begin{aligned} k &= 1,655 \\ V &= 2786,44 \text{ Ton} \end{aligned}$$

NIVEL	h_x (m)	h_x (ft)	w_x (ton)	$w_x h_x^k$	F_x (ton)
Cubierta	24,40	80,05	234,98	331983,58	477,67
Sexto	21,00	68,90	509,87	561932,42	808,54
Quinto	17,60	57,74	506,18	416468,61	599,24
Cuarto	14,20	46,59	505,57	291588,22	419,55
Tercero	10,80	35,43	513,57	188309,09	270,95
Segundo	7,40	24,28	513,57	100724,12	144,93
Primero	4,00	13,12	616,34	43670,45	62,84
Planta Baja	0,60	1,97	619,30	1899,75	2,73

$$\Sigma w_x h_x^k \quad 1936576,24$$

5.6.3 Aceleración Espectral

$$S_a = S_{x1} / T$$

$$\begin{aligned} S_{x1} &= F_v S_1 & S_{x1} &= 1,23 \\ F_v &= 1,50 & T &= 1,81 \\ S_1 &= 0,82 & S_a &= 0,68 \end{aligned}$$

5.6.4 Período

$$T = C_t h_n^\beta$$

$$C_t = 0,035$$

$$h_n = 80,05 \text{ ft}$$

$$\beta = 0,90$$

$$T = 1,81 \text{ seg}$$

5.7 Justificación de Checklist

- **REDUNDANCIA:** El número de líneas de pórticos resistentes a momento en cada dirección principal es mayor o igual a 2. El número de claros de pórticos a momento en cada línea es mayor o igual a 3.

En base a los planos estructurales y arquitectónicos, la estructura cuenta con cuatro pórticos en el sentido X y con tres pórticos en el sentido Y.

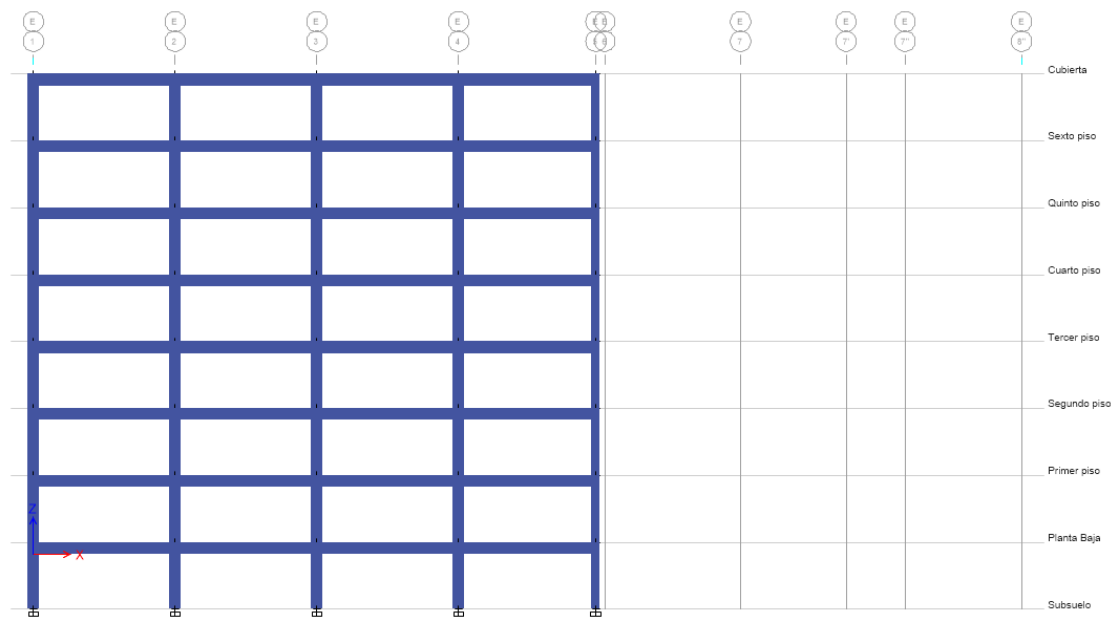


Ilustración 32: Redundancia de pórticos en sentido X. Fuente: Modelo ETABS. Elaborado por: Francisco Redín

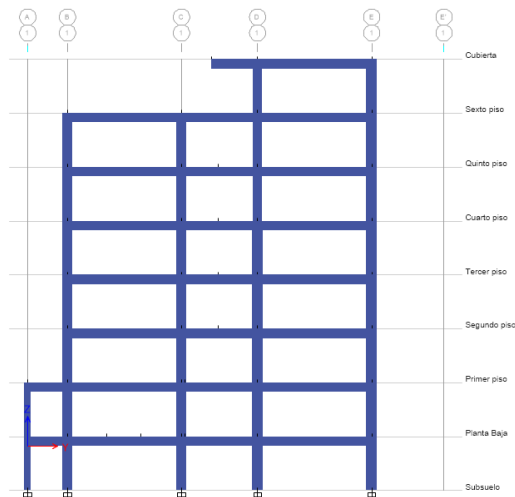


Ilustración 33: Redundancia de pórticos en sentido Y. Fuente: Modelo ETABS. Elaborado por: Francisco Redín

- 2. MAMPOSTERÍA: Toda la mampostería o paneles de concreto están aisladas de elementos estructurales.

La mampostería de la edificación no cuenta con conexiones a los componentes estructurales. Sin embargo las columnas cuentan con varillas denominadas “chicotes” que le proveen de estabilidad a la mampostería mas no formar parte del sistema sismo resistente.

- 3. RESISTENCIA AL CORTE EN COLUMNAS: La resistencia al corte de columnas calculada con los chequeos de resistencia y rigidez es menor que 100 lb/in² o $2 \sqrt{f'c}$

La capacidad de resistencia al corte en columnas se detalla en las siguientes tablas:

$$\begin{aligned} M_s &= 1,3 \\ \text{Límite} &< 2 \sqrt{f'c} \\ 2 \sqrt{250} &= 31,62 \end{aligned}$$

SENTIDO X								
NIVEL	F _x (ton)	V _j (ton)	A _c (cm ²)	n _c	n _f	n _c -n _f	v _j ^{avg}	REVISION
Cubierta	477,67	477,67	35500,00	10	4	6	17,25	OK
Sexto	808,54	1286,21	71000,00	20	4	16	17,42	OK
Quinto	599,24	1885,45	71000,00	20	4	16	25,53	OK
Cuarto	419,55	2305,00	80400,00	20	4	16	27,57	OK
Tercero	270,95	2575,95	80400,00	20	4	16	30,81	OK
Segundo	144,93	2720,88	84700,00	20	4	16	30,89	OK
Primero	62,84	2783,71	84700,00	20	4	16	31,60	OK
Planta Baja	2,73	2786,44	91709,73	29	4	25	27,11	OK

Tabla 35: Comprobación de resistencia al corte de columnas en sentido X. Elaborado por: Francisco Redín

$$\begin{aligned} \text{Límite} &< 2\sqrt{f'c} & M_s &= & 1,3 \\ & 2\sqrt{250} & & = & 31,62 \end{aligned}$$

SENTIDO Y								
NIVEL	F _x (ton)	V _j (ton)	A _c (cm ²)	n _c	n _f	n _c -n _f	v _j ^{AVE}	REVISION
Cubierta	477,67	477,67	35500,00	10	3	7	14,79	OK
Sexto	808,54	1286,21	71000,00	20	3	17	16,39	OK
Quinto	599,24	1885,45	71000,00	20	3	17	24,03	OK
Cuarto	419,55	2305,00	80400,00	20	3	17	25,94	OK
Tercero	270,95	2575,95	80400,00	20	3	17	28,99	OK
Segundo	144,93	2720,88	84700,00	20	3	17	29,07	OK
Primero	62,84	2783,71	84700,00	20	3	17	29,74	OK
Planta Baja	2,73	2786,44	91709,73	29	3	26	26,07	OK

Tabla 36: Comprobación de resistencia al corte de columnas en sentido Y. Elaborado por: Francisco Redín

- 4. RESISTENCIA AXIAL EN COLUMNAS: El esfuerzo axial causado por cargas gravitacionales no factoradas en columnas es menor a 0,13f'c o calculada mediante chequeos de resistencia y rigidez es menor a 0,30 f'c.

La capacidad de resistencia fuerza axial en columnas se detalla en las siguientes tablas:

$$\begin{aligned} \text{Límite} &< 0,30\sqrt{f'c} \\ & 0,30\sqrt{250} = & 4,74 \end{aligned}$$

SENTIDO X							
V (ton)	h _n (ft)	M _s	L (ft)	n _f	A _{col} (ft ²)	p _{ot}	REVISION
2786,44	80,01	1,30	240,07	4	48976	2,43	OK

SENTIDO X							
V (ton)	h _n (ft)	M _s	L (ft)	n _f	A _{col} (ft ²)	p _{ot}	REVISION
2786,44	80,01	1,30	240,07	3	41979	3,78	OK

Tabla 37: Comprobación de resistencia de fuerza axial de columnas en sentido X y Y. Elaborado por: Francisco Redín

- 5. COLUMNAS DE CONCRETO: Todas las columnas de concreto se acoplan en la cimentación, y las espigas pueden desarrollar la capacidad de tensión del refuerzo en columnas del sistema resistente a fuerzas sísmicas.

El detallamiento de los planos estructurales de cimentaciones y columnas especifica que todas las columnas nacen desde la cimentación, permitiendo la correcta transmisión de cargas de diversos tipos desde la estructura hacia el suelo de fundación.

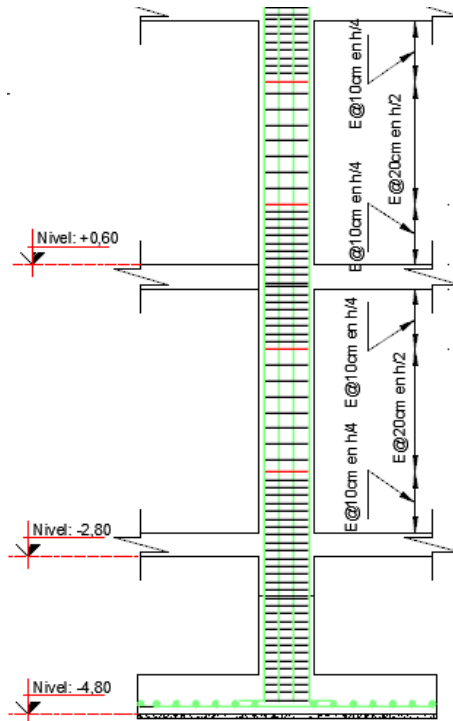


Ilustración 34: Corte típico de columna. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

- 6. LOSAS PLANAS: El sistema sismo-resistente no es un pórtico de columnas con losa plana o placas sin apoyo de vigas.

El sistema de losas de entrepiso y de cubierta consta de losa nervada en dos direcciones con una capa superior a compresión de concreto.

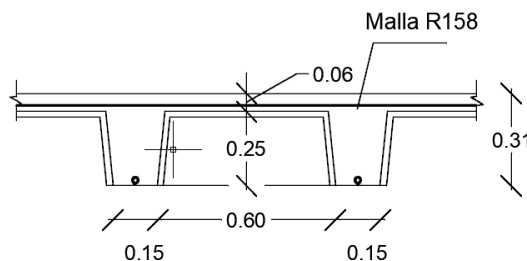


Ilustración 35: Corte típico de losa. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por: Francisco Redín

- 7. COLUMNAS: No hay columnas en un nivel con relaciones de ancho/espesor inferior al 75%.

A continuación se presenta la tabla con la relación ancho/ espesor de las columnas pertenecientes al bloque 1. Como se puede observar todas tienen una relación mayor al 75%.

COLUMNAS C1-C2-C3-C4-D1-D2-D3-D4			COLUMNAS B2-B3-B4-E2-E3-E4			COLUMNAS B1-E1			COLUMNAS B5-E5-C5-D5		
b (cm)	e (cm)	b/e	b (cm)	e (cm)	b/e	b (cm)	e (cm)	b/e	b (cm)	e (cm)	b/e
60	60	1,00	60	60	1,00	65	60	1,08	80	40	2,00
60	60	1,00	60	60	1,00	65	60	1,08	80	40	2,00
65	70	0,93	65	60	1,08	65	60	1,08	80	40	2,00
65	70	0,93	65	60	1,08	65	60	1,08	80	40	2,00

Tabla 38: Relación b/e de columnas. Elaborado por Francisco Redín

- 8. COLUMNA FUERTE-VIGA DÉBIL: La suma de momentos en las columnas es 20% mayor al de las vigas en los nudos del pórtico.

En base a las recomendaciones que hace ASCE 41-13, el análisis de columna fuerte-viga débil corresponde al Nivel de Evaluación 2 donde se analizan las capacidades de elementos. Para el Nivel de Evaluación 1 este punto puede ser tomado como opcional.

- 9. REFUERZO EN VIGAS: Al menos dos barras superiores longitudinales y dos barras inferiores longitudinales se extienden continuamente a lo largo de la longitud de cada pórtico. Al menos el 25% de las barras longitudinales proporcionadas en las juntas, ya sea para el momento positivo o negativo, son continuas a lo largo de la longitud de los miembros.

Se realizó la cuantificación de acero superior e inferior en todas las vigas del bloque uno basados en la información de los planos estructurales. El resultado cumple con la recomendación y se encuentra detallado en el Anexo X: Porcentaje de acero en vigas.

- 10. TRASLAPES EN COLUMNAS: Todas las longitudes de traslape de columnas son superiores a 50db y están encerradas por vínculos espaciados a 8db o menos.
- 11. TRASLAPES EN VIGAS: Los traslapes o acopladores mecánicos para refuerzo de viga longitudinal no se encuentran dentro de $l_b/4$ de las juntas y no deben ubicarse cerca de posibles rótulas plásticas.

Los traslapes en vigas se realizan en el centro de la luz de las vigas.

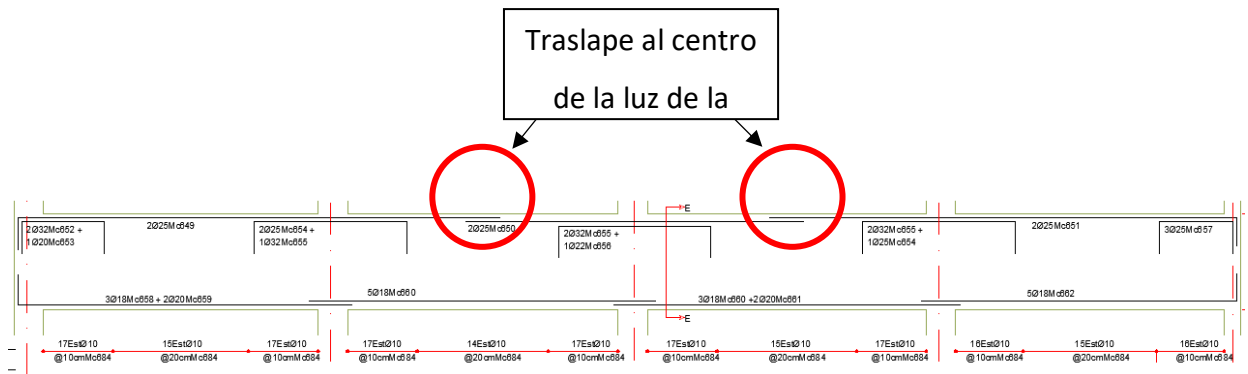


Ilustración 36: Ubicación de traslapes en vigas. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por Francisco Redín

- 12. ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN COLUMNAS: Las columnas de los marcos tienen una separación igual o inferior a $d/4$ en toda su longitud y a $8 db$ o menos en todas las posibles ubicaciones de las bisagras plásticas.

El espaciamiento de las columnas se muestra en la imagen:

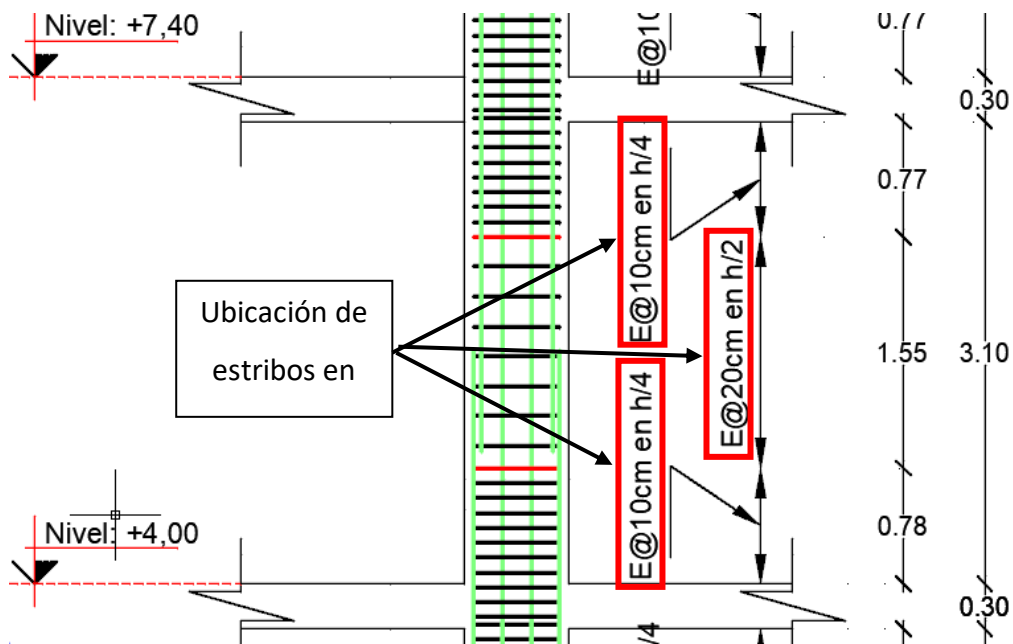


Ilustración 37: Ubicación típica de estribos en columnas. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por Francisco Redín

- 13. **ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN VIGAS:** Todas las vigas tienen estribos espaciados a menos de $d/2$ en toda su longitud. En posibles ubicaciones de rótulas plásticas, los estribos están espaciados a un valor mínimo de $8 d_b$ o $d/4$.

De acuerdo a los planos estructurales, se muestra el cumplimiento en base al criterio de calculista.

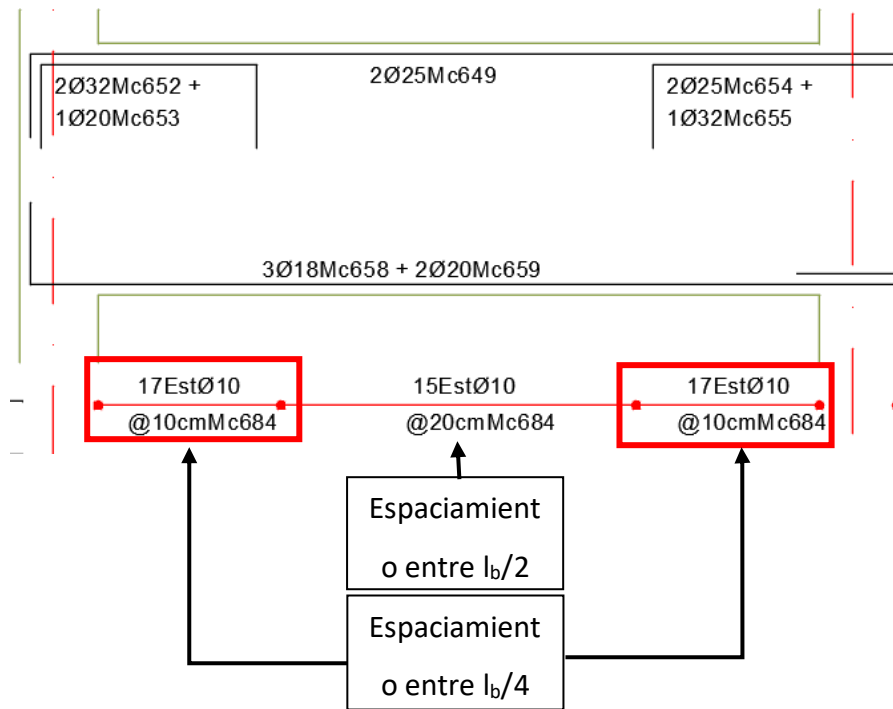


Ilustración 38: Ubicación típica de estribos en vigas. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por Francisco Redín

- 14. **REFUERZO TRANSVERSAL DEL NUDO:** Las uniones viga-columna tienen estribos espaciados a $8 d_b$ o menos.

El espaciamento en las zonas de los nudos corresponde a 10cm el cual es menor al de los diámetros utilizados en las vigas

d_b (mm)	$8d_b$ (cm)
16	12,8
18	14,4
20	16,0
22	17,6
25	20,0
32	25,6

- 15. **EXCENTRICIDAD DEL NUDO:** No hay excentricidades mayores al 20% de la dimensión del plano de columna más pequeño entre las líneas centrales de la viga y la columna.

La estructura no presenta excentricidades entre vigas y columnas porque el armado de los elementos es ortogonales respecto a los ejes de los elementos.

- 16. **ESTRIBOS DE AMARRE:** Los estribos de vigas y los nudos de las columnas están anclados en los núcleos de los miembros con ganchos de 135 grados o más.

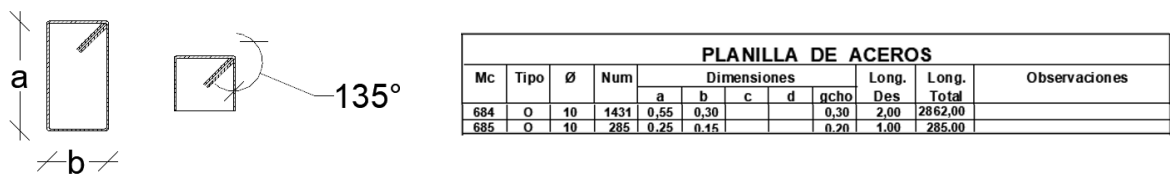


Ilustración 39: Geometría estribo tipo "O" con gancho. Fuente: Planta Física-PUCE. Modificado por Francisco Redín

- 17. **COMPATIBILIDAD DE DEFLEXIONES:** Los componentes secundarios tienen la capacidad a corte para desarrollar la resistencia a la flexión de los componentes y cumplen con los siguientes elementos: TRASLAPES DE COLUMNA, TRASLAPES DE VIGA, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN COLUMNA, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN VIGAS.

La estructura cumple con los puntos citados en este numeral

- 18. **LOSAS PLANAS:** Las losas o placas planas que no forman parte del sistema resistente a fuerzas sísmicas.

De acuerdo a lo citado en el punto 6, la losa de la edificación es nervada en 2 direcciones con una capa superior en compresión.

CAPÍTULO 6 VERIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE SOFTWARE ETABS

6.1 Consideraciones

En este capítulo se realizará la modelación, análisis y verificaciones de la estructura del bloque 1 de la Facultad de Ingeniería. Se incluirá mediante la captura de pantallas los procedimientos para los procedimientos anteriormente descritos que se realizaron a la estructura.

Dentro de los análisis considerados para establecer el desempeño sísmico de la estructura, se ha realizado análisis lineales como no lineales. Los análisis lineales permiten evaluar los desplazamientos de la estructura en diferentes casos de análisis. En el caso del análisis no lineal nos ayuda en determinar los niveles de desempeño que se han establecido para esta evaluación sísmica.

6.2 Procedimiento con capturas de pantalla

6.2.1 Materiales y Elementos Estructurales

Se crea el material hormigón de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ en *Define* → *Materials* → *Add New Material*.

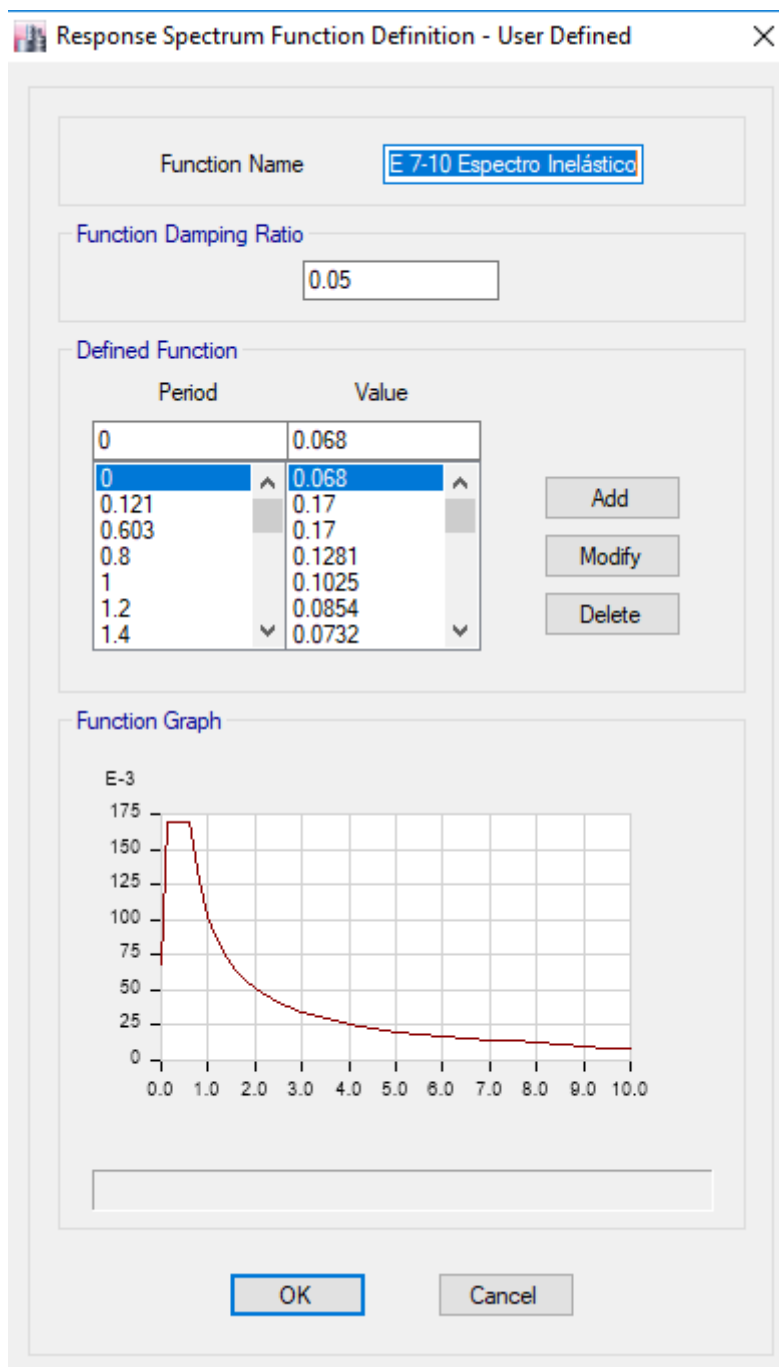
Se definen los elementos tipo *FRAME* para vigas y columnas en *Define* → *Sections Properties* → *Frame Sections*.

Se definen los elementos tipo *SHELL* para la losa en *Define* → *Sections Properties* → *Slab Sections*.

6.2.2 Definición de Espectro de Diseño

El programa *ETABS* permite definir los espectros de diseño basados en normativas de diferentes países así como espectro definidos por el usuario. En esta disertación se definió tanto el espectro basado en *ASCE 7-10* como en la norma ecuatoriana *NEC-SE-DS* que se presentan en la sección de anexos.

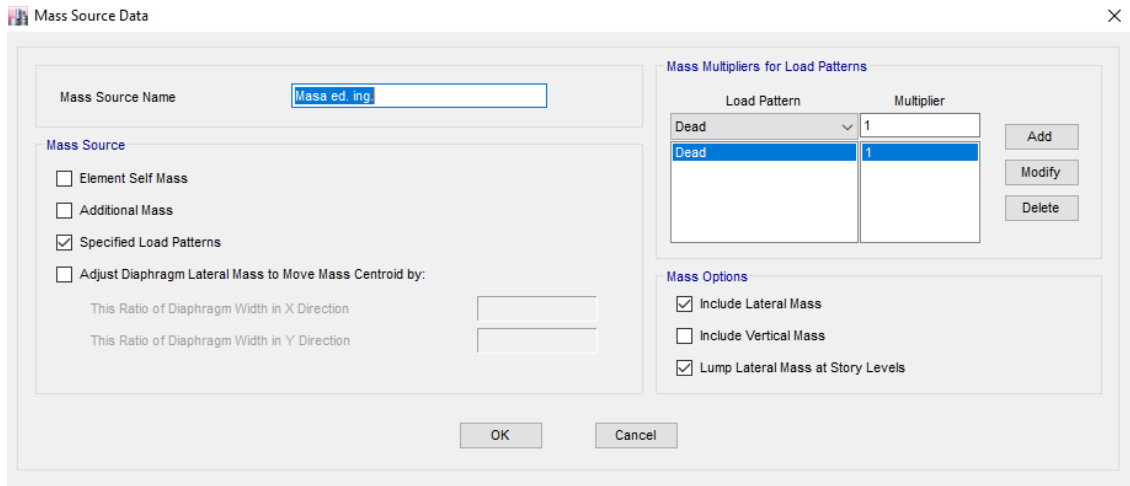
Esta se lo hace en Define → Funcios → Response Spectrum → Add New Fuction



6.2.3 Definición de Fuente de Masa

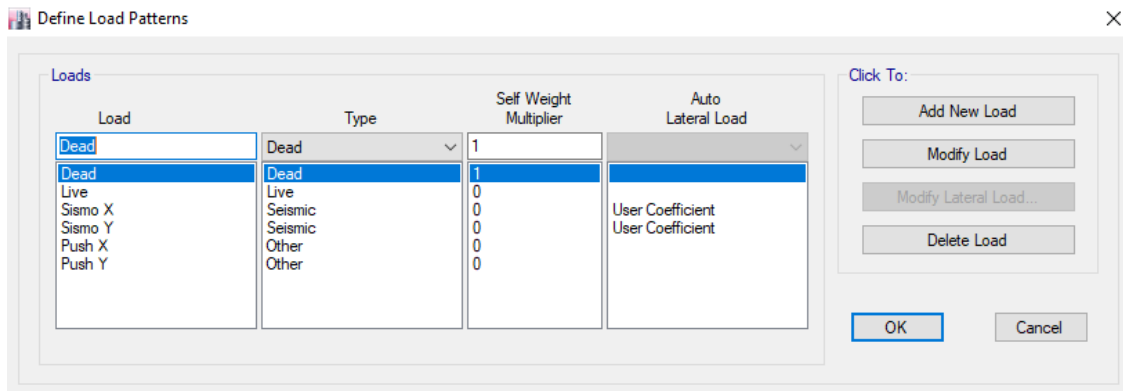
La fuente de masa considerada para el análisis corresponde a la sección 4.5.2.1 de ASCE 41-13 que es igual al 100% de la carga muerta total de la estructura.

Define → Mass Source → Add.



6.2.4 Definición de Patrones de Carga

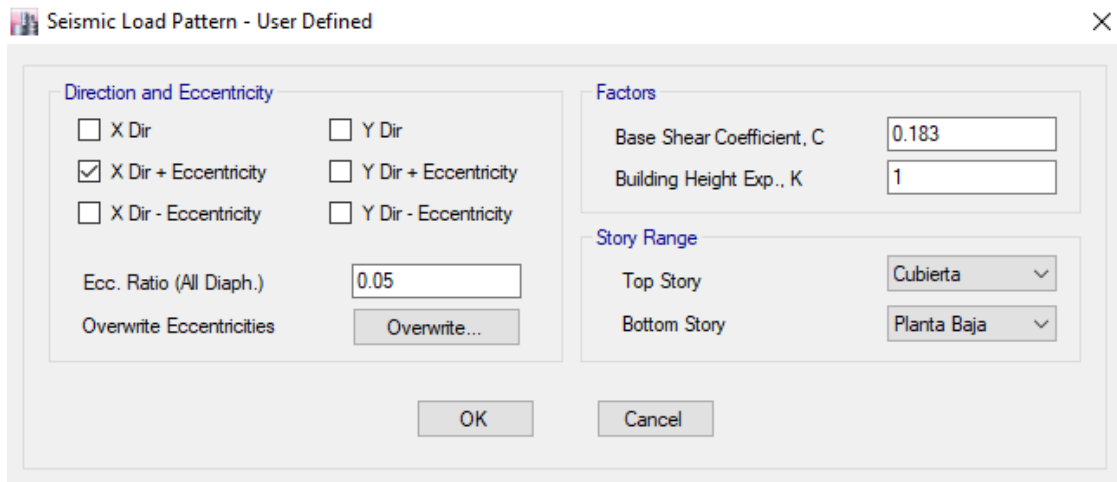
En Define → Load Patterns se determina los siguientes casos de patrones de carga:



- **Carga Muerta (DEAD):** En este patrón se incluye se multiplicador 1 para considerar en el análisis tanto el peso propio de la estructura como la carga muerta adicional.
- **Carga Viva (LIVE)**

SISMO X y Y: Para el caso de Sismo X y Y (por separado cada caso) se considera la dirección respectiva con una excentricidad accidental del 5% y un coeficiente de corte basal de 0.183 calculado en base al capítulo de Riesgo Sísmico de la NEC 15.

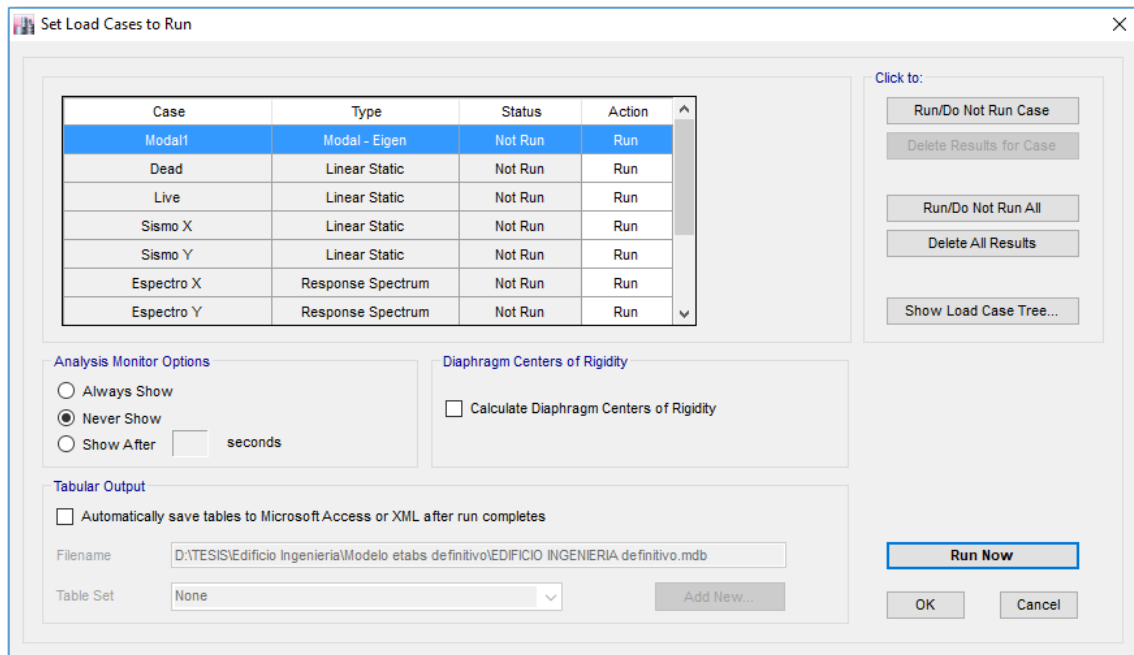
6.2.5 Definición de Casos de Carga



- Los casos PUSH X y PUSH Y se requieren para el Análisis Estático No Lineal que se detallarán en la sección correspondiente.

6.2.6 Correr el Análisis de la Estructura

Para correr el análisis de la estructura de sigue *Analyze* → *Set Loads Cases to Run*. Podemos seleccionar los casos que necesitamos realizar la corrida en el programa.



6.2.7 Revisión de Resultados

Para revisar los resultados se puede realizar las siguientes opciones:

- Cargas asignadas: *Display* → *Load Assigns* → *Joints/Frames/Shell*
- Deformaciones por casos de carga: *Display* → *Deformed Shape*

- Fuerzas/Esfuerzos en elementos: Display → Force/Stress Diagrams
- Tablas de resultados: Display → Show tables

6.3 Resultados de Análisis Lineal

6.3.1 Análisis Modal

Se acepta el análisis modal porque se puede observar que la participación modal es mayor al 90% establecido en la NEC.

Case	Mode	Periodo sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
Modal1	1	1.147	0.6884	0.0214	0	0.6884	0.0214	0
Modal1	2	1.035	0.0372	0.6652	0	0.7255	0.6866	0
Modal1	3	0.882	0.037	0.0338	0	0.7625	0.7205	0
Modal1	11	0.141	0.0006	0.0286	0	0.9551	0.9142	0
Modal1	30	0.043	0	6.72E-07	0	0.9999	0.9856	0

Tabla 39: Participación de Masa Modal. Fuente: Tablas de resultados ETABS

6.3.2 Cortante Basal Estático vs. Cortante Basal Dinámico

Para la aceptación, se debe verificar que la relación entre el Cortante Estático y Cortante Basal Dinámico sea igual o mayor al 85%. En caso de no alcanzar este porcentaje se debe modificar el factor de escala en el espectro que inicialmente es de 9.81.

Caso de sismo	Corte Basal (ton)	Relación Vest/Vdin	% mínimo	Aceptación	Escala corregida
SISMO X	532.847	0.4658	0.85	No cumple	17.9014
SISMO Y	532.847	0.5160	0.85	No cumple	16.1598
ESPECTRO NEC - X	248.223				
ESPECTRO NEC - Y	274.928				

Tabla 40: Comparación de Cortante Basal Estático vs. Dinámico

<i>Caso de sismo</i>	<i>Corte Basal (ton)</i>	<i>Relación Vest/Vdin</i>	<i>% mínimo</i>	<i>Aceptación</i>
SISMO X	532.8466	0.8745	0.85	Cumple
SISMO Y	532.8466	0.8501	0.85	Cumple
ESPECTRO NEC - X	465.9576			
ESPECTRO NEC - Y	452.8861			

Tabla 41: Corrección de Cortante Basal Estático vs. Dinámico

6.3.3 Derivas Máximas de Piso

Las derivas de los casos principales se presentan el anexo 7.

Para las derivas de piso se evalúa la aceptación mediante la NEC-SE-DS y ASCE 7-10:

- *SISMO X:*

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.001837$$

$$0.011022 < 0.02 \rightarrow \text{CUMPLE PARÁMETRO NEC-SE-DS}$$

- *SISMO Y:*

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.002232$$

$$0.013392 < 0.02 \rightarrow \text{CUMPLE PARÁMETRO NEC-SE-DS}$$

- *ESPECTRO NEC - X:*

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.001724$$

$$0.010344 < 0.02 \rightarrow \text{CUMPLE PARÁMETRO NEC-SE-DS}$$

- *ESPECTRO NEC - Y:*

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.001979$$

$$0.011874 < 0.02 \rightarrow \text{CUMPLE PARÁMETRO NEC-SE-DS}$$

Para evaluar la aceptación mediante criterios de ASCE 7-10 debemos tener en consideración:

- La deriva máxima en función del riesgo sísmico IV corresponde a la siguiente expresión:

$$\Delta_a = 0.010 * h_{xx}$$

$$h_{xx} = \text{Altura de entrepiso}$$

- En la sección 12.12.1.1 de ASCE 7-10 la deriva de piso se afecta por la Categoría D de tipo de suelo de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta_a}{P}$$

$$P = 1.3 \text{ (Sección 12.3.4.2 ASCE 7-10)}$$

Teniendo en cuenta estos criterios se obtienen los siguientes resultados

- ESPECTRO ASCE – X

$$\Delta_e < \Delta_a$$

$$0.001644 < 0.010 * 3.40 / 1.3$$

$$0.001644 < 0.02615 \text{ CUMPLE PARÁMETRO ASCE 7-10}$$

- ESPECTRO ASCE – Y

$$\Delta_e < \Delta_a$$

$$0.001644 < 0.010 * 3.40 / 1.3$$

$$0.002042 < 0.02615 \text{ CUMPLE PARÁMETRO ASCE 7-10}$$

6.3.4 Desplazamientos Máximos

Los desplazamientos máximos de los casos principales se presentan el anexo 8.

- SISMO X

$$8.542325 \text{ cm}$$

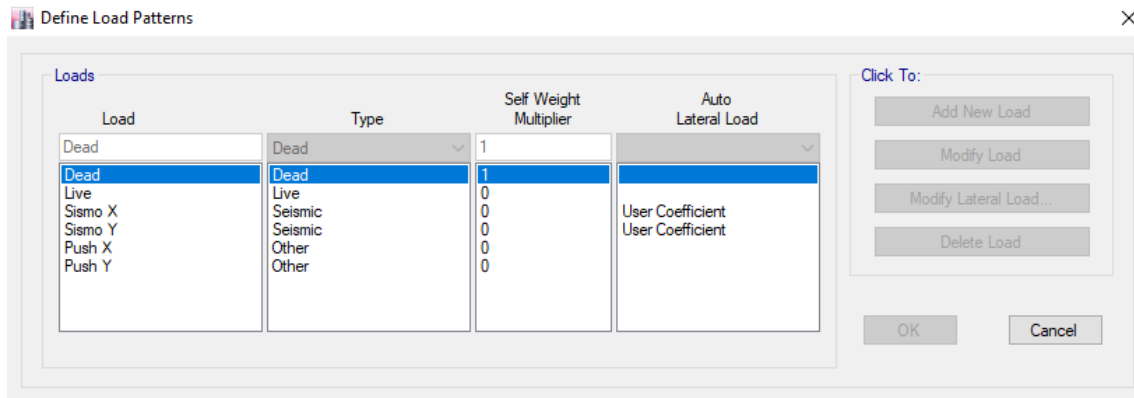
- SISMO Y

$$7.508299 \text{ cm}$$

6.4 Análisis No Lineal Estático – Pushover de la Estructura

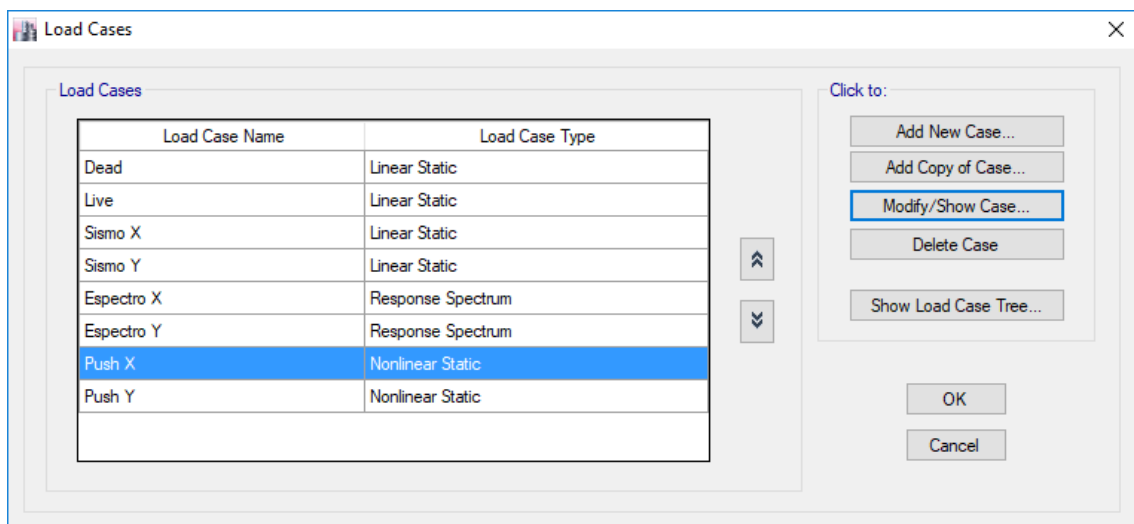
6.4.1 Definir Patrones de Carga

Para el análisis no lineal debemos adicionar dos patrones de cargas: PUSH X y PUSH Y. A estos patrones se realizarán los cambios requeridos en la configuración de los casos de carga.



6.4.2 Definir Casos de Carga

Los casos de carga tanto para PUSH X y PUSH Y se establecen de la siguiente manera:



Al modificar el caso de carga en primer lugar debemos establecer el tipo No Lineal Estático del caso analizado. La carga aplicada será de aceleración con factor de 1

Load Case Data

General

Load Case Name: Push X

Load Case Type: Nonlinear Static

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Masa ed. ing.

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

Buttons: Add, Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control

Results Saved: Multiple States

Nonlinear Parameters: User Defined

Buttons: OK, Cancel

En la aplicación de la carga se va a controlar el desplazamiento mediante un nudo de control (DOF). Es recomendable que este control se ubique en el centro de rigideces o un nudo lo más cercano a este.

La magnitud del desplazamiento está entre 2 a 4% de la altura total de la estructura.

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of cm

Monitored Displacement

DOF/Joint

Generalized Displacement

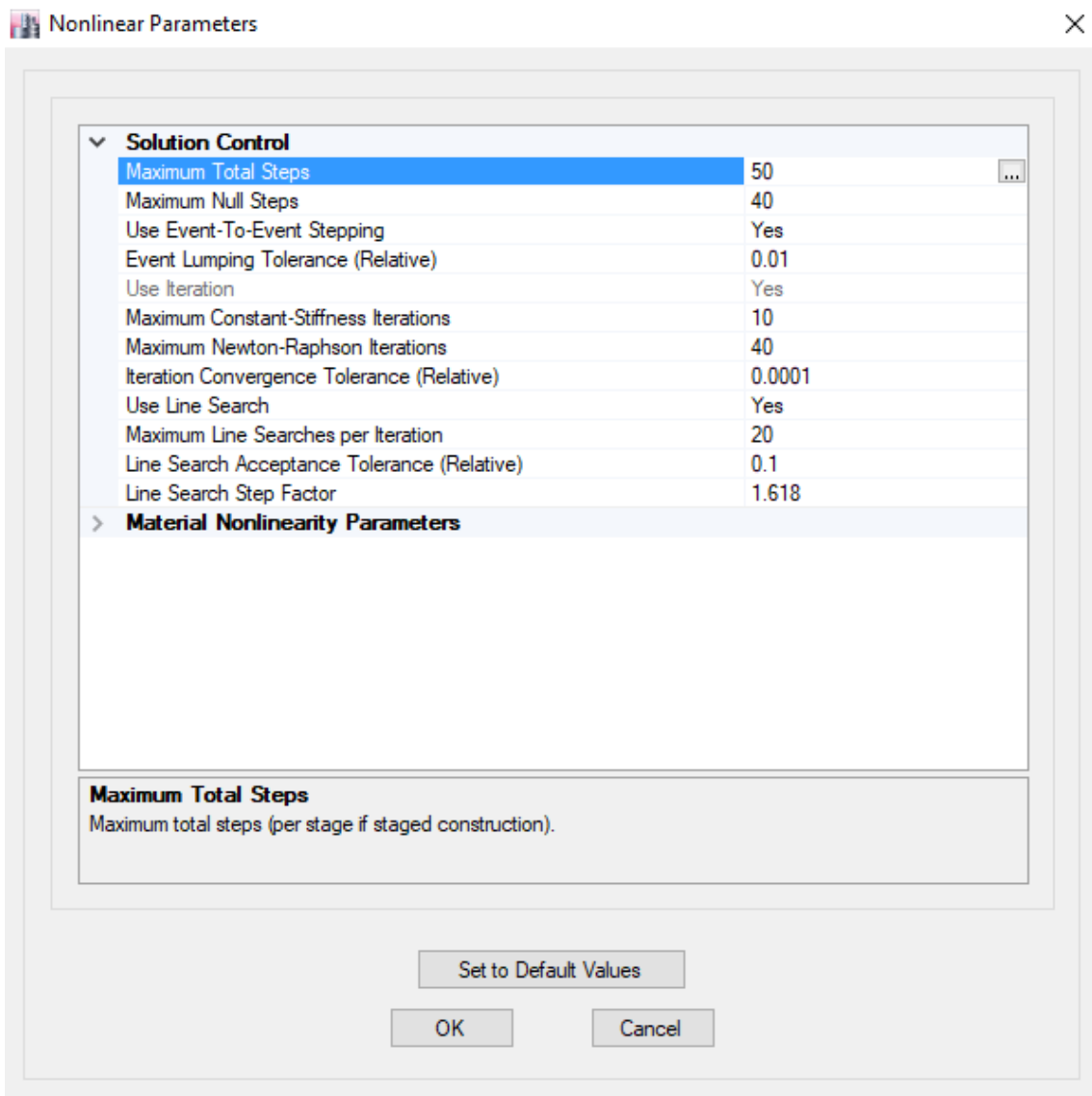
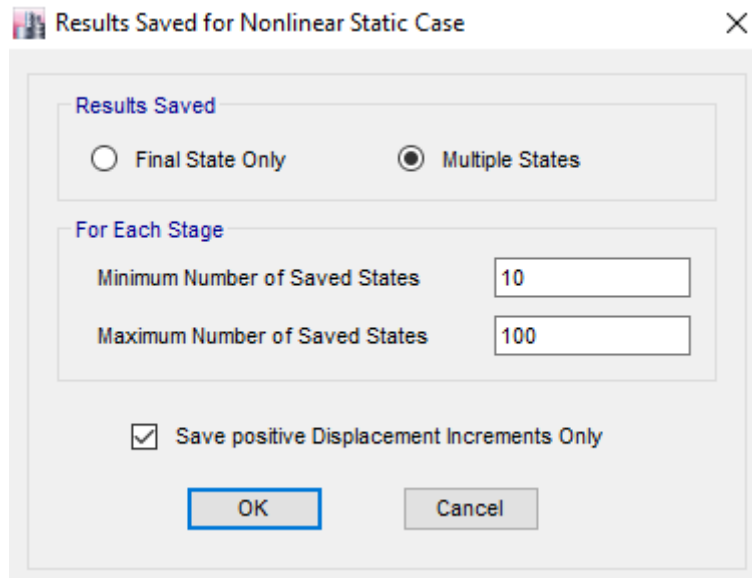
Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

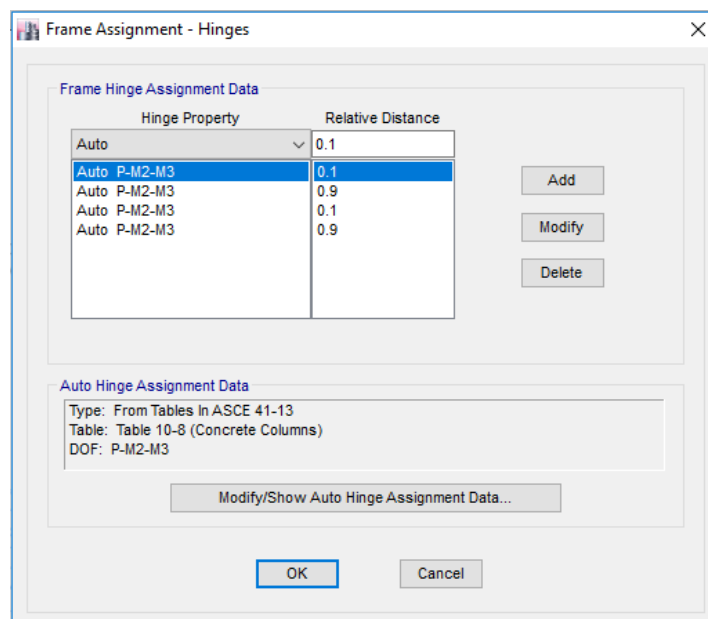
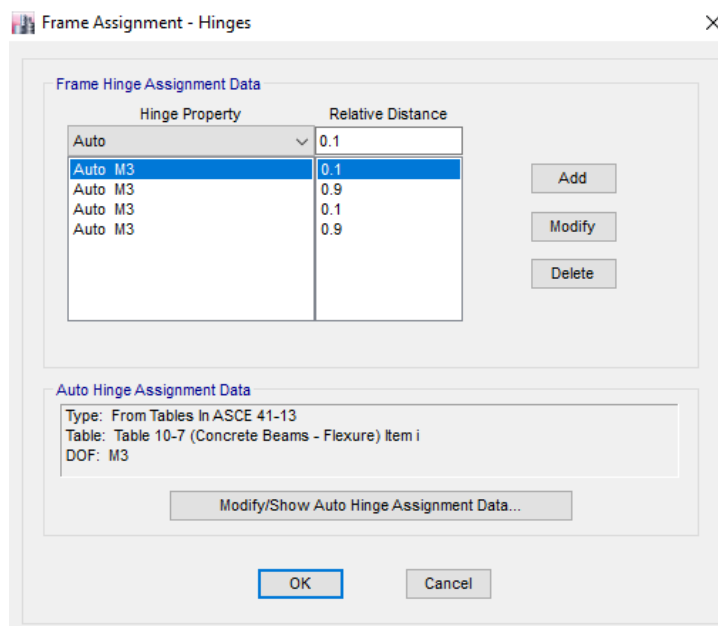
Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha



6.4.3 Asignar rotulas plásticas a vigas y columnas

A continuación se asignará las rótulas plásticas para vigas y columnas. Las distancias a las que se crearán son al 10 y 90% de la longitud de la viga y de la altura de la columna.

Para las vigas se considerarán los efectos de flexión M3 y para las columnas la flexo compresión con carga axial P-M2-M3. Se establecen rótulas para los casos PUSH X y PUSH Y.



Las rótulas se asignarán en base a la tabla 10-7 para vigas de concreto y tabla 10-8 para columnas de concreto del estándar. ASCE 41-13

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom
 M2
 M3

V Value From
 Case/Combo Push X
 User Value V2 tonf

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio $(p - p') / p_{balanced}$
 From Current Design
 User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
 M2 P-M2 Parametric P-M2-M3
 M3 P-M3
 M2-M3 P-M2-M3

P and V Values From
 Case/Combo Push X
 User Value
V2 tonf V3 tonf

Concrete Column Failure Condition
 Condition i - Flexure Condition iii - Shear
 Condition ii - Flexure/Shear Condition iv - Development

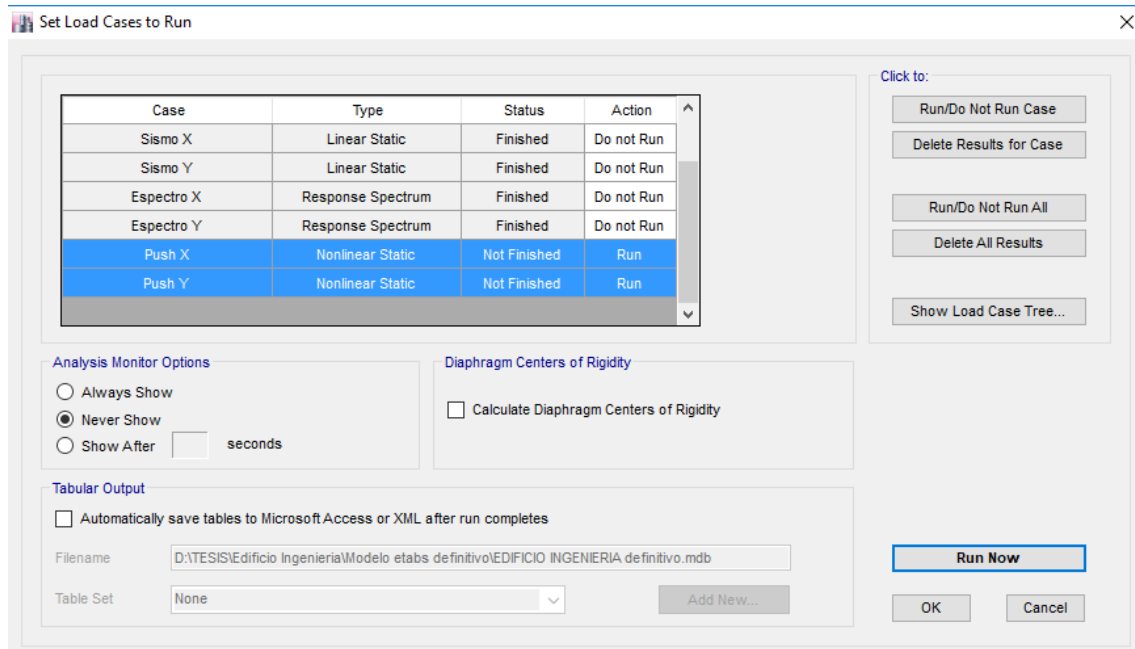
Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$
 From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

6.4.4 Correr los casos de carga

Se corren los casos de análisis lineal y después los casos de PUSH X, PUSH Y y Modal.



6.4.5 Resultados del Análisis Estático No Lineal

6.4.5.1 Rótulas Plásticas

Se puede observar que las rótulas plásticas se forman inicialmente en las vigas y posteriormente en las columnas.

$$\text{Desplazamiento esperado} = 0.02 * 23.8 = 0.476 \text{ m}$$

Imagen de PUSH - X

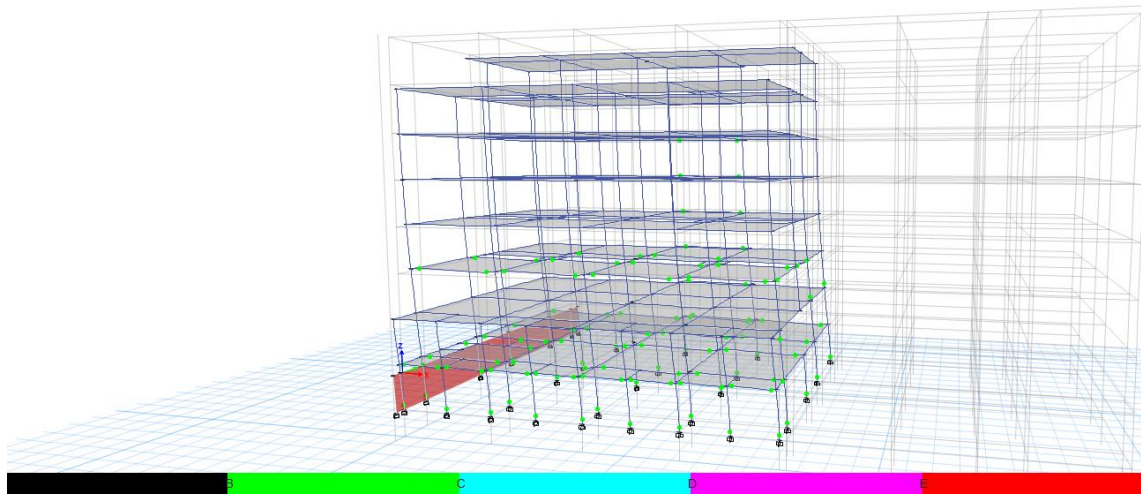
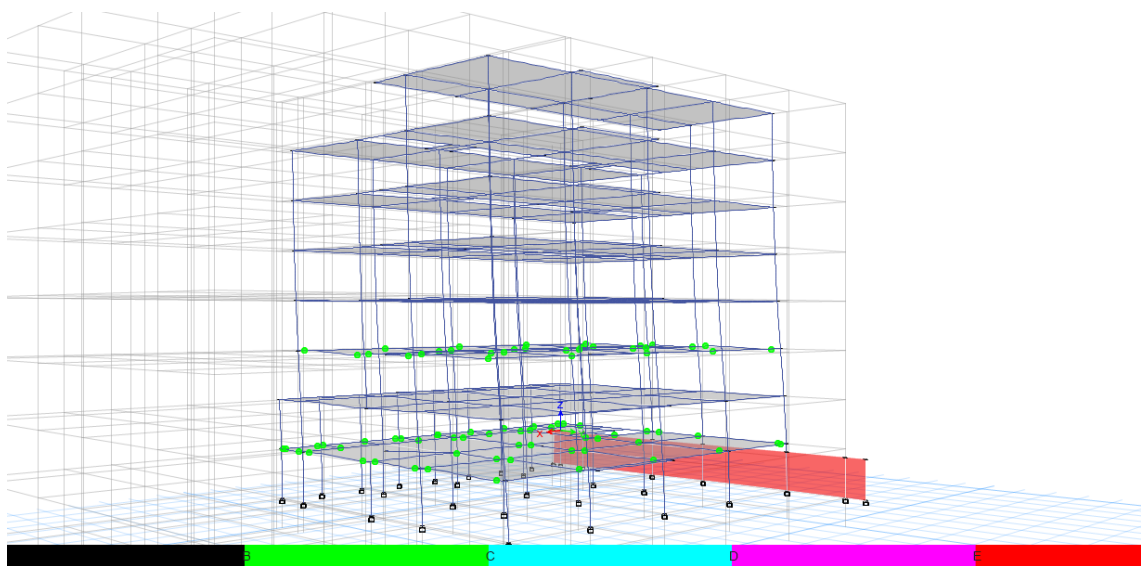
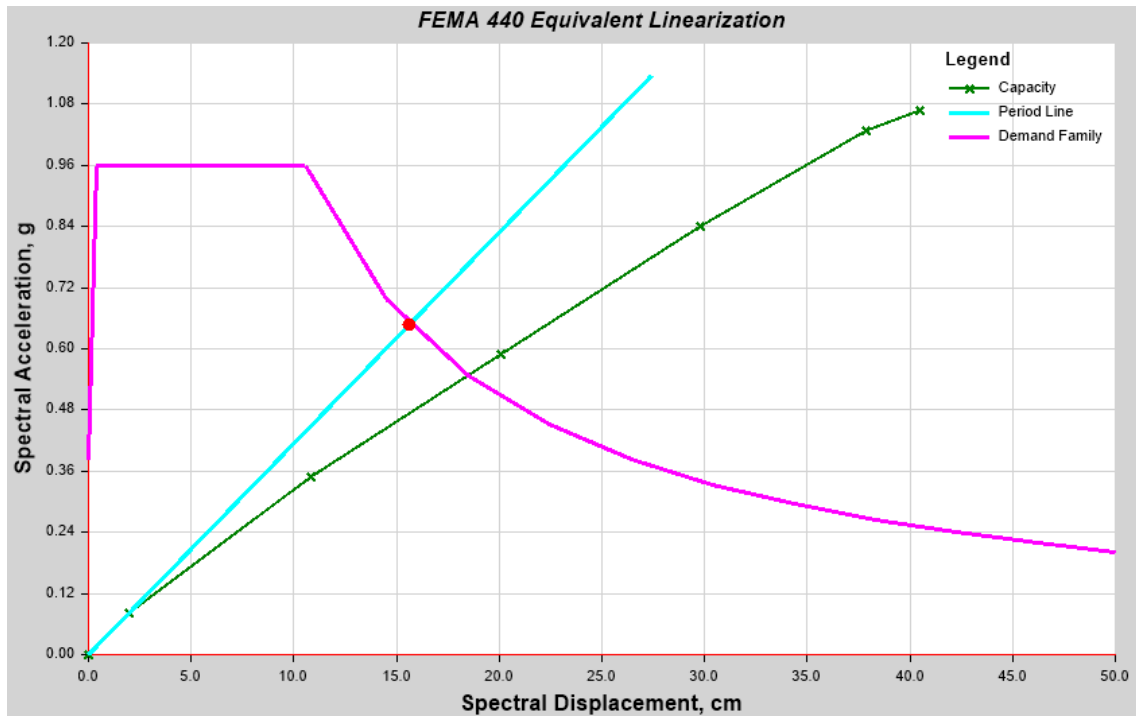


Imagen de PUSH - Y

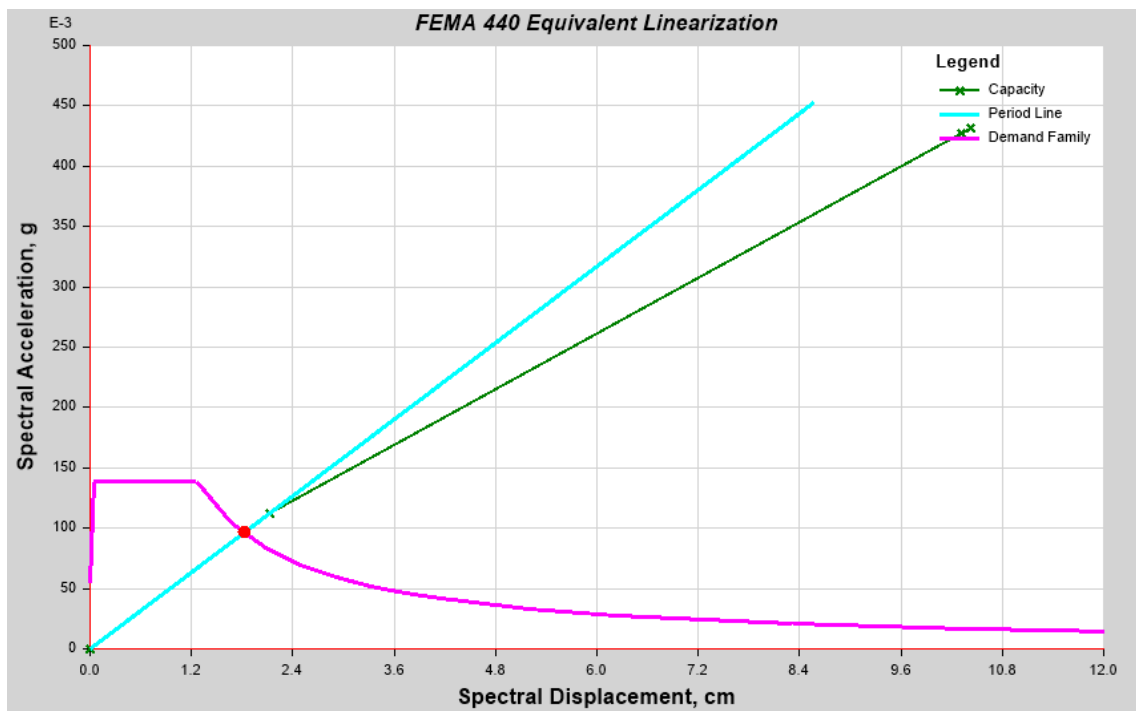


6.4.5.2 Curvas Pushover

Curva Pushover X



Curva Pushover Y



6.4.5.3 Puntos de Desempeño

PUNTO DE DESEMPEÑO

Corte	2175.2359 tonf
Desplazamiento	2.62707 cm
Sa	0.83414
Sd	20.164108 cm

RESUMEN PUSHOVER X

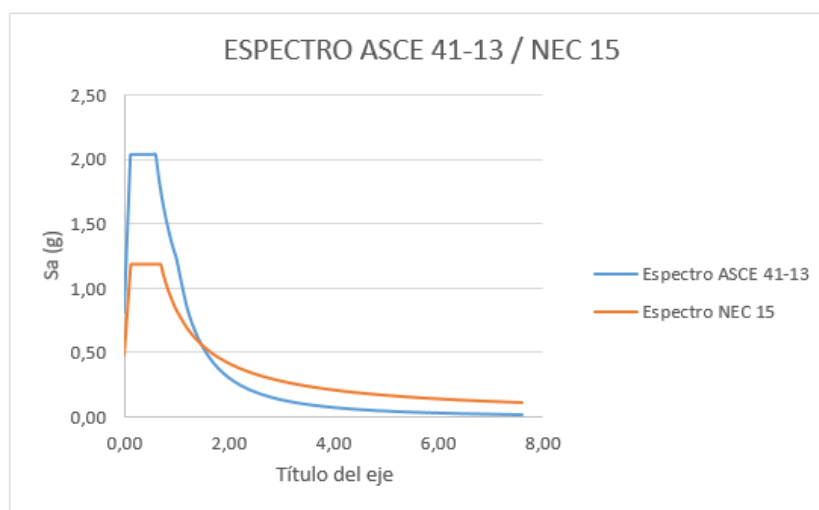
Punto	Criterio de Aceptación	Desplazamiento Máximo (m)	Deriva Máxima	Deriva Máxima VISION 2000	Cumple?
B	Fluencia	0.02716593	0.001521	< 0.002	OK
IO	Ocupación Inmediata	0.51906635	0.03497	< 0.005	NO
LS	Preservación de Vida			< 0.015	
CP	Prevención de Colapso			< 0.025	
C	Colapso			> 0.025	
D	Pérdida de Capacidad				
E	Colapso Total				

RESUMEN PUSHOVER Y

Punto	Criterio de Aceptación	Desplazamiento Máximo (m)	Deriva Máxima	Deriva Máxima VISION 2000	Cumple?
B	Fluencia	0.03027073	0.001649	< 0.002	OK
IO	Ocupación Inmediata	0.14618253	0.008845	< 0.005	NO
LS	Preservación de Vida			< 0.015	
CP	Prevención de Colapso			< 0.025	
C	Colapso			> 0.025	
D	Pérdida de Capacidad				
E	Colapso Total				

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar el cumplimiento del Nivel de Evaluación Sísmica 1: Evaluación Visual propuesto en el estándar ASCE 41-13 en la edificación de la Facultad de Ingeniería.
- Al cumplir la evaluación con el Nivel de Desempeño de Inmediata Ocupación, la estructura pudiera ser ocupada tanto en actividades académicas o de apoyo por acontecimiento de eventos sísmicos.
- El Nivel de Evaluación 1 contempla la evaluación de elementos no estructurales, para esta disertación no se tomó en cuenta estos componentes porque no se contó con información certera que pudiera ayudar en la aplicación de la evaluación de estos elementos.
- En una comparación de espectros de respuesta entre NEC 15 y ASCE 41-13 se obtuvo respuestas máximas de 1.19 y 2.03 respectivamente.



- El espectro de ASCE 41-13 utilizado en evaluación de la estructura representa un 70% mayor al de NEC 15. Si bien el espectro de la evaluación implica una mayor exigencia a la estructura ante demanda de fuerzas sísmicas; se demuestra un desempeño adecuado de acuerdo a la metodología de evaluación.
- Para esta disertación se buscó en primera instancia utilizar el capítulo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras” para la evaluación sísmica de la estructura

propuesta; este capítulo no propone una metodología propia que se ajuste a las estructuras en el Ecuador. Sin embargo entre las metodologías aceptadas que se sugieren en la NEC para evaluación de estructuras se encuentra el estándar ASCE 41-13.

- El Nivel de Evaluación 1 emplea para la evaluación reconocimiento visual de las condiciones de la estructura, también emplea verificaciones rápidas de resistencia basadas en características simples de los materiales, geometría de los elementos o datos de fácil determinación en la información recopilada como planos, memorias técnicas, etc.
- Entre los datos de resistencia consta la resistencia del hormigón. Esta información se trató de obtener del Laboratorio de Resistencia de la PUCE, el cual tomó muestras de cilindros y ensayos de los mismos a compresión simple; sin embargo al solicitar la información se comunicó que el laboratorio no almacena información de más de 10 años de antigüedad. La estructura fue construida entre 2005 y 2006. La información de resistencia del hormigón hubiera permitido tener valores más certeros y reales para los cálculos de resistencia en elementos solicitados.
- Si bien la edificación evaluada cumple con el Nivel de Evaluación aplicado, en caso de requerir mayor certeza de resistencia y desempeño de los elementos el estándar aplicado provee dos niveles adicionales para la verificación. Siempre se tendrá que tomar en cuenta el alcance y limitaciones de cada uno de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Civil Engineering ASCE 41-13. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia.
- American Society of Civil Engineering ASCE 7-10. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- Cárdenas Paola, T. V. (2016). *TESIS COMPARACIÓN TÉCNICA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS, ANALIZADAS MEDIANTE EL MÉTODO LINEAL DE SEGUNDO ORDEN Y ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER)*. QUITO.
- Garcés, J. C. (2016). Apuntes materia Diseño Sismoresistente de Estructuras. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Google Maps. (15 de Septiembre de 2017). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.206916,-78.4900881,17.25z?hl=es-419>
- Google Maps. (07 de Octubre de 2017). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.2091187,-78.490403,18.75z?hl=es-419>
- Guerra, M. (2015). Apuntes materia Cimentaciones. Quito, Pichincha, Ecuador.
- NEC-SE-CG. (Diciembre-2015). *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción CARGAS (NO SISMICAS)*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- NEC-SE-DS. (Diciembre, 2015). *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción PELIGRO SISMICO*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- NEC-SE-RE. (Diciembre, 2015). *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción RIESGO SISMICO, EVALUACION, REHABILITACION DE ESTRUCTURAS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- PUCE. (2005). Planta Física: Planos arquitectónicos, estructurales, estudios de Mecánica de Suelos. Quito, Pichincha, Ecuador.

ANEXO 1

ESPECTRO DE

DISEÑO ASCE 41-13

**ESPECTRO DE DISEÑO EN BASE AL CAPÍTULO 2: DESEMPEÑO OBJETIVO Y PELIGRO SÍSMICO DE
ASCE 41-13**

1. Perfil de Suelo (Sección 2.4.1.6.1)

Tipo de Perfil: D

2. S_s : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 0.2 seg

$$S_s: \quad 2,04$$

3. S_1 : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 1 seg

$$S_1: \quad 0,82$$

4. F_a : Coeficiente de Sitio de Corto Período (Período de 0.2seg) (Tabla 2-3)

$$F_a: \quad 1,00$$

5. F_v : Coeficiente de Sitio de Largo Período (Período de 1seg) (Tabla 2-4)

$$F_v: \quad 1,50$$

6. Ajuste por Clase de Sitio (Sección 2.4.1.6)

$$S_{xs} = F_a S_s \quad 2,04$$

$$S_{x1} = F_v S_1 \quad 1,23$$

7. Espectro de Respuesta (Sección 2.4.1.7)

$$T_0 = 0,2 T_s \quad 0,12059$$

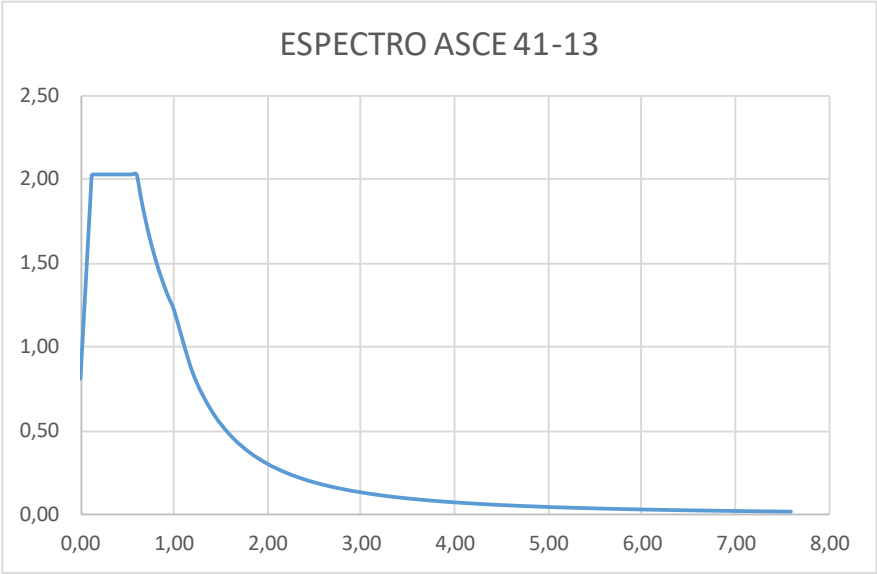
$$T_s = S_{x1} / S_{xs} \quad 0,60294$$

$$T_L: \quad 1$$

$$\beta = \quad 5\% \text{ Porcentaje de Amortiguamiento}$$

$$B_1: \quad 1,00237$$

T(seg)	Sa(g)	T(seg)	Sa(g)
0,00	0,8160	1,20	0,8522
0,01	0,9171	1,40	0,6261
0,02	1,0182	1,60	0,4793
0,03	1,1193	1,80	0,3787
0,04	1,2204	2,00	0,3068
0,05	1,3215	2,20	0,2535
0,06	1,4226	2,40	0,2130
0,07	1,5237	2,60	0,1815
0,08	1,6248	2,80	0,1565
0,09	1,7259	3,00	0,1363
0,10	1,8270	3,20	0,1198
0,11	1,9281	3,40	0,1062
0,12	2,0292	3,60	0,0947
0,13	2,0352	3,80	0,0850
0,14	2,0352	4,00	0,0767
0,15	2,0352	4,20	0,0696
0,20	2,0352	4,40	0,0634
0,25	2,0352	4,60	0,0580
0,30	2,0352	4,80	0,0533
0,35	2,0352	5,00	0,0491
0,40	2,0352	5,20	0,0454
0,45	2,0352	5,40	0,0421
0,50	2,0352	5,60	0,0391
0,55	2,0352	5,80	0,0365
0,60	2,0352	6,00	0,0341
0,65	1,8878	6,20	0,0319
0,70	1,7530	6,40	0,0300
0,75	1,6361	6,60	0,0282
0,80	1,5339	6,80	0,0265
0,85	1,4436	7,00	0,0250
0,90	1,3634	7,20	0,0237
0,95	1,2917	7,40	0,0224
1,00	1,2271	7,60	0,0212



ANEXO 2

ESPECTRO DE

DISEÑO NEC-15

**ESPECTRO DE DISEÑO EN BASE AL CAPÍTULO 2: DESEMPEÑO OBJETIVO Y PELIGRO SÍSMICO DE
ASCE 41-13**

1. Perfil de Suelo (Sección 2.4.1.6.1)

Tipo de Perfil: D

2. S_s : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 0.2 seg

$$S_s: \quad 2.04$$

3. S_1 : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 1 seg

$$S_1: \quad 0.82$$

4. F_a : Coeficiente de Sitio de Corto Período (Período de 0.2seg) (Tabla 2-3)

$$F_a: \quad 1.00$$

5. F_v : Coeficiente de Sitio de Largo Período (Período de 1seg) (Tabla 2-4)

$$F_v: \quad 1.50$$

6. Ajuste por Clase de Sitio (Sección 2.4.1.6)

$$S_{xs} = F_a S_s \quad 2.04$$

$$S_{x1} = F_v S_1 \quad 1.23$$

7. Espectro de Respuesta (Sección 2.4.1.7)

$$T_0 = 0,2 T_s \quad 0.12059$$

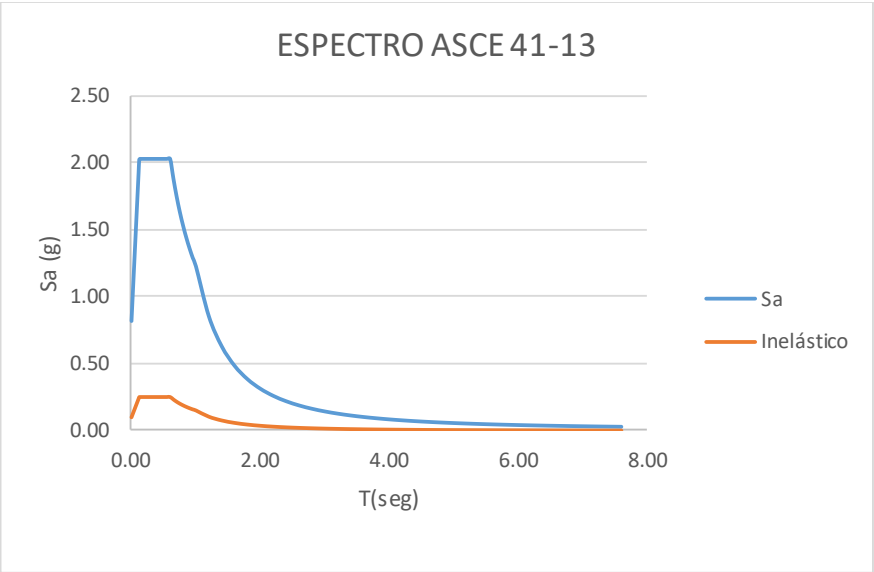
$$T_s = S_{x1} / S_{xs} \quad 0.60294$$

$$T_L: \quad 1$$

$$\beta = \quad 5\% \text{ Porcentaje de Amortiguamiento}$$

$$B_1: \quad 1.00237$$

T(seg)	Sa(g)	Sa(g)/R	T(seg)	Sa(g)	Sa(g)/R
0.00	0.8160	0.1020	1.20	0.8522	0.1065
0.01	0.9171	0.1146	1.40	0.6261	0.0783
0.02	1.0182	0.1273	1.60	0.4793	0.0599
0.03	1.1193	0.1399	1.80	0.3787	0.0473
0.04	1.2204	0.1526	2.00	0.3068	0.0383
0.05	1.3215	0.1652	2.20	0.2535	0.0317
0.06	1.4226	0.1778	2.40	0.2130	0.0266
0.07	1.5237	0.1905	2.60	0.1815	0.0227
0.08	1.6248	0.2031	2.80	0.1565	0.0196
0.09	1.7259	0.2157	3.00	0.1363	0.0170
0.10	1.8270	0.2284	3.20	0.1198	0.0150
0.11	1.9281	0.2410	3.40	0.1062	0.0133
0.12	2.0292	0.2537	3.60	0.0947	0.0118
0.13	2.0352	0.2544	3.80	0.0850	0.0106
0.14	2.0352	0.2544	4.00	0.0767	0.0096
0.15	2.0352	0.2544	4.20	0.0696	0.0087
0.20	2.0352	0.2544	4.40	0.0634	0.0079
0.25	2.0352	0.2544	4.60	0.0580	0.0072
0.30	2.0352	0.2544	4.80	0.0533	0.0067
0.35	2.0352	0.2544	5.00	0.0491	0.0061
0.40	2.0352	0.2544	5.20	0.0454	0.0057
0.45	2.0352	0.2544	5.40	0.0421	0.0053
0.50	2.0352	0.2544	5.60	0.0391	0.0049
0.55	2.0352	0.2544	5.80	0.0365	0.0046
0.60	2.0352	0.2544	6.00	0.0341	0.0043
0.65	1.8878	0.2360	6.20	0.0319	0.0040
0.70	1.7530	0.2191	6.40	0.0300	0.0037
0.75	1.6361	0.2045	6.60	0.0282	0.0035
0.80	1.5339	0.1917	6.80	0.0265	0.0033
0.85	1.4436	0.1805	7.00	0.0250	0.0031
0.90	1.3634	0.1704	7.20	0.0237	0.0030
0.95	1.2917	0.1615	7.40	0.0224	0.0028
1.00	1.2271	0.1534	7.60	0.0212	0.0027



ANEXO 3

NIVEL DE

SISMICIDAD ASCE

41-13

NIVEL DE SISMICIDAD ASCE 41-13. FACTORES EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD (g)

1. S_s : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 0.2 seg

$$S_s: 2,04$$

2. S_1 : Factor en Mapa Espectral de Aceleración de Respuesta a 1 seg

$$S_1: 0,82$$

3. F_a : Coeficiente de Sitio de Corto Período (Período de 0.2seg)

$$F_a: 1,00$$

4. F_v : Coeficiente de Sitio de Largo Período (Período de 1seg)

$$F_v: 1,50$$

5. Nivel de Sismicidad (Sección 2.5)

$$S_{D5} = 2/3 F_a S_s \quad 1,36$$

$$S_{D1} = 2/3 F_v S_1 \quad 0,82$$

6. Definición de Nivel de Sismicidad (Tabla 2-5, ASCE 41-13)

Table 2-5. Level of Seismicity Definitions

Level of Seismicity ^a	S_{D5}	S_{D1}
Very low	<0.167 g	<0.067 g
Low	≥0.167 g <0.33 g	≥0.067 g <0.133 g
Moderate	≥0.33 g <0.50 g	≥0.133 g <0.20 g
High	≥ 0.50 g	≥0.20 g

^aThe higher level of seismicity defined by S_{D5} or S_{D1} shall govern.

7. Definición de Nivel de Sismicidad para el Edificio de la Facultad de Ingeniería PUCE

Nivel de Sismicidad: ALTO

ANEXO 4

PORCENTAJE DE

ACERO EN VIGAS

PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS LOSA +0,60 Y 4,00

V1-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	22,78	66%
	2	25	9,82		
	1	20	3,14		
As inf	3	18	7,63	11,66	34%
	2	16	4,02		
V2-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	28,45	64%
	2	32	16,08		
	1	18	2,54		
As inf	5	20	15,71	15,71	36%
V3-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	28,45	64%
	2	32	16,08		
	1	18	2,54		
As inf	5	20	15,71	15,71	36%
V4-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	28,45	64%
	2	32	16,08		
	1	18	2,54		
As inf	5	20	15,71	15,71	36%
V5-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	21,22	57%
	3	22	11,40		
	0	18	0,00		
As inf	5	20	15,71	15,71	43%

Vw-L1-30x40-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	1	22	3,80	10,08	69%
	2	20	6,28		
As inf	3	14	4,62	4,62	31%
Vx-L1-30x40-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	1	22	3,80	10,08	66%
	2	20	6,28		
As inf	2	14	3,08	5,09	34%
	1	16	2,01		
Vy-L1-30x40-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	1	22	3,80	10,08	66%
	2	20	6,28		
As inf	2	14	3,08	5,09	34%
	1	16	2,01		
Vz-L1-30x40-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	7,63	43%
As inf	4	18	10,18	10,18	57%
Va-L1-20x50-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	7,63	43%
As inf	4	18	10,18	10,18	57%
Vb-L1-30x40-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	4,62	50%
As inf	3	14	4,62	4,62	50%

VE-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	29,04	69%
	2	32	16,08		
	1	20	3,14		
As inf	4	18	10,18	13,32	31%
	1	20	3,14		
VD-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	33,94	71%
	3	32	24,13		
As inf	3	18	7,63	13,92	29%
	2	20	6,28		
VC-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	33,94	72%
	3	32	24,13		
As inf	4	18	10,18	13,32	28%
	1	20	3,14		
VB-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	25	9,82	22,78	66%
	2	25	9,82		
	1	20	3,14		
As inf	3	18	7,63	11,66	34%
	2	16	4,02		
VA-L1-35x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total	%ACERO
As sup	2	16	4,02	6,28	56%
	2	12	2,26		
As inf	3	12	3,39	4,93	44%
	1	14	1,54		

PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS LOSA +7,40 Y 10,80

V1-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	65%
	2	20	6,28	
	1	32	8,04	
As inf	5	18	12,72	35%
V2-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	67%
	3	32	24,13	
As inf	3	20	9,42	
	2	22	7,60	
V3-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	67%
	3	32	24,13	
As inf	3	20	9,42	
	2	22	7,60	
V4-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	67%
	3	32	24,13	
As inf	3	20	9,42	
	2	22	7,60	
V5-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	64%
	2	22	7,60	
	1	25	4,91	
As inf	5	18	12,72	36%

VM-L2-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VN-L2-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VO-L2-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VP-L2-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VQ-L2-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total
As sup	2	18	5,09	72%
	2	20	6,28	
As inf	4	12	4,52	28%

VE-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	68%
	2	32	16,08	
	1	22	3,80	
As inf	3	18	7,63	32%
	2	20	6,28	
VD-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	70%
	2	32	16,08	
	1	22	3,80	
As inf	5	18	12,72	30%
VC-L2-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	68%
	2	24	9,05	
	1	32	8,04	
As inf	5	18	12,72	32%
VB-L1-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	69%
	2	22	7,60	
	1	32	8,04	
As inf	3	18	7,63	31%
	2	16	4,02	

PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS LOSA +14,20 Y +17,60

V1-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	64%
	3	22	11,40	
As inf	4	16	8,04	36%
	1	18	2,54	
V2-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	65%
	2	25	9,82	
	1	32	8,04	
As inf	4	20	12,57	35%
	1	18	2,54	
V3-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	73%
	2	25	9,82	
	1	32	8,04	
As inf	4	16	8,04	27%
	1	16	2,01	
V4-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	73%
	2	25	9,82	
	1	32	8,04	
As inf	4	16	8,04	27%
	1	16	2,01	
V5-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	60%
	2	20	6,28	
	1	22	3,80	
As inf	3	18	7,63	40%
	2	16	4,02	

VM-L3-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VN-L3-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VO-L3-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VP-L3-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VQ-L3-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	18	5,09	72%
	2	20	6,28	
As inf	4	12	4,52	28%

VE-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	2	18	5,09	68%
	1	20	3,14	
	2	32	16,08	
As inf	3	18	7,63	32%
	2	16	4,02	
VD-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	25	9,82	68%
	4	22	15,21	
As inf	3	18	7,63	32%
	2	16	4,02	
VC-L3-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	68%
	3	25	14,73	
As inf	4	16	8,04	32%
	1	18	2,54	
VB-L1-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	69%
	2	22	7,60	
	1	25	4,91	
As inf	3	16	6,03	31%
	2	14	3,08	

PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS LOSA +21,00

V1-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)
As sup	2	18	5,09	14,0429
	1	16	2,01	
	1	22	3,80	
1	20	3,14		
As inf	5	14	7,70	7,6969
V2-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	64%
	2	25	9,82	
	1	20	3,14	
As inf	3	18	7,63	36%
	2	16	4,02	
V3-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	66%
	3	25	14,73	
As inf	3	18	7,63	34%
	2	16	4,02	
V4-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	66%
	3	25	14,73	
As inf	3	18	7,63	34%
	2	16	4,02	
V5-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	18	5,09	63%
	1	16	2,01	
	2	20	6,28	
As inf	5	14	7,70	37%

VM-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	3	14	4,62	58%
As inf	3	12	3,39	42%
VN-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	12	3,39	50%
	0	25	0,00	
	0	20	0,00	
As inf	3	12	3,39	50%
VO-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	12	3,39	50%
As inf	3	12	3,39	50%
VP-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	12	3,39	50%
As inf	3	12	3,39	50%
VQ-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	2	18	5,09	69%
	2	18	5,09	
As inf	4	12	4,52	31%
VX-L4-20x31-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total
As sup	3	12	3,39	50%
As inf	3	12	3,39	50%

VE-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	%ACERO
As sup	2	18	5,09	61%
	3	20	9,42	
As inf	3	16	6,03	39%
	2	14	3,08	
VD-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	67%
	2	22	7,60	
	1	20	3,14	
As inf	3	16	6,03	33%
	2	14	3,08	
VC-L4-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	66%
	2	22	7,60	
As inf	5	14	7,70	34%
VB-L1-35x60-B1				
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	%ACERO
As sup	3	18	7,63	71%
	2	20	6,28	
	1	18	2,54	
As inf	3	14	4,62	29%
	2	12	2,26	

PORCENTAJE DE ACERO EN VIGAS LOSA +24,00

V1-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	12,32	64%
	2	20	6,28		
As inf	3	14	4,62	6,88	36%
	2	12	2,26		
V2-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	14,92	62%
	2	18	5,09		
	1	22	3,80		
As inf	3	16	6,03	9,11	38%
	2	14	3,08		
V3-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	13,85	56%
	2	16	4,02		
	1	22	3,80		
As inf	3	18	7,63	10,71	44%
	2	14	3,08		
V4-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	15,85	60%
	2	25	9,82		
	0	18	0,00		
As inf	3	18	7,63	10,71	40%
	2	14	3,08		
V5-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	11,12	62%
	2	18	5,09		
	0	20	0,00		
As inf	3	14	4,62	6,88	38%
	2	12	2,26		

VE-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (cm2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	11,12	62%
	2	18	5,09		
As inf	3	14	4,62	6,88	38%
	2	12	2,26		
VD-L5-30x60-B1					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	16	6,03	17,22	65%
	2	20	6,28		
	1	25	4,91		
As inf	3	16	6,03	9,11	35%
	2	14	3,08		
Viga borde losa delante eje D 30x31					
	#varillas	d(mm)	Área (m2)	As total (cm2)	%ACERO
As sup	3	12	3,39	3,39	50%
	0	22	0,00		
	0	32	0,00		
As inf	3	12	3,39	3,39	50%
	0	18	0,00		

ANEXO 5

CHECKLIST

ESTRUCTURAL

INMEDIATA

OCUPACION C1

**CHECKLIST ESTRUCTURAL PARA INMEDIATA OCUPACIÓN DE EDIFICACIONES TIPO C1: PÓRTICOS
RESISTENTES A MOMENTO DE CONCRETO**

PROYECTO: Evaluación Sísmica de Edificio de **UBICACIÓN :** Av. 12 de Octubre y 1076 y Roca. Quito
Facultad de Ingeniería Ecuador

REALIZADO POR: Francisco Javier Redín Santacruz **FECHA:**

**Muy Baja Sismicidad
Sistema Sismo-Resistente**

C	NC	N/A	D	1. REDUNDANCIA: El número de líneas de pórticos resistentes a momento en cada dirección principal es mayor o igual a 2. El número de claros de pórticos a momento en cada línea es mayor o igual a 3.
C	NC	N/A	D	2. MAMPOSTERÍA: Toda la mampostería o paneles de concreto están aisladas de elementos estructurales.
C	NC	N/A	D	3. RESISTENCIA AL CORTE EN COLUMNAS: La resistencia al corte de columnas calculada con los chequeos de resistencia y rigidez es menor que 100 lb/in^2 o $2 \sqrt{f'c}$.
C	NC	N/A	D	4. RESISTENCIA AXIAL EN COLUMNAS: El esfuerzo axial causado por cargas gravitacionales no factoradas en columnas es menor a $0,13f'c$ o calculada mediante chequeos de resistencia y rigidez es menor a $0,30 f'c$.

Conexiones

C	NC	N/A	D	5. COLUMNAS DE CONCRETO: Todas las columnas de concreto se acoplan en la cimentación, y las espigas pueden desarrollar la capacidad de tensión del refuerzo en columnas del sistema resistente a fuerzas sísmicas.
---	----	-----	---	--

**Bajay Moderada Sismicidad
Sistema Sismo-Resistente**

C	NC	N/A	D	6. LOSAS PLANAS: El sistema sismo-resistente no es un pórtico de columnas con losa plana o placas sin apoyo de vigas.
C	NC	N/A	D	7. COLUMNAS: No hay columnas en un nivel con relaciones de ancho/espesor inferior al 75%
C	NC	N/A	D	8. COLUMNAS FUERTE-VIGA DÉBIL: La suma de momentos en las columnas es 20% mayor al de las vigas en los nudos del pórtico.
C	NC	N/A	D	9. REFUERZO EN VIGAS: Al menos dos barras superiores longitudinales y dos barras inferiores longitudinales se extienden continuamente a lo largo de la longitud de cada pórtico. Al menos el 25% de las barras longitudinales proporcionadas en las juntas, ya sea para el momento positivo o negativo, son continuas a lo largo de la longitud de los miembros.

C	NC	N/A	D	10. TRASLAPES EN COLUMNAS: Todas las longitudes de traslape de columnas son superiores a $50d_b$ y están encerradas por vínculos espaciados a $8d_b$ o menos.
C	NC	N/A	D	11. TRASLAPES EN VIGAS: Los traslapes o acopladores mecánicos para refuerzo de viga longitudinal no se encuentran dentro de $l_b/4$ de las juntas y no deben ubicarse cerca de posibles rótulas plásticas.
C	NC	N/A	D	12. ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN COLUMNAS: Las columnas de los marcos tienen una separación igual o inferior a $d/4$ en toda su longitud y a $8d_b$ o menos en todas las posibles ubicaciones de las bisagras plásticas.
C	NC	N/A	D	13. ESPACIAMIENTO DE ESTIRAMIENTO: Todas las vigas tienen estribos espaciados a menos de $d/2$ en toda su longitud. En posibles ubicaciones de rótulas plásticas, los estribos están espaciados a un valor mínimo de $8d_b$ o
C	NC	N/A	D	14. REFUERZO TRANSVERSAL DEL NUDO: Las uniones viga-columna tienen estribos espaciados a $8d_b$ o menos.
C	NC	N/A	D	15. EXCENTRICIDAD DEL NUDO: No hay excentricidades mayores al 20% de la dimensión del plano de columna más pequeño entre las líneas centrales de la viga y la columna.
C	NC	N/A	D	16. ESTRIBOS DE AMARRE: Los estribos de vigas y los nudos de las columnas están anclados en los núcleos de los miembros con ganchos de 135 grados o
C	NC	N/A	D	17. COMPATIBILIDAD DE DEFLEXIONES: Los componentes secundarios tienen la capacidad a corte para desarrollar la resistencia a la flexión de los componentes y cumplen con los siguientes elementos: TRASLAPES DE COLUMNA, TRASLAPES DE VIGA , ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS EN COLUMNA,
C	NC	N/A	D	18. LOSAS PLANAS: Las losas o placas planas que no forman parte del sistema resistente a fuerzas sísmicas.

C = Cumple
 NC = No Cumple
 N/A = No Aplica
 D = Desconocido

ANEXO 6

**CHECKLIST DE
CONFIGURACIÓN
BÁSICA PARA
INMEDIATA
OCUPACION**

CHECKLIST DE CONFIGURACIÓN BÁSICA PARA INMEDIATA OCUPACION

PROYECTO: Evaluación Sísmica de Edificio de **UBICACIÓN :** Av. 12 de Octubre y 1076 y Roca. Quito
 Facultad de Ingeniería Ecuador

REALIZADO POR: Francisco Javier Redín Santacruz **FECHA:**

Muy Baja Sismicidad General

C	NC	N/A	D	1. RUTA DE CARGA: La estructura debe contener un recorrido de carga completo y bien definido, que incluya elementos estructurales y conexiones, que sirva para transferir las fuerzas de inercia asociadas con la masa de todos los elementos del edificio a la base.
C	NC	N/A	D	2. EDIFICIOS ADYACENTES: La distancia libre entre el edificio que se evalúa y cualquier edificio adyacente es mayor al 4% de la altura del edificio más
C	NC	N/A	D	3. MEZZANINES: Los niveles intermedios interiores están reforzados independientemente de la estructura principal o están anclados a los elementos resistentes a la fuerza sísmica de la estructura principal.

Configuración de la Edificación

C	NC	N/A	D	4. PISO DÉBIL: La suma de las fuerzas de corte del sistema de resistencia a fuerzas sísmicas en cualquier piso en cada dirección no será inferior al 80% de la fuerza en piso adyacente anterior.
C	NC	N/A	D	5. PISO BLANDO: La rigidez del sistema resistente a fuerzas sísmicas en cualquier piso no debe ser inferior al 70% de la rigidez del sistema resistente a fuerzas sísmicas en el piso adyacente superior o inferior al 80% de la rigidez de la resistencia a la fuerza sísmica promedio del sistema los tres pisos de
C	NC	N/A	D	6. IRREGULARIDADES VERTICALES: Todos los elementos verticales en el sistema de fuerza sísmica-resistencia son continuos hasta la cimentación.
C	NC	N/A	D	7. GEOMETRÍA: No hay cambios en la dimensión horizontal neta del sistema de resistencia a la fuerza sísmica de más del 30% en una historia relativa a historias adyacentes, excluyendo penthouses y mezzanines de una sola
C	NC	N/A	D	8. CENTRO DE MASAS: No hay cambio en la masa efectiva más del 50% de una historia a la siguiente.
C	NC	N/A	D	9. TORSIÓN: La distancia estimada entre el centro de masa y el centro rigidez es menos del 20% del ancho del edificio en cualquier dimensión de piso.

C	NC	N/A	D	11. FALLO DE PENDIENTE: El sitio de construcción está lo suficientemente alejado de posibles fallas de pendientes inducidas por terremotos o desprendimientos de rocas que no se vean afectadas por tales fallas o es capaz de acomodar cualquier movimiento previsto sin fallas.
C	NC	N/A	D	12. RUPTURA DE FALLA EN LA SUPERFICIE: No se prevén rupturas de fallas en la superficie y desplazamiento de la superficie en el sitio de construcción.

Moderada y Alta Sismicidad
Configuración de Cimentación

C	NC	N/A	D	13. SOBREGIRO: La relación de la dimensión menos horizontal del sistema de resistencia a fuerzas sísmicas en el nivel de cimentación a la altura del edificio (base / altura) es mayor que 0,6 Sa.
C	NC	N/A	D	14. ENLACES ENTRE ELEMENTOS DE CIMENTACION: La cimentación tiene enlaces adecuados para resistir las fuerzas sísmicas donde las zapatas, pilotes y muelles no están restringidos por vigas, losas o suelos clasificados como Sitio Clase A, B o C.

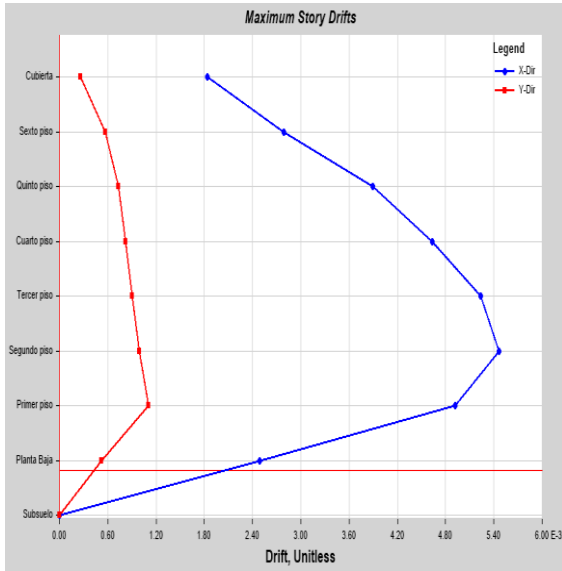
C = Cumple
NC = No Cumple
N/A = No Aplica
D = Desconocido

ANEXO 7

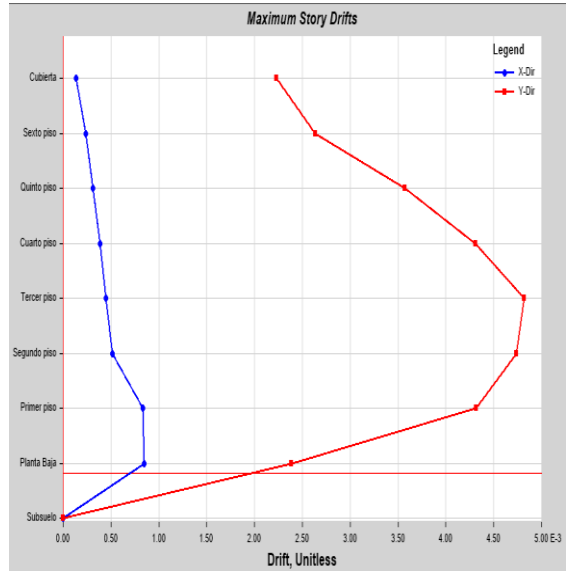
DERIVAS MÁXIMAS

DE PISO

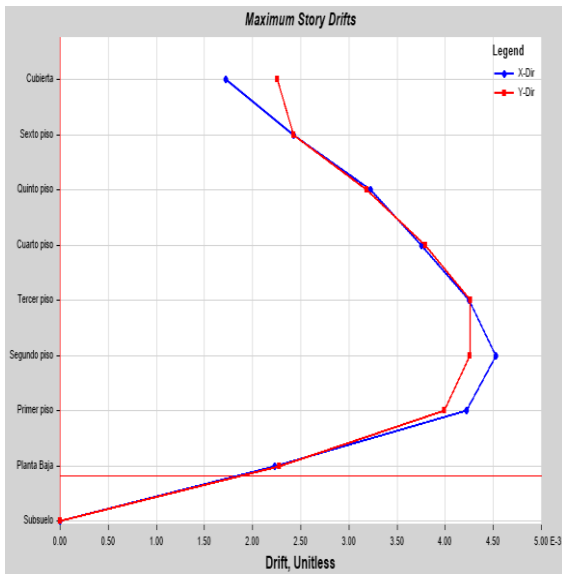
SISMO X



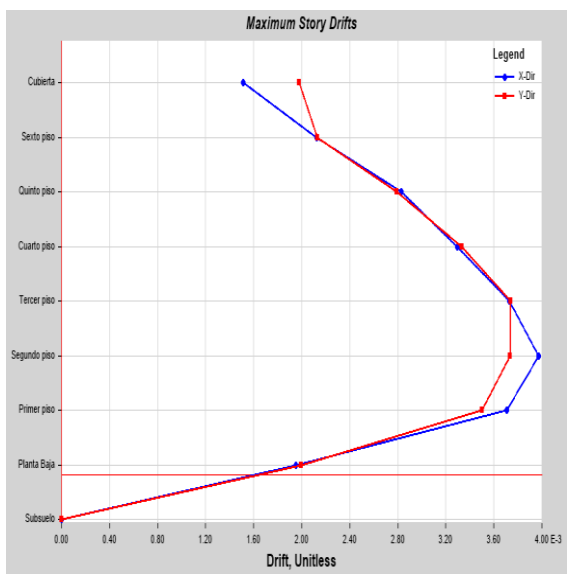
SISMO Y



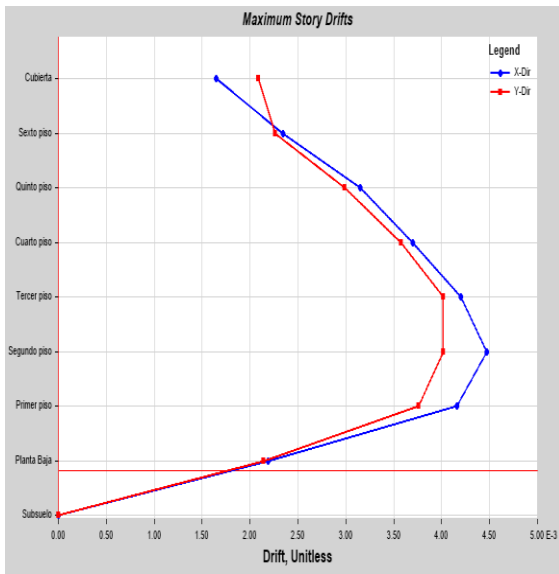
ESPECTRO NEC – X



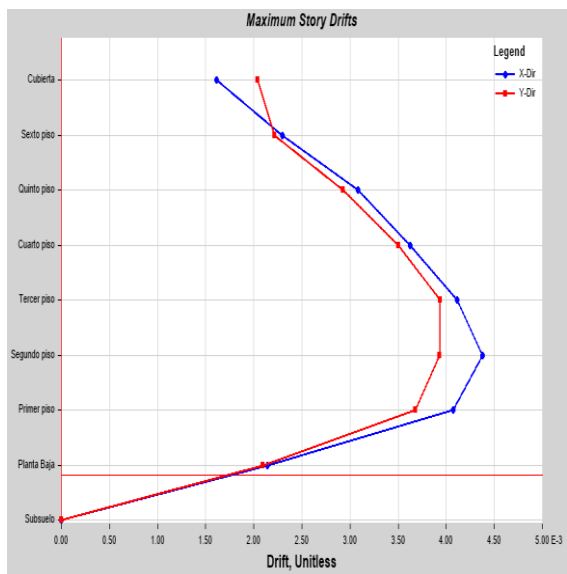
ESPECTRO NEC – Y



ESPECTRO ASCE – X



ESPECTRO ASCE – Y



		Sismo X		Sismo Y	
Piso	Nivel (m)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Cubierta	24.40	0.01102	0.00155	0.00080	0.01339
Sexto piso	21.00	0.01675	0.00340	0.00142	0.01580
Quinto piso	17.60	0.02338	0.00437	0.00187	0.02143
Cuarto piso	14.20	0.02782	0.00491	0.00233	0.02586
Tercer piso	10.80	0.03143	0.00543	0.00266	0.02890
Segundo piso	7.40	0.03278	0.00596	0.00311	0.02841
Primer piso	4.00	0.02950	0.00666	0.00500	0.02590
Planta Baja	0.60	0.01493	0.00311	0.00508	0.01432
Subsuelo	-2.80	0	0	0	0
		Espectro NEC - X		Espectro NEC - Y	
Piso	Nivel (m)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Cubierta	24.40	0.01034	0.01353	0.00883	0.01155
Sexto piso	21.00	0.01454	0.01456	0.01241	0.01243
Quinto piso	17.60	0.01934	0.01910	0.01652	0.01631
Cuarto piso	14.20	0.02254	0.02278	0.01924	0.01945
Tercer piso	10.80	0.02549	0.02557	0.02176	0.02183
Segundo piso	7.40	0.02716	0.02553	0.02318	0.02180
Primer piso	4.00	0.02534	0.02393	0.02163	0.02042
Planta Baja	0.60	0.01336	0.01365	0.01140	0.01165
Subsuelo	-2.80	0	0	0	0
		Espectro ASCE - X		Espectro ASCE - Y	
Piso	Nivel (m)	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Cubierta	24.40	0.00164	0.00209	0.00161	0.00204
Sexto piso	21.00	0.00234	0.00226	0.00229	0.00222
Quinto piso	17.60	0.00315	0.00299	0.00309	0.00293
Cuarto piso	14.20	0.00370	0.00358	0.00362	0.00350
Tercer piso	10.80	0.00420	0.00402	0.00411	0.00394
Segundo piso	7.40	0.00447	0.00402	0.00438	0.00393
Primer piso	4.00	0.00416	0.00376	0.00407	0.00368
Planta Baja	0.60	0.00219	0.00214	0.00214	0.00210
Subsuelo	-2.80	0	0	0	0

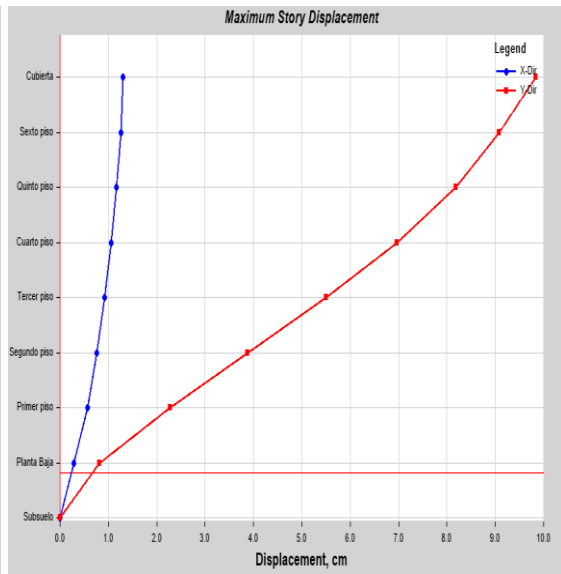
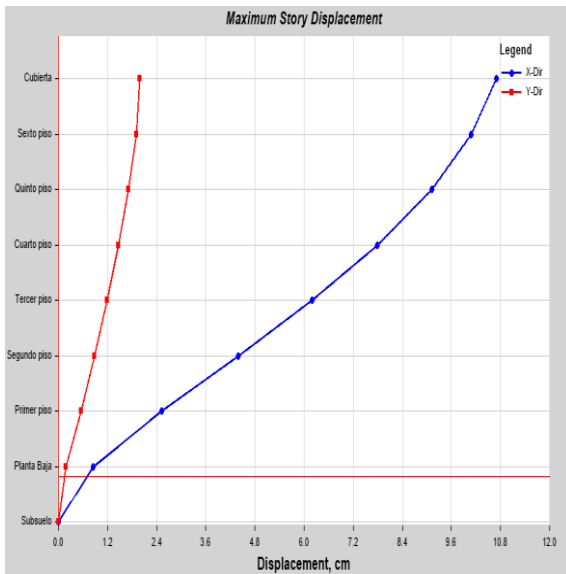
ANEXO 8

DEPLAZAMIENTOS

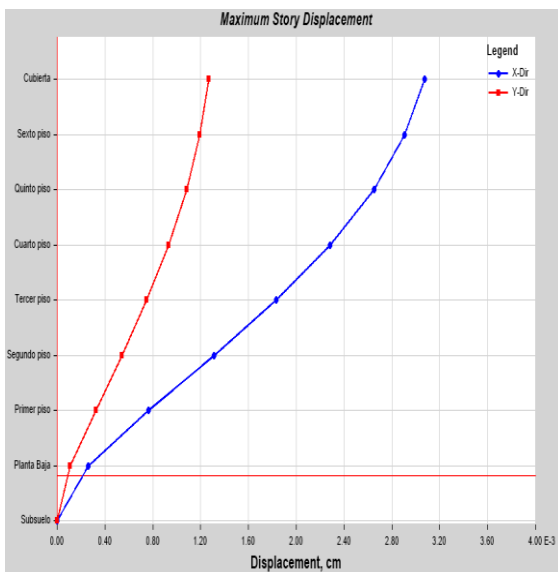
MÁXIMAS DE PISO

SISMO – X

SISMO – Y



MODAL



Piso	Nivel (m)	Sismo X		Sismo Y		Modal	
		Sentido X (cm)	Sentido Y (cm)	Sentido X (cm)	Sentido Y (cm)	Sentido X (cm)	Sentido Y (cm)
Cubierta	24.40	10.7054	1.9909	1.3017	9.8335	0.0031	0.0013
Sexto piso	21.00	10.0776	1.9048	1.2538	9.0776	0.0029	0.0012
Quinto piso	17.60	9.1198	1.7130	1.1701	8.1848	0.0027	0.0011
Cuarto piso	14.20	7.7827	1.4657	1.0618	6.9714	0.0023	0.0009
Tercer piso	10.80	6.1932	1.1878	0.9215	5.5069	0.0018	0.0008
Segundo piso	7.40	4.3973	0.8822	0.7618	3.8795	0.0013	0.0005
Primer piso	4.00	2.5254	0.5501	0.5748	2.2749	0.0008	0.0003
Planta Baja	0.60	0.8482	0.1761	0.2876	0.8116	0.0003	0.0001
Subsuelo	-2.80	0	0	0	0	0	0

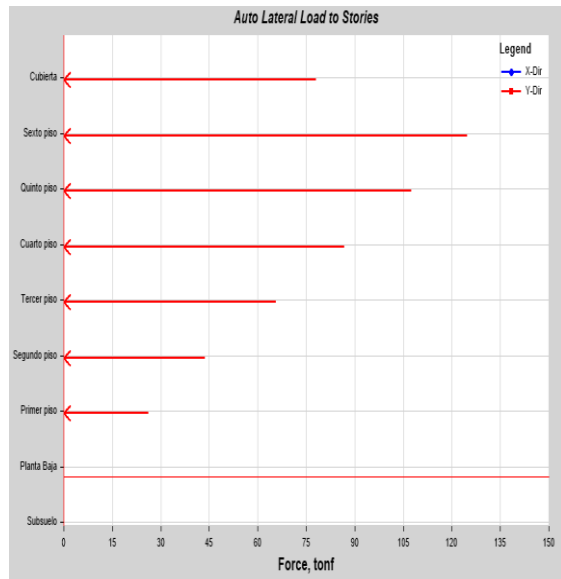
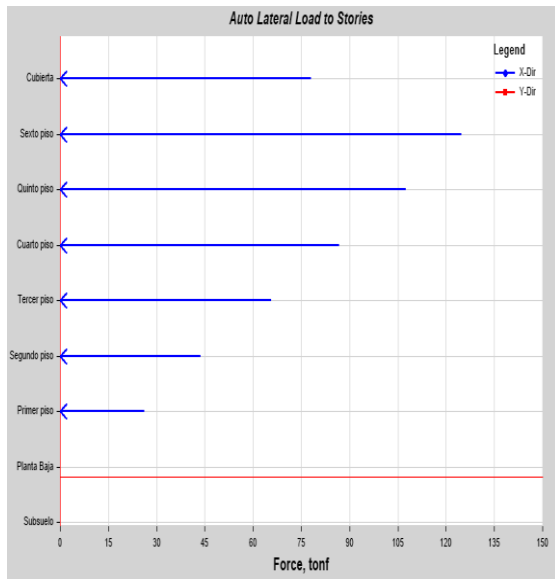
ANEXO 9

CORTANTE BASAL –

FUERZAS LATERALES

SISMO – X

SISMO - Y



Piso	Nivel (m)	Sismo X		Sismo Y	
		Sentido X (tonf)	Sentido Y (tonf)	Sentido X (tonf)	Sentido Y (tonf)
Cubierta	24.40	78.1156	0	0	78.1156
Sexto piso	21.00	124.7624	0	0	124.7624
Quinto piso	17.60	107.5834	0	0	107.5834
Cuarto piso	14.20	86.7102	0	0	86.7102
Tercer piso	10.80	65.6543	0	0	65.6543
Segundo	7.40	43.7695	0	0	43.7695
Primer piso	4.00	26.251	0	0	26.251
Planta Baja	0.60	0	0	0	0
Subsuelo	-2.80	0	0	0	0

ANEXO 10

CORTANTE BASAL –

NEC 15

**CORTANTE BASAL DE DISEÑO (V) EN BASE A LA NORMA ECUATORIANA DE LA
CONSTRUCCIÓN NEC-2015 CAPÍTULO RIESGO SÍSMICO**

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E} W$$

1. Factor de Importancia I (Tabla 6)

Categoría: Estructura de ocupación especial
Tipo de uso, destino e importancia: Escuelas y centros de educación que albergan a más de
Coeficiente I: 1.30

2. Espectro de Diseño en Aceleración Sa(Ta)

a. Período de Vibración $T = C_t h_n^\alpha$

a. Pórticos especiales de hormigón armado

C_t : 0.0055
 α : 0.9

b. Altura máxima de la edificación de n pisos medida desde la base de la estructura

h_n : 23.8 m
T: 0.0953 seg

Sa(Ta): 1.0134

3. Coeficientes de Configuración en Planta y Elevación ϕ_P y ϕ_E (Tabla 13 y 14)

ϕ_P : 0.90
 ϕ_E : 1.00

4. Factor de Reducción de Resistencia (Tabla 16)

Tipo: Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado y vigas descolgadas
R: 8

5. Carga Sísmica Reactiva W (Sección 6.1.7)

W: 3503 ton

6. Cortante Basal de Diseño V

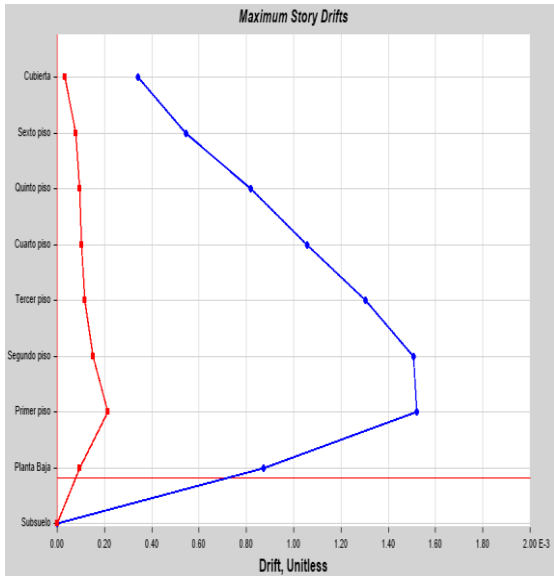
Coeficiente de reacción: 0.1830
V: 641 ton

ANEXO 11

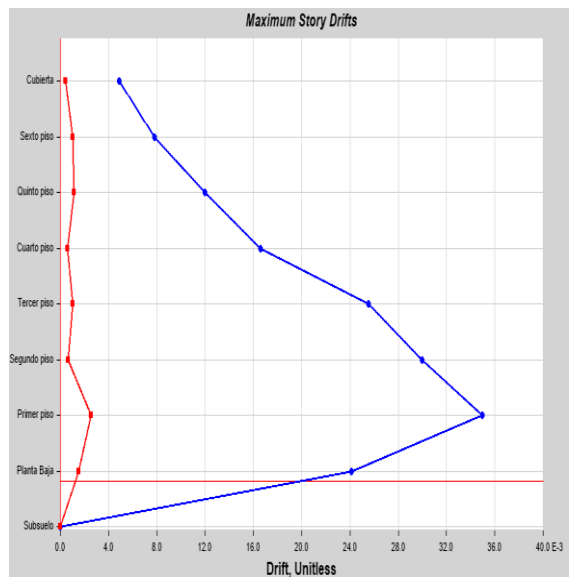
PUSHOVER X –

PUSHOVER Y

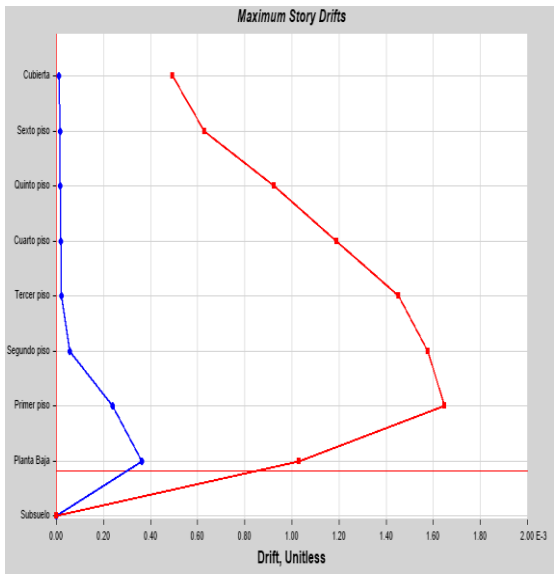
PUSHOVER X- PASO 1



PUSHOVER X- PASO 6



PUSHOVER Y- PASO 1



PUSHOVER Y- PASO 3

