



Facultad De Arquitectura e Ingeniería Civil

Carrera de Ingeniería Civil

**Determinación del nivel de desempeño estructural del
edificio Administrativo del campus Miguel de
Cervantes de la Universidad Internacional SEK en la
ciudad de Quito**

Autor: Salomé Carolina Chasipanta Tufiño

Tutor: Ing. Luis Alberto Soria Nuñez, Msc.


Quito, Septiembre 2021



DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Salomé Carolina Chasipanta Tufiño, con cédula de ciudadanía número 172347974-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Salomé Carolina Chasipanta Tufiño

C.C. 172347974-5

DECLARATORIA

El presente Trabajo de Titulación titulado:

**“Determinación de nivel de desempeño estructural del edificio
Administrativo del campus Miguel de Cervantes de la
Universidad Internacional SEK en la ciudad de Quito”**

Realizado por:

Salomé Carolina Chasipanta Tufiño

Como requisito para la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Ha sido dirigido por el profesor

Ing. Luis Alberto Soria Nuñez, Msc.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor.

Ing. Luis Alberto Soria Nuñez, Msc.

TUTOR

DECLARATORIA DE PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

Ing. Hugo Marcelo Otañez Gómez, Mag.

Ing. Diego Xavier Jara Almeida, Msc. MBA

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal
examinador.

Hugo Marcelo Otañez Gómez

Diego Xavier Jara Almeida

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud infinita con Dios; a mis padres, Marco y Jimena. Quienes han sido mi guía y soporte en este proceso de formación profesional. Por siempre confiar en mí e impulsarme a perseguir mi sueño hasta conseguirlo.

A mis hermanitas, Emi y Paula. Por ser comprensivas e increíble compañía en noches de estudio y apoyo emocional. Las amo mucho.

A Enrique y Janeth por su apoyo, palabras de aliento y amparo.

A mi abuelita por su amor incondicional.

RESUMEN

Hace más de veintiocho años se funda en el Ecuador la Universidad Internacional SEK, un prestigioso centro de educación superior. Tomando en cuenta la antigüedad del hormigón armado que conforma el bloque Administrativo, surge la necesidad de la realización de este trabajo de investigación, que tiene como objetivo principal, determinar el nivel de desempeño estructural al que podría llegar, en caso de tener que soportar la fuerza de un sismo. Dada la importancia de la estructura, se espera que los resultados proporcionen seguridad al personal que labora en este edificio. Para obtener la aproximación del análisis pushover, se realizó un modelamiento en el programa SAP2000. La metodología aplicada para validar la información que requería este estudio, se basó en un levantamiento de la geometría y compararla con planos proporcionados por la universidad. Adicional a esto, el ensayo aplicado fue el del esclerómetro para la determinación de la resistencia a la compresión que presenta el concreto actualmente. Debido al año de construcción del edificio, está establecido una comparación de los parámetros de diseño sismoresistente entre el código ecuatoriano de la construcción (CEC 2000) y la norma ecuatoriana de la construcción, en su versión más actualizada, la NEC 2015.

PALABRAS CLAVE (4)

Hormigón armado, bloque Administrativo, desempeño.

ABSTRACT

The SEK International University, a prestigious higher education center, was founded in Ecuador more than twenty-eight years ago. Knowing the age of the reinforced concrete that makes up the Administrative building, the need for this research work came up, whose main objective is to determine the level of structural performance it could reach, in case of an earthquake. Taking in count the importance of the structure, it is expected that the results will provide safety to the people who work in this building. In order to get the approximation of the pushover analysis, a model was performed in the SAP2000 program. The methodology applied to validate the information required for this study was based on a geometry survey and comparison with draws provided by the university. In addition, a sclerometer test was performed to determine the compressive strength of the concrete. Due to the year of construction of the building, a comparison of the seismic-resistant design parameters between the Ecuadorian construction code (CEC 2000) and the Ecuadorian construction standard, in its most updated version, the NEC 2015.

KEY WORDS (4)

Reinforced concrete, Administrative building, performance.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
1 CAPÍTULO I: Generalidades.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 TRABAJOS PREVIOS SOBRE EL TEMA	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6 ALCANCE	6
1.7 LIMITACIONES.....	6
1.8 HIPÓTESIS	7
1.9 DEFINICIÓN DE VARIABLES	7
1.9.1 RELACIÓN ENTRE VARIABLES.-.....	7
1.10 ANTECEDENTES.....	8
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1 UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.....	10
2.1.1 ESTRUCTURA COMO OBJETO DE ESTUDIO.....	11
2.2 SISMOS ENTRE EL AÑO DE CONSTRUCCIÓN Y LA ACTUALIDAD.....	14
2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	14
2.3.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.....	15
2.3.2 ACERO DE REFUERZO	15
2.4 CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CEC-2001	16
2.5 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC15.....	17
2.6 CEC 2000 vs NEC-15	18
2.7 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL ECUADOR	21
2.8 RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS 21	
2.8.1 ESPECTRO DE DISEÑO DE ACELERACIONES.....	22

2.8.2	COEFICIENTES DE PERFIL DE SUELO FA, FD Y FS	23
2.8.3	CORTANTE BASAL.....	23
3	CAPÍTULO III: ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	25
3.1	ESTÁTICO LINEAL	25
3.1.1	CURVA FUERZA- DEFORMACIÓN	26
3.2	ESTÁTICO NO LINEAL.....	27
3.2.1	MODELOS DE CONFINAMIENTO	28
3.2.2	PUSHOVER	29
4	CAPÍTULO IV: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	36
4.1	ENSAYOS.....	36
4.1.1	ESCLERÓMETRO.....	36
4.2	DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA.....	39
5	CAPÍTULO V: METODOLOGÍA.....	42
5.1	CÁLCULO DE CARGAS GRAVITATORIAS.....	43
5.2	CARGA MUERTA	43
5.3	CARGA VIVA	44
5.4	SOBRECARGA DE CUBIERTA.....	45
5.4.1	MOSAICO DE CARGAS.....	46
5.5	DEFINICIÓN DE ELEMENTOS.....	47
5.5.1	LOSA EQUIVALENTE	47
5.6	SECCIÓN AGRIETADA	48
5.7	TABULACIÓN DE DATOS DE ENSAYO ESCLEROMÉTRICO	49
5.8	COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO DE LA UISEK.....	52
5.8.1	COMPONENTES SÍSMICOS DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON CEC 2000.....	52
5.8.2	COMPONENTES SÍSMICOS DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON NEC 2015.....	55
5.9	ESTADOS DE CARGA PUSHOVER.....	58
6	CAPÍTULO VI: MODELAMIENTO.....	60
6.1	DEFINICIÓN DE MATERIALES	60
6.2	DEFINICIÓN DE ELEMENTOS.....	63
6.2.1	COLUMNAS	63
6.2.1	VIGAS.....	64

6.2.1	LOSAS.....	65
6.3	ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO DE LA UISEK.....	68
6.3.1	CÁLCULO DE ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON CEC 2000	68
6.3.1	CÁLCULO ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON LA NEC15.....	70
6.4	DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA.....	71
6.4.1	CARGAS SÍSMICAS CEC 2000 EN SX Y SY.....	71
6.4.1	CARGAS SÍSMICAS NEC 2015 EN SX Y SY.....	72
6.5	DEFINICIÓN DE ESTADOS DE CARGA	73
6.6	DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA	74
6.7	ASIGNACIÓN DE CARGAS.....	75
6.7.1	ASIGNACIÓN DE DIAFRAGMA	76
6.7.1	DEFINICIÓN DE FUENTE DE MASA	77
6.7.2	CASOS DE CARGA ANÁLISIS PUSHOVER.....	78
7	CAPÍTULO VII: RESULTADOS	80
7.1	CORTANTE BASAL CEC-2000.....	80
7.2	CORTANTE BASAL NEC-15	82
7.2.1	CONTROL DE DERIVAS DE PISO	83
7.2.2	PARTICIPACIÓN DE MASA	85
7.2.3	PERÍODOS DE VIBRACIÓN	86
7.2.4	CURVAS DE CAPACIDAD	87
8	CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
8.1	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Campus Miguel de Cervantes.	10
Ilustración 2 Ubicación de la parroquia de Universidad Internacional SEK.	11
Ilustración 3 Esquema de distribución en planta.	12
Ilustración 4 Fotografías de la planta alta del bloque.	13
Ilustración 5 Fotografías de la planta baja del bloque.	13
Ilustración 6 Diagrama de Flujo del Marco Conceptual del Diseño por desempeño.	18
Ilustración 7 Zonas sísmicas para propósitos de diseño CEC 2000.	19
Ilustración 8 Espectro sísmico elástico según CEC 2000.	20
Ilustración 9 Espectro elástico de aceleración (arriba) y espectro elástico de desplazamiento (abajo).	22
Ilustración 10 Gráfica del fuerzas del cortante basal.	24
Ilustración 11 Diagrama esfuerzo – deformación.	26
Ilustración 12 Gráfica de la secuencia del análisis pushover.	28
Ilustración 13 Gráfica del modelo Mander.	29
Ilustración 14 Modelos de rótulas en vigas o columnas.	30
Ilustración 15 Puntos Destacados en la curva de capacidad de acuerdo al modelo matemático.	31
Ilustración 16 Curva de momento rotación para rótulas plásticas FEMA 356.	32
Ilustración 17 Demanda de rendimiento y deformación estructural para estructuras dúctiles.	33
Ilustración 18 Niveles de desempeño de elementos estructurales ATC-40.	35
Ilustración 19 Niveles de desempeño de elementos estructurales y no estructurales FEMA-273.	35
Ilustración 20 Funcionamiento del Martillo de Rebote.	37
Ilustración 21 Fotografía del equipo utilizado (esclerómetro).	39
Ilustración 22 Vista de cubierta del bloque Administrativo.	39
Ilustración 23 Entrada a la Biblioteca.	40
Ilustración 24 Entrada del Bloque Administrativo.	40
Ilustración 25 Distribución geométrica bloque Administrativo.	41
Ilustración 26 Corte en elevación y en planta de losa bidireccional.	43
Ilustración 27 Distribución de carga en mosaico.	46
Ilustración 28 Análisis de Cargas para Vigas.	46

Ilustración 29 Curvas de conversión.....	50
Ilustración 30 Espectro elástico CEC 2000.....	52
Ilustración 31 Corrección de grilla.	60
Ilustración 32 Definición del acero.....	61
Ilustración 33 Definición de concreto $f'c=131,28$ kg/cm ²	62
Ilustración 34 Definición de concreto $f'c=203,49$ kg/cm ²	62
Ilustración 35 Definir Columnas.....	64
Ilustración 36 Definir vigas.	65
Ilustración 37 Definir losa.	66
Ilustración 38 Dibujo de elementos.....	66
Ilustración 39 Vista 3D del modelo.	67
Ilustración 40 Asignación de restricciones.....	67
Ilustración 41 Espectro Elástico Bloque Administrativo UISEK.....	69
Ilustración 42 Espectro Elástico CEC 2000- SAP200.	69
Ilustración 43 Espectro Elástico Bloque Administrativo UISEK.....	70
Ilustración 44 Definición de espectro elástico NEC15.....	71
Ilustración 45 Definición de coeficiente sísmico CEC 2000.	72
Ilustración 46 Definición de coeficiente sísmico NEC 2015.	73
Ilustración 47 Definición de estados de carga.	73
Ilustración 48 Definición de combinaciones de carga CEC2000.....	74
Ilustración 49 Definición de combinaciones de carga NEC-15.....	74
Ilustración 50 Asignación de cargas sobre losas.....	75
Ilustración 51 Asignación de carga de cubierta.	76
Ilustración 52 Asignación de carga de cubierta.	76
Ilustración 53 Asignación de diafragma.....	77
Ilustración 54 Definición de masa.....	77
Ilustración 55 Carga del espectro de respuesta.....	78
Ilustración 56 Definición de carga gravitacional no lineal.....	78
Ilustración 57 Definición de estado de carga PushoverX.....	79
Ilustración 58 Representación bilineal de la curva de capacidad X.....	87
Ilustración 59 Rótulas PushoverX Paso 4.....	87
Ilustración 60 Espectro de Capacidad Pushover X.....	90
Ilustración 61 Representación bilineal de la curva de capacidad Y.....	91

Ilustración 62 Rótulas PushoverY Paso 4.....92
Ilustración 63 Espectro de Capacidad Pushover Y.....94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Combinaciones de carga CEC 2000.....	17
Tabla 2 Combinaciones de Cargas NEC-15.....	19
Tabla 3 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, CEC 2000.....	20
Tabla 4 Factores de sitio para el sector norte.....	23
Tabla 5 Control de daño y niveles de desempeño para edificios.....	34
Tabla 6 Cálculo de carga muerta.....	44
Tabla 7 Carga Viva para Oficinas.....	44
Tabla 8 Carga Viva para Aulas.....	45
Tabla 9 Carga de cubierta.....	45
Tabla 10 Valores agrietados de inercia de la sección transversal del elemento.....	49
Tabla 11 Tabulación de datos ensayo del esclerómetro.....	51
Tabla 12 Concretos ($f'c$) del Bloque Administrativo UISEK.....	52
Tabla 13 Parámetros del espectro elástico.....	53
Tabla 14 Valores Factor Z CEC 2000.....	53
Tabla 15 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, CEC 2000.....	54
Tabla 16 Caracterización del suelo, zona sísmica y períodos.....	54
Tabla 17 Factor de período de vibración CEC-2000.....	55
Tabla 18 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada NEC15.....	55
Tabla 19 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, NEC 2015.....	56
Tabla 20 Caracterización del suelo, zona sísmica y períodos.....	57
Tabla 21 Tabla de factores para período de vibración.....	57
Tabla 22 Tabla de factores K.....	58
Tabla 23 Valores máximos de ΔM – CEC2000 y NEC15.....	58
Tabla 24 Propiedades técnicas del acero.....	61
Tabla 25 Espectro Elástico.....	68
Tabla 26 Espectro Elástico.....	70
Tabla 27 Cargas asignadas.....	75
Tabla 28 Cortante Basal CEC-2000.....	80
Tabla 29 Cortante Basal CEC2000.....	80
Tabla 30 Cortante Estático y Dinámico X,Y.....	80
Tabla 31 Ajuste cortante estático y dinámico - CEC2000.....	81
Tabla 32 Ajuste del cortante basal.....	81

Tabla 33 Cortante Estático y Dinámico X,Y.	81
Tabla 34 Ajuste cortante estático y dinámico - CEC2000.	81
Tabla 35 Cortante Basal Corregido.	82
Tabla 36 Cortante Basal NEC-15 y período de vibración	82
Tabla 37 Cortante Basal SAP 2000- NEC15.	82
Tabla 38 Cortante Estático y Dinámico X,Y.	83
Tabla 39 Cortante Estático y Dinámico – NEC2015.	83
Tabla 40 Desplazamientos en uniones – CEC2000.	83
Tabla 41 Deriva de piso Sx – CEC2000.	83
Tabla 42 Deriva de piso Sy – CEC2000.	84
Tabla 43 Desplazamientos en uniones – NEC15.	84
Tabla 44 Deriva de piso Sx – NEC15.	84
Tabla 45 Deriva de piso Sy – NEC15.	85
Tabla 46 Participación de la masa en el modo de vibración.	85
Tabla 47 Períodos de vibración para cada modo.	86
Tabla 48 Chequeo de rotación y traslación de la estructura	86
Tabla 49 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 5% de L de los elementos.	88
Tabla 50 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 95% de L de los elementos.	88
Tabla 51 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 5% de L de los elementos.	93
Tabla 52 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 95% de L de los elementos.	93
Tabla 53 Control de daño y niveles de desempeño para edificios.	95
Tabla 54 Nivel de desempeño estructural para estructural esenciales y de uso especial	95
Tabla 55 Niveles de amenaza sísmica	96
Tabla 56 Objetivos de rehabilitación.....	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Módulo estático de elasticidad del hormigón.....	15
Ecuación 2 Módulo de elasticidad según ACI-318.....	15
Ecuación 3 Cortante Basal.	24
Ecuación 4 Período de Vibración.	24
Ecuación 5 Relación de losas alivianadas.....	43
Ecuación 6 Ecuaciones para cálculo de carga trapezoidal.	47
Ecuación 7 Ecuación del Teorema de Steiner.....	47
Ecuación 8 Cálculo de la inercia de un rectángulo.	48
Ecuación 9 Sumatoria Promedio de Lecturas y Desviación.....	49
Ecuación 10 Fórmula para determinar la resistencia a la compresión concreto.....	49
Ecuación 11 Período de Vibración CEC-2000.....	54
Ecuación 12 Períodos límite de vibración.....	56
Ecuación 13 Período de vibración NEC 2015.....	57
Ecuación 14 Límite de deriva CEC 2000 (arriba), NEC15 (abajo).	58
Ecuación 15 Combinaciones de cargas para efectos de rehabilitación.	59
Ecuación 16 Períodos límite de vibración y espectro de respuesta.	68
Ecuación 17 Coeficiente sísmico CEC 2000.	71
Ecuación 18 Coeficiente sísmico NEC 2015.	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Observación de acero de refuerzo con varilla lisa	107
Anexo 2 Elemento con acero de refuerzo con varilla lisa	108
Anexo 3 Ensayo esclerométrico en columna	109
Anexo 4 Nivelación de esclerómetro	109
Anexo 5 Ensayo de esclerómetro en altura	110
Anexo 6 Ensayo columna PA	111
Anexo 7 Ensayo viga PA	112
Anexo 8 Ensayo columna PB	113
Anexo 9 Ensayo Viga PB	114
Anexo 10 Ensayo Losa PB.....	115

1 CAPÍTULO I: Generalidades

1.1 INTRODUCCIÓN

El hormigón es el segundo material más utilizado para la construcción después del agua en el mundo. La estructura de hormigón puede soportar tensiones de compresión de forma muy eficaz, pero no puede soportar tensiones de tracción. Entonces, el acero de refuerzo se debe colocar en donde la estructura está bajo la carga de tensión.

Por otro lado, la compresión tectónica resultante de la convergencia de estas placas oceánicas con las placas norteamericana, caribeña y sudamericana es responsable del levantamiento de una cadena continua de montañas que se extiende desde la Cordillera Central de México hasta los Andes de Sudamérica. Esta cadena montañosa se caracteriza por tener volcanes y fallas activas, y la activación esporádica de estos elementos tectónicos es la principal fuente de terremotos poco profundos en la ciudad de Quito.

En consecuencia, los edificios se clasifican en función de su ocupación y su tipo estructural. Las categorías de ocupación de los edificios se definen sistemáticamente en la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) como: esencial, ocupación especial, y otras estructuras. Esto con el objetivo de que, en caso de suscitarse un evento sísmico, de acuerdo a la importancia de las edificaciones, estas se mantengan en funcionalidad y al servicio de la comunidad afectada por este desastre natural. Por lo tanto, el bloque Administrativo de la UISEK, al ser una estructura de categoría especial, requiere una verificación del desempeño estructural que mantiene el edificio en la actualidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolla a partir de la necesidad de comprobar que el bloque administrativo del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK, cumpla con el apartado de verificación del desempeño estructural de la NEC-SE-RE menciona que, "...se deberá realizar un análisis de verificación del desempeño sísmico..." (NEC, 2015), mismo que se refiere al diseño sísmico de estructuras de. El presente caso de estudio, es un centro de educación que por su uso e importancia pertenece a la categoría de ocupación especial. Tomando en cuenta que, ha transcurrido un tiempo considerable desde el año de construcción y la actualidad; lapso en el que la normativa de construcción en el Ecuador ha presentado ciertas actualizaciones, las cuales podrían incidir en el diseño así como en el futuro comportamiento de la estructura. Por consiguiente se debe realizar el análisis del desempeño sísmico en el rango inelástico para la prevención de colapso ante una amenaza sísmica (Orellana Gonzalo, 2017).

El beneficio de los resultados de este trabajo lo obtendrán las autoridades de la universidad, sobre quienes recae la responsabilidad de la seguridad personal de los usuarios del bloque administrativo, es decir, con el conocimiento del nivel de desempeño será posible planear reparaciones necesarias si es que el edificio lo requiere. No es posible sugerir un reforzamiento estructural a razón de que es necesario conocer la distribución del acero de refuerzo por medio del ensayo del pachómetro, mismo que no fue posible llevar a cabo.

1.3 TRABAJOS PREVIOS SOBRE EL TEMA

Debido a que en los últimos treinta años la construcción informal fue muy común, o en su defecto el diseño estructural de una edificación varía según la normativa vigente en el país donde se desarrolle el proyecto; los trabajos a ser tomados en cuenta como referencia, analizan el desempeño estructural de diferentes edificaciones, algunas destinadas al uso educativo al igual que el bloque administrativo al que se va a dirigirse el análisis de este trabajo. A su vez, las investigaciones hacen referencia a las normativas nacionales e internacionales que deben seguir los parámetros de diseño con los que deben ser construidos. Adicionalmente describen los procesos que llevaron a cabo para el levantamiento de información, recolección de datos e interpretación de resultados. A continuación se enlista los trabajos que se relacionan y contribuirán con información para nuestro trabajo.

-Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena; paper publicado en 2018 por Ricardo Medina y Juan Music.

-Análisis estático no lineal (pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad del Salvador; trabajo de titulación presentado por César Duarte, Marlon Martínez y José Santamaría en 2017.

- Análisis del desempeño sísmico del edificio de aulas de la unidad académica de ingeniería civil; tesis desarrollada en 2017 por Stefany Mancheno en la ciudad de Machala.

-Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial aporticado de hormigón armado según la norma ecuatoriana de construcción; trabajo de titulación de la autoría de Gonzalo Orellana y Jonnathan Parra de la ciudad de Cuenca en 2017.

-Diseño de edificios con las fuerzas sísmicas de los códigos CEC y NEC; tesis previa a titulación desarrollada en 2016 por Diego Bustos en la ciudad de Quito.

-Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigón armado mediante los Códigos FEMA, utilizando Etabs elaborado por Luis Alemán y Luis Naranjo en Sangolquí durante el año de 2011.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En vista de que se ha identificado la peligrosidad sísmica que registra Quito y además según datos históricos de los sismos originados en la ciudad capital, se requiere de una constante actualización de información catastral; así como el desarrollo de estudios de riesgo sísmico con el fin de evitar pérdidas humanas y materiales en caso de que en cualquier momento se suscite un sismo.

Es de conocimiento general, que las construcciones en décadas anteriores durante su proceso de diseño, no fueron tomados en cuenta parámetros de diseño estructural que en la actualidad han cambiado. Según estudios, varias estructuras, que su construcción fue hace más de 25 años del reforzamiento transversal se encuentran en menor cantidad con respecto al reforzamiento longitudinal. En consecuencia, si estas estructuras enfrentaran fuerzas generadas por un sismo severo, fallarían a corte y el reforzamiento longitudinal permanecería en el rango elástico. La complejidad de los problemas de seguridad, confiabilidad y durabilidad en las condiciones de las estructuras de edificios modernos requiere que se desarrollen y mejoren continuamente métodos de prueba especializados. Para diagnosticar y evaluar correctamente las estructuras de los edificios se deben aplicar los métodos óptimos de ensayo in situ, que permitan una precisión suficiente en la evaluación de los estados límite de los edificios durante toda su vida útil.

Por otro lado, para la construcción de una edificación es indispensable que el profesional a cargo de la misma, considere que al momento de diseñar los elementos estructurales estos presenten la misma resistencia a lo largo de toda su sección y que esta sean de igual o similar valor a la calculada, considerando cargas gravitacionales y fuerzas sísmicas como lo establece el Código Ecuatoriano de la Construcción y de la misma forma lo menciona la NEC, actualizada en el año 2015.

Para lograr desarrollar el análisis de desempeño de una estructura de hormigón armado, es necesario conocer las propiedades de los materiales que la componen, bajo que normativa se apegaron las personas encargadas de su construcción y contar con planos base que aporten datos de interés.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el nivel actual de desempeño estructural del bloque Administrativo del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK ubicado en la ciudad de Quito aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción 2015.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar y comprobar el nivel de desempeño actual de la estructura, establecer un diagnóstico sobre la situación actual de la misma, mediante la validación de la geometría y materiales utilizados para su construcción.
- b. Verificar que el comportamiento estructural del edificio es aceptable, según la norma ecuatoriana de construcción del 2015.
- c. Modelar en un software el edificio para su análisis, lo que contribuirá a concluir sobre su comportamiento y desempeño estructural.

1.6 ALCANCE

Este estudio se realiza con la finalidad de la determinación del nivel de desempeño de la estructura definida como el bloque administrativo de la UISEK. El máximo alcance de este trabajo podría describirse como un modelamiento estructural del edificio lo más acercado a la realidad, en base a la información disponible y recolectada en el proceso. Para llegar a determinar el nivel de desempeño se aplica los análisis estáticos lineal y no lineal. De ser posible se podría llegar a recomendaciones sobre reparaciones superficiales que requiera el edificio.

1.7 LIMITACIONES

La falta de los planos estructurales del edificio en estudio hace obligatorio la realización de ensayos no destructivos que contribuyan en la comprobación de la distribución del acero de refuerzo y la resistencia a la compresión del concreto. Cabe mencionar que, en un inicio se planeó la posibilidad de realizar un ensayo de pachómetro, con el fin de localizar y mapear la distribución del acero de refuerzo. Sin embargo, no fue posible llevar a cabo este ensayo, solamente se logra ensayar el actual estado de la resistencia del concreto. A su vez la información sobre el año de construcción y especificaciones de materiales usados son inexistentes.

Las restricciones de bioseguridad debido a la pandemia durante el año en que se está realizando este trabajo hacen que la recopilación de información tome más tiempo de lo normal.

1.8 HIPÓTESIS

Se comprueba que el nivel de desempeño estructural del bloque administrativo de la Universidad Internacional SEK cumple con los requerimientos establecidos para su uso y según lo establecido en la NEC-15; a través de un análisis comparativo entre el código ecuatoriano de la construcción y la norma ecuatoriana de la construcción.

1.9 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Configuración estructural así como los materiales con los que fue construido el bloque administrativo de la UISEK.

Variable Dependiente: Desempeño estructural y la metodología a aplicarse para su determinación.

1.9.1 RELACIÓN ENTRE VARIABLES.-

Se pretende establecer la relación entre variables de manera que, el diseño de la investigación se difene como experiemetal debido a que la variable independiente es, la configuración estructural del bloque ya que es la parte de la investigación que no es posible modificar. Además la variable dependiente se determina con el análisis pushover de la estructura, sobre el que se analizará, ensayará y verificará los parámetros del desempeño.

1.10 ANTECEDENTES

Una estructura, ya sea que fue construida en hormigón armado, acero, madera u cualquier otro material; una vez que ha trascendido un período de uso considerable es adecuado realizar un análisis de desempeño de la misma, ya que las características mecánicas de los materiales que lo componen han reducido su capacidad de resistencia. A su vez es susceptible a sufrir fallas estructurales o daños ocasionados por fenómenos naturales como lo son los sismos.

La ubicación geológica del Ecuador dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, hace del mismo un escenario donde los profesionales de la construcción del país, se encuentran en la estricta responsabilidad de diseñar estructuras dúctiles, que respondan y resistan correctamente a cargas sísmicas. Debido a la inevitable posibilidad de la ocurrencia de un sismo, resulta de gran importancia el análisis de capacidad estructural de un edificio que debido a su uso o años de construcción posiblemente presente limitaciones en su estado actual.

“Estudios de sismicidad muestran que cada 50 años (en promedio), se han producido terremotos con epicentros localizados a diferentes distancias de la ciudad, que han ocasionado importantes daños en la misma” (Valverde J., 2002).

En la región sierra entre 1977 y 2002 no se registraron sismos de gran magnitud, sin embargo esto puede significar que la acumulación de energía de varios años provoque un sismo sin precedentes en esta parte del Ecuador (Aguilar, Análisis sísmico por desempeño, 2013). Históricamente se han registrado pocos eventos sísmicos que tienen origen en el sistema de fallas de Quito y han afectado significativamente viviendas y edificios a lo largo de la ciudad (Yepes, 2014).

10 de agosto de 1990 – Magnitud Mw 5.3.

12 de agosto 2014 – Magnitud Mw 5.1.

16 Abril 2016 – Magnitud Mw 7.8 (El sismo que tuvo epicentro en la ciudad de Pedernales, sin embargo tal fue su magnitud, que liberó energía en gran parte del territorio ecuatoriano).

La Universidad Internacional SEK, sede Ecuador, se fundó en el año de 1993 iniciando sus actividades académicas con facultades como Ciencias Económicas y Administrativas, Ingeniería del Medio Ambiente, Turismo y Patrimonio Cultural. Hasta el año del 2021 la universidad cuenta con tres amplios campus en donde se desarrollan las actividades académicas. El más valioso es el campus “Juan Montalvo” situado en el Monasterio de Guápulo, conjunto arquitectónico y artístico que data de 1587.

El campus “Miguel de Cervantes” construido por la Institución SEK en 1998 y ampliado entre 2005 y 2009, se ubica en la zona de Carcelén, dentro de la ciudad Quito, Ecuador. El más reciente es el campus “Felipe Segovia Olmo” donde se ubica la Business School y algunos postgrados (UISEK, 2021).

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

San Estanislao de Kostka fue el primer colegio que se fundó en Madrid mientras transcurría el año de 1892 y después se expandirían todos los centros escolares laicos que, hasta la actualidad llevan las mismas iniciales, SEK en honor a ese primer establecimiento (SEK, 2021). Como universidad, está presente en alrededor de quince países y llega al Ecuador hace aproximadamente treinta años. Con tres campus educativos dentro de la ciudad de Quito y una estación científica en Limoncocha, la universidad internacional SEK Ecuador es un prestigioso centro de formación universitaria.

El campus ubicado en el sector de Carcelén, “Miguel de Cervantes” se distribuye en tres bloques de hormigón: aulas, administrativo y facultad de ingeniería ambiental. Por otro lado la facultad de ingeniería mecánica es el bloque más reciente, construido en estructura metálica.



Ilustración 1 Campus Miguel de Cervantes.

Fuente: (Freire, 2017).

2.1.1 ESTRUCTURA COMO OBJETO DE ESTUDIO

El edificio en el que se va a realizar el análisis, presuntamente fue construido durante el año de 1993. En la actualidad se encuentra totalmente funcional y a disposición del personal administrativo de la universidad.

2.1.1.1 Localización Geográfica

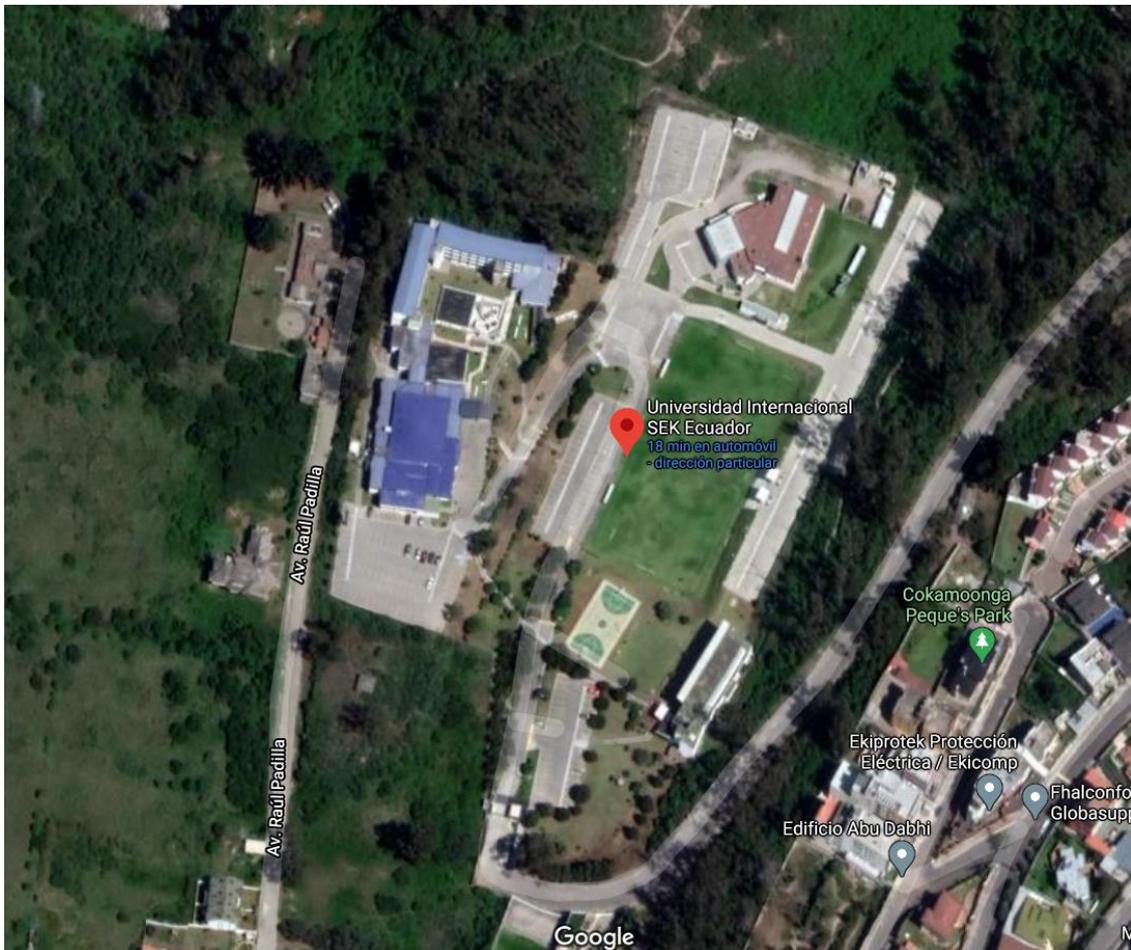


Ilustración 2 Ubicación de la parroquia de Universidad Internacional SEK.

Fuente: (Maps, 2021).

2.1.1.2 Características De La Estructura

El edificio está destinado para uso administrativo de la universidad, es decir, que está ocupado principalmente por el personal de rectorado, secretaría, departamento de idiomas, bienestar estudiantil y otros.

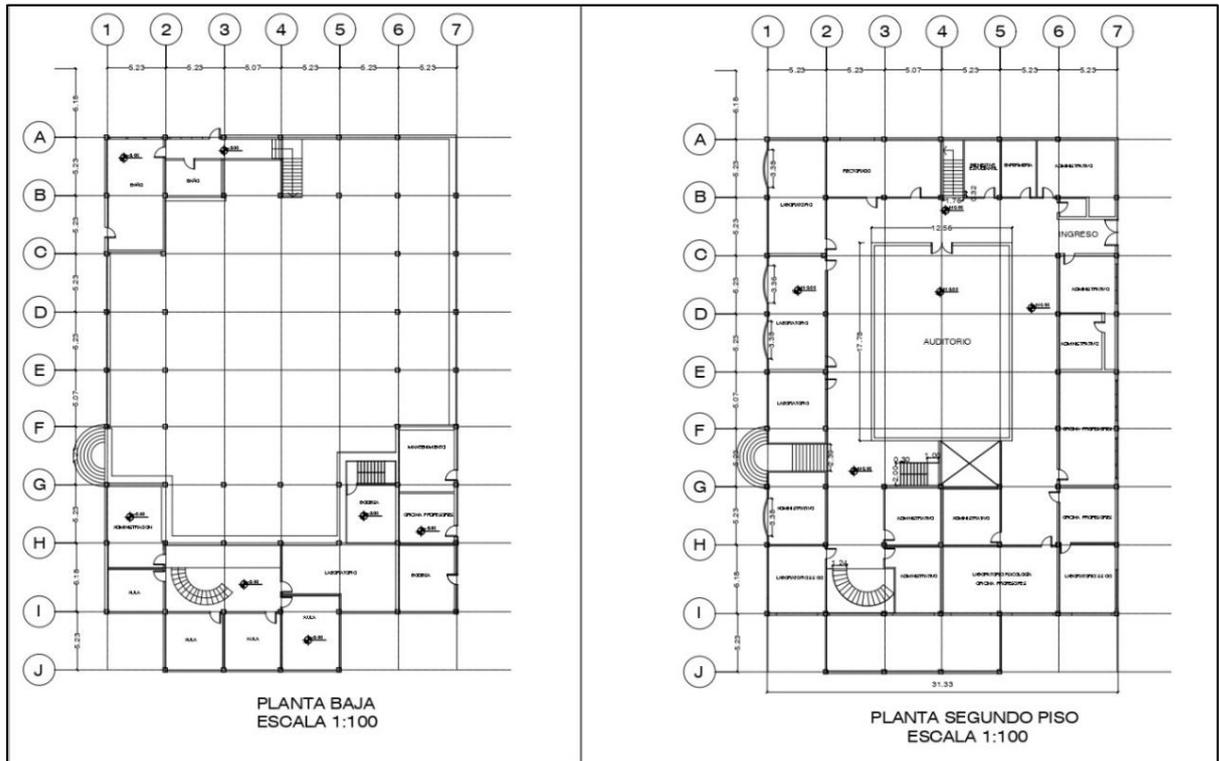


Ilustración 3 Esquema de distribución en planta.

Fuente: (Uisek, 2013).

El planteamiento arquitectónico del bloque administrativo es de dos pisos; la planta alta y una planta baja cada una con un área de 1409,31 m² de construcción aproximadamente, según los planos proporcionados.

Planta alta: en el centro de esta planta se ubica el auditorio principal, el mismo que mide 273 m². Aquí se ubican oficinas como: dispensario médico, bienestar estudiantil, secretaría, tesorería, centros de computación, relaciones internacionales y el rectorado.

Planta baja: En esta planta se encuentran oficinas como las del departamento de idiomas, bodegas y baños.



Ilustración 4 Fotografías de la planta alta del bloque.

Fuente: (Chasipanta, 2021).

Los materiales utilizados en la construcción del bloque fueron el hormigón y el acero de refuerzo.



Ilustración 5 Fotografías de la planta baja del bloque.

Fuente: (Chasipanta, 2021).

2.2 SISMOS ENTRE EL AÑO DE CONSTRUCCIÓN Y LA ACTUALIDAD

2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las estructuras de hormigón generalmente no son homogéneas y contienen una variedad de materiales (incluidos cemento, agregados, poros, yeso, barras de refuerzo y fibras de acero) con diversas propiedades térmicas (Murray, 2009).

Estas estructuras deben ser seguras, duraderas, útiles y sostenibles durante su vida útil. Durante el período de servicio, puede estar sujeto a diversas condiciones de carga, en algunos casos, a terremotos y vientos fuertes. Estas cargas reducen el rendimiento de la estructura, la dañan gravemente o provocan su colapso por completo (Joshi, 2020). Muchas estructuras de hormigón a menudo están sujetas a cargas dinámicas de corta duración. Estas cargas se originan a partir de fuentes como el impacto de misiles, proyectiles, ráfagas de viento, terremotos y vibraciones de máquinas. El impacto es un fenómeno dinámico complejo que involucra fallas por cizallamiento, aplastamiento y fracturas por tracción.

La resistencia a la compresión de un material está determinada por la capacidad del material para resistir fallas en la forma de grietas y fisuras. Debido a que el hormigón es un material excelente para resistir cargas de compresión, se utiliza en presas, cimientos, columnas, arcos y revestimientos de túneles donde la carga principal está en compresión. La resistencia a la compresión del hormigón es la propiedad más común y la medida utilizada por los ingenieros en edificios diseñados y otras estructuras para determinar si el hormigón es estructuralmente aceptable o no.

A menudo es necesario hacer pruebas al hormigón endurecido para determinar la idoneidad de una estructura. Se debe evaluar la integridad estructural de las estructuras existentes, después de años de exposición a condiciones ambientales adversas y otras tensiones. Las evaluaciones no destructivas de edificios y pavimentos aún en construcción, detectan deficiencias en los materiales mientras aún hay tiempo para corregirlas (Backus, 2021).

2.3.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Se define como la relación entre la tensión normal y la deformación normal por debajo del límite proporcional de un material llamado módulo de elasticidad. Esta propiedad del concreto, por lo general, se calcula con la prueba de los cilindros (diámetro 15cm, longitud 30cm, el volumen es de 15cm³) y se determina con un gráfico de tensión y deformación.

Es importante tomar en cuenta que las características de los materiales del Ecuador son diferentes a los de otros países. Resulta entonces necesario caracterizar un módulo de elasticidad en base al concreto que se obtiene de los materiales provenientes de canteras dentro del país.

Para justificar lo mencionado anteriormente, en 2013 se realiza una investigación con materiales de la mina “San Ramón” y Cemento Chimborazo, en conclusión se obtuvo la siguiente ecuación:

$$E = 11070 \times \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 1 Módulo estático de elasticidad del hormigón.

Fuente: (Rivadeneria, 2013).

Esta ecuación “...representa el 73.72 % de la resistencia especificada por el código ACI318, que propone un valor de: (Rivadeneria, 2013)”.

$$E = 15100 \times \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 2 Módulo de elasticidad según ACI-318.

Fuente: (ACI-318, 2019).

2.3.2 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo, es un material de construcción que se fabrica a partir de una materia prima llamada mineral de hierro. Se utiliza en el hormigón para proporcionar una resistencia adicional, ya que el acero es fuerte en tensión y compresión. Se utiliza

en puentes, edificios, rascacielos, casas, almacenes y cimientos. Sin embargo, no todas las estructuras de hormigón necesitan barras de refuerzo, pero se suelen utilizar en la construcción de edificios y otros tipos de mampostería porque dan fuerza al hormigón y absorben la tensión. Esto evita que el hormigón se agriete o que los forjados se rompan. Proporciona protección contra la corrosión y da durabilidad a las estructuras.

2.4 CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CEC-2001

En la norma estadounidense Uniform Building Code más conocida como la UBC de 1997, el misma que menciona que una fuerza sísmica se admite sobre una estructura solo si el comportamiento de la misma no presenta colapso y pérdida de vidas. La norma también basa su diseño sismo resistente en el cálculo de fuerzas estáticas equivalentes que por efecto de movimientos sísmicos, los elementos estructurales del edificio deberán responder de forma dúctil y un comportamiento lineal (Cahís, 2001). Este código contiene treinta y cinco capítulos; en donde los requerimientos de diseño estructural se desarrollan en el capítulo 16. Importante mencionar que, dentro de los parámetros de respuesta elástica se determinan con un análisis dinámico.

Durante el 2001 el consejo directivo del INEN aprobó un documento de 12 capítulos que presentan los requerimientos en cuanto a diseño para la construcción en el Ecuador, dentro del cual existe un capítulo para estructuras sismo-resistentes que sugiere los parámetros para su correcto comportamiento ante fuerzas de origen sísmico.

Como parte de los requisitos fundamentales para el diseño de estructuras el CEC 2000 sugiere la combinación de cargas como muestra la tabla a continuación:

Combinación 1	$1.4D + 1.7L$
Combinación 2	$0.75*(1.4D + 1.7L + 1.87Ex)$
Combinación 3	$0.75*(1.4D + 1.7L - 1.87Ex)$
Combinación 4	$0.75*(1.4D + 1.7L + 1.87Ey)$
Combinación 5	$0.75*(1.4D + 1.7L - 1.87Ey)$
Combinación 6	$0.9D + 1.43Ex$
Combinación 7	$0.9D - 1.43Ex$

Combinación 8	$0.9D + 1.43E_y$
Combinación 9	$0.9D - 1.43E_y$

Tabla 1 Combinaciones de carga CEC 2000.

Fuente: (Correa & Machado, 2016).

2.5 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC15

En vista de las grandes pérdidas y daños que provocó el mega sismo de 2010 en Chile, mismo que tuvo una magnitud de 8.8 (Universidad de Chile, 2012). Las principales autoridades encargadas de regular el sector de la construcción en el Ecuador, tomaron la decisión de realizar cambios en el CEC entre ellos el hecho de que se incluyan espectros de desplazamiento, los mismos que se utilicen para una posible proyección hacia la construcción de estructuras con aisladores sísmicos. (Aguiar, 2013). Es entonces, como según el Acuerdo Ministerial N°0028 a los seis meses de su publicación entró en vigencia la primera versión de la Norma Ecuatoriana de la Construcción mientras transcurría el año 2011 (MIDUVI, 2021).

Dentro del territorio ecuatoriano las construcciones se rigen bajo la NEC actualizada hasta el año 2015, misma que presenta y ofrece capítulos para direccionar la evaluación, diseño y rehabilitación de las estructuras.

A continuación se presenta un diagrama de flujo para diseño de estructuras por desempeño que exponen Luis Alemán y Luis Naranjo en su trabajo de titulación, el mismo que, nos da una idea resumida y ordenada del proceso que contempla una estructura, desde su idealización hasta el mantenimiento de la misma.

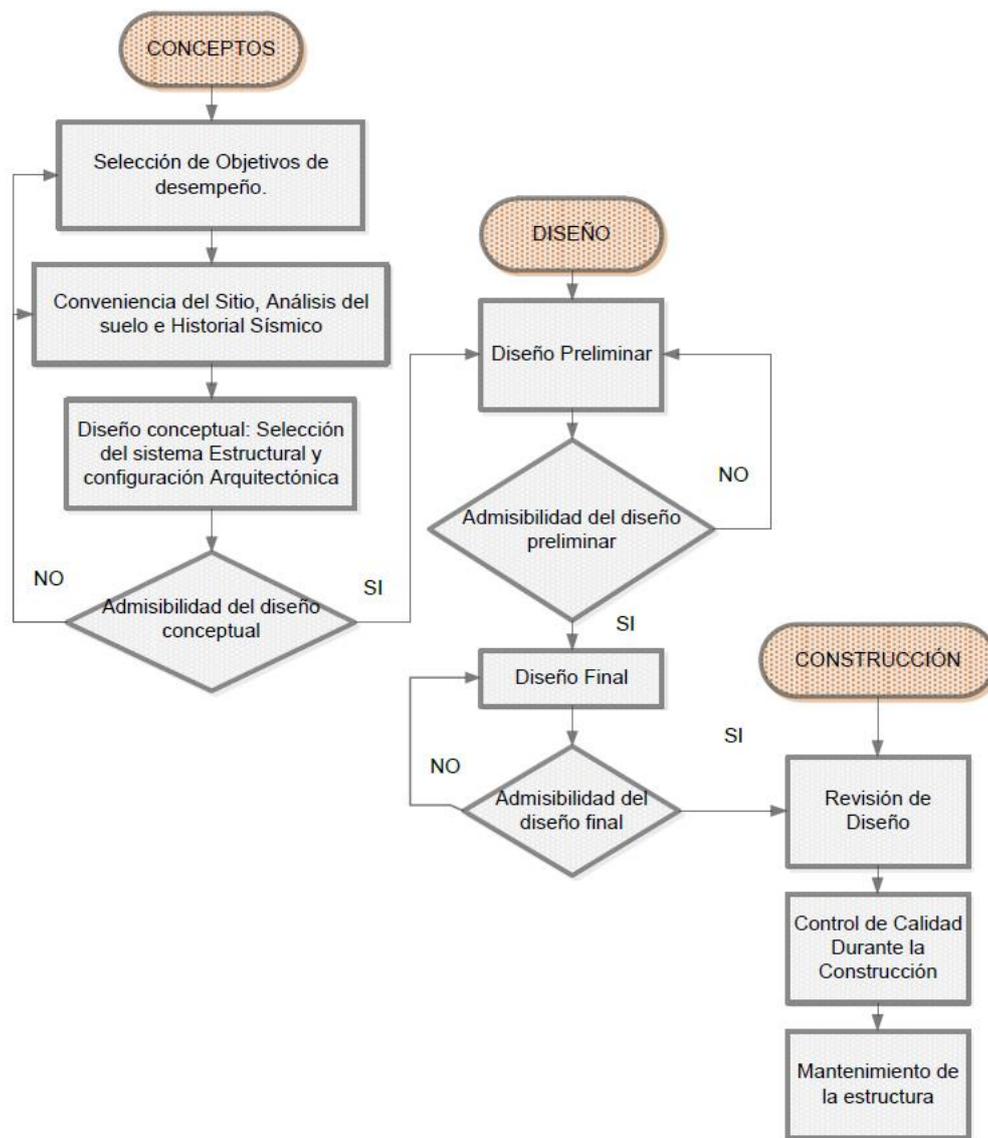


Ilustración 6 Diagrama de Flujo del Marco Conceptual del Diseño por desempeño.

Fuente: (Alemán & Naranjo, 2011).

2.6 CEC 2000 vs NEC-15

Resulta necesario mencionar diferencias teóricas y de parámetros considerados entre las normas de construcción ecuatoriana. En la actual norma, NEC-15 las combinaciones de cargas si difieren con respecto al CEC 2000. Las cargas de granizo, viento y sobrecarga de cubierta son tomadas en cuenta. Además, “el sismo tiene una particularidad puesto que en el CEC es una carga de servicio, mientras que en la NEC es un carga última” (Correa & Machado, 2016).

C1	1.4D
C2	1.2D+1.6L+0.5Lr,SR
C3	1.2D+1.6Lr,S,R+L,0.5W
C4	1.2D+1W+L+0.5Lr,S,R
C5	1.2D+1E+L+0.2S
C6	0.9D+1W
C7	0.9D+1E

Tabla 2 Combinaciones de Cargas NEC-15.

Fuente: (NEC-SE-CG, 2015).

Otro de los cambios del CEC al NEC es el mapa de la zonificación sísmica en el cual se añadió la zona VI, es decir, el máximo valor de factor Z en la NEC es de $\geq 0.5g$. Es así que, la aceleración de gravedad para la región Costa según el CEC era de 0.4 y en la NEC es de 0.5.

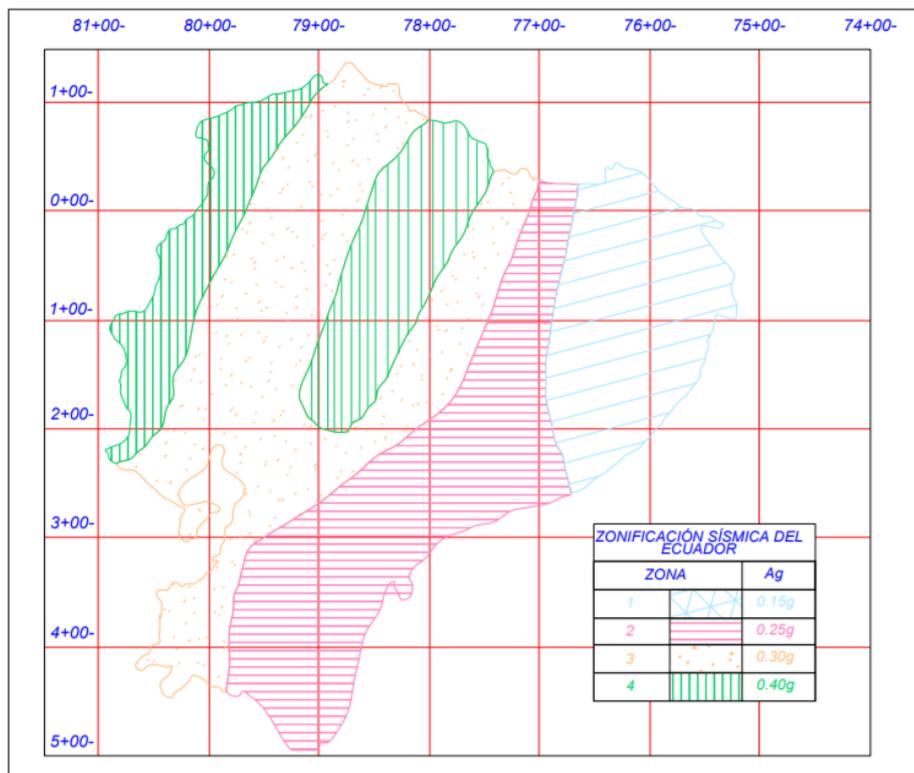


Ilustración 7 Zonas sísmicas para propósitos de diseño CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

Cabe mencionar también una mejor clasificación de tipos de perfiles de suelos y una detalla descripción que considera los coeficientes de perfil de suelo (F_a , F_d y F_s), hacen que la construcción de la curva del espectro de respuesta sea más acertado. A diferencia que en el CEC se considera los coeficientes de suelo (S y C_m).

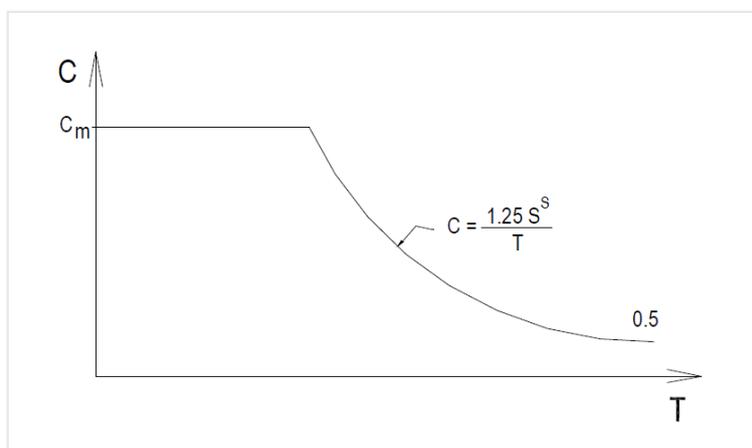


Ilustración 8 Espectro sísmico elástico según CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

Factor de reducción de resistencia sísmica (R), que establece el diseño sismo resistente y como lo describe la tabla cada elección del mismo depende del sistema estructural que especifica diferentes tipos de estructuras y materiales.

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado.	12
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado.	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras	9
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio	7
Estructuras de madera	7
Estructuras de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

Tabla 3 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R , CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

2.7 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL ECUADOR

Los eventos sísmicos en el territorio ecuatoriano es un fenómeno natural que, por mucho tiempo, han afectado significativamente las vidas de sus habitantes. Resulta difícil explicar los daños y pérdidas humanas que causan los sismos en cuestión de segundos. Durante el último siglo los terremotos no han aumentado pero tampoco han disminuido, lo que quiere decir, es que, la vulnerabilidad sísmica es variante. Por consiguiente, surge la necesidad de calcular el peligro sísmico, el riesgo y los criterios de diseño en Sudamérica utilizando los últimos datos, modelos y métodos para apoyar a los funcionarios públicos, científicos e ingenieros en sus esfuerzos para la mitigación del riesgo de terremotos.

2.8 RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS

El riesgo sísmico podríamos definirlo como el peligro al que se encuentra expuesta una estructura en caso de presentarse un movimiento sísmico. Según la norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo de riesgo sísmico menciona los niveles de desempeño estructural y no estructural de las edificaciones que ya han sido construidas y las clasifica en cuatro (1-A, 1-B, 3-C, 5-E). El NEC-SE-RE se basa también en las recomendaciones para levantamiento de información del ASCE-SEI 41-17 y el FEMA 273 ya que estos documentos presentan datos más actualizados.

Hay diversos procedimientos de estudio que entregan una respuesta estructural acercada a la realidad, "...bajo los diferentes estados de carga, estudio estáticos y dinámicos dentro del rango flexible e inelástico, que permiten evaluar las construcciones de tal forma que sean capaces de tolerar sismos de leve intensidad sin exponer males estructurales, sismos de mediana intensidad percibiendo males estructurales reparables y sismos de gran intensidad evitando el colapso..." (Duarte César, 2017); es por esto que se requiere realizar ensayos que validen la información sobre su diseño y lograr proceder con el análisis pertinente.

De acuerdo a la ubicación geográfica de la estructura, es decir, una zona de alta peligrosidad sísmica, como lo es la ciudad de Quito. La clasificación de uso e importancia del bloque Administrativo y conforme a la normativa actual en el Ecuador.

El análisis deberá atender las demandas sísmicas y la capacidad de resistencia y deben ser las mismas para todos los elementos estructurales.

2.8.1 ESPECTRO DE DISEÑO DE ACELERACIONES

Como muestran las ilustraciones, los espectros elásticos de diseño, se construyen mediante diagramas a partir de aceleraciones (g) y desplazamientos (seg); teniendo en cuenta que el espectro de desplazamiento depende del espectro elástico de aceleración (Sa) (Bermeo & Sánchez, 2017).

“Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño” (NEC-SE-DS, 2015).

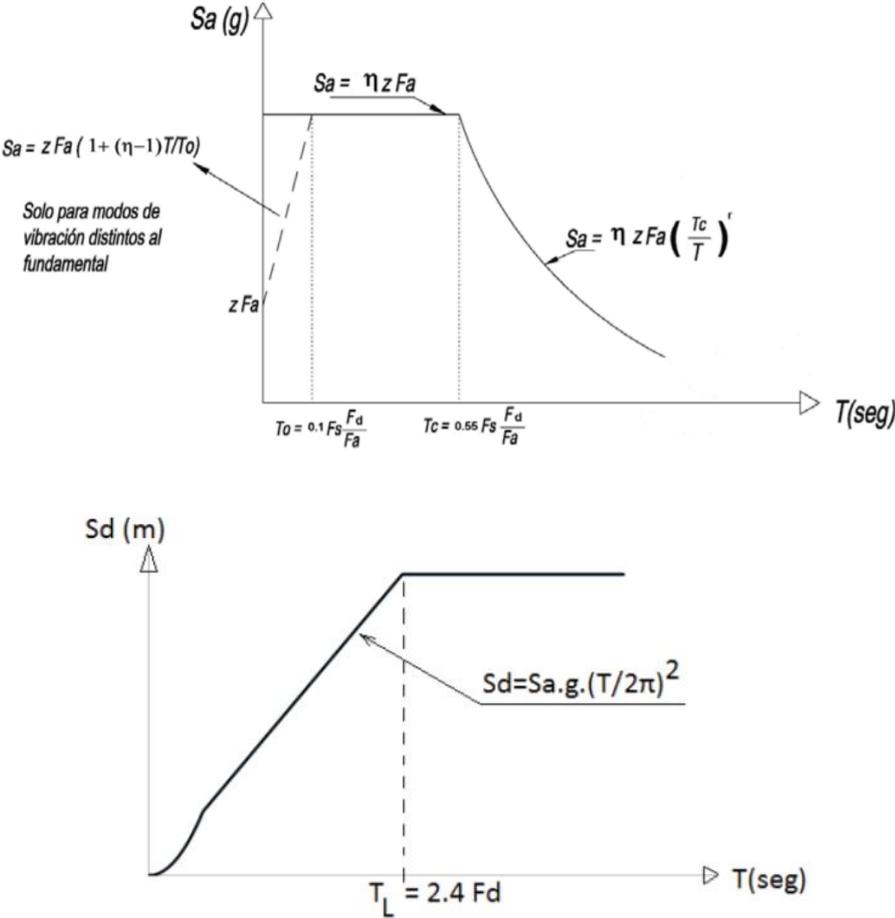


Ilustración 9 Espectro elástico de aceleración (arriba) y espectro elástico de desplazamiento (abajo).

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

2.8.2 COEFICIENTES DE PERFIL DE SUELO FA, FD Y FS

Los coeficientes de suelo amplifican las ordenadas del espectro elástico para un diseño en roca considerando diferentes efectos de sitio.

Fa: Coeficiente en la zona de período corto. Amplifica respuesta de aceleraciones.

Fd: Amplifica respuesta de desplazamientos.

Fs: "...Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos" (NEC-SE-DS, 2015).

Según la microzonificación sísmica de Quito de Roberto Aguiar, la Universidad Internacional SEK se ubica en el norte de la ciudad y pertenece al sector 68. El barrio es el Alberto Einstein y los coeficientes para esta zona son los siguientes:

Fa	0,850
Fd	0,775
Fs	1,100

Tabla 4 Factores de sitio para el sector norte.

Fuente: (Aguiar, 2013).

Para esta zona el suelo "...corresponde a cangahuas de poco espesor no muy consolidado, depósitos lacustres y depósitos laharíticos sobreyacentes a potentes estratos de toba y cangahuas" (Aguiar, 2013).

2.8.3 CORTANTE BASAL

Se describe como la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, mismas que se deben distribuir por cada nivel del edificio.

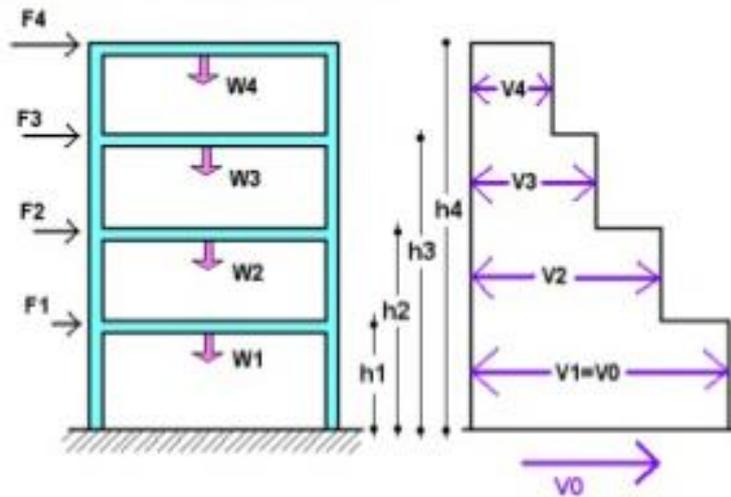


Ilustración 10 Gráfica del fuerzas del cortante basal.

Fuente: (Saavedra, 2016).

Cálculo del cortante aplicando el CEC 2000:

$$V = \frac{Z * I * C}{\phi_P * \phi_E * R} * W$$

Ecuación 3 Cortante Basal.

Fuente: (CEC2000).

$$0.5 \leq C = \frac{1.25 * S^S}{T_2} \leq C_m$$

S= Factor de suelo

C_m= 3.0 Suelos Intermedios

$$T_1 = C_t * h_n^{3/4}$$

h_n= Elevación de la estructura

Ecuación 4 Período de Vibración.

Fuente: (Correa & Machado, 2016).

3 CAPÍTULO III: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Los procedimientos estáticos son apropiados cuando se producen efectos insignificantes en el modo superior. Esto es generalmente cierto para edificios cortos y regulares. Se requieren procedimientos dinámicos para edificios altos y para edificios con irregularidades torsionales o sistemas no ortogonales.

El procedimiento estático no lineal es aceptable para la mayoría de los edificios, pero debe usarse junto con el dinámico lineal si la participación de masa en el primer modo es baja. El tipo de análisis que procede a aplicar será el estático lineal y no lineal.

3.1 ESTÁTICO LINEAL

Un análisis estático lineal permite determinar los coeficientes capacitivos más importantes, tales como el factor de seguridad y la tensión efectiva, así como el momento y área de influencia; cualquier estructura bien definida pueda ser representada claramente por este tipo de modelos lineales. Estos coeficientes pueden ser utilizados en la realización de rangos de acción para evaluar las condiciones realistas de los sistemas, y su mayor divulgación en temas relacionados al diseño.

Los procedimientos lineales mantienen el uso tradicional de una relación lineal tensión-deformación, pero incorporan ajustes a las deformaciones generales del edificio y los criterios de aceptación del material para permitir una mejor consideración de las probables características no lineales de la respuesta sísmica (FEMA273, 1997).

Las fuerzas sísmicas de diseño, su distribución sobre la altura del edificio, las correspondientes fuerzas internas y los desplazamientos del sistema se determinan utilizando un análisis elástico estático lineal. La relación proporcional entre cargas y deformación se comprende como una proporción igual entre deformación y tasa de deformación, y entre tasa de deformación y tensión. Esto permite el uso del método de superposición para predecir el rendimiento en diversas condiciones.

Los resultados de los procedimientos lineales pueden ser muy imprecisos cuando se aplican a edificios con sistemas estructurales muy irregulares, a menos que el edificio sea capaz de responder al nivel de riesgo sísmico diseñado de una manera casi elástica.

3.1.1 CURVA FUERZA- DEFORMACIÓN

Un miembro estructural, cuando está cargado o sometido a acciones, sufre deformaciones. La curva fuerza-deformación muestra todo el comportamiento del miembro, desde las cargas iniciales hasta las cargas finales o las deformaciones iniciales hasta las deformaciones finales. La forma real de la curva fuerza-deformación y la ubicación relativa de los distintos puntos depende de muchos factores, como la geometría de la sección transversal, las propiedades del material, las consideraciones de esbeltez, el tipo de deformación y la fuerza correspondiente que se considere.

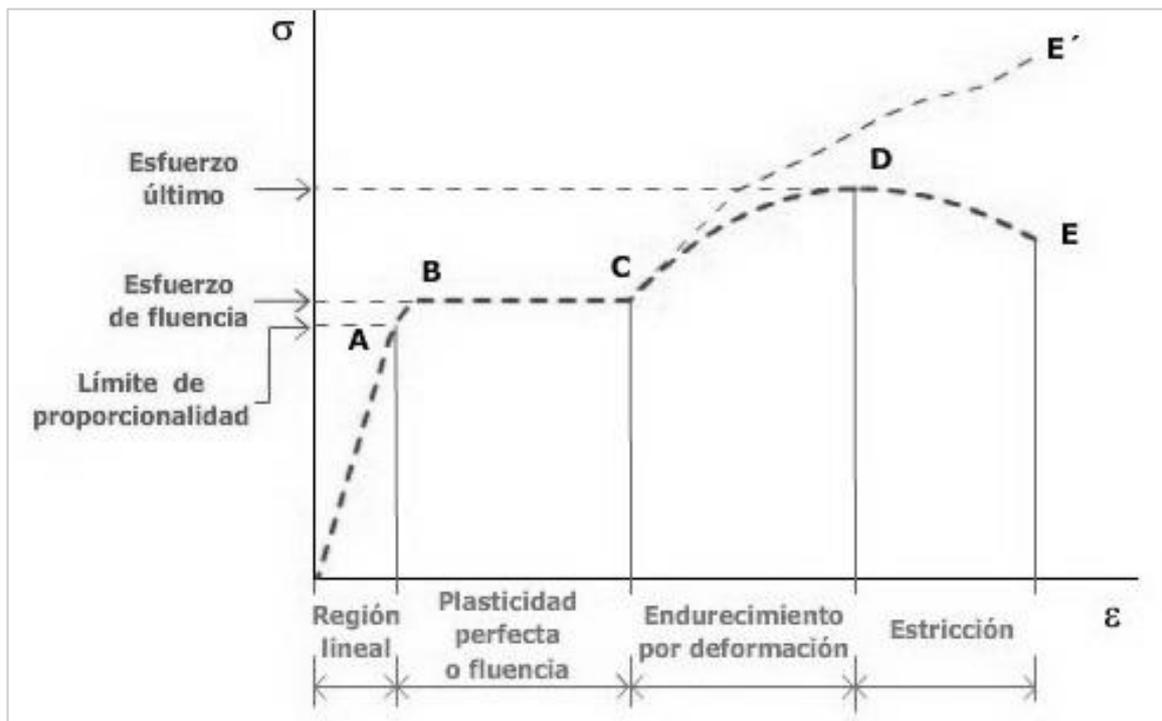


Ilustración 11 Diagrama esfuerzo – deformación.

Fuente: (Cienciasfera, 2021).

El punto "A" corresponde a las consideraciones de diseño de la capacidad de servicio y a los conceptos de diseño de la resistencia de trabajo o de la resistencia admisible.

El punto "B" es el punto hasta el cual la relación entre la carga y la deformación puede considerarse casi lineal y las deformaciones son relativamente pequeñas. Este es generalmente el comienzo de la no linealidad y podría indicar la fisuración del hormigón o el pandeo local de partes de la sección, etc.

El punto "C" corresponde aproximadamente a las consideraciones de resistencia última o de capacidad de diseño. Este punto, se utiliza a menudo como el inicio de una medida de ductilidad en muchos casos. También, la deformación comienza a aumentar repentinamente con un valor de carga más o menos constante o con un aumento relativamente pequeño de la carga.

El punto "D" es el punto en el que el valor de la carga empieza a disminuir con deformaciones crecientes. Es una clara indicación de las capacidades de comportamiento del miembro en función de las deformaciones, pero rara vez se utiliza en las consideraciones de diseño convencionales debido a un cierto nivel de incertidumbre (Zapata, 2019).

El punto "E" es el punto en el que el valor de la carga se reduce a sólo una fracción de la carga última (resistencia residual). Esto corresponde al fallo completo o a la fractura del material de la sección transversal. Los análisis o consideraciones posteriores no tendrán ningún significado físico, una vez alcanzado este punto.

3.2 ESTÁTICO NO LINEAL

El procedimiento estático no lineal es generalmente un enfoque más confiable para caracterizar el desempeño de una estructura que los procedimientos lineales. Para determinar si modos mayores son significativos, debe realizarse un análisis modal del espectro de respuesta utilizando modos suficientes para capturar el 90% de participación de la masa y un segundo análisis del espectro de respuesta debe ser realizado considerando solo con la participación del primer modo (FEMA273, 1997).

El método relaciona las matrices de rigidez no lineal de los elementos viga y columna. Se establecen las relaciones según las sección en análisis, de esta forma, momento-curvatura-fuerza axial $M-\Phi-P$ en columnas, la relación $M-\Phi$ en vigas y la relación momento-rotación $M-\Theta$.

La implementación de una curva de tensión-deformación no lineal debe proporcionar una matriz de rigidez del material precisa para su uso en la formación de las ecuaciones de equilibrio no lineal de la formulación de elementos finitos.

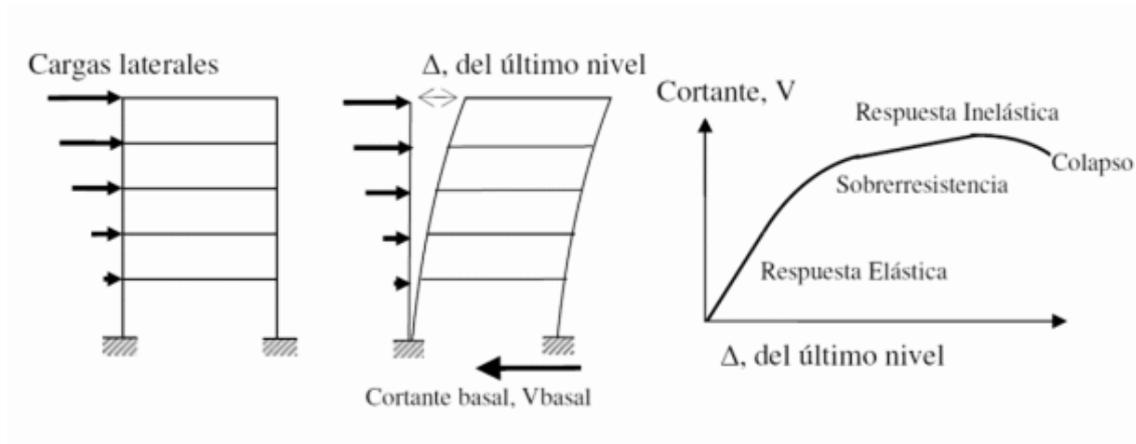


Ilustración 12 Gráfica de la secuencia del análisis pushover.

Fuente: (Saavedra, 2018).

“Este método se fundamenta en la comparación de los espectros de demanda y los espectros de diseño, en cuya intercepción se puede obtener el punto de desempeño estructural” (Saavedra, 2018).

3.2.1 MODELOS DE CONFINAMIENTO

Es necesario discutir y aclarar la importancia de la función que tienen las barras de acero de confinamiento ya que esto es lo que mejora el desempeño y la respuesta a la deformación, así como la resistencia a la compresión del concreto.

Menegotto y Pinto (1973): Este modelo es utilizado para simular la respuesta cíclica del acero. La curva considera la relación entre la tensión y la presión para tener en cuenta el efecto del pandeo inelástico de las barras longitudinales de hormigón armado (Carreño, Lotfizadeh, Conte, & Restrepo, 2020).

Mander (1988): Este autor desarrolló un modelo de tensión-deformación para hormigón confinado con refuerzo transversal que es aplicable para las secciones rectangulares así como las circulares (Mieles & Caneiro, 2015).

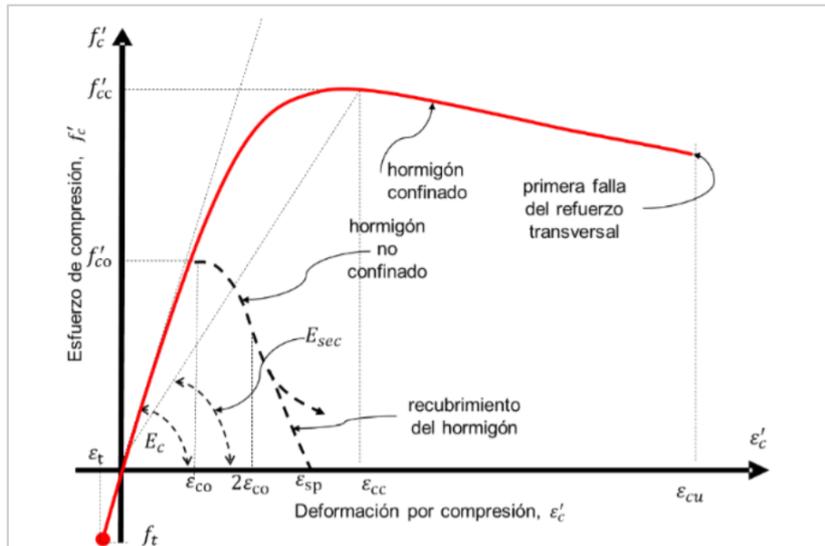


Ilustración 13 Gráfica del modelo Mander.

Fuente: (Mieles & Caneiro, 2015).

3.2.2 PUSHOVER

El objetivo del análisis pushover es llegar al diagrama de la curva de capacidad (desplazamiento vs cortante basal), por medio de técnicas no lineales simplificadas para estimar deformaciones estructurales sísmicas.

3.2.2.1 No Linealidad De Los Materiales

La no linealidad de los materiales implica que el comportamiento del material cambia en función de su deformación, causada por las cargas externas, mismas que provocan la variación de la rigidez de los elementos estructurales (Duarte César, 2017). Cuando estas fuerzas le causan deformaciones irreversibles al material, y son mayores al cincuenta por ciento de su valor unitario, se opta por aplicar un modelo de análisis no lineal.

En los análisis que implican la no linealidad geométrica, los cambios en la geometría a medida que la estructura se deforma, se consideran en la formulación de las ecuaciones constitutivas y de equilibrio.

3.2.2.2 Efecto P- Δ

Es medido entre los extremos de los elementos estructurales y comúnmente asociado con las derivas de los pisos en los edificios. Las grandes deformaciones laterales magnifican las demandas de fuerzas y momentos internos, provocando una disminución de la rigidez lateral efectiva. Con el aumento de las fuerzas internas, una menor proporción de la capacidad de la estructura queda disponible para sostener las cargas laterales, lo que lleva a una reducción de la resistencia lateral efectiva.

3.2.2.3 Rótulas Plásticas

Los modelos de componentes estructurales inelásticos pueden diferenciarse por la forma en que la plasticidad se distribuye a través de las secciones y a lo largo de su longitud. Las deformaciones inelásticas, deben producir principalmente rótulas de flexión en las vigas y en las bases de las columnas .

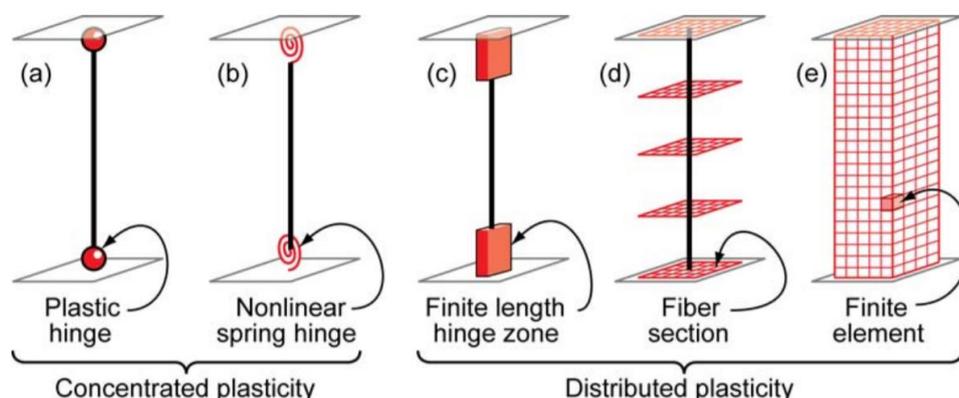


Ilustración 14 Modelos de rótulas en vigas o columnas.

Fuente: (Deierlein, 2010).

La ilustración muestra una comparación de tipos de modelos idealizados para simular la respuesta inelástica de vigas y columnas. Estos son los elementos estructurales en donde se crean las rótulas, y donde se espera observar su comportamiento en el análisis no lineal.

Los modelos más sencillos concentran las deformaciones inelásticas en el extremo del elemento. Mediante una rótula rígido-plástica (Iust. 14-a), o una rótula inelástica con propiedades histeréticas (Iust. 14-b). La plasticidad de estas rótulas se basa en el modelo de momento-rotación (Deierlein, 2010).

El modelo de rótula de longitud finita, es una formulación de plasticidad que distribuye las zonas designadas en los extremos de los elementos (lust. 14-c). Las secciones transversales se caracterizan por las relaciones no lineales de momento-curvatura haciendo cumplir la suposición de que las secciones planas permanecen planas.

Los modelos de formulación de las fibras distribuyen la plasticidad mediante integraciones numéricas a través de las secciones transversales de la barra y a lo largo de la misma (lust. 14-d).

Los modelos más complejos discretizan la continuidad a lo largo de la longitud del miembro y a través de las secciones transversales en pequeños elementos finitos (lust. 14-e) con propiedades constitutivas históricas no lineales que tienen numerosos parámetros de entrada (Fernández & Subía, 2014) .

3.2.2.4 Curva de Capacidad

Representa la respuesta que tiene la estructura durante le primer modo de vibración, basándose en que “...*el primer modo fundamental de vibración de la estructura corresponde a la respuesta predominante ante una sollicitación sísmica, siendo esto válido para estructuras con períodos de vibración menores a un segundo...*” (Alemán & Naranjo, 2011).

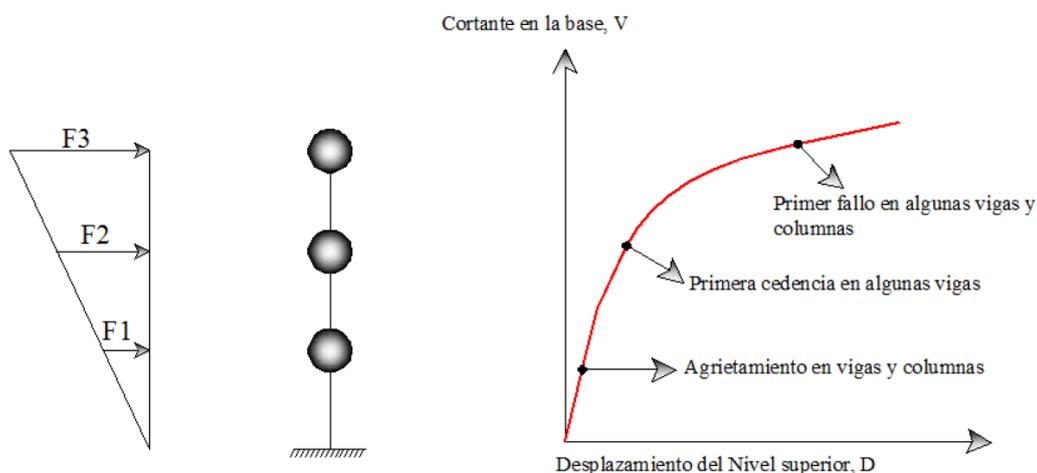


Ilustración 15 Puntos Destacados en la curva de capacidad de acuerdo al modelo matemático.

Fuente: (Alemán & Naranjo, 2011).

3.2.2.5 Método de los coeficientes de desplazamiento

Para el diseño sísmico de edificios basado en el rendimiento, tanto el método del coeficiente de desplazamiento utilizado por FEMA-273 como el método del espectro de capacidad adoptado por ATC-40, son procedimientos estáticos no lineales. Las curvas pushover de de las estructuras deben establecerse durante el procesamiento de estos dos métodos. Se aplican a la evaluación y rehabilitación de estructuras existentes.

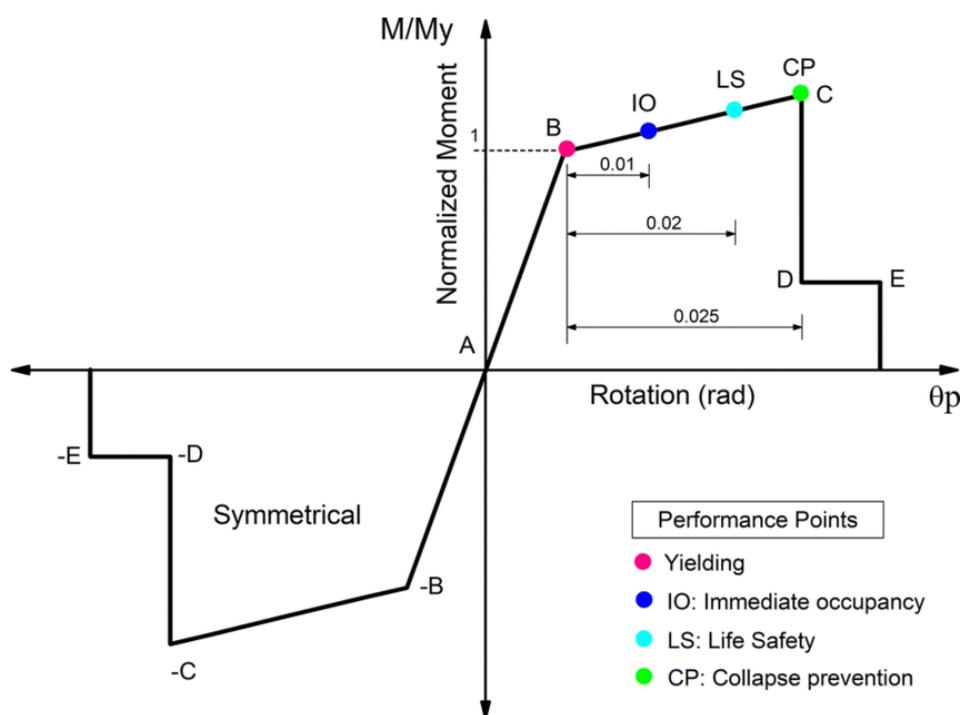


Ilustración 16 Curva de momento rotación para rótulas plásticas FEMA 356.

Fuente: (Bhandarl, 2020).

Además, también se incluye en este estudio un método de espectro de capacidad modificado que, se basa en el uso de espectros de respuesta de diseño inelástico.

3.2.2.6 Desempeño Estructural

Las estructuras no deben sufrir grandes deformaciones irreversibles bajo cargas que sean inferiores a sus cargas finales de diseño, y es razonable exigir que las estructuras resistan cargas superpuestas hasta el noventa por ciento de sus cargas de diseño finales sin sufrir deformaciones irreversibles significativas.

El nivel de desempeño podría traducirse al nivel de confiabilidad que tiene la estructura para no colapsar en el momento de recibir la fuerza de un sismo; en nuestro caso de estudio se trata de una edificación en el que su diseño e importancia clasifica a la estructura de ocupación especial, misma que en caso de una emergencia causada por un desastre natural, es imperativo que se mantenga funcional ya que puede ser necesaria para uso de refugio o uso provisional de atención médica.

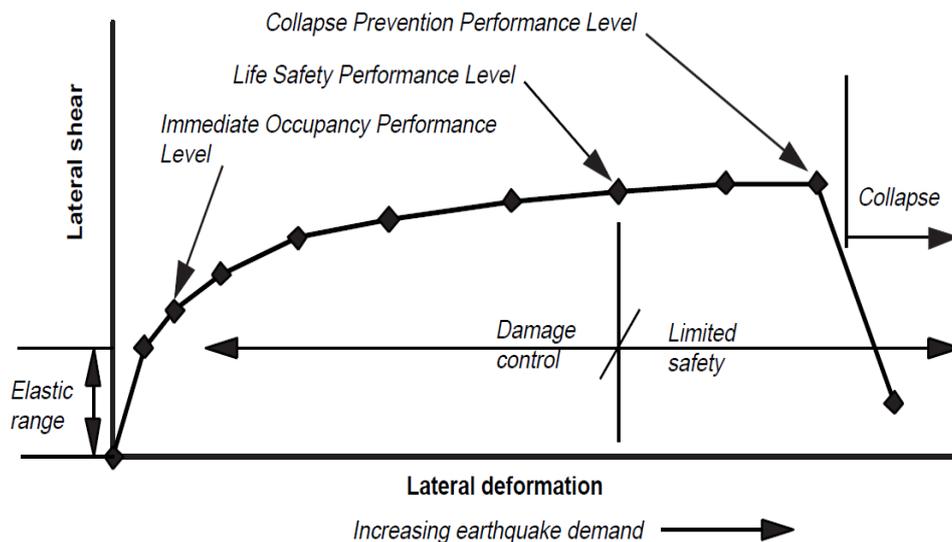


Ilustración 17 Demanda de rendimiento y deformación estructural para estructuras dúctiles.

Fuente: (FEMA-274, 1997).

“La superposición de la capacidad de la estructura con la demanda sísmica da origen al punto de desempeño” (Medina & Music, 2018).

La idea principal del diseño antisísmico es que cuando un terremoto disipa energía y el edificio la absorbe como deformaciones laterales los elementos estructurales se desarrollen dentro del rango elástico, de esta forma la estructura no sufre daños y conservan sus propiedades. Además, se consideran los “...riesgos a los que se encuentran expuestos los ocupantes de la estructura o edificio en evaluación y funcionalidad” (Medina & Music, 2018).

La NEC-15 considera diferentes niveles de desempeño para edificios, conforme al control de daños general y los componentes no estructurales.

	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)	Nivel de Seguridad de Vida (5-E)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel Operacional (1-A)
Daño Global	Severo	Moderado	Ligero	Muy Ligero
General	Pequeña resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros cargadores funcionando. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Parapetos no asegurados que han fallado o tienen alguna falla incipiente. El edificio está cerca del colapso	Algo de resistencia y rigidez residual ha quedado en todos los pisos. Elementos que soportan cargas gravitacionales aún funcionando. Fallas en muros dentro de su plano o parapetos inclinados. Algo de deriva permanente. Daño en paredes divisorias. El Edificio se mantiene económicamente reparable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos razos así como en elementos estructurales. Los ascensores aún pueden ser encendidos. Sistema contra incendios aún operable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene la resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, y cielos razos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas importantes para una operación normal están en funcionamiento
Componentes No Estructurales	Daño severo	Peligro de caída de objetos mitigado pero bastante daño en sistemas: arquitectónico, mecánico y eléctrico	Equipos y contenido están seguros de manera general., pero algunos no operan debido a fallas mecánicas o falta de utilidad	Ocurre daño insignificante. La energía eléctrica y otros servicios están disponibles, posiblemente por servicios de reserva

Tabla 5 Control de daño y niveles de desempeño para edificios.

Fuente: (NEC-SE-RE, 2015).

3.2.2.7 Punto de Desempeño

El ATC-40, utiliza el método del espectro de capacidad, en donde la demanda sísmica es representada por un formato (S_a vs S_d) del espectro inelástico, que considera la respuesta no lineal de la estructura. Misma respuesta a la que se llega a través de un amortiguamiento histerético equivalente.

Con respecto a los diferentes niveles de desempeño para los elementos estructurales, que se definen por este método, son:



Ilustración 18 Niveles de desempeño de elementos estructurales ATC-40.

Fuente: (Bach, 2015).

Con respecto a la FEMA-273, se tiene los siguientes niveles de desempeño para los elementos estructurales y no estructurales.



Ilustración 19 Niveles de desempeño de elementos estructurales y no estructurales FEMA-273.

Fuente: (Ramírez, 2016).

4 CAPÍTULO IV: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Es necesario recolectar toda la información disponible con respecto a la estructura que va a ser analizada.

- Solicitar los planos arquitectónicos, estructurales, remodelaciones o levantamientos topográficos; ya sea en formato físico o digital, que contenga información sobre el diseño del edificio.
- Consultar y determinar la fecha o año estimado de construcción de la estructura.
- Realizar una comprobación de la distribución geométrica, división de ambientes y en caso de existir remodelaciones, verificar si estas forman parte estructural de nuestro análisis.
- Ejecutar los ensayos no destructivos necesarios para determinar el estado del concreto, así mismo llevar a cabo una inspección visual y reportar la existencia de daños o fallas estructurales.

(FEMA-274, 1997).

4.1 ENSAYOS

Las técnicas de ensayo no destructivas ofrecen un enfoque interesante, ya que dan acceso a las propiedades del material sin dejar de ser rápidas y de costo moderado. La calidad de la estimación es un tema clave, ya que puede afectar las decisiones relacionadas con el mantenimiento. Sin embargo, las técnicas de ensayo no destructivas son sensibles en primer lugar a las propiedades físicas y proporcionan solo una vía indirecta hacia el rendimiento mecánico del material (Lorenzis & Nanni, 2004).

4.1.1 ESCLERÓMETRO

Para una recopilación rápida y eficiente de datos de uniformidad y calidad del concreto en construcciones nuevas y existentes es el esclerómetro o martillo de rebote. Un programa de prueba simple crea una imagen general de la calidad del concreto, resalta las áreas con menor resistencia y aísla las áreas dañadas por el congelamiento o el fuego. Utilizando datos de edificios de un año a cuarenta años se

ha demostrado que, para una misma resistencia del hormigón, el valor de rebote es cuatro puntos más alto en la estructura que en un núcleo de laboratorio (Breyse, 2012).

Un análisis sencillo de los datos del esclerómetro permite tomar decisiones rápidas, rentables e informadas sobre la idoneidad estructural. Una evaluación amplia de una estructura con un martillo de prueba es una forma rentable de decidir si se necesita un programa de prueba más profundo. Es posible realizar mediciones fiables de la resistencia a la compresión utilizando datos de correlación de pruebas de laboratorio. Es importante notar que el ASTM C805 establece que los valores de rebote no pueden usarse como base para aceptar o rechazar concreto.

4.1.1.1 Funcionamiento del esclerómetro

El aparato consta de una parte cilíndrica equipada con una varilla central que sale de un extremo de la tapa. La varilla central se carga por medio de un resorte de tensión. El cursor se presiona contra la superficie de prueba hasta que llega al final de su recorrido. Luego, una masa interna, guiada por un resorte, golpea el poste de rebote, firmemente fijado a la barra central, que, a su vez, está en contacto con la superficie de prueba. Después de que la masa golpea contra el cursor, rebota a una cierta altura y se muestra mediante un índice colocado en una escala graduada.

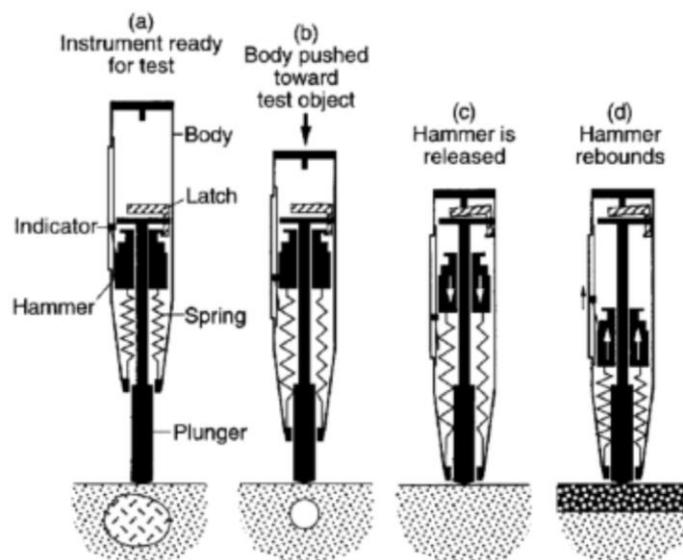


Ilustración 20 Funcionamiento del Martillo de Rebote.

Fuente: (ACI228, 1995).

En cuanto a establecer el número de pruebas que se van a realizar sobre los elementos estructurales como lo sugiere el ASCE-SEI-41, la FEMA 273 y otras normas que se refieren a la rehabilitación de edificios mencionan que dependiendo del tipo, la edad, nivel de daños o desgaste de estructura una muestra representativa de al menos tres pruebas por planta para lograr determinar la alguna propiedad del concreto que se requiera.

4.1.1.2 Procedimiento del ensayo

- a. Para la prueba, se debe seleccionar una superficie lisa, limpia y seca. Si hay escamas adheridas sueltas, se deben frotar con una muela o piedra.
- b. Para tomar una medición, el martillo de rebote debe sostenerse en ángulo recto con la superficie del miembro de concreto. Por tanto, la prueba puede realizarse horizontalmente en superficies verticales o verticalmente hacia arriba o hacia abajo en superficies horizontales. Si la situación lo requiere, el martillo de rebote también se puede sostener en ángulos intermedios, pero en cada caso, el número de rebote será diferente para el mismo hormigón.

(ASTM-C805, 2002)

El modelo del equipo para el ensayo del esclerómetro que se utilizó fue el Sclerometro Per Calcestruzzo, un producto italiano con las siguientes especificaciones técnicas:

- Rango de medición 100 ... 600 kg / cm² (-9,81... 58,9 N / mm²).
- Precisión ± 18 kg / cm² (± 1.8 N / mm²).
- Energía de Impacto: 2.207 Nm (0.225 Kgm).
- Indicador de medición en la escala frontal 0 ... 100 (sin dimensiones).
- Escala de resistencia a la presión en la parte trasera para convertir los valores del indicador adimensional a kg/cm² (con introducción del ángulo).
- Tabla de corrección del valor de medición en las instrucciones.
- Espesor máximo del hormigón (del material) 70 cm.
- Dimensiones Diámetro 66 x 280 mm.
- Peso 1 kg.



Ilustración 21 Fotografía del equipo utilizado (esclerómetro).

Fuente: (Amazon, 2018).

4.2 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA

Debido al tiempo de construcción que tiene el bloque Administrativo de la UISEK, es decir, cerca de treinta años. Resultó necesario una verificación entre los planos estructurales proporcionados por la institución y el estado actual del edificio. Tanto como en su distribución de espacios, como en la distribución geométrica. Por consiguiente, después de un levantamiento arquitectónico, se obtuvo datos para complementar los planos arquitectónicos levantados por el arquitecto Lorca en el 2018 (Ilustración 24).



Ilustración 22 Vista de cubierta del bloque Administrativo.

Fuente: (SEK, 2021).

Cabe mencionar que, la biblioteca de la universidad, es una estructura de acero que fue construida hace pocos años. Además, tiene su entrada principal en el bloque administrativo. Es decir, es una estructura adicional al bloque administrativo y que se extiende hasta el bloque de aulas. Razón por la cual no va a ser tomado en cuenta dentro del análisis.



Ilustración 23 Entrada a la Biblioteca.

Fuente: (SEK, 2021).



Ilustración 24 Entrada del Bloque Administrativo

Fuente: (Chasipanta, 2021).

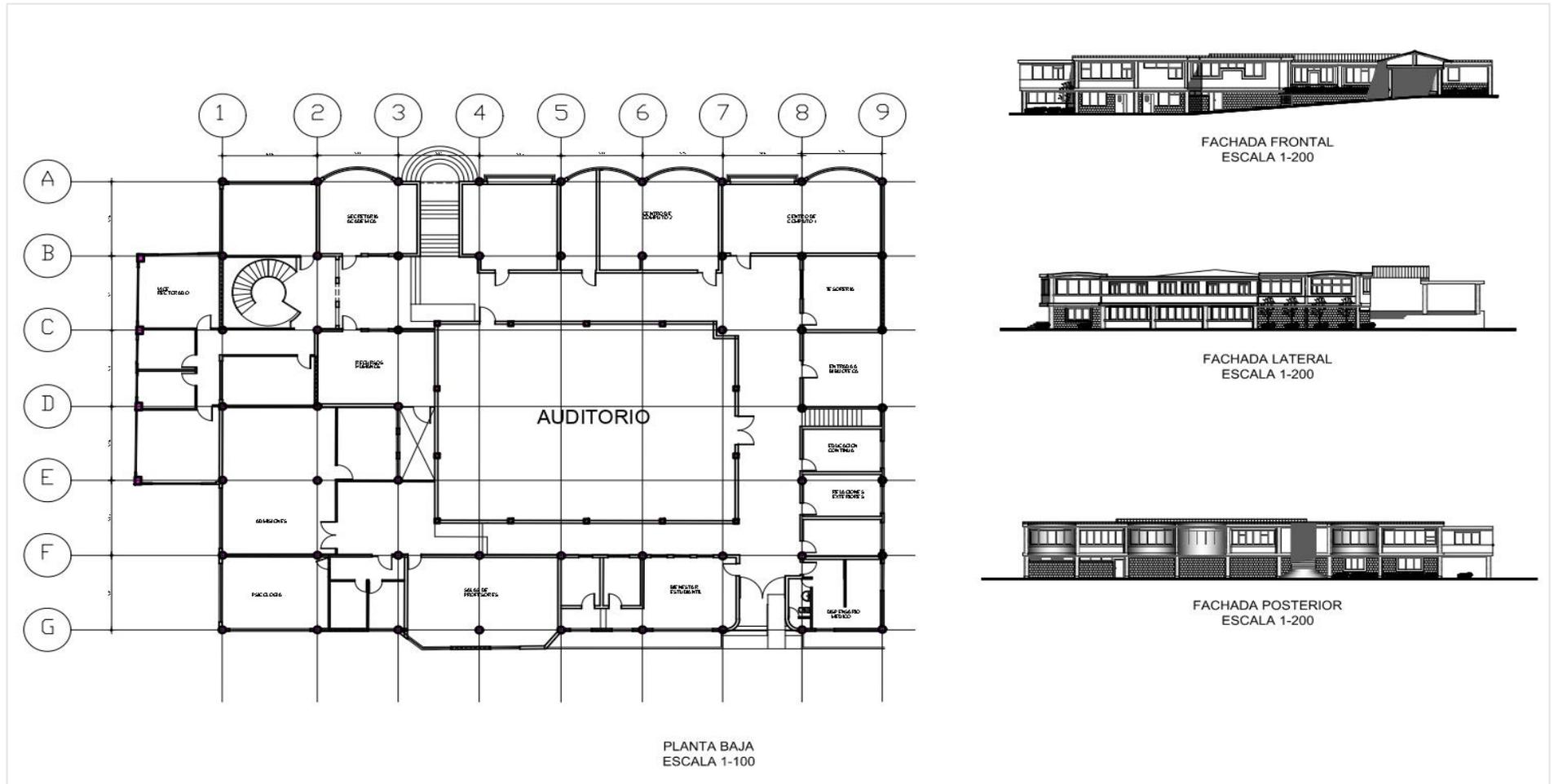


Ilustración 25 Distribución geométrica bloque Administrativo.

Fuente: (Lorca, 2018).

5 CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

Para el desarrollo del siguiente trabajo la norma aplicada es la NEC-15, que sugiere una metodología de evaluación de riesgo sísmico, el tipo de investigación elegido es el de *Estabilidad del Edificio y Desempeño Sísmico (BS)*. Los pasos utilizados son los que que sugiere la FEMA 273 para el levantamiento de información, donde hace notar que es importante llevar un orden para la recolección de datos de la siguiente forma:

-Información previa o existente.- identificar el tipo de construcción, configuración estructural, propiedades de los elementos estructurales, propiedades de los materiales, caracterización del sitio e información geotécnica, edificios adyacentes.

-Elección del método de análisis.- consiste en la simulación de aplicación de fuerzas y deformaciones que puede presentarse durante la liberación de energía que produce un evento sísmico sobre una estructura.

-Criterios de aceptación.- interpretación de los resultados y diagramación de curvas que representan el comportamiento de la edificación.

Dentro del marco teórico se detalla el levantamiento de toda la información necesaria para el análisis de desempeño de una estructura de ocupación especial como lo es el bloque Administrativo, mismo que debe cumplir con la estimación de estabilidad para la seguridad de quienes lo ocupan. El tipo de análisis elegido es el método estático el lineal y no lineal. Por consiguiente, se realizará ensayos no destructivos, así como la comprobación de los planos proporcionados por la universidad para verificar la distribución estructural.

Una vez obtenidos y tabulados los resultados del ensayo, el siguiente paso es el modelamiento del edificio en el software SAP 2000 para la obtención y determinación del nivel de desempeño que presenta en la actualidad la estructura. En cuanto a la verificación del comportamiento, se establece una comparativa o en su defecto un análisis de incidencia de los parámetros de la NEC15 con respecto de la normativa con la que fue construido este edificio, la que se asume fue el CEC 2001.

5.1 CÁLCULO DE CARGAS GRAVITATORIAS

Para definir el tipo de sección para la losa se analiza las longitudes del paño de losa más crítico (soporta mayor carga) y aplicamos el siguiente criterio; de acuerdo con la relación a/b , siendo a el valor para la luz menor y b la luz mayor de la losa.

$$L_{menor}/L_{mayor} < 0,55 \rightarrow \text{losa en una dirección}$$

$$L_{menor}/L_{mayor} > 0,55 \rightarrow \text{losa en dos direcciones}$$

Ecuación 5 Relación de losas alivianadas.

Fuente: (Soria, 2020).

$$L_{menor}/L_{mayor} = 5,225m/6,20m = 0,8427 \rightarrow \text{losa en dos direcciones}$$

5.2 CARGA MUERTA

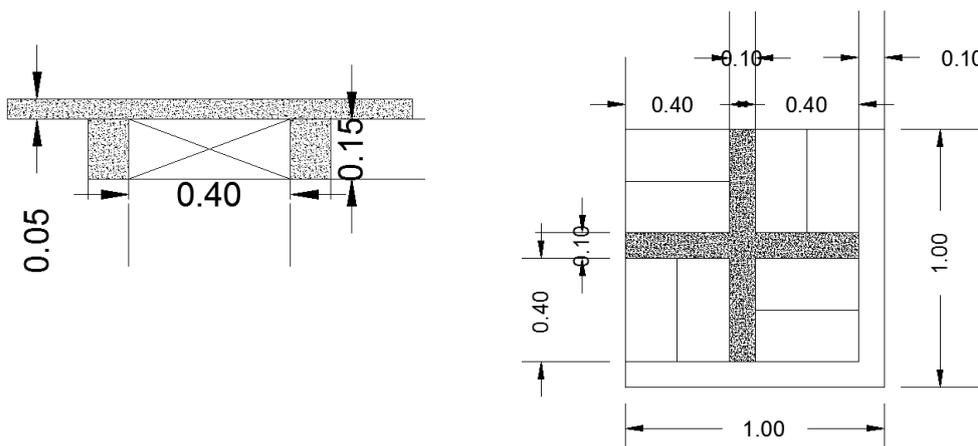


Ilustración 26 Corte en elevación y en planta de losa bidireccional.

Realizado por: (Chasipanta, 2021).

$$\text{Alivianamiento} = 8\text{bloques} \times 0,15m \times 0,2 \times 0,4 = 0,095 T/m^2$$

$$\text{Carpeta} = 1 \times 1 \times 0,05 \times \gamma_{\text{concreto}} = 0,12 T/m^2$$

$$\text{Nervios} = 3,6m \times 0,15m \times 0,1 \times \gamma_{\text{concreto}} = 0,13 T/m^2$$

El peso de acabados y paredes de hormigón, valores asumidos basados en experiencia de otros proyectos. De igual forma, el peso de las vigas es calculado con el 20% de la suma de todos los pesos.

CÁLCULO DE CARGA PERMANENTE		
hlosa	0,2	m
Y concreto	2,40	T/m2
Carpeta	0,12	T/m2
Alivianamiento	0,096	T/m2
Nervios	0,130	T/m2
Wlosa	0,346	T/m2
Wparedes	0,15	T/m2
W acabados	0,1	T/m2
Wvigas	0,119	T/m2
W total	0,715	T/m2

Tabla 6 Cálculo de carga muerta.

Realizado por: (Chasipanta, 2021).

$$Carga Muerta = 0,715 T/m^2 \approx 715 kg/m^2$$

5.3 CARGA VIVA

Según la NEC-15 de cargas no sísmicas para una institución educativa, se asigna una carga de aulas y el resto de ambientes del bloque administrativo se define como oficinas.

Edificios de oficinas		
Salas de archivo y computación (se diseñará para la mayor carga prevista)		
Áreas de recepción y corredores del primer piso	4.80	9.00
Oficinas	2.40	9.00
Corredores sobre el primer piso	4.00	9.00

Tabla 7 Carga Viva para Oficinas.

Fuente: (NEC-SE-CG, 2015).

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Soportes para luces cenitales y cielos rasos accesibles		0.90
Unidades educativas		
Aulas	2.00	4.50
Corredores segundo piso y superior	4.00	4.50
Corredores primer piso	4.80	4.50
Veredas, áreas de circulación vehicular y patios que puedan estar cargados por camiones	12.00	35.60 [*]
* La carga concentrada de rueda será aplicada en un área de 100 mm x 100 mm		

Tabla 8 Carga Viva para Aulas.

Fuente: (NEC-SE-CG, 2015).

5.4 SOBRECARGA DE CUBIERTA

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos		1.40
Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		
En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.		

Tabla 9 Carga de cubierta.

Fuente: (NEC-SE-CG, 2015).

Para determinar el peso de la carga de cubierta que ocupa el área que ocupa el auditorio, se aplicará el método de mosaico de cargas para distribuir de forma trapezoidal y triangular la parte de cubierta que se apoya sobre las vigas entre los ejes del 2 al 6 y del D al I.

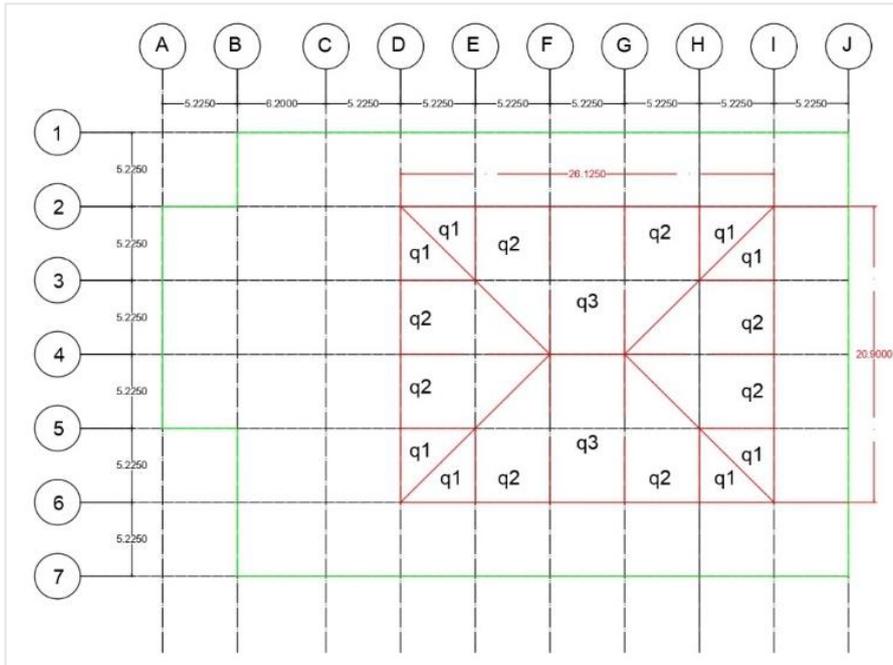


Ilustración 27 Distribución de carga en mosaico.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

5.4.1 MOSAICO DE CARGAS

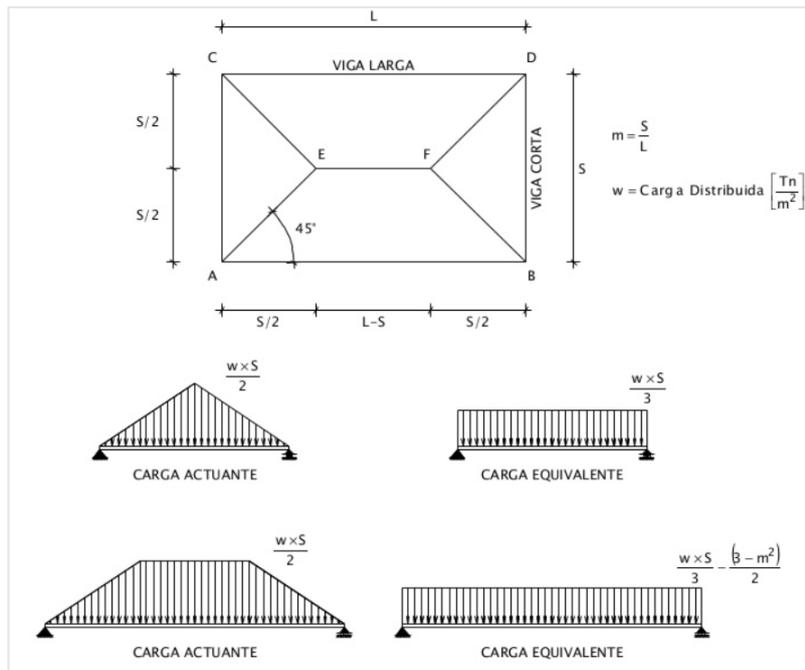


Ilustración 28 Análisis de Cargas para Vigas.

Fuente: (López, 2003).

Cálculos:

$$W = 70\text{kg}/\text{m}^2$$

$$q_{actuante} = \frac{W \times S}{2}; q_{equivalente} = \frac{W \times S}{3}$$

Ecuación 6 Ecuaciones para cálculo de carga trapezoidal.

Fuente: (López, 2003).

$$q_{actuante1} \approx q_{equivalente1} = \frac{W \times S}{3} = \frac{70\text{kg}}{\text{m}^2} \times 5,225\text{m}}{3} = 121,91\text{kg}/\text{m}$$

$$\begin{aligned} q_{actuante2} \approx q_{equivalente2} &= \frac{W \times S}{3} \times \frac{(3 - m^2)}{2} \\ &= \frac{70\text{kg}}{\text{m}^2} \times 5,225\text{m} \times \frac{(3 - 5,225\text{m}/10,45\text{m}^2)}{2} = 167,63\text{kg}/\text{m} \end{aligned}$$

$$q_{actuante3} \approx q_{equivalente3} = W \times L = \frac{70\text{kg}}{\text{m}^2} \times 5,225\text{m} = 365,75\text{kg}/\text{m}$$

5.5 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

5.5.1 LOSA EQUIVALENTE

Se tiene una losa alivianada en dos direcciones, por razones de modelado en el programa SAP2000, se calcula una losa maciza equivalente, dato ingresado en el software.

$$A_T = A_1 + A_2 = (15 \times 10) + (50 \times 5) = 400\text{cm}^2$$

$$M = [(15 \times 10) \times 7,5] + [(50 \times 5) \times 17,5] = 5500\text{cm}^3$$

$$I = I_1 + I_2 + A_1 y^2 + A_2 y^2 \rightarrow y^2 = (y_i - y_G)^2$$

Ecuación 7 Ecuación del Teorema de Steiner.

Fuente: (Rodríguez, 2016).

$$y_G = \frac{M}{A} = \frac{5500cm^3}{400cm^2} = 13,75cm$$

$$I_1 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{10 \times 15^3}{12} = 2812,5cm^4$$

$$I_2 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{50 \times 5^3}{12} = 520,833cm^4$$

$$I = 2812,5cm^4 + 520,833cm^4 + [150cm^2 \times (7,5cm - 13,75cm)^2] + [250cm^2 \times (17,5cm - 13,75cm)^2]$$

$$I = 12708,3cm^4$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \text{ donde } b = 50cm \rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{12 \times I}{50}}$$

Ecuación 8 Cálculo de la inercia de un rectángulo.

Fuente: (Pérez, 2015).

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times 12708,3cm^4}{50cm}} = 14,5cm$$

Por consiguiente, en el programa se modela como una losa maciza de 14,5cm equivalente a una losa alivianada en dos direcciones de 20cm.

5.6 SECCIÓN AGRIETADA

Para la simulación de que las secciones de los elementos estructurales, conformados por concreto, que están a tracción no realizan trabajo se utiliza la sección agrietada. En otras palabras, este factor marca el cambio en la rigidez del elemento estructural.

Según la sección 6.1.6 de la NEC15-SE-DS se tiene los siguientes valores para la inercia de las secciones agrietadas:

Estructuras de hormigón	
INERCIA de las secciones agrietadas	
Ig	Elemento
0.5	Vigas
0.8	Columnas
0.6	Muros estructurales

Tabla 10 Valores agrietados de inercia de la sección transversal del elemento.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.7 TABULACIÓN DE DATOS DE ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

En una tabla se ordena los datos obtenidos en cada planta del edificio; con la hora al momento de la lectura y orientación del esclerómetro. A su vez, el promedio de las diez lecturas en cada elemento ensayado.

$$X - \bar{X} = \sum_{x=1}^{x=10} (\text{lectura} - \text{promedio})^2 \qquad \text{desviación} = \sqrt{\frac{X - \bar{X}}{9}}$$

Ecuación 9 Sumatoria Promedio de Lecturas y Desviación.

Fuente: (Otañez, 2020)

Corrección por desviación:

$$\text{corrección por desviación} = \text{promedio} - \text{desviación}$$

Conforme a lo que estipula la corrección japonesa por edad del concreto, se aplica la fórmula correspondiente y el coeficiente $\alpha_n = 0.63$, de donde se obtiene la resistencia a la compresión del concreto.

$$F_c = (0.098 \times -184 + 13R) \times \alpha_n$$

Ecuación 10 Fórmula para determinar la resistencia a la compresión concreto.

Fuente: (Otañez, 2020)

Por último, se realiza la corrección gráfica, consiste en coincidir la lectura del golpe con la curva de conversión dependiendo de la posición del instrumento en el momento del ensayo. Como muestra el ejemplo de la ilustración 29.

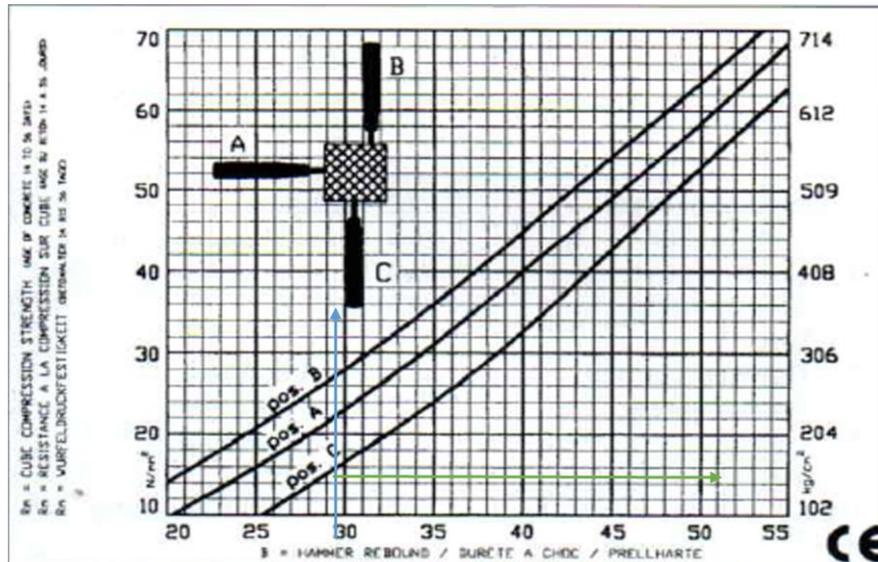


Ilustración 29 Curvas de conversión.

Fuente: (Malhotra, 2004).

Una vez obtenida las correcciones por edad según la norma japonesa, debe obtenerse un cuadro de resumen de la resistencia a la compresión de cada elemento estructural ensayado en todo el edificio.

		UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN														
		INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)					Código:			C 380-01						
							Versión del equipo:			SCLEROMETRO PER CALCESTRUZZO (ITALY)						
							Fecha de Ensayo:			03 de Junio 2021						
Planta	Elemento	Lecturas					Hora	Orientación	Promedio	X-X	Desviación	Corrección por Desviación	Factor de Corrección por Edad	Corrección por edad norma japonesa N/mm2	Corrección por edad norma japonesa kg/cm2	Hormigón de la tabla del instrumento kg/Cm2
Planta Alta	Columna	39	40	39,8	39,9	39,9	11:48	A	39,65	1,845	0,453	39,197	0,630	20,464	208,60	387
		39	40	39,9	39	40								19,460	198,37	377,4
	Columna	38	39	39	36	39,4	12:15	A	38,4	18,24	1,424	36,976		13,601	138,65	255,2
		36	40	39,8	38	38,8								15,046	153,37	263
Viga	32	32	31	30	32	12:27	A	31,1	6,9	0,876	30,224	14,966	152,56	260		
	30	30	31	32	31							15,247	155,42	266		
Viga	34	31	32	34	34	12:45	A	32,9	10,9	1,101	31,799	12,558	128,01	163,2		
	32	33	32	33	34							12,879	131,28	173,6		
Planta Baja	Columna	31	36	34	32	34	13:12	A	32,8	39,6	2,098	30,702	0,630	14,966	152,56	260
		30	32	35	30	34								15,247	155,42	266
	Columna	30	31	36	32	32,5	13:34	A	33,15	42,025	2,161	30,989		12,558	128,01	163,2
		32	35	35	36	32								12,879	131,28	173,6
Viga	31	28	30	30	31	13:48	C	29,8	15,6	1,317	28,483	12,879	131,28	173,6		
	28	30	31	28	31							12,879	131,28	173,6		
Losa	30	31	30	28	32	14:17	C	30,2	17,6	1,398	28,802	12,879	131,28	173,6		
	30	30	32	31	28							12,879	131,28	173,6		

Tabla 11 Tabulación de datos ensayo del esclerómetro.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

En resumen, para la modelación se emplea cuatro valores diferentes de resistencia a la compresión del concreto ($f'c$).

Secciones	$F'c$ (kg/cm ²)
Columna PA	203,49
Viga PA	146,01
Columna PB	153,99
Viga & Losa PB	131,28

Tabla 12 Concretos ($f'c$) del Bloque Administrativo UISEK.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

5.8 COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO DE LA UISEK

En base a los factores de sitio que proporciona la microzonificación sísmica de Quito de Roberto Aguiar. Para el edificio en análisis, el suelo sobre el que está construido es un tipo S3 según el CEC 2000. Para la NEC-15 se clasifica como un perfil de suelo tipo D.

5.8.1 COMPONENTES SÍSMICOS DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON CEC 2000

El espectro elástico según el CEC 2000, para la construcción de la gráfica se divide en tres intervalos; donde se toma en cuenta la aceleración del suelo, el factor de importancia y el factor de suelo. Misma que es representada de la siguiente manera:

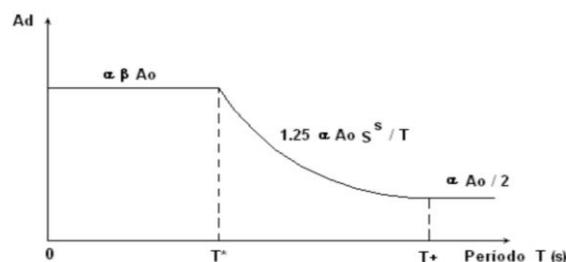


Ilustración 30 Espectro elástico CEC 2000.

Fuente: (CEC2000, 2000).

Perfil de suelo	T*	T+	β	S
S1	0,50	2,50	2,50	1,00
S2	0,52	3,11	3,00	1,20
S3	0,82	4,59	2,80	1,50
S4	2,00	10,00	2,50	2,00

Tabla 13 Parámetros del espectro elástico.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

5.8.1.1 Factor Z

Conforme al mapa de zonificación sísmica, la ubicación del edificio es en el siguiente orden: región sierra, provincia de Pichincha, dentro de la ciudad de Quito. El factor que corresponde utilizar es de 0,4g. Zona de color verde en el mapa de la Ilustración 7.

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,40

Tabla 14 Valores Factor Z CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

5.8.1.2 Factor de Importancia

La estructura al corresponder a una institución educativa, según la *tabla 4* del CEC 2000, *Tipo de uso, destino e importancia de la estructura*. Corresponde un factor de importancia $I = 1.3$ para estructuras de ocupación especial.

5.8.1.3 Coeficientes de configuración en planta ($\emptyset P$) y en elevación ($\emptyset E$)

La estructura es regular y las alturas entre pisos es homogénea, es decir, los coeficientes de configuración en planta y elevación corresponder a un valor de 1, respectivamente.

5.8.1.4 Coeficiente de reducción de respuesta estructural

Según las características del edificio, le corresponde un factor R de 8 para un sistema de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda.

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras	9
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio	7
Estructuras de madera	7

Tabla 15 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

En consecuencia, se presenta la siguiente tabla de los componentes horizontales de la carga sísmica con datos del CEC2000:

COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA		
Período límite de vibración	T*	0,82
Período límite de vibración (diseño sismo)	T+	4,59
Coeficiente de configuración de en planta	ØP	1
Coeficiente de configuración de en elevación	ØE	1
Altura máxima de la edificación de n pisos	hn	6
Coeficiente de importancia	I	1,3
Factor Z	Z	0,4
Factor de reducción de resistencia sísmica	R	8
	β	2,8
Factor de suelo	S	1,5

Tabla 16 Caracterización del suelo, zona sísmica y períodos.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

5.8.1.5 Período de vibración

$$T_1 = C_t * h_n^{3/4}$$

En donde, hn es la altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura.

Ecuación 11 Período de Vibración CEC-2000.

Fuente: (CEC2000).

Para una estructura de pórticos espaciales de hormigón armado le corresponde un factor de período de vibración (Ct) de 0,08.

Tipo de Estructuras	Ct
Para pórticos de acero	0.09
Para pórticos espaciales de hormigón armado	0.08
Para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o con diagonales y para otras estructuras	0.06

Tabla 17 Factor de período de vibración CEC-2000.

Fuente: (CEC2000).

5.8.2 COMPONENTES SÍSMICOS DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON NEC 2015

5.8.2.1 Factor Z

En base al mapa de zonas sísmicas del NEC-SE-DS el edificio se ubica en una zona de alto peligro sísmico. Y le corresponde un valor de 0.4g.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 18 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada NEC15.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Con respecto a los coeficientes de configuración en planta ($\emptyset P$) y en elevación ($\emptyset E$), se mantienen los mismos determinados con el CEC 2000.

La caracterización del coeficiente de reducción de respuesta estructural, le corresponde un valor de 5, conforme a las características que presenta el edificio.

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 19 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, NEC 2015.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.8.2.2 Factor de Importancia

En cuanto al factor de importancia de la estructura, se mantiene el mismo valor considerado con el código CEC 2000. La NEC-15 menciona que, las estructuras especiales, “...deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo... (NEC-SE-DS, 2015).”

$$T_o = 0.1F_s \frac{F_d}{F_a} ; \quad T_c = 0.55F_s \frac{F_d}{F_a} ; \quad T_L = 2.4F_d$$

Ecuación 12 Períodos límite de vibración.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

En base a las fórmulas de la NEC-SE-DS se tiene la siguiente tabla:

DATOS DISEÑO SISMO RESISTENTE		
Ciudad/ Región del proyecto	Quito	Sierra
Tipo de suelo del proyecto	D	
Zona sísmica	V	Alta
Factor Z	Z	0,4
Fa: coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó	Fa	1,2
Fd: desplazamientos para diseño en roca	Fd	1,19
Fs: comportamiento no lineal de los suelos	Fs	1,28
r: factor usado en el espectro de diseño elástico	r	1
n: razón entre la aceleración espectral	n	2,48
espectro Dinámico	R	5

COMPONENTES HORIZONTALES DE LA CARGA SÍSMICA		
Período límite de vibración	To	0,13
Período límite de vibración (diseño sismo)	Tc	0,70
Período de vibración de respuesta en desplazamientos	TL	2,856
Período fundamental de vibración de la estructura	T	4

Tabla 20 Caracterización del suelo, zona sísmica y períodos.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

5.8.2.3 Período de vibración

$$T = C_t \times h_n^\alpha$$

Ecuación 13 Período de vibración NEC 2015.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Para la determinación del período de vibración a este tipo de estructura, le corresponde un coeficiente dependiendo del tipo de edificio (C_t) de 0,055 y un exponente α de 0.9.

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Tabla 21 Tabla de factores para período de vibración.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

En base al valor del período de vibración de la estructura, le corresponde el coeficiente relacionado, en este caso un valor de 1.

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
0.5 < T ≤ 2.5	0.75 + 0.50 T
> 2.5	2

Tabla 22 Tabla de factores K.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.8.2.4 Límite permisible de deriva de piso

Referente al CEC2000 y NEC-15 para la estructura en análisis, el límite permisible de deriva de piso es un valor máximo de 0,02.

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

Tabla 23 Valores máximos de Δ_M – CEC2000 y NEC15.

Fuente: (CEC2000), (NEC-SE-DS, 2015).

$$\Delta_M = R \times \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 \times R \times \Delta_E$$

Ecuación 14 Límite de deriva CEC 2000 (arriba), NEC15 (abajo).

Fuente: (CEC2000), (NEC-SE-DS, 2015).

5.9 ESTADOS DE CARGA PUSHOVER

- El espectro de respuesta debe ser modelado con un factor de reducción de respuesta estructural de 1.

- Con el objetivo de simular un efecto desfavorable sobre la estructura. Se define una carga gravitacional no lineal en base a combinaciones de carga que sugiere la NEC-15.

$1.1 (D + 0.25L) + E$ $0.9 (D + 0.25L) + E$ <p>Donde:</p> <p>D Carga muerta total de la estructura</p> <p>E Efectos de las fuerzas sísmicas</p> <p>L Sobrecarga (carga viva)</p>

Ecuación 15 Combinaciones de cargas para efectos de rehabilitación.

Fuente: (NEC-SE-RE, 2015).

- A razón de que le método Pushover simula el empuje de fuerzas en una sola dirección. Se define patrones de carga en dos direcciones (Pushover X y Pushover Y).
- Para incluir la relación fuerza-deformación no lineal sobre los elementos estructurales que están sujetos a cargas axiales, es aplicado el efecto P- Δ .
- Acerca de las rótulas plásticas, se definen para elementos estructurales de concreto. Se ubican al 0,5% y al 95% de la longitud de la sección. El programa aplica los criterios del ASCE 41-17 tanto para vigas la 10-7, como para columnas las tablas 10-8 y 10-9.

6 CAPÍTULO VI: MODELAMIENTO

Al iniciar un nuevo proyecto, se asigna un nombre al archivo y a continuación es necesario definir las distancias entre ejes y alturas entre pisos. Importante fijar un sistema de unidades para todo el proyecto.

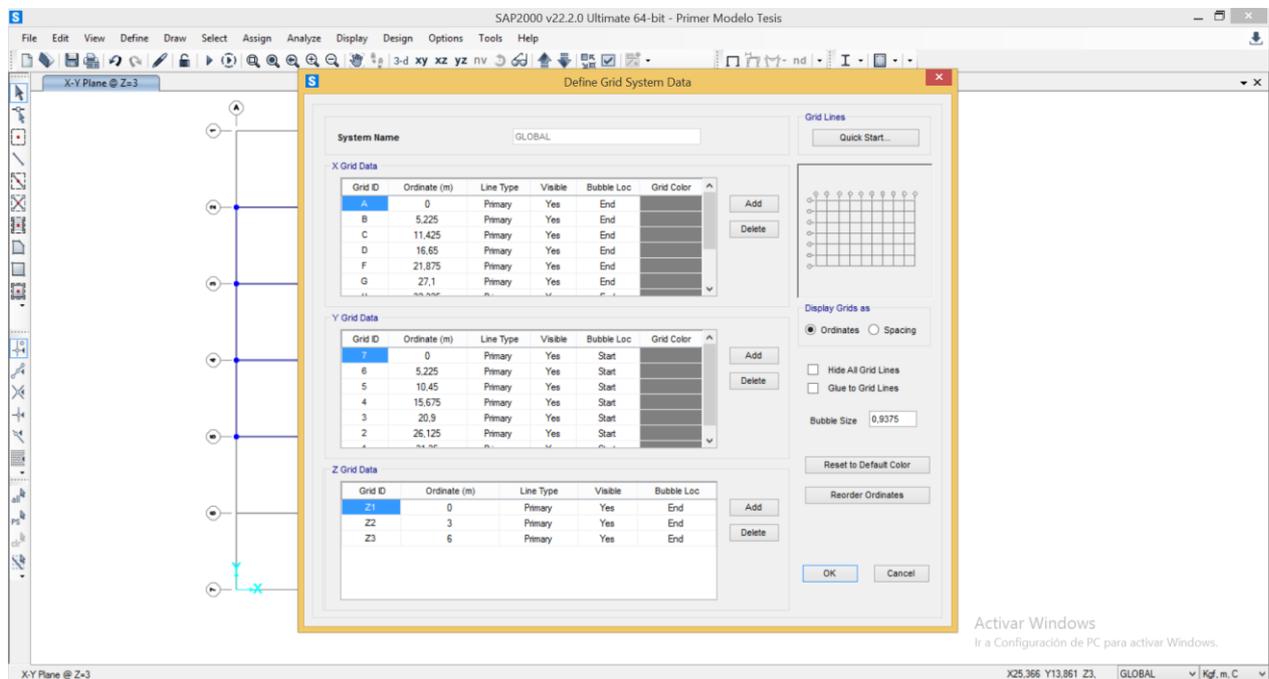


Ilustración 31 Corrección de grilla.

Fuente: (SAP2000).

6.1 DEFINICIÓN DE MATERIALES

Durante la inspección visual a la estructura, se comprueba que las varillas utilizadas como acero de refuerzo fueron de tipo lisas (Anexo 1). Se desconoce el valor de la fluencia del acero. Sin embargo, es posible consultar este dato de un catálogo de acero de refuerzo fabricado en el país. A razón de que estos materiales deben cumplir con especificaciones técnicas que dicta el ASTM A70 desde 1970.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se toma en cuenta, el límite de fluencia que sugiere el catálogo de Adelca donde indica lo siguiente:

PROPIEDADES MECÁNICAS	LISO
	(Mpa)
Límite de fluencia mínimo	490
Resistencia a la tracción mínima	540

Tabla 24 Propiedades técnicas del acero.

Fuente: (Adelca, 2020).

The screenshot shows a software interface for defining steel material properties. It is organized into four main sections:

- General Data:** Includes fields for Material Name and Display Color (Acero 490MPa), Material Type (Rebar), Material Grade (Grade 60), and Material Notes (with a Modify/Show Notes... button).
- Weight and Mass:** Includes fields for Weight per Unit Volume (7849,0476) and Mass per Unit Volume (800,3801). A Units dropdown menu is set to 'Kgf, m, C'.
- Uniaxial Property Data:** Includes fields for Modulus Of Elasticity, E (2,039E+10), Poisson, U (0,3), Coefficient Of Thermal Expansion, A (1,170E-05), and Shear Modulus, G.
- Other Properties For Rebar Materials:** Includes fields for Minimum Yield Stress, Fy (49000000), Minimum Tensile Stress, Fu (54000000), Expected Yield Stress, Fye (46402595), and Expected Tensile Stress, Fue (61870127).

Ilustración 32 Definición del acero.

Fuente: (SAP2000).

Como describe la tabla 12 de resumen. Se carga en el programa cuatro valores diferentes de concreto. Un valor de resistencia a la compresión para vigas y losas de la planta baja, adicionalmente otro f'_c para columnas de la misma planta. Lo mismo aplica para las columnas y vigas del segundo piso.

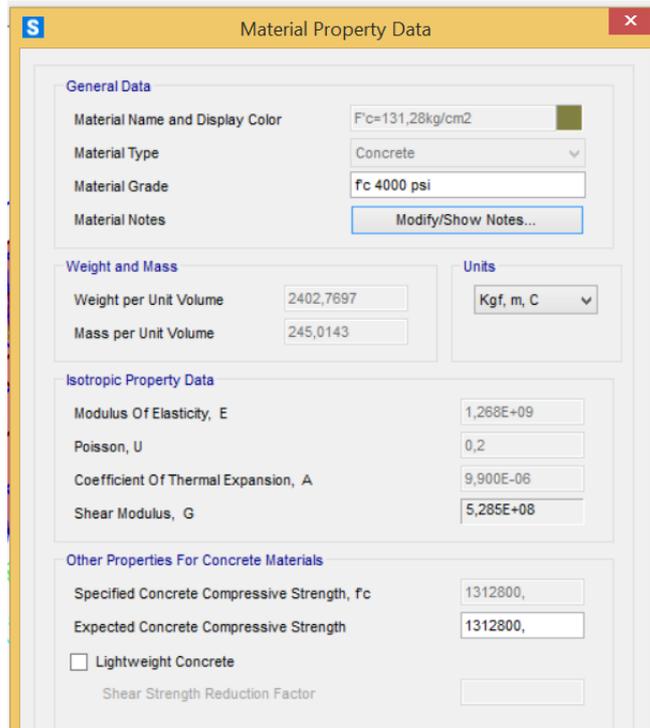


Ilustración 33 Definición de concreto $f'c=131,28$ kg/cm².

Fuente: (SAP2000).

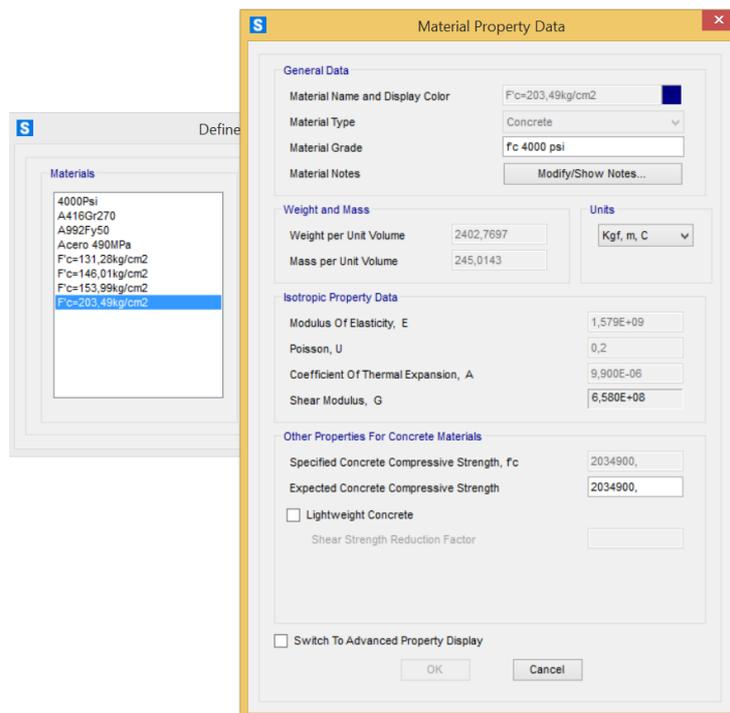


Ilustración 34 Definición de concreto $f'c=203,49$ kg/cm².

Fuente: (SAP2000).

6.2 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

6.2.1 COLUMNAS

En base a la geometría proporcionada en los planos de Lorca y la comprobación geométrica, se describe columnas circulares de hormigón armado de cuarenta y cinco centímetros de diámetro.

Cálculo del acero de refuerzo en columnas, usando la cuantía mínima :

$$D = 45cm$$

$$A_g = \frac{D^2 \times \pi}{4} = \frac{45^2 \times \pi}{4} = 1590,43cm^2$$

$$\rho_{min} = 0,01$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} \rightarrow A_s = A_g \times \rho$$

$$A_s = 1590,43cm^2 \times 0,01 = 15,90cm^2$$

$$8\emptyset 16mm = 16,08cm^2$$

Con respecto al acero de refuerzo transversal se ingresa el dato como de estribos de 8mm de diámetro. Y se definirá espaciamiento mínimo, es decir, cada 10cm.

Según la sección 6.1.6 del NEC-SE-DS el factor de la inercia de la sección agrietada es de 0.8 I_g para columnas de hormigón armado. Tal como lo describe la tabla 10 para valores agrietados de inercia de la sección transversal del elemento

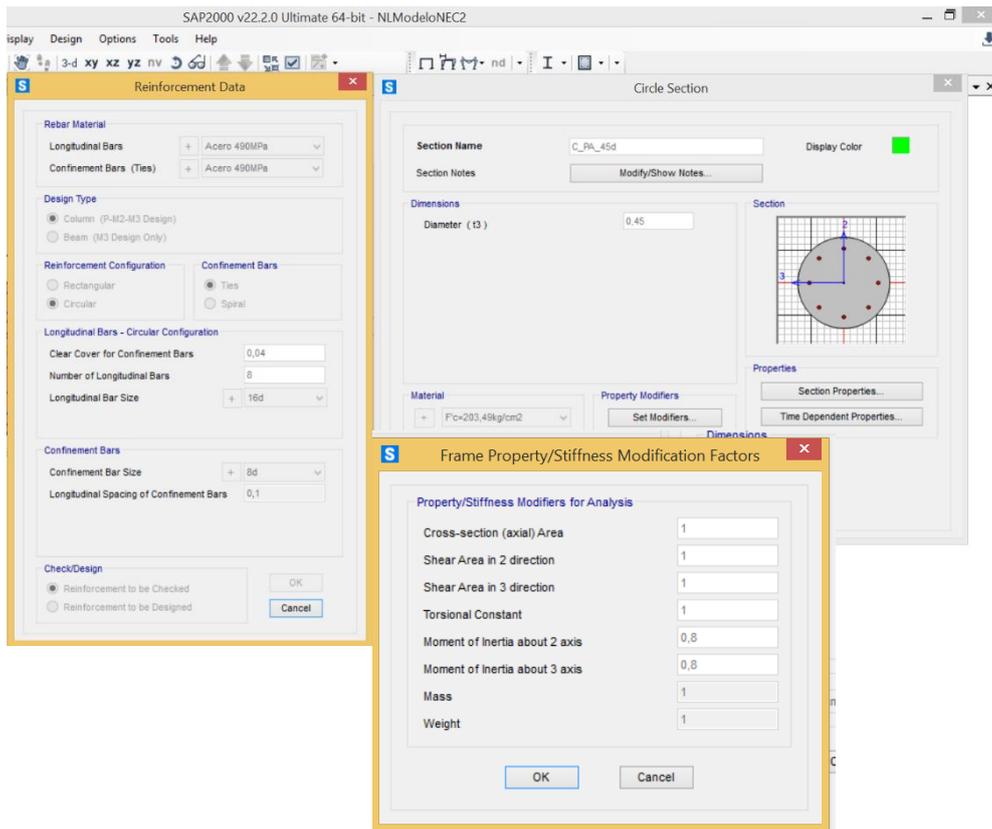


Ilustración 35 Definir Columnas.

Fuente: (SAP2000).

6.2.1 VIGAS

En base a la comprobación geométrica en campo, la sección de vigas cuadradas de cincuenta centímetros y conforme al cálculo realizado se realiza los cálculos correspondientes.

Área de acero de refuerzo en vigas, usando la cuantía mínima:

$$\text{vigas cuadradas: } b = h = 50\text{cm}$$

$$\rho_{min} = 0,003$$

$$A_s = \rho \times b \times h = 0,003 \times 50\text{cm} \times 50\text{cm} = 7,5\text{cm}^2$$

$$7\phi 12\text{mm} = 7,91\text{cm}^2$$

Para el acero de refuerzo transversal, se considera lo siguiente: estribos de ocho milímetros de diámetro y espaciamiento cada diez y veinte centímetros.

La NEC-SE-DS sugiere utilizar los valores agrietados de inercia de la sección transversal del elemento descrita en la tabla 10 el factor para vigas debe ser de $0.5I_g$. Sin embargo, para este modelo no se considera este agrietamiento, a razón de que la estructura presenta los que se conoce como *vigas banda*. En otras palabras, "...la losa no está monólicamente unida a la viga (NEC-SE-DS, 2015)".

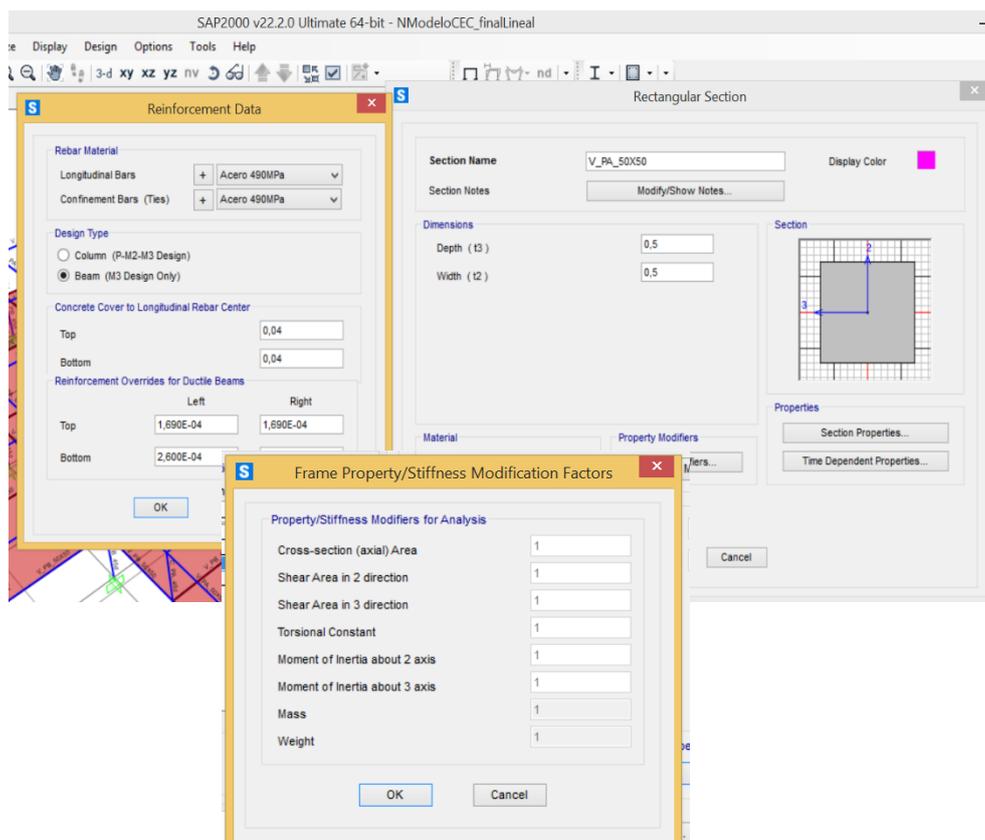


Ilustración 36 Definir vigas.

Fuente: (SAP2000).

6.2.1 LOSAS

Con base a los cálculos realizados, el valor de 14.5 centímetros es el equivalente a una losa de veinte centímetros en dos direcciones. En el programa, se asigna una losa tipo membrana.

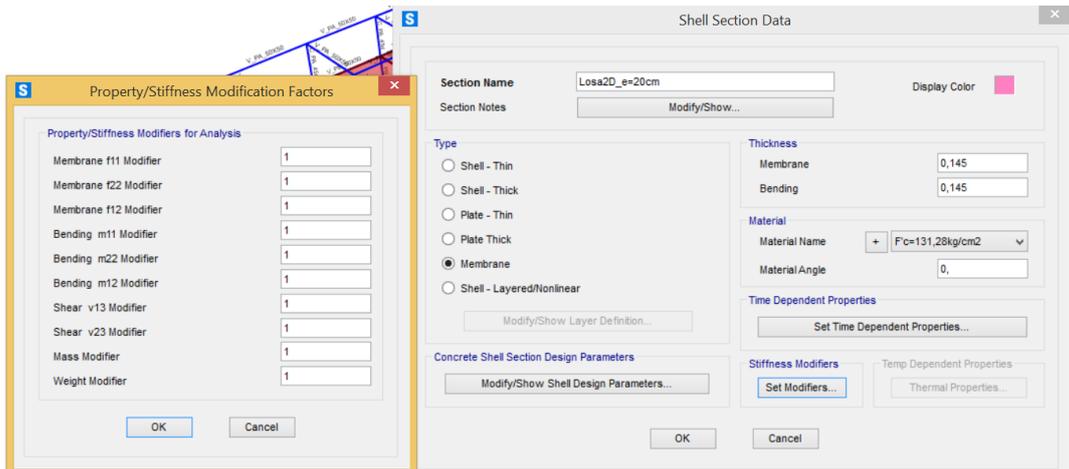


Ilustración 37 Definir losa.

Fuente: (SAP2000).

Una vez ingresados los datos de las secciones que tiene la estructura, se distribuye todos los elementos estructurales donde correspondan, es decir, sobre los ejes previamente creados.

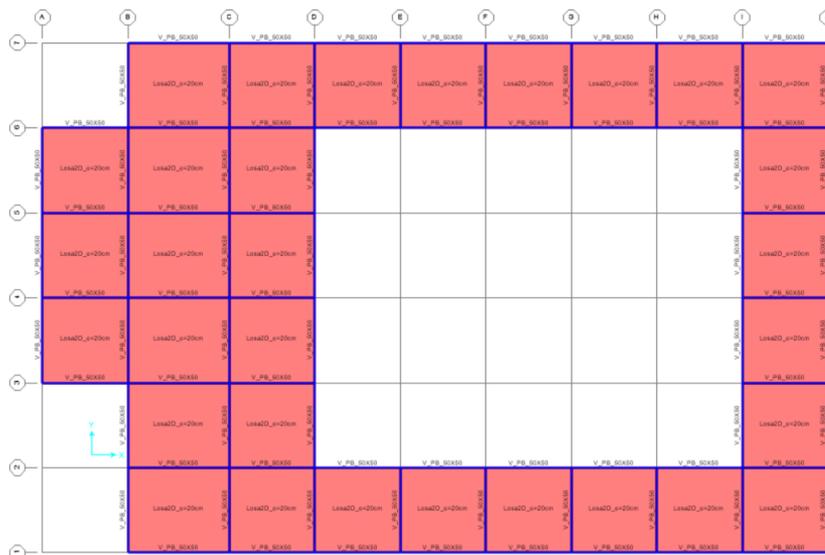


Ilustración 38 Dibujo de elementos.

Fuente: (SAP2000).

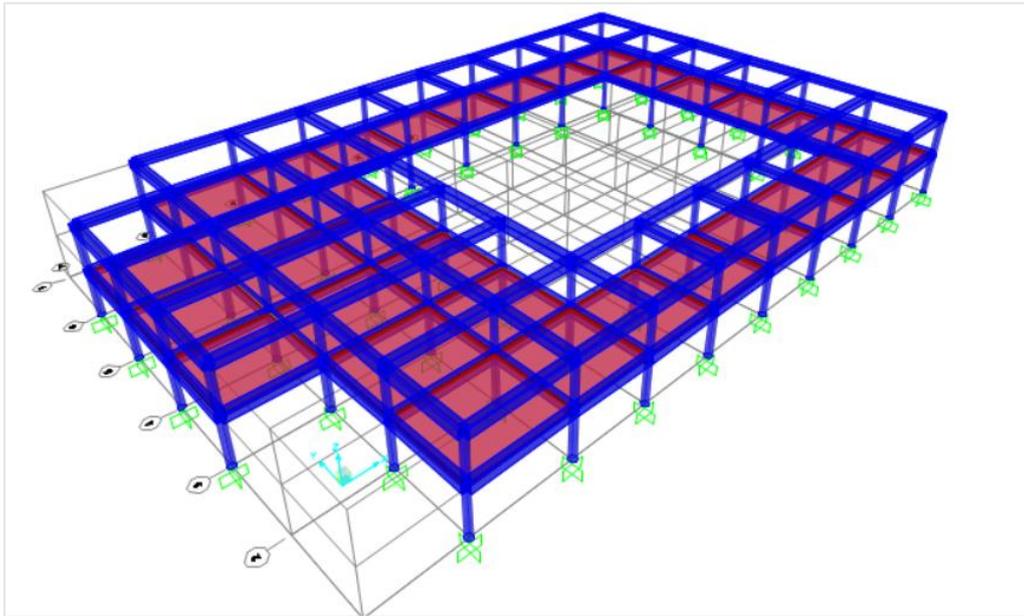


Ilustración 39 Vista 3D del modelo.

Fuente: (SAP2000).

Asignación las restricciones en los apoyos, de movimiento en traslación y rotación en la base de la estructura.

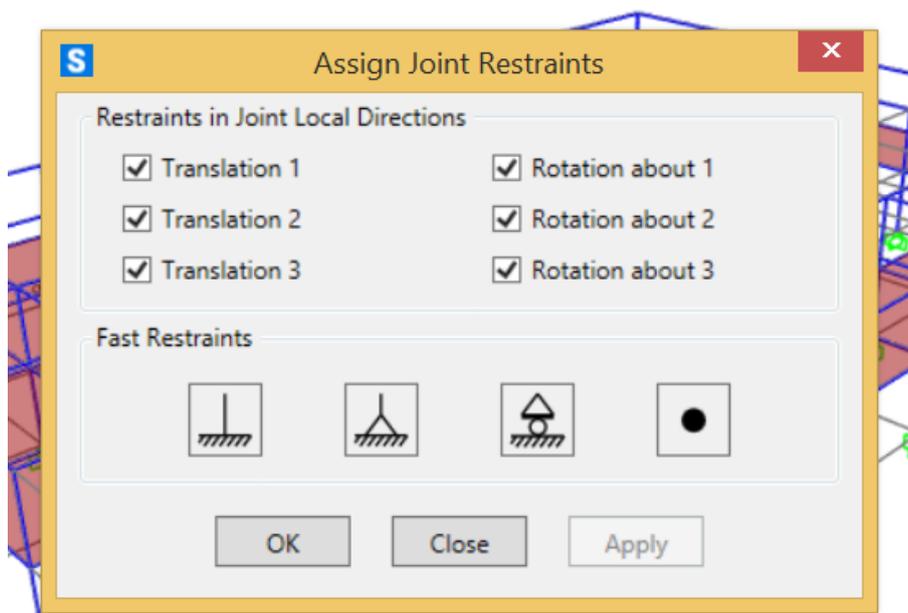


Ilustración 40 Asignación de restricciones.

Fuente: (SAP2000).

6.3 ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO DE LA UISEK

6.3.1 CÁLCULO DE ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON CEC 2000

En base a los componentes sísmicos definidos por el CEC 2000 y las características del suelo, se procede al cálculo del espectro elástico, para lo que se aplica las siguientes ecuaciones:

$$T < T^* \quad A_d = \alpha \times \beta \times A_o$$

$$T^* < T < T^+ \quad A_d = \frac{1.25 \times \alpha \times A_o \times S^s}{T}$$

$$T > T^+ \quad A_d = \frac{\alpha \times A_o}{2}$$

Ecuación 16 Períodos límite de vibración y espectro de respuesta.

Fuente: (CEC2000).

La gráfica de espectro de respuesta se representa de la siguiente forma:

ESPECTRO DE RESPUESTA			
T (s)	Ad(g)		
0	0,237	1,8	0,108
0,5	0,237	1,9	0,102
0,82	0,237	2	0,097
0,82	0,237	2,1	0,092
1	0,194	2,2	0,088
1,1	0,176	2,3	0,084
1,2	0,162	2,4	0,081
1,3	0,149	2,5	0,078
1,4	0,139	2,6	0,075
1,5	0,129	2,7	0,072
1,6	0,121	2,8	0,069
1,7	0,114	4	0,049
		4,5	0,043
		4,59	0,042
		5	0,042

Tabla 25 Espectro Elástico.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

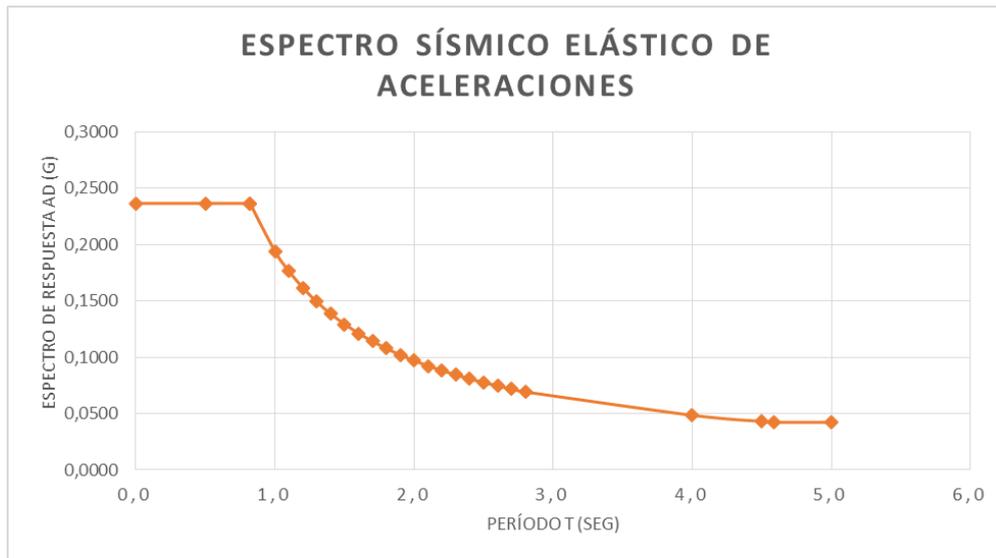


Ilustración 41 Espectro Elástico Bloque Administrativo UISEK.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

Ingreso del espectro de respuesta con los datos según el CEC2000:

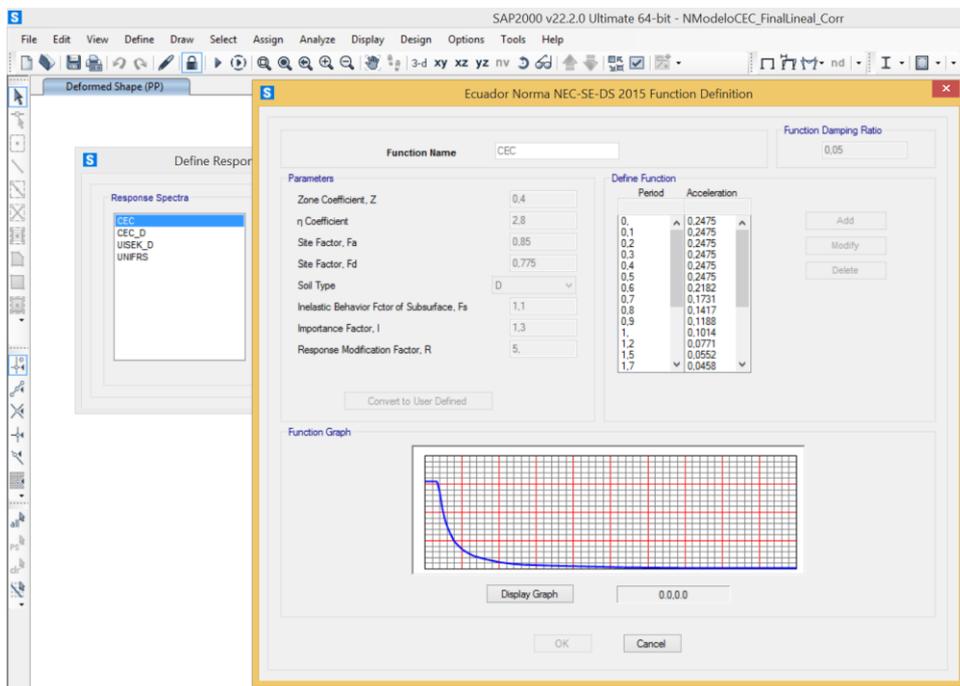


Ilustración 42 Espectro Elástico CEC 2000- SAP200.

Fuente: (SAP2000).

6.3.1 CÁLCULO ESPECTRO ELÁSTICO DEL BLOQUE ADMINISTRATIVO CON LA NEC15

Conforme al tipo de suelo sobre el que asienta la edificación, el factor para el espectro elástico le corresponde un valor de $r = 1$. Así mismo, la razón entre la aceleración espectral para las provincias de la Sierra $\eta = 2.48$.

La gráfica de espectro de respuesta queda representada de la siguiente manera:

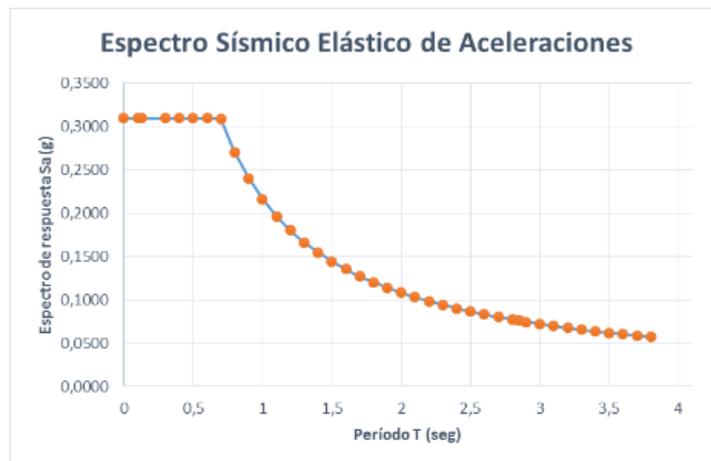


Ilustración 43 Espectro Elástico Bloque Administrativo UISEK.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

ESPECTRO DE RESPUESTA		1,9	0,1137
T (s)	Sa (g)	2	0,1080
0	0,3095	2,1	0,1029
0,1	0,3095	2,2	0,0982
0,13	0,3095	2,3	0,0939
0,3	0,3095	2,4	0,0900
0,4	0,3095	2,5	0,0864
0,5	0,3095	2,6	0,0831
0,6	0,3095	2,7	0,0800
0,7	0,3087	2,8	0,0772
0,8	0,2701	2,81	0,0769
0,9	0,2401	2,85	0,0758
1	0,2161	2,856	0,0757
1,1	0,1964	2,9	0,0745
1,2	0,1801	3	0,0720
1,3	0,1662	3,1	0,0697
1,4	0,1543	3,2	0,0675
1,5	0,1441	3,3	0,0655
1,6	0,1350	3,4	0,0636
1,7	0,1271	3,5	0,0617
1,8	0,1200	3,6	0,0600
		3,7	0,0584
		3,8	0,0569

Tabla 26 Espectro Elástico.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

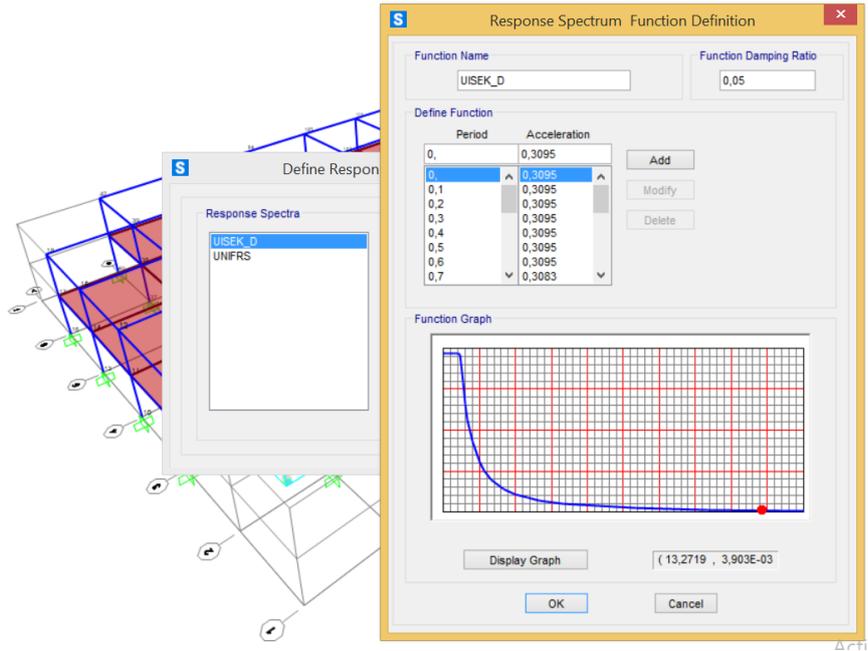


Ilustración 44 Definición de espectro elástico NEC15.

Fuente: (SAP2000).

6.4 DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA

Se asigna que el programa calcule el peso propio de la estructura. Lo que significa que, se carga un patrón de carga bajo el nombre de PP y factor multiplicador de 1. En relación a los demás patrones de carga se define los siguientes: viva, muerta, sobrecarga de cubierta y sismos en ambas direcciones (Sx y Sy).

6.4.1 CARGAS SÍSMICAS CEC 2000 EN SX Y SY

$$\text{Coeficiente sísmico} = \frac{Z * I * C}{\phi_P * \phi_E * R} \quad ; \quad C = \frac{1.25 * S^S}{T_2}$$

Ecuación 17 Coeficiente sísmico CEC 2000.

Fuente: (CEC2000).

Coeficiente sísmico	0,182
---------------------	-------

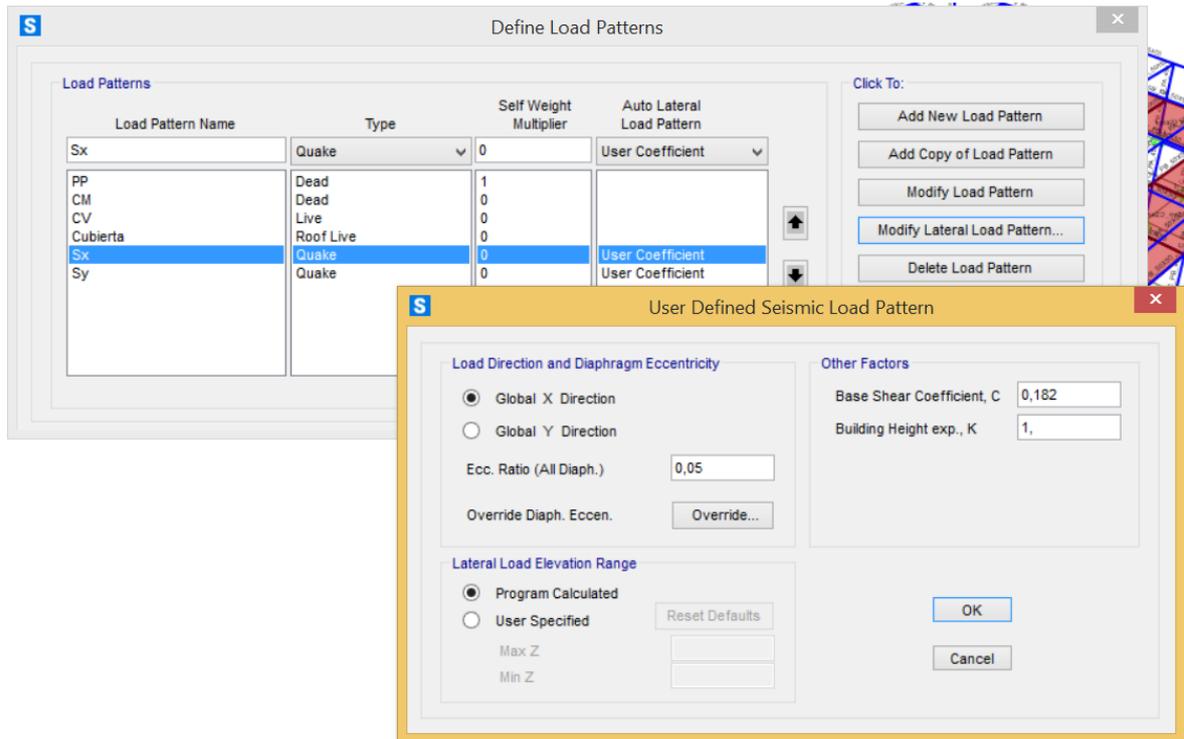


Ilustración 45 Definición de coeficiente sísmico CEC 2000.

Fuente: (SAP2000).

6.4.1 CARGAS SÍSMICAS NEC 2015 EN SX Y SY

$$\text{Coeficiente sísmico} = \frac{I * S_a(T_a)}{\phi_P * \phi_E * R}$$

Ecuación 18 Coeficiente sísmico NEC 2015.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Coeficiente sísmico	0,310	30,95%
---------------------	-------	--------

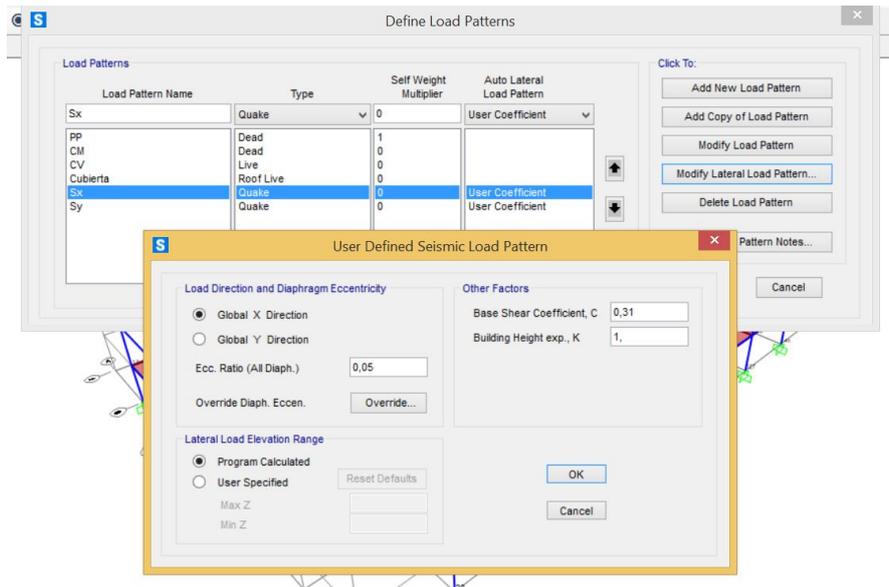


Ilustración 46 Definición de coeficiente sísmico NEC 2015.

Fuente: (SAP2000).

6.5 DEFINICIÓN DE ESTADOS DE CARGA

Se define los estados de carga del sismo tanto en X como en Y. Especificando que está en función de un espectro de respuesta. Al tener dos modelos, el primero va en función del espectro calculado con los datos del CEC 2000 y el segundo en función del espectro de respuesta del NEC-15.

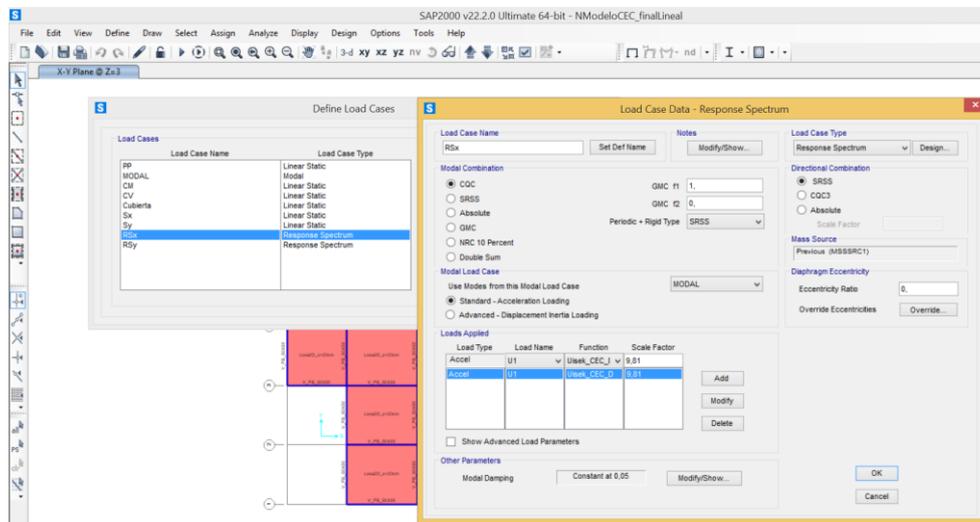


Ilustración 47 Definición de estados de carga.

Fuente: (SAP2000).

6.6 DEFINICIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA

Se crea las combinaciones respectivas para cada modelo según el código CEC 2000, así como para la norma NEC15.

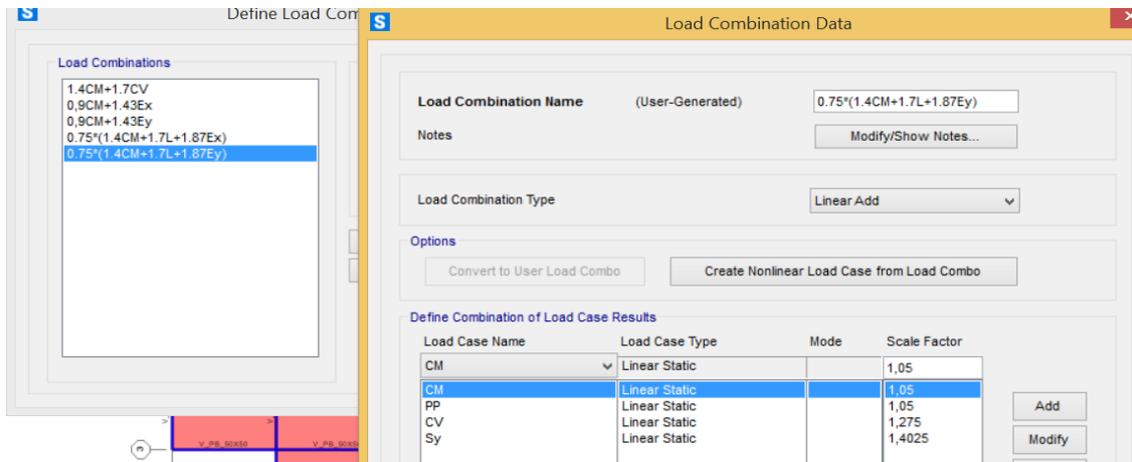


Ilustración 48 Definición de combinaciones de carga CEC2000.

Fuente: (SAP2000).

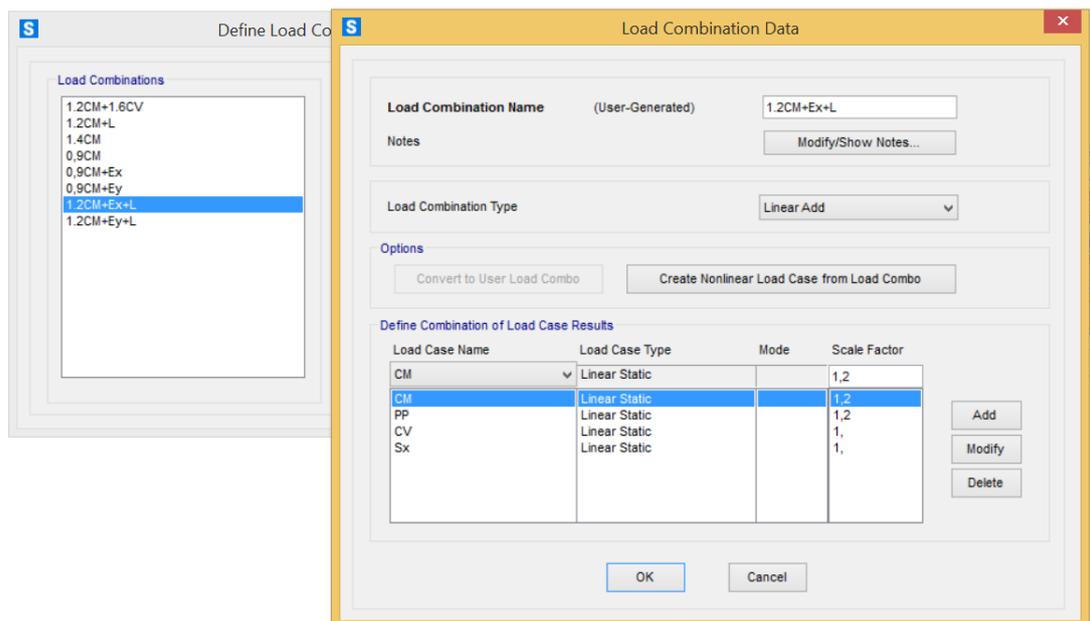


Ilustración 49 Definición de combinaciones de carga NEC-15.

Fuente: (SAP2000).

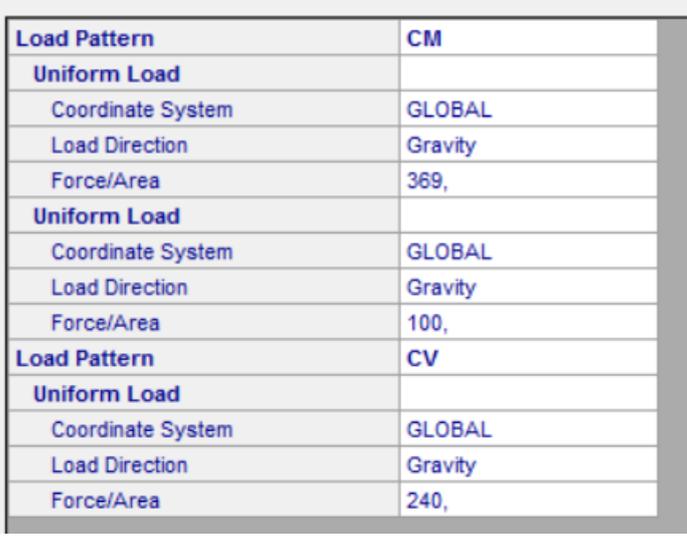
6.7 ASIGNACIÓN DE CARGAS

Se selecciona cada paño de losa y se asigna valores conforme a las cargas que van a soportar respectivamente según su ocupación. Los valores se ingresan según la tabla que se describe a continuación:

CARGAS GRAVITACIONALES		
Carga Muerta	369,12	kg/m ²
CV Aulas	240,00	kg/m ²
CV Oficinas	200,00	kg/m ²
CM Cubierta	100,00	kg/m ²
CV Cubierta	70,00	kg/m ²

Tabla 27 Cargas asignadas.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).



Load Pattern	CM
Uniform Load	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	369,
Uniform Load	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	100,
Load Pattern	CV
Uniform Load	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	240,

Ilustración 50 Asignación de cargas sobre losas.

Fuente: (SAP2000).

Con respecto a la carga de cubierta se selecciona las vigas sobre las que va apoyado este peso y se le asigna una carga distribuida de 70 kg/cm².

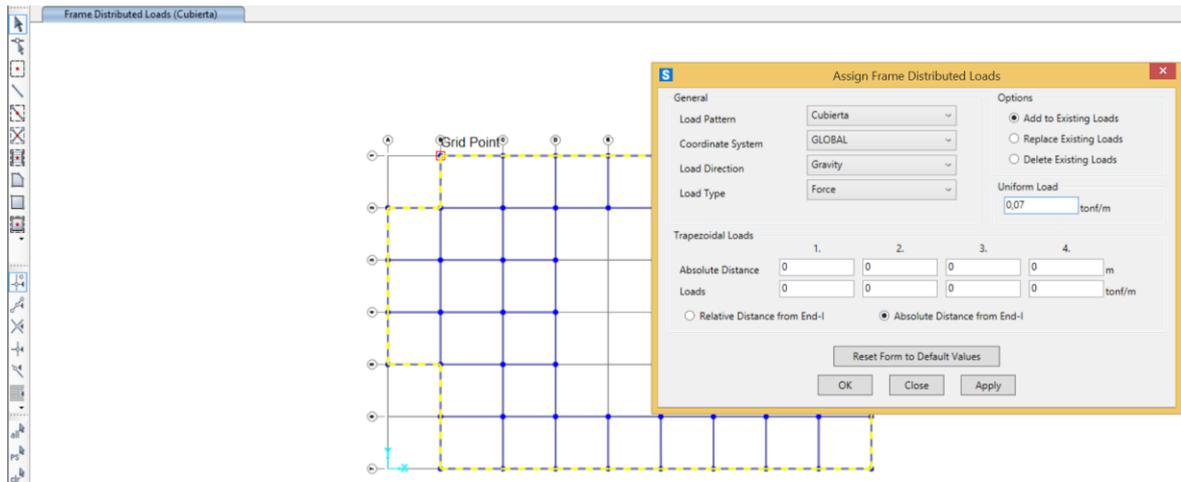


Ilustración 51 Asignación de carga de cubierta.

Fuente: (SAP2000).

Para la asignación de la carga sobre las vigas que soportan el peso de cubierta del área del auditorio según los cálculos obtenidos del mosaico de cargas que muestra la ilustración 27.

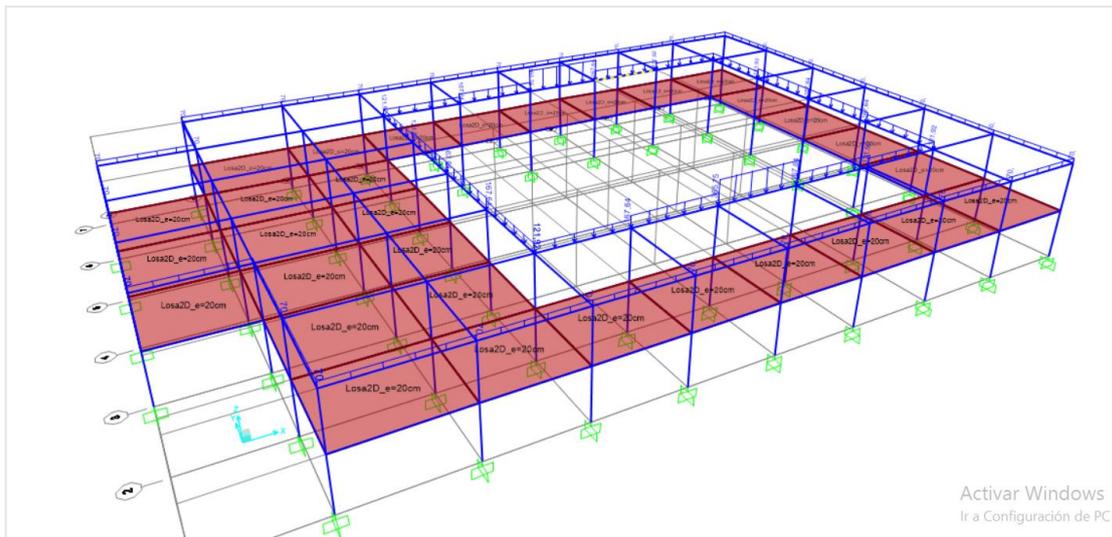


Ilustración 52 Asignación de carga de cubierta.

Fuente: (SAP2000).

6.7.1 ASIGNACIÓN DE DIAFRAGMA

Con el objetivo de que cada piso de la edificación trabaje como un solo elemento, es necesario asignar un diafragma.

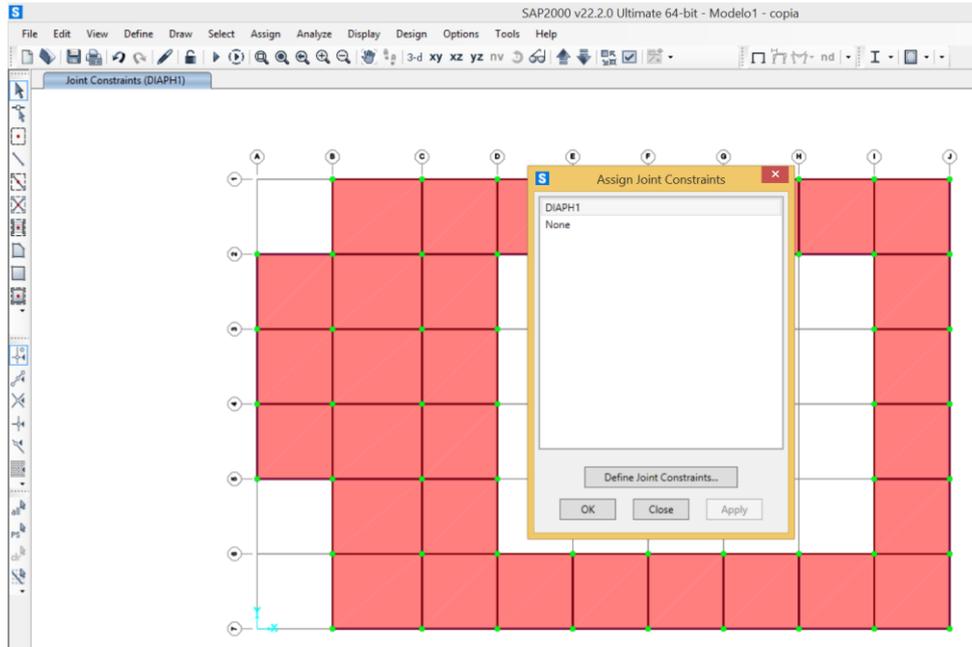


Ilustración 53 Asignación de diafragma.

Fuente: (SAP2000).

6.7.1 DEFINICIÓN DE FUENTE DE MASA

Se toma en cuenta que la masa que participa en este modelo, es el peso propio de la estructura (PP) y la carga muerta (CM).

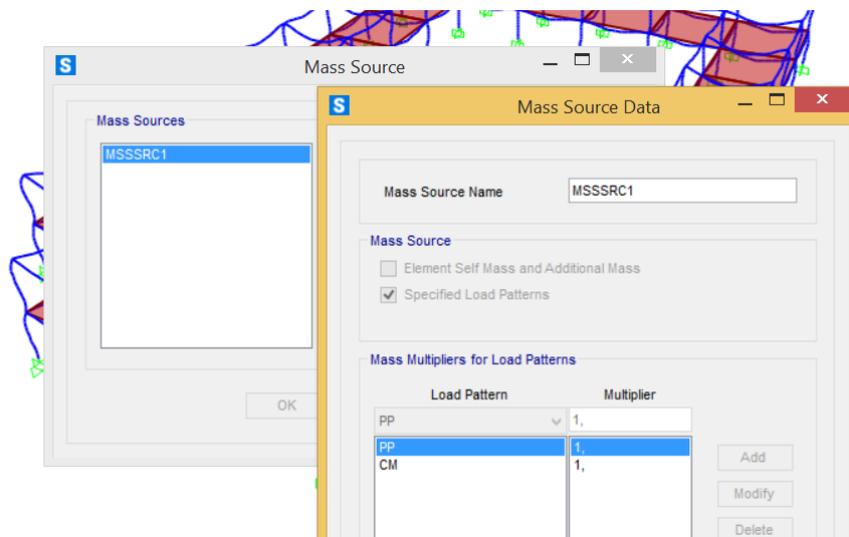


Ilustración 54 Definición de masa.

Fuente: (SAP2000).

6.7.2 CASOS DE CARGA ANÁLISIS PUSHOVER

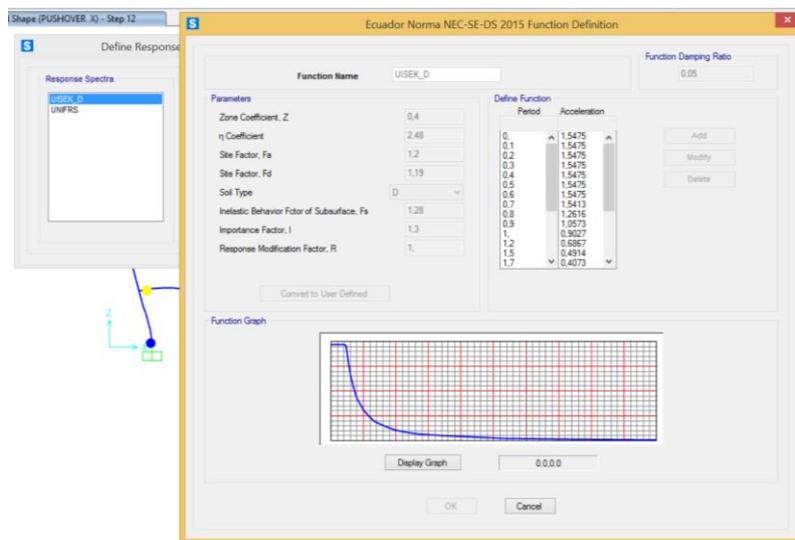


Ilustración 55 Carga del espectro de respuesta.

Fuente: (SAP2000).

6.7.2.1 Carga gravitacional no lineal

Se define este caso de carga con la combinación que plantea la NEC-SE-RE, utilizando el peso propio de la estructura, carga muerta y carga viva.

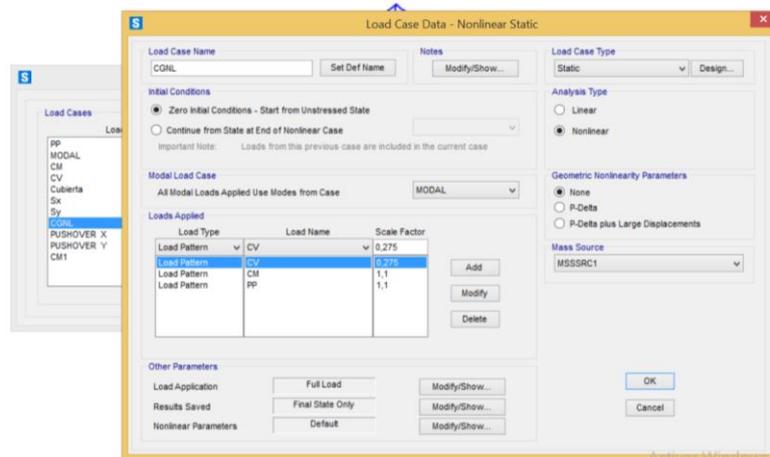


Ilustración 56 Definición de carga gravitacional no lineal.

Fuente: (SAP2000).

6.7.2.2 Casos de carga Pushover

Se define el estado de carga PushoverX y PushoverY como tipo de carga modal. Conforme al resultados de la tabla de la participación modal de masa, en el análisis lineal.

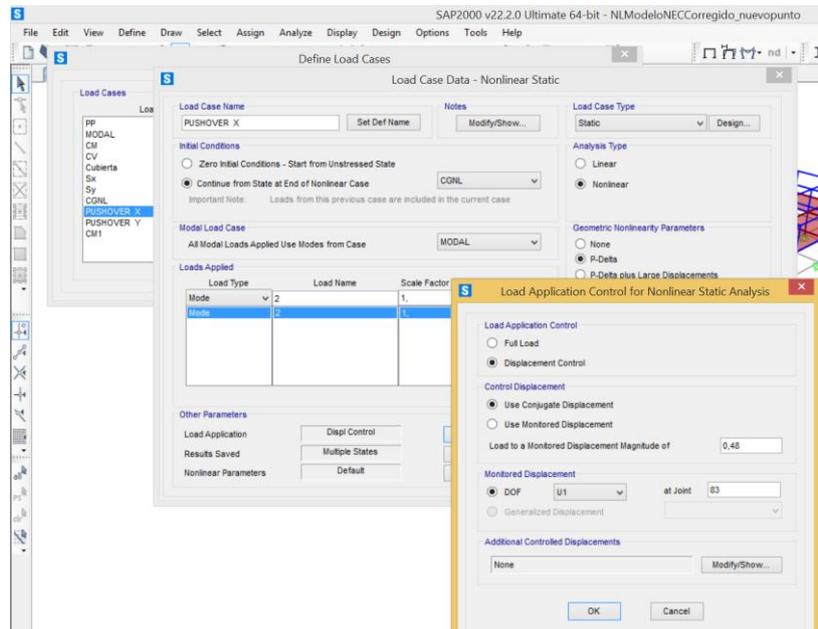


Ilustración 57 Definición de estado de carga PushoverX.

Fuente: (SAP2000).

Con respecto al valor ingresado para la definición del desplazamiento objetivo en el Sap2000 para realizar el pushover, la NEC15 menciona que este valor depende del diseño basado en desplazamientos en su sección 7.3.1.

7 CAPÍTULO VII: RESULTADOS

7.1 CORTANTE BASAL CEC-2000

Con las respectivas ecuaciones se calcula el cortante basal, a partir del peso de la estructura proporcionado por el programa SAP 2000.

Coeficiente que depende del tipo de edificio		Ct	0,08
Periodo de vibración	0,3067	0,3817	(SAP)
C		2,8005	
W	(SAP)	1338,7513	T
Coeficiente sísmico			0,182
Corte Basal Mínimo		V _{mín}	243,695

Tabla 28 Cortante Basal CEC-2000.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

TABLE: Auto Seismic - User Coefficient						
LoadPat	Dir	PercentEcc	C	K	WeightUsed	BaseShear
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Tonf	Tonf
Sx	X	0,05	0,182	1	1338,751	243,653
Sy	Y	0,05	0,182	1	1338,751	243,653

Tabla 29 Cortante Basal CEC2000.

Fuente: (SAP2000).

A partir del resultado del cortante basal calculado y el valor obtenido con el programa, requiere ajuste. Se calcula con la siguiente tabla:

TABLE: Base Reactions								
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
Sx	LinStatic		-243,6527	1,794E-12	2,274E-15	-5,122E-12	-1002,61518	2648,54544
Sy	LinStatic		1,889E-12	-243,6527	-1,819E-15	1002,61518	5,748E-12	-5332,73209
RSx	LinRespSpec	Max	321,8311	0,2643	0,0046	1,0128	1260,88228	3185,20031
RSy	LinRespSpec	Max	0,2643	308,5011	0,0025	1210,20043	1,08349	6012,05858

Tabla 30 Cortante Estático y Dinámico X,Y.

Fuente: (SAP2000).

	S/R_s	%	>80%
SX	0,7571	76%	Ajustar
SY	0,7898	79%	Ajustar

Tabla 31 Ajuste cortante estático y dinámico - CEC2000

Elaborado por: (Chasipanta, 2021)

Cálculo del nuevo coeficiente sísmico hasta que la relación entre el cortante estático y cortante dinámico sea >80%

VSx	243,695	VRSx	321,831	Coef. Sísmico
VSx	243,653	1,00	76%	0,182
VSx	240,9752	1,011	75%	0,184
VSx	246,3302	1,0222	77%	0,188
VSx	251,6800	1,0217	78%	0,192
VSx	257,0400	1,0213	80%	0,196
VSx	262,3953		82%	

Tabla 32 Ajuste del cortante basal

Elaborado por: (Chasipanta, 2021)

TABLE: Base Reactions								
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
Sx	LinStatic		-262,3953	1,929E-12	-9,095E-16	-5,632E-12	-1079,73942	2852,2797
Sy	LinStatic		2,037E-12	-262,3953	5,002E-15	1079,73942	5,966E-12	-5742,94225
RSx	LinRespSpec	Max	321,8311	0,2643	0,0046	1,0128	1260,88228	3185,20031
RSy	LinRespSpec	Max	0,2643	308,5011	0,0025	1210,20043	1,08349	6012,05858

Tabla 33 Cortante Estático y Dinámico X,Y.

Fuente: (SAP2000)

	S/R_s	%	>80%
SX	0,8153	82%	Ok
SY	0,8505	85%	Ok

Tabla 34 Ajuste cortante estático y dinámico - CEC2000.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

TABLE: Auto Seismic - User Coefficient						
LoadPat	Dir	PercentEcc	C	K	WeightUsed	BaseShear
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Tonf	Tonf
Sx	X	0,05	0,196	1	1338,7513	262,3953
Sy	Y	0,05	0,196	1	1338,7513	262,3953

Tabla 35 Cortante Basal Corregido.

Fuente: (SAP2000).

7.2 CORTANTE BASAL NEC-15

Con las respectivas ecuaciones se calcula el cortante basal, a partir del peso de la estructura proporcionado por el programa SAP 2000.

W	(SAP)	1338,7513	T	
Coeficiente sísmico		0,310	30,95%	
Coeficiente que depende del tipo de edificio		Ct	0,055	
Coeficiente α		α	0,9	
Altura máxima de la edificación de n pisos		hn	6	
Factor k		k	1	
Periodo de vibración		Ta	0,276	0,359
Corte Basal Mínimo		Vmín	331,4791	T

Tabla 36 Cortante Basal NEC-15 y período de vibración

Elaborado por: (Chasipanta, 2021)

TABLE: Auto Seismic - User Coefficient						
LoadPat	Dir	PercentEcc	C	K	WeightUsed	BaseShear
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Tonf	Tonf
Sx	X	0,05	0,31	1	1338,75	415,01
Sy	Y	0,05	0,31	1	1338,75	415,01

Tabla 37 Cortante Basal SAP 2000- NEC15.

Fuente: (SAP2000).

Análisis en base al espectro de respuesta elástico de los estados de carga RSx y RSy; se obtiene los siguientes valores que se relacionarán con la sección 6.2.2 de la NEC-SE-DS para el ajuste del cortante basal.

TABLE: Base Reactions								
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
Sx	LinStatic		-415,0129	3,048E-12	-1,637E-14	-8,848E-12	-1707,75113	4511,25871
Sy	LinStatic		3,22E-12	-415,0129	5,457E-15	1707,75113	9,575E-12	-9083,22499
RSx	LinRespSpec	Max	402,4189	0,3305	0,0058	1,26641	1576,61226	3982,78723
RSy	LinRespSpec	Max	0,3305	385,751	0,0032	1513,23947	1,3548	7517,50215

Tabla 38 Cortante Estático y Dinámico X,Y.

Fuente: (SAP2000).

	S/R_s	%	>80%
SX	1,0313	103,13%	Ok
SY	1,0759	107,59%	Ok

Tabla 39 Cortante Estático y Dinámico – NEC2015.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

7.2.1 CONTROL DE DERIVAS DE PISO

7.2.1.1 Deriva de piso CEC 2000

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
41	Sx	LinStatic	0,006017	0,000274	0,000029	-0,000032	0,001065	-0,000014
41	Sy	LinStatic	-0,000116	0,005736	-0,000042	-0,001017	-0,000016	0,000007468
42	Sx	LinStatic	0,008825	0,00032	0,000035	0,000005828	0,000311	0,000004601
42	Sy	LinStatic	-0,000131	0,008815	-0,000051	-0,00035	-3,134E-07	0,000017

Tabla 40 Desplazamientos en uniones – CEC2000.

Fuente: (SAP2000).

R=	8	h entrepiso	300	cm	
DERIVA DE PISO EN X					
Desplazamientos Referenciales			Δ Inelástica		Δ máx
Joint	U1	ΔX	ΔE	$\Delta M=R*\Delta E$	0,02
	cm	cm	cm	cm	
42	0,9504	0,302	0,001	0,008	OK
41	0,6480	0,648	0,002	0,017	OK

Tabla 41 Deriva de piso Sx – CEC2000.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

R=	8	h entrepiso	300	cm	
DERIVA DE PISO EN Y					
Desplazamientos Referenciales			Δ Inelástica		Δ máx
Joint	U2	ΔY	ΔE	ΔM=R*ΔE	0,02
	cm	cm	cm	cm	
42	0,9493	0,332	0,001	0,009	OK
41	0,6177	0,618	0,002	0,016	OK

Tabla 42 Deriva de piso Sy – CEC2000.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

7.2.1.2 Deriva de piso NEC15

TABLE: Joint Displacements						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm
41	Sx	LinStatic		1,024916	0,04674	0,004883
41	Sy	LinStatic		-0,019688	0,976945	-0,007127
42	Sx	LinStatic		1,50323	0,054501	0,005914
42	Sy	LinStatic		-0,022341	1,501402	-0,008744

Tabla 43 Desplazamientos en uniones – NEC15.

Fuente: (SAP2000).

R=	5	h entrepiso	300	cm	
DERIVA DE PISO EN X					
Desplazamientos Referenciales			Δ Inelástica		Δ máx
Joint	U1	ΔX	ΔE	ΔM=0.75*R*ΔE	0,02
	cm	cm	cm	cm	
42	1,503	0,478	0,0016	0,006	OK
41	1,025	1,025	0,0034	0,013	OK

Tabla 44 Deriva de piso Sx – NEC15.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

R=	5	h entrepiso	300	cm	
DERIVA DE PISO EN Y					
Desplazamientos Referenciales			Δ Inelástica		Δ máx
Joint	U2	ΔY	ΔE	ΔM=0.75*R*ΔE	0,02
	cm	cm	cm	cm	
42	1,501	0,524	0,0017	0,007	OK
41	0,977	0,977	0,0033	0,012	OK

Tabla 45 Deriva de piso Sy – NEC15.

Elaborado por: (Chasipanta, 2021).

7.2.2 PARTICIPACIÓN DE MASA

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99,9953	99,9592
MODAL	Acceleration	UY	99,906	99,2483
MODAL	Acceleration	UZ	0,0001163	6,703E-06

Tabla 46 Participación de la masa en el modo de vibración.

Fuente: (SAP2000).

7.2.3 PERÍODOS DE VIBRACIÓN

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
OutputCase	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,38776	1,438E-06	0,81	6,793E-13	1,438E-06	0,81	6,793E-13	0,0006234	5,252E-10	0,164	0,0006234	5,252E-10	0,164
MODAL	2	0,380039	0,972	0,00000255	1,037E-10	0,972	0,81	1,044E-10	8,111E-09	0,0003776	3,586E-07	0,0006234	0,0003776	0,164
MODAL	3	0,363161	1,575E-06	0,161	3,1E-10	0,972	0,971	4,144E-10	0,0002054	1,336E-11	0,809	0,0008289	0,0003776	0,972
MODAL	4	0,166702	1,373E-09	0,000228	1,422E-08	0,972	0,971	1,463E-08	0,0001118	3,439E-11	0,000423	0,0009406	0,0003776	0,973
MODAL	5	0,162641	0,00004903	3,551E-07	5,467E-11	0,972	0,971	1,468E-08	1,769E-07	7,797E-06	1,246E-06	0,0009408	0,0003854	0,973
MODAL	6	0,159601	0,0001562	0,0009289	3,613E-09	0,972	0,972	1,83E-08	0,0001149	0,00002389	0,0003207	0,001056	0,0004093	0,973
MODAL	7	0,159353	0,0009653	0,0002648	4,06E-08	0,973	0,972	5,89E-08	0,00004667	0,0001488	8,043E-06	0,001102	0,0005581	0,973
MODAL	8	0,15222	0,003701	0,00002175	5,246E-09	0,977	0,972	6,415E-08	9,309E-06	0,0004907	0,00001178	0,001112	0,001049	0,973
MODAL	9	0,149492	0,00003634	0,0008071	5,913E-09	0,977	0,973	7,006E-08	0,0005065	6,046E-06	0,001582	0,001618	0,001055	0,975
MODAL	10	0,142935	0,00006571	0,021	5,993E-10	0,977	0,993	7,066E-08	0,009556	0,00001395	0,00176	0,011	0,001069	0,976
MODAL	11	0,138462	0,022	0,00003825	1,558E-10	1,000	0,993	7,082E-08	0,00002371	0,005751	0,00006422	0,011	0,00682	0,977
MODAL	12	0,135988	0,0001548	0,0008508	9,469E-11	1,000	0,994	7,091E-08	0,0002907	0,00004081	0,016	0,011	0,006861	0,993

Tabla 47 Períodos de vibración para cada modo.

Fuente: (SAP2000).

Chequeo Traslación			Chequeo Rotación		
Sum UX	1	100,000	Sum RZ	0,977	97,700
Sum UY	0,994	99,400			

Tabla 48 Chequeo de rotación y traslación de la estructura

Fuente: (SAP2000).

7.2.4 CURVAS DE CAPACIDAD

7.2.4.1 Curva de capacidad PushoverX

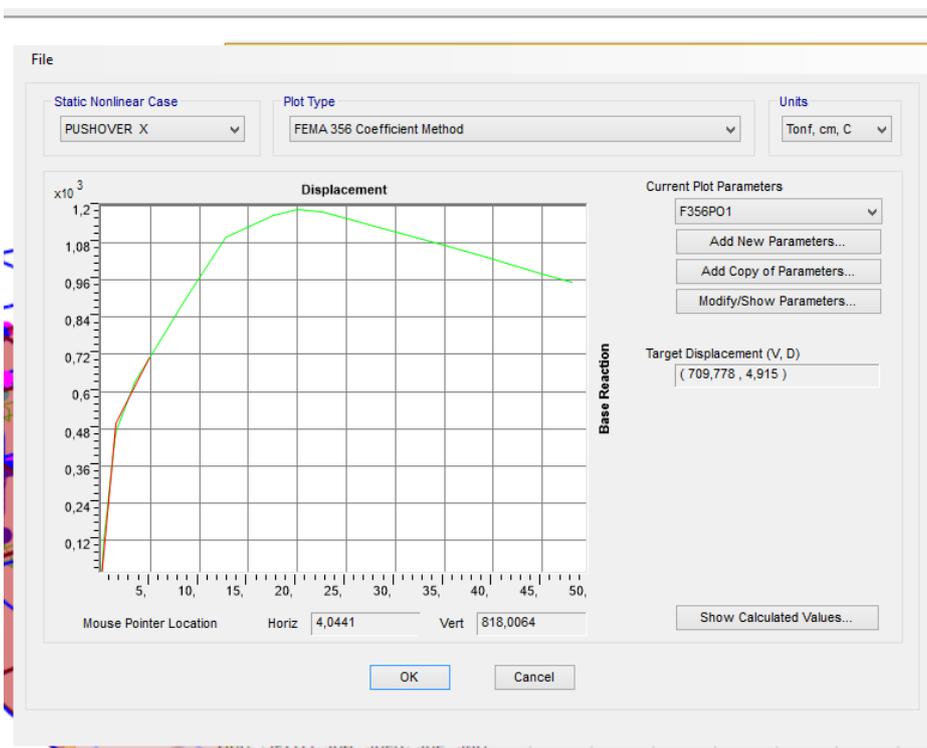


Ilustración 58 Representación bilineal de la curva de capacidad X.

Fuente: (SAP2000).

Desplazamiento máximo de 4,915 cm y cortante máximo de 709,778Ton.

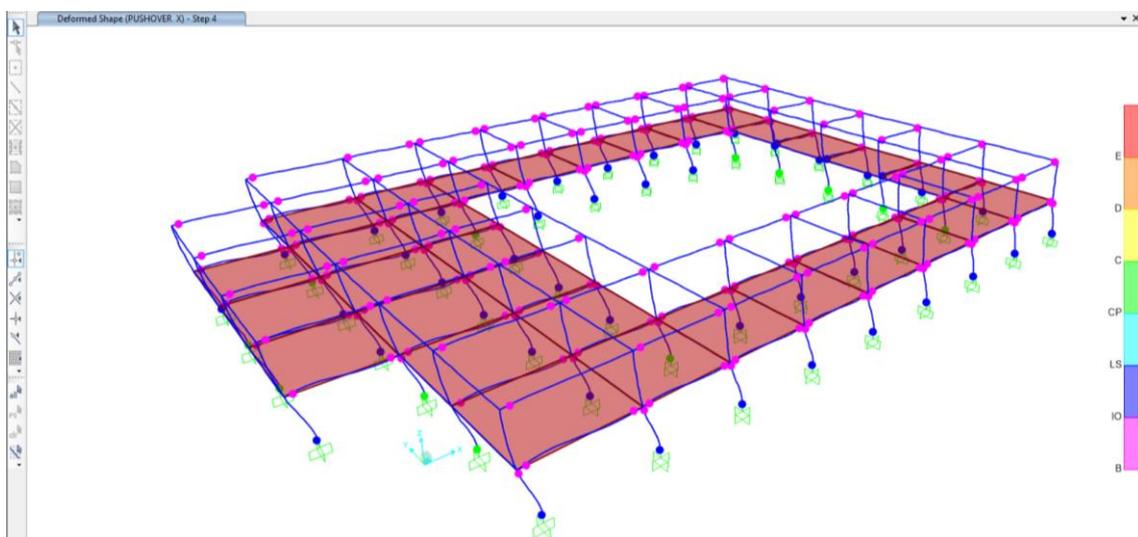


Ilustración 59 Rótulas PushoverX Paso 4.

Fuente: (SAP2000).

TABLE: Frame Hinge States												
OutputCase	StepNum	Displacement	BaseShear	A-B	B-C	C-D	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	TOTAL
	Unitless	cm	Tonf	Elementos								
PUSHOVER X	1	0,282	120,117	282				282				282
PUSHOVER X	2	1,341	444,160	170	112			282				282
PUSHOVER X	3	1,502	470,676	143	139			282				282
PUSHOVER X	4	3,402	633,218	137	145			224	46		12	282
PUSHOVER X	5	8,627	897,659	137	145			182	81		19	282
PUSHOVER X	6	12,625	1095,607	137	103	42		173	51	10	48	282
PUSHOVER X	7	12,749	1098,927	137	93	52		173	50	2	57	282
PUSHOVER X	8	17,583	1169,695	135	72	75		172	35		75	282
PUSHOVER X	9	20,030	1188,182	130	57	95		172	15		95	282
PUSHOVER X	10	22,525	1181,400	130	55	97		169	15		98	282

Tabla 49 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 5% de L de los elementos.

Fuente: (SAP2000).

TABLE: Frame Hinge States												
OutputCase	StepNum	Displacement	BaseShear	A-B	B-C	C-D	>E	A-IO	IO-LS	>CP	TOTAL	
	Unitless	cm	Tonf	Elementos								
PUSHOVER X	1	0,282	120,117	282				282			282	
PUSHOVER X	2	1,341	444,160	244	38			282			282	
PUSHOVER X	3	1,502	470,676	234	48			282			282	
PUSHOVER X	4	3,402	633,218	205	77			282			282	
PUSHOVER X	5	8,627	897,659	194	88			282			282	
PUSHOVER X	6	12,625	1095,607	192	90			282			282	
PUSHOVER X	7	12,749	1098,927	192	90			192	90		282	
PUSHOVER X	8	17,583	1169,695	192	61	29		192	61	29	282	
PUSHOVER X	9	20,030	1188,182	192	45	45		192	45	45	282	
PUSHOVER X	10	22,525	1181,400	192	42	48		192	42	48	282	

Tabla 50 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 95% de L de los elementos.

Fuente: (SAP2000).

Interpretación rótulas Pushover X.-

Las tablas 44 y 45 son los resultados de el número de elementos donde se forman rótulas con sus respectivos niveles de desempeño. Esto se ha obtenido solamente hasta el paso 10, por el motivo de que, el número de los elementos estructurales que se clasifican con riesgo de colapso alcanza a 98 unidades lo que significa el 34,75% aproximadamente del total de elementos.

De la tabla 44 se concluye que, en el paso 4, se tiene 145 elementos dentro del rango B-C, que según la curva de rotación- momento de la FEMA 356, se los puede clasificar entre ocupación inmediata y prevención de colapso. Por otro lado, 46 elementos se clasifican con un desempeño de ocupación inmediata, mismos que representan 16% del total de los elementos estructurales. En el mismo paso, 12 elementos se encuentran en colapso, que representan el 4,25% del total de elementos estructurales.

De la tabla 45 se concluye que, en el paso 7, se tiene 90 elementos dentro del rango B-C, que según la curva de rotación- momento de la FEMA 356, se los puede clasificar entre ocupación inmediata y prevención de colapso. Por otro lado, 90 elementos se clasifican con un desempeño de ocupación inmediata, mismos que representan 31,9% del total de los elementos estructurales.

Como adicional para las dos tablas(44 y 45), a partir del paso 2, la estructura ya presenta elementos dentro del rango B-C, que según la curva de rotación- momento de la FEMA 356, se los puede clasificar entre ocupación inmediata y prevención de colapso. Lo cual ayuda a determinar de mejor forma el nivel de desempeño de esta estructura.

7.2.4.2 Espectro de Capacidad PushoverX

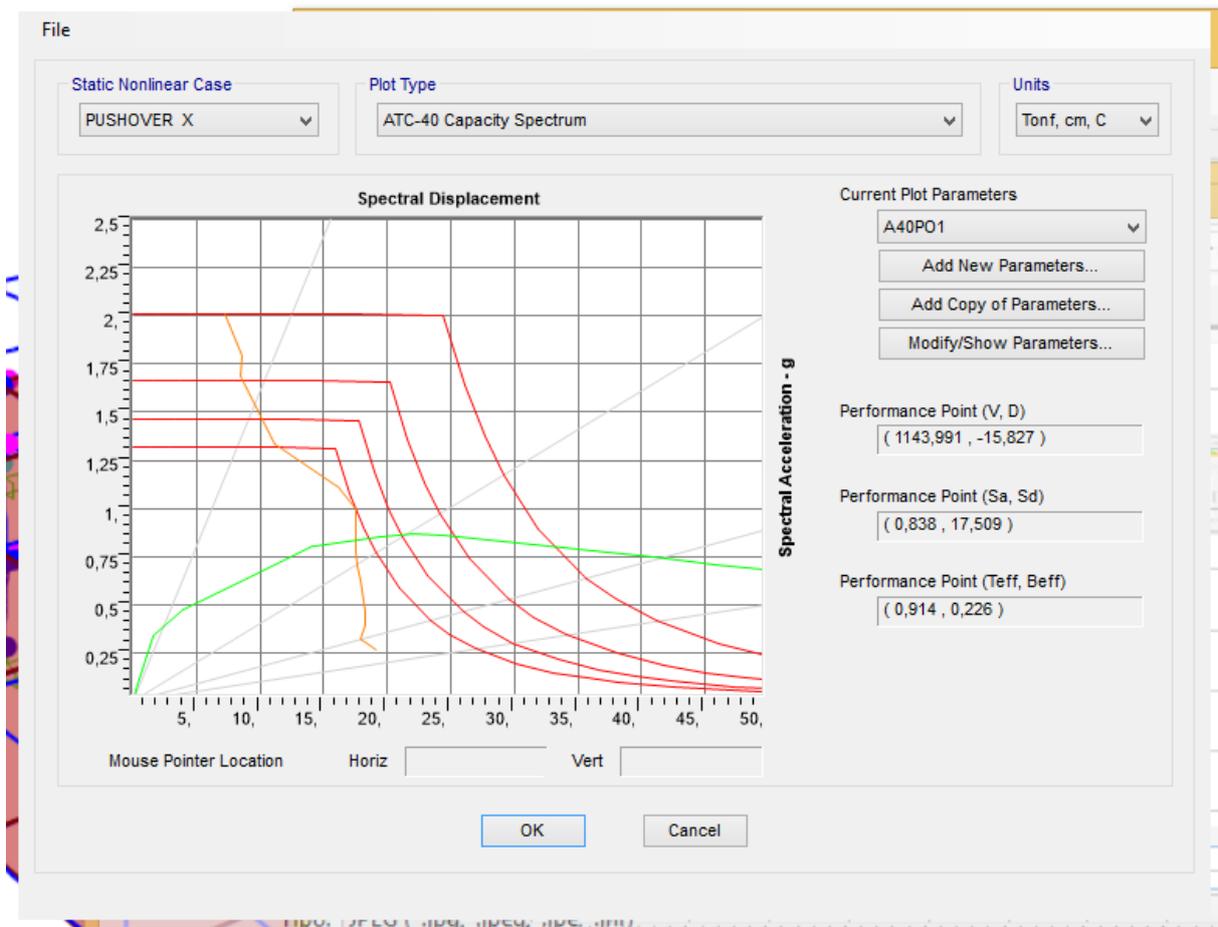


Ilustración 60 Espectro de Capacidad Pushover X.

Fuente: (SAP2000).

La ilustración 60 muestra los resultados obtenidos con el método del ATC-40 para obtener el espectro de capacidad, donde se observa que no existe un punto de desempeño, debido a que las tres curvas representadas no se cruzan en un solo punto. Sin embargo, la curva naranja, que representa la curva de demanda S_a Vs S_d , indica que, el aparente punto de demanda sería cuando la estructura se desplace 17,509 cm.

Resultado Desempeño Pushover X.-

Según la curva de capacidad por medio del método de desplazamientos para el caso de Pushover en X se tiene los siguientes datos:

Desplazamiento máximo de 4,915 cm y cortante máximo de 709,778Ton

Tomando en cuenta los resultados del paso 4 de la tabla de resultados de las rótulas formadas y según la ilustración 57 la estructura presenta riesgo de colapso debido a las rótulas formadas en la base de las columnas de eje I. Además que el espectro de capacidad no muestra un punto de desempeño esperado. Por consiguiente, para el empuje en el sentido X, se clasifica a la estructura con un nivel de desempeño de peligro de colapso.

7.2.4.3 Curva de capacidad PushoverY

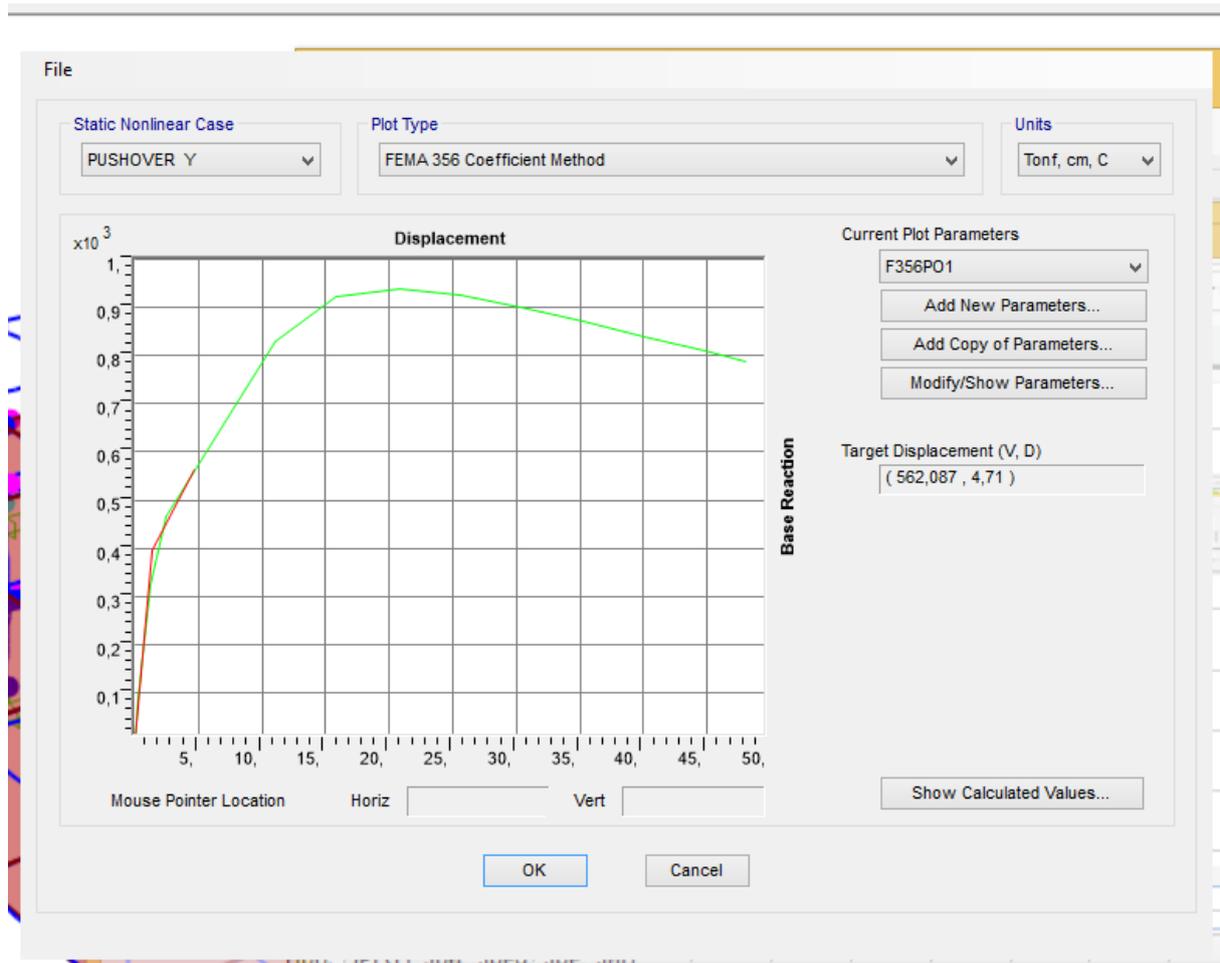


Ilustración 61 Representación bilineal de la curva de capacidad Y.

Fuente: (SAP2000).

Desplazamiento máximo de 4,71cm y cortante máximo de 562,087Ton.

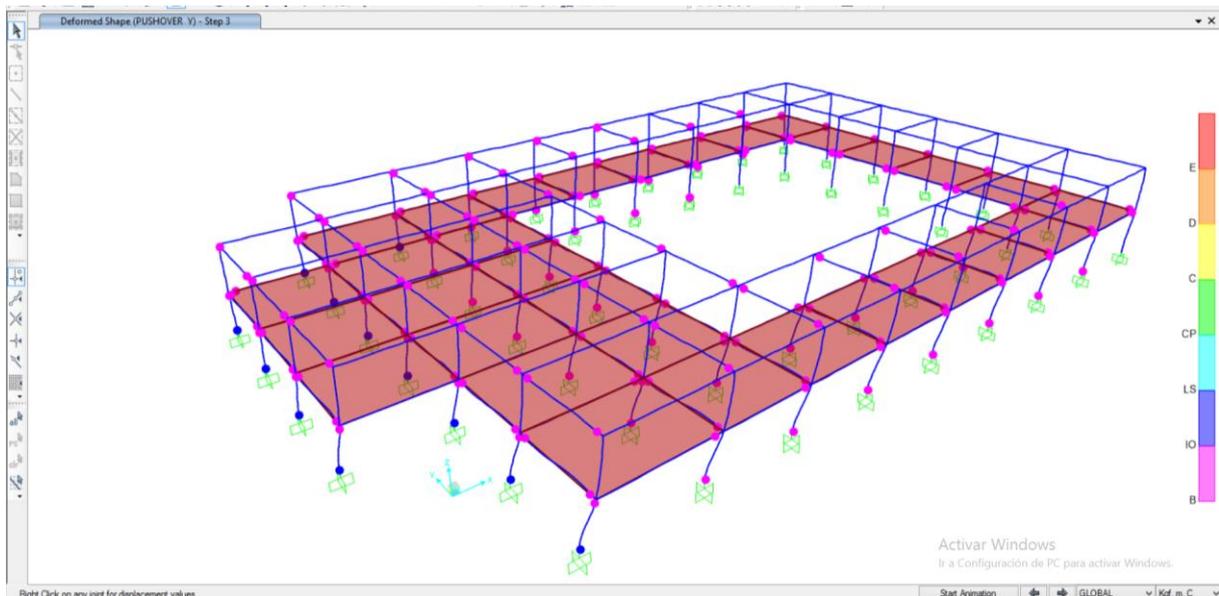


Ilustración 62 Rótulas PushoverY Paso 4.

Fuente: (SAP2000).

Interpretación rótulas Pushover Y.-

Las tablas 46 y 47 son los resultados de el número de elementos donde se forman rótulas con sus respectivos niveles de desempeño. Esto se ha obtenido solamente hasta el paso 10, por el motivo de que, el número de los elementos estructurales que se clasifican con riesgo de colapso alcanza a 77 unidades lo que significa el 27,30% aproximadamente del total de elementos.

De la tabla 46 se concluye que, en el paso 3, se tiene 129 elementos dentro del rango B-C, que según la curva de rotación- momento de la FEMA 356, se los puede clasificar entre ocupación inmediata y prevención de colapso. Por otro lado, 12 elementos describen un desempeño de ocupación inmediata, mismos que representan 4,25% del total de los elementos estructurales.

De la tabla 47 se concluye que, en el paso 5, se tiene 98 elementos dentro del rango B-C, que según la curva de rotación- momento de la FEMA 356, se los puede clasificar entre ocupación inmediata y prevención de colapso. Por otro lado, 48 elementos que se clasifican con un desempeño de ocupación inmediata, mismos que representan 17,02% del total de los elementos estructurales.

TABLE: Frame Hinge States												
OutputCa.	StepNum	Displaceme	BaseShear	A-B	B-C	C-D	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	TOTAL
PUSHOVER Y	1	0,252	88,931	281	1			282				282
PUSHOVER Y	2	1,165	325,956	207	75			282				282
PUSHOVER Y	3	2,488	467,443	153	129			270	12			282
PUSHOVER Y	4	10,985	829,409	105	161	16		196	64	4	18	282
PUSHOVER Y	5	15,863	923,556	101	132	49		190	41		51	282
PUSHOVER Y	6	20,836	938,247	98	120	64		187	30	1	64	282
PUSHOVER Y	7	25,642	924,498	94	120	68		187	22	4	69	282
PUSHOVER Y	8	30,453	898,717	92	117	73		184	23		75	282
PUSHOVER Y	9	35,254	871,043	91	118	73		182	25		75	282
PUSHOVER Y	10	40,056	838,901	91	114	77		182	23		77	282

Tabla 51 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 5% de L de los elementos.

Fuente: (SAP2000).

TABLE: Frame Hinge States												
OutputCa.	StepNum	Displaceme	BaseShear	A-B	B-C	C-D	>E	A-IO	IO-LS	>CP	TOTAL	
PUSHOVER Y	1	0,252	88,931	282				282			282	
PUSHOVER Y	2	1,165	325,956	262	20			282			282	
PUSHOVER Y	3	2,488	467,443	242	40			282			282	
PUSHOVER Y	4	10,985	829,409	218	64			282			282	
PUSHOVER Y	5	15,863	923,556	184	98			234	48		282	
PUSHOVER Y	6	20,836	938,247	161	90	31		226	25	31	282	
PUSHOVER Y	7	25,642	924,498	146	88	48		223	11	48	282	
PUSHOVER Y	8	30,453	898,717	117	109	20	36	197	29	56	282	
PUSHOVER Y	9	35,254	871,043	106	118	14	44	186	38	58	282	
PUSHOVER Y	10	40,056	838,901	93	124	19	46	178	39	65	282	

Tabla 52 Resultados de Rótulas por pasos PushoverX al 95% de L de los elementos.

Fuente: (SAP2000).

7.2.4.4 Espectro de Capacidad Pushover Y

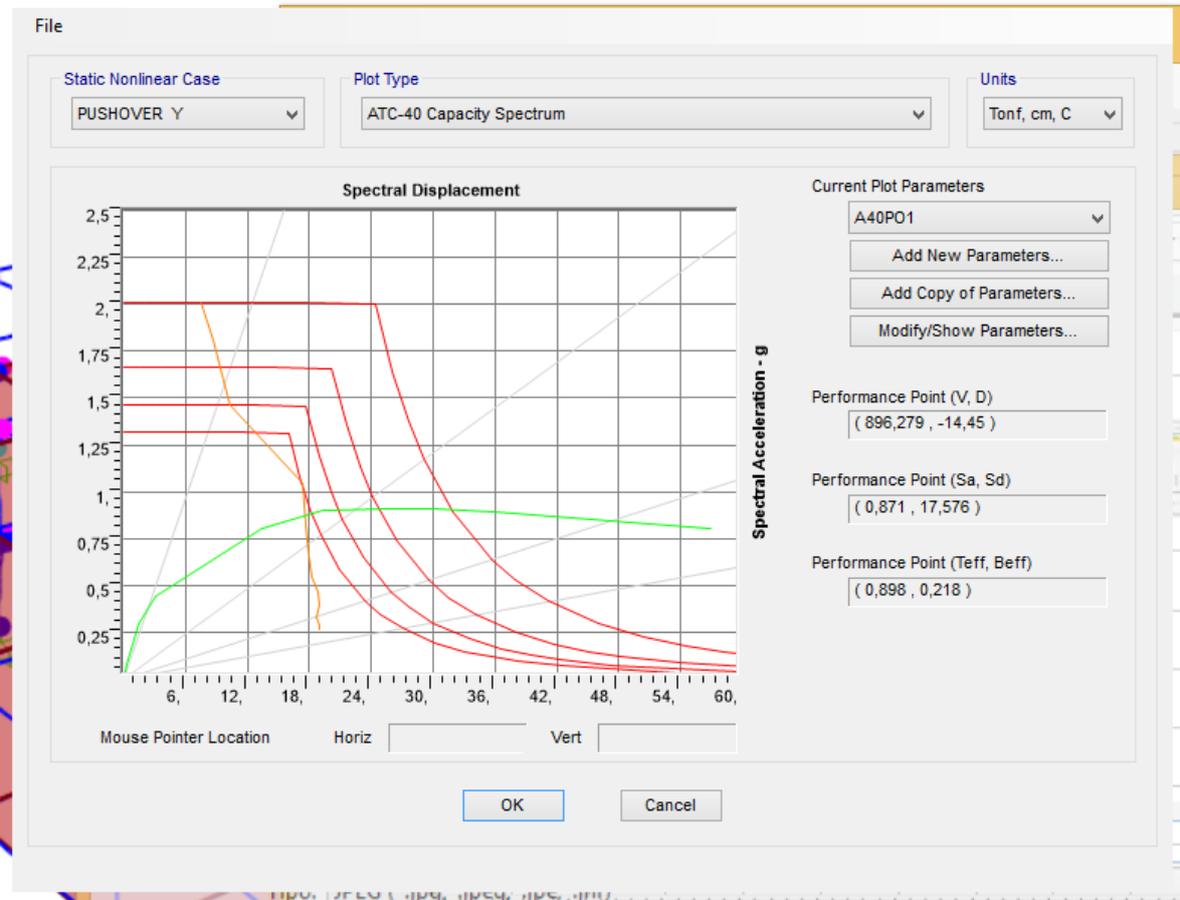


Ilustración 63 Espectro de Capacidad Pushover Y.

Fuente: (SAP2000).

La ilustración anterior muestra los resultados obtenidos con el método del ATC-40 para obtener el espectro de capacidad, donde se observa que no existe un punto de desempeño, debido a que las tres curvas representadas no se cruzan en un solo punto. Sin embargo, la curva naranja, que representa la curva de demanda S_a Vs S_d , indica que, el aparente punto de demanda sería cuando la estructura se desplace 17,57 cm.

Resultado Desempeño Pushover Y.-

Tomando en cuenta los resultados de la tablas de resultados de las rótulas formadas y a partir de la ilustración 62 se considera que la estructura alcanzaría un desempeño entre el rango de ocupación inmediata y prevención de colapso.

7.2.4.5 Nivel de Desempeño Estructural

Tomando como referencia, principalmente de las rótulas plásticas que se forman en la base de las columnas; elementos estructurales de gran importancia ante las sollicitaciones de carga que involucra un sismo, el nivel de desempeño es el siguiente:

	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)	Nivel de Seguridad de Vida (5-E)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel Operacional (1-A)
Daño Global General	Severo Pequeña resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros cargadores funcionando. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Parapetos no asegurados que han fallado o tienen alguna falla incipiente. El edificio está cerca del colapso	Moderado Algo de resistencia y rigidez residual ha quedado en todos los pisos. Elementos que soportan cargas gravitacionales aún funcionando. Fallas en muros dentro de su plano o parapetos inclinados. Algo de deriva permanente. Daño en paredes divisorias. El Edificio se mantiene económicamente reparable	Ligero No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos razos así como en elementos estructurales. Los ascensores aún pueden ser encendidos. Sistema contra incendios aún operable	Muy Ligero No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene la resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, y cielos razos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas importantes para una operación normal están en funcionamiento
Componentes No Estructurales	Daño severo	Peligro de caída de objetos mitigado pero bastante daño en sistemas: arquitectónico, mecánico y eléctrico	Equipos y contenido están seguros de manera general, pero algunos no operan debido a fallas mecánicas o falta de utilidad	Ocurre daño insignificante. La energía eléctrica y otros servicios están disponibles, posiblemente por servicios de reserva

Tabla 53 Control de daño y niveles de desempeño para edificios.

Fuente: (NEC-SE-RE, 2015).

Según la tabla 53, los daños a la estructura serían de nivel severo. Donde menciona que, elementos estructurales como las columnas presentarían baja resistencia pero se encuentran funcionales. Sin embargo, el edificio estaría cerca del colapso.

Es así como "...se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico para no colapso...". Para estructuras especiales y un período de retorno de 2500 años, la tasa anual de excedencia de 0,0004.

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Estructuras de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa anual de excedencia
Daño	No	Si	0.00211
Colapso	Si	Si	0.00004

Tabla 54 Nivel de desempeño estructural para estructural esenciales y de uso especial

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

Para un sismo con período de retorno de 2500 años la probabilidad de excedencia en 50 años es del 2%.

Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa de excedencia ($1/T_r$)
2%	2500	0.00040
10%	475	0.00211
20%	225	0.00444
50%	72	0.01389

Tabla 55 Niveles de amenaza sísmica

Fuente: (NEC-SE-RE, 2015)

		Niveles de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

Tabla 56 Objetivos de rehabilitación.

Fuente: (NEC-SE-RE, 2015).

Basado en los datos anteriores, el objetivo de rehabilitación corresponde a la letra “p” según la sección 4.5.3 de la NEC15-SE-RE, lo que significa que la estructura debe ser rehabilitada para objetivos limitados.

8 CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después del levantamiento de información, tabulación de datos obtenidos con el ensayo realizado. Aplicando los cálculos necesarios, empleando la metodología planteada para este trabajo de investigación. Se identifica varias diferencias en los datos sísmicos entre el Código Ecuatoriano de la Construcción 2000 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

También se establece una aproximación básica de un análisis pushover, mismo que se usa para la determinación del nivel de desempeño del bloque Administrativo de la UISEK. Obteniendo la curva de capacidad y la aproximación de las rótulas plásticas que se formarían en caso de un sismo.

Por consiguiente, se tiene recomendaciones que podrían mejorar la profundidad, calidad y resultados de este trabajo de investigación.

8.1 CONCLUSIONES

- a) Se comprueba que el nivel de desempeño estructural del bloque administrativo de la Universidad Internacional SEK no cumple con los requerimientos establecidos para su uso y según lo establecido en la NEC-15.
- b) Al realizar la visita de campo al bloque Administrativo, se encontró una viga expuesta, en base a este elemento, se comprueba que el acero de refuerzo utilizado fueron varillas lisas.
- c) Como resultado del levantamiento geométrico realizado, se registró que las dimensiones de las columnas coinciden con lo indicado en los planos proporcionados por la universidad. Sin embargo, algunas distancias entre ejes no eran correctas, por lo que fue necesario hacer la comprobación de las mismas y corregirlas. Por otro lado, para obtener las dimensiones de las vigas y losas, se realizó una medición con flexómetro en planta alta.
- d) De la tabulación de los datos obtenidos del ensayo del esclerómetro, se obtuvo cuatro diferentes valores de resistencia a la compresión del concreto. Para la planta baja se estableció que para vigas y losas presenta una resistencia de

131,28 kg/cm² y para las columnas un valor de 153,99 kg/cm². Además para la planta alta se tiene una resistencia de 146,01 kg/cm² y 203,49 kg/cm² para las vigas y columnas, respectivamente.

- e) En base al ensayo esclerométrico, se puede inferir que la diferencia de valores de resistencia a la compresión del concreto, se debe a que durante el desarrollo de construcción y fundición de los elementos estructurales, se llevó a cabo en amplios intervalos de tiempo entre procesos.
- f) En referencia al año de construcción de la estructura, se dedujo que fue diseñada bajo los fundamentos del Código Ecuatoriano de la Construcción.
- g) Con respecto a las diferencias de criterios entre el CEC2000 y la NEC15, para el diseño antisísmico de una estructura de hormigón armado se tiene lo siguiente:
 - Las combinaciones de cargas gravitacionales difieren en sus factores. El CEC2000 considera una mayoración de la carga viva y muerta, superior al de la NEC15. De esta forma, el peso calculado de la estructura sería un valor conservador.
 - El CEC 2000 considera cuatro zonas sísmicas, mientras que la NEC15 contempla cinco.
 - Existen diferencias teóricas en el cálculo del espectro de respuesta entre las versiones del CEC y la NEC.
 - La clasificación de los perfiles de suelo de la NEC15 toma en cuenta los factores F_s , F_d , F_a a diferencia del CEC2000 que considera los coeficientes S y C_m .
- h) En cuanto a los resultados del cortante basal, con el CEC2000 se alcanzó 243,65T y 415,01T con la NEC15. Los valores obtenidos han sido cercanos a los calculados en Excel.
- i) Las derivas de piso obtenidas, con los dos códigos de construcción no superan el límite permisible, es decir, que los valores de sus desplazamientos son bajos.
- j) Los parámetros de diseño van actualizándose conforme pasa el tiempo, es así como también se da la evolución de los estudios del comportamiento estructural de un edificio.
- k) La participación de masa modal es mayor al 90% de la masa total que conforma la estructura.

- l) El análisis pushover contribuye a la identificación de los miembros más críticos dentro de una edificación; así como la importancia de la respuesta torsional que estos puede tener.
- m) El uso de varillas lisas para el acero de refuerzo en elementos de hormigón armado, aportan mayor fluencia que una varilla corrugada. Sin embargo, la adherencia al concreto es menor, haciendo que el agrietamiento puede originarse con mayor facilidad.
- n) De acuerdo a los resultados de las gráficas que muestran las rótulas plásticas, los elementos estructurales, alcanzan su punto de desempeño a partir del segundo paso del pushover en el sentido X, mientras que en el otro sentido (Y), durante el paso tres. Lo que en consecuencia, indica que si la fuerza del sismo, proviene del sentido x, los miembros fallarían más rápido que si esta procede en sentido y.
- o) Después de analizar las curvas de capacidad en los dos sentidos (x, y), se determina que en caso de sismo, el comportamiento del bloque Administrativo de la Universidad Internacional SEK, desempeñará un nivel de un rango entre seguridad de vida y prevención de colapso. Por consiguiente, la estructura no cumpliría con su objetivo de brindar seguridad a sus ocupantes, debido a su nivel de importancia.
- p) En caso de sismo, lo que se estima es daños estructurales; columnas funcionales pero con riesgo de colapso.
- q) Al observar que la curva del espectro de capacidad, concluimos que si llevamos a la estructura a ese punto de desempeño, su demanda es a los 17cm aproximadamente de desplazamiento dentro del rango inelástico.
- r) Los resultados obtenidos del objeto de estudio, se puede decir, que son conservadores. Por el hecho de que el análisis no lineal desarrollado en este trabajo, es una aproximación del nivel de desempeño que presentaría la estructura en caso de un movimiento telúrico.

RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda que para obtener datos más acercados a la realidad con respecto a la determinación de las propiedades actuales de los materiales, se realice el ensayo del pachómetro y las pruebas de núcleos de concreto.
- b) Dada la importancia de la estructura, se recomienda hacer una actualización de los planos arquitectónicos y a su vez el trazo de los planos estructurales, mismos que podrían ser usados para futuras investigaciones.
- c) Ya que el país no cuenta con una normativa que guíe a estudiantes y profesionales de la construcción sobre análisis no lineales para estructuras asentadas en el territorio ecuatoriano, se recomendaría plantear una metodología que instruya la forma correcta de interpretar los resultados del método pushover, acercándolo a la realidad de la construcción ecuatoriana.
- d) En caso de exista la posibilidad de un trabajo de investigación cuyo objetivo sea el reforzamiento de la estructura para aumentar su capacidad de desempeño, se recomienda realizar un estudio de suelos. Con el fin de establecer la correcta relación entre la estructura y el suelo.
- e) Realizar una inspección visual de posibles patologías, tales como grietas, fisuras y otros; que podrían requerir mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI228. (1995). *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*. Recuperado el 01 de Junio de 2021
- ACI-318. (2019). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*. American Concrete Institute. Recuperado el 23 de Junio de 2021
- Adelca. (2020). Catálogo de productos. (21). Ecuador.
- Aguiar, R. (2013). En U. d. ESPE (Ed.), *Microzonificación Sísmica de Quito*. Quito, Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas. Recuperado el 18 de Mayo de 2021
- Aguiar, R. (2013). *Análisis sísmico por desempeño*. Quito: CEINCI-ESPE. Recuperado el 24 de 04 de 2021
- Alemán, L., & Naranjo, L. (2011). *Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigón armado mediante los códigos FEMA, utilizando Etabs*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el 10 de Mayo de 2021
- Amazon. (4 de Noviembre de 2018). *Amazon.it*. Obtenido de <https://www.amazon.it/dp/B07DW2QNF4/>
- ASTM-C805. (2002). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. ASTM International, United States. Recuperado el 01 de Junio de 2021
- Bach, R. (Junio de 2015). Resumen: ATC-40 Cap8 Procedimiento de análisis estático no lineal. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ronaldpurca3/anlisis-esttico-no-lineal-segn-atc40>
- Backus, B. (2021). *GlobalGilson*. Recuperado el 01 de Junio de 2021, de <https://www.globalgilson.com/blog/concrete-rebound-hammer-test>
- Bermeo, C., & Sánchez, D. (2017). *Comportamiento de conexión losa- columna en pórticos con vigas banda en nudos interiores*. Proyecto de tesis, Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Posgrados en Ingeniería y Ciencias, Quito. Recuperado el 14 de Junio de 2021
- Bhandarl, M. (2020). *Prediction of inelastic response of base-isolated building frame by pushover analysis*. Springer Nature Switzerland. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/342108753_Prediction_of_inelastic_response_of_base-isolated_building_frame_by_pushover_analysis

- Breyse, D. (2012). *Materials, Construction and Building* (Vol. Volume 33). Recuperado el 02 de Junio de 2021, de www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811007938
- Cahís, C. (2001). Capítulo 1 Introducción. Recuperado el 25 de Mayo de 2021, de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6148/04Cap1.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Carreño, R., Lotfizadeh, K. H., Conte, J. P., & Restrepo, a. J. (Febrero de 2020). *Revista de ingeniería estructural* (Vol. 146). Recuperado el 14 de 04 de 2021, de [https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002505](https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002505)
- CEC2000. (2000). *Código Ecuatoriano de la Construcción*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 07 de Junio de 2021
- Chasipanta, S. (2021). (U. I. SEK, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador.
- Cienciasfera. (2021). *Cienciasfera*. Obtenido de https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema03/111_determinacin_de_propiedades.html
- Correa, M. B., & Machado, L. (2016). *Comparación económica al diseñar edificios de hormigón armado de 7 y 14 pisos, con la NEC 11 y el CEC 2000*. Escuela Politécnica Nacional , Quito. Recuperado el 09 de Junio de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12721/1/CD-6677.pdf>
- Deierlein, G. G. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design*. Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, NEHRP Consultants Joint Venture. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Duarte César, M. M. (2017). *ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER) DEL CUERPO CENTRAL DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Recuperado el 14 de Abril de 2021
- Eco, U. (1998). *Como se hace una Tesis*. Barcelona: Gedisa. Recuperado el 12 de Abril de 2021
- FEMA273. (1997). *Federal Emergency Management Agency*. Washington, D.C.: BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL. Recuperado el 20 de Abril de 2021, de <https://qdoc.tips/fema-273-pdf-free.html>
- FEMA-274. (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of*. Washington, D.C. Recuperado el 11 de Junio de 2021

- Fernández, J., & Subía, M. (2014). *ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO: EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGON Y UNA DE ACERO DISEÑADA USANDO LOS CODIGOS ASCE 7-10 Y NEC 11 MEDIANTE EL CODIGO ASCE 41-06*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito. Recuperado el 23 de 07 de 2021
- Freire, A. (Noviembre de 2017). *Google Maps*. Recuperado el 07 de Junio de 2021
- Ganzetti, C. (2021). *Servizitecnici.it*. Recuperado el 14 de abril de 2021, de <https://www.servizi-tecnici.it/en/sclerometric-test/>
- Joshi, B. (2020). *Smart Nanoconcretes and Cement-Based Materials*. Recuperado el 09 de Junio de 2021
- López, P. M. (2003). *Guía de análisis y diseño estructural de edificios de hormigón armado*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: Centro de Investigaciones Científicas. Recuperado el 01 de Julio de 2021
- Lorca, N. (Julio de 2018). *Planos Carcelén*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lorenzis, L., & Nanni, A. (2004). *International workshop on preservation of historical structures with FRP composites*. (N. S. Foundation, Ed.) Recuperado el 02 de Junio de 2021
- Malhotra, V. C. (2004). *Handbook on nondestructive testing of concrete*. Philadelphia.
- Mancheno, T. S. (2017). *ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL*. Machala: Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 13 de Abril de 2021, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11597/1/TTUAIC_2017_I_C_CD0008.pdf
- Maps, G. (14 de Abril de 2021). *Google Maps*. Obtenido de <https://goo.gl/maps/PioUKQ5mhdfZnTCLA>
- Medina, R., & Music, J. (2018). *Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. Recuperado el 16 de 04 de 2021
- MIDUVI. (2021). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Recuperado el 18 de Mayo de 2021, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Mieles, Y. B., & Caneiro, J. A. (2015). *COMPORTAMIENTO DE SECCIONES DE HORMIGÓN SOMETIDAS A FLEXIÓN REFORZADAS CON BARRAS DE*

ACERO O PRF. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279885865_COMPORTAMIENTO_DE_SECCIONES_DE_HORMIGON_SOMETIDAS_A_FLEXION_REFORZADAS_CON_BARRAS_DE_ACERO_O_PRF

Murray, M. (2009). *Failure, Distress and Repair of Concrete Structures*. Recuperado el 09 de Junio de 2021

NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Recuperado el 10 de 04 de 2021

NEC-SE-CG. (2015). *Cargas No Sísmicas*. Quito: MIDUVI. Recuperado el 09 de Junio de 2021, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-S%C3%ADsmicas.pdf>

NEC-SE-DS. (2015). *Peligro Sísmico*. Quito, Ecuador: MIDUVI. Recuperado el 14 de Junio de 2021

NEC-SE-RE. (2015). *Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Norma ecuatoriana de la construcción. Quito: MIDUVI. Recuperado el 14 de Junio de 2021

Orellana Gonzalo, P. J. (2017). *EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO ESENCIAL APORTICADO DE HORMIGÓN ARMADO SEGÚN LA NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN (NEC-SE-RE, 2015)*. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA. Recuperado el 13 de Abril de 2021, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28524/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

Otañez, H. (20 de Diciembre de 2020). Informe de Práctica. *Medición de la resistencia a la compresión del hormigón mediante el uso de ensayos no destructivos-esclerómetro*.

Parra Cardenas, H. A. (2016). *Desarrollos Metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 14 de Abril de 2021

Pérez, J. (29 de Junio de 2015). Tabla centroide, momento, inercia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jaimeperez31521/tabla-centroidemomentoinercia>

Ramírez, E. (2016). *El punto de desempeño en pórticos resistentes a momentos*. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Civil.

- Rivadeneria, B. (2013). *Modulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'c=24Mpa$), fabricado con materiales de la mina San Ramón, unicado en la parroquia de Mulalo en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Quito. Recuperado el 23 de Junio de 2021
- Roberto Aguiar, K. A. (2017). *COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS AFECTADOS POR EL TERREMOTO DE 2016 EN MANTA. PRIMERA PARTE*. Quito: Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas. Obtenido de file:///C:/Users/Carolina/Downloads/541-1601-1-PB.pdf
- Rodríguez, G. (16 de Junio de 2016). Cálculo del momento de inercia. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=8Qpdrpczbtc>
- Saavedra, C. (29 de Octubre de 2016). *Verificación del cortante basal según Covenin 1756-2001*. Recuperado el 14 de Junio de 2021, de [saavedraonline](http://saavedraonline.com).
- Saavedra, C. (2018). *Método del Pushover – Análisis Estático no Lineal (Webinar)*. CURSOS, DISEÑO ESTRUCTURAL. Recuperado el 01 de 05 de 2021, de <https://saavedraonline.wordpress.com/2018/05/30/metodo-del-pushover-analisis-estatico-no-lineal-webinar/>
- SAP2000. (2021). Resultados de análisis.
- SEK. (2021). *Institución Educativa SEK*. Recuperado el 07 de 06 de 2021, de <https://www.sek.es/institucionsek/historia/>
- Soria, L. (2020). Anotaciones de la materia de diseño en hormigón arrmado. *Predimensionamiento de losas*. Quito, Ecuador: UISEK.
- Uisek. (Marzo de 2013). Administración Bloque 1. Quito, Ecuador.
- UISEK. (2021). *SEK, CENTENARIA E INTERNACIONAL INSTITUCIÓN EDUCATIVA ESPAÑOLA*. Quito,Ecuador: Universidad Internacional SEK Ecuador. Recuperado el 30 de 04 de 2021, de <https://www.uisek.edu.ec/es/uisek/nosotros/historia>
- Universidad de Chile. (2012). *Mw=8.8 Terremoto en Chile, 27 de febrero 2010*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.
- Valverde J., F. J. (2002). *Microzonificación sísmica de lo suelos del Distrito Metropolitano de Quito*. (M. d. Quito, Ed.) Proyecto Convenio de la Escccuela Politécnica Nacional.

Vásquez, C. A. (2015). *ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO PEÑA, APLICANDO LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2011 VIGENTE EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL AÑO 2015*. Quito: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR. Recuperado el 15 de Abril de 2021, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2202/1/T-UIDE-1251.pdf>

Yepes, H. (15 de Agosto de 2014). Breve Reseña De Los Sismos Provenientes De La Falla Geológica De Quito Que Han Afectado a La Capital. (I. Geofísico, Ed.) *Informe Sísmico Especial N°1*. Recuperado el 25 de Mayo de 2021 , de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/898-breve-rese%C3%B1a-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geol%C3%B3gica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>

Zapata, F. (19 de Junio de 2019). *Lifeder*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/esfuerzo-de-cedencia/>

ANEXOS



Anexo 1 Observación de acero de refuerzo con varilla lisa



Anexo 2 Elemento con acero de refuerzo con varilla lisa



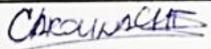
Anexo 3 Ensayo esclerométrico en columna



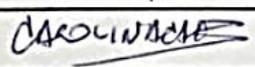
Anexo 4 Nivelación de esclerómetro



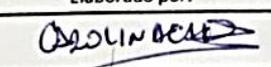
Anexo 5 Ensayo de esclerómetro en altura

	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN									
	Sección INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)	Código:								
Versión		0								
Página		1/1								
Fecha Aprobación:										
Cliente: Universidad Internacional SEK			N° de informe: <u>01</u>							
Dirección: Calle Alberto Einstein s/n y 5ta. transversal										
Proyecto: Análisis de desempeño estructural bloque Administrativo										
Fecha de Solicitud: <u>22 Mayo 2021</u>										
Fecha de Recepción: <u>02 Junio 2021</u>			No. de Martillo <u>C 380-01</u>							
Fecha de Ensayo: <u>03 Junio 2021</u>			Fecha de Verificación <u>08 Junio 2021</u>							
Ubicación del elemento	Columna planta alta A-4									
Temperatura	19° C									
Edad del Concreto	+ 28 días									
Resistencia Especificada	—									
Orientación del Martillo	A									
Altura relativa	1,40m									
Lecturas	39	40	39,6	39,9	39,9	39	40	39,9	39	40,1
Promedio de Lecturas	39,66									
Observaciones:										
* EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA *										
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>										
Elaborado por:			Revisado por:			Aprobado por:				
										
Carolina Chusifanta										

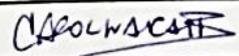
Anexo 6 Ensayo columna PA

	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN									
	Sección	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)	Código:							
			Versión	0						
			Página	1/1						
			Fecha Aprobación:							
Cliente: Universidad Internacional SEK		N° de informe: <u>02</u>								
Dirección: Calle Alberto Einstein s/n y Sta. transversal										
Proyecto: Análisis de desempeño estructural bloque Administrativo										
Fecha de Solicitud: <u>22 Mayo 2021</u>										
Fecha de Recepción: <u>02 Junio 2021</u>		No. de Martillo <u>19</u>								
Fecha de Ensayo: <u>03 Junio 2021</u>		Fecha de Verificación <u>08 Junio 2021</u>								
Ubicación del elemento	<u>Viga planta alta A 3-4</u>									
Temperatura	<u>19°C</u>									
Edad del Concreto	<u>+20 años</u>									
Resistencia Especificada	<u>—</u>									
Orientación del Martillo	<u>A</u>									
Altura relativa	<u>3,90m</u>									
Lecturas	32	32	31	30	32	30	30	31	32	31
Promedio de Lecturas	<u>31,1</u>									
Observaciones:										
<small>* EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA*</small>										
Elaborado por:			Revisado por:			Aprobado por:				
										
<u>Carolina Chacuranta</u>										

Anexo 7 Ensayo viga PA

	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN									
	Sección INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)	Código: Versión: Página: Fecha Aprobación:	 0 1/1 							
Cliente: Universidad Internacional SEK		N° de informe: <u>04</u>								
Dirección: Calle Alberto Einstein s/n y 5ta. transversal										
Proyecto: Análisis de desempeño estructural bloque Administrativo										
Fecha de Solicitud: <u>22 Mayo 2021</u>										
Fecha de Recepción: <u>02 Junio 2021</u>		No. de Martillo <u>19</u>								
Fecha de Ensayo: <u>03 Junio 2021</u>		Fecha de Verificación <u>08 Junio 2021</u>								
Ubicación del elemento	<u>Columna planta Baja 2; B-C</u>									
Temperatura	<u>19°C</u>									
Edad del Concreto	<u>+ 20 años</u>									
Resistencia Especificada	<u>-</u>									
Orientación del Martillo	<u>A</u>									
Altura relativa	<u>1m</u>									
Lecturas	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>36</u>	<u>32</u>	<u>32,5</u>	<u>32</u>	<u>35</u>	<u>35</u>	<u>36</u>	<u>32</u>
Promedio de Lecturas	<u>33,15</u>									
Observaciones:										
<small>* EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA*</small>										
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>										
Elaborado por:			Revisado por:				Aprobado por:			
										
<u>Carolina Chasipanta</u>										

Anexo 8 Ensayo columna PB

	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN									
	Sección	INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)	Código:							
		Versión	0							
		Página	1/1							
		Fecha Aprobación:								
Cliente: Universidad Internacional SEK		N° de informe: <u>06</u>								
Dirección: Calle Alberto Einstein s/n y 5ta. transversal										
Proyecto: Análisis de desempeño estructural bloque Administrativo										
Fecha de Solicitud: <u>22 Mayo 2021</u>										
Fecha de Recepción: <u>02 Junio 2021</u>		No. de Martillo <u>19</u>								
Fecha de Ensayo: <u>03 Junio 2021</u>		Fecha de Verificación <u>09 Jun 2021</u>								
Ubicación del elemento	Viga planta baja 2; B-C									
Temperatura	17 °C									
Edad del Concreto	+ 20 años									
Resistencia Especificada	—									
Orientación del Martillo	C									
Altura relativa	2,70m									
Lecturas	31	28	30	30	31	28	30	31	28	31
Promedio de Lecturas	29,8									
Observaciones:										
* EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA *										
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>										
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:								
 Carolina Chesjanty										

Anexo 9 Ensayo Viga PB

	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL DESARROLLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN									
	Sección INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (Basado en ASTM C805/C805M-08)	Código: Versión: Página: Fecha Aprobación:	 0 1/1 							
Cliente: Universidad Internacional SEK		N° de informe: <u>03</u>								
Dirección: Calle Alberto Einstein s/n y 5ta. transversal										
Proyecto: Análisis de desempeño estructural bloque Administrativo										
Fecha de Solicitud: <u>22 Mayo 2021</u>										
Fecha de Recepción: <u>02 Junio 2021</u>		No. de Martillo <u>19</u>								
Fecha de Ensayo: <u>03 Junio 2021</u>		Fecha de Verificación <u>08 Junio 2021</u>								
Ubicación del elemento	<u>Losa planta baja GD/2-3</u>									
Temperatura	<u>17°C</u>									
Edad del Concreto										
Resistencia Especificada	<u>—</u>									
Orientación del Martillo	<u>C</u>									
Altura relativa	<u>2,70m</u>									
Lecturas	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>30</u>	<u>28</u>	<u>32</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>32</u>	<u>31</u>	<u>28</u>
Promedio de Lecturas	<u>30,2</u>									
Observaciones:										
* EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA*										
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>										
Elaborado por:			Revisado por:			Aprobado por:				
<u>Carolina Chisari</u>										
Carolina Chisari										

Anexo 10 Ensayo Losa PB