

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

“Aplicación del análisis estático no lineal en la determinación del desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021”

Presentado por:

Bach. ROMMEL DIMAS TEVES TORRES

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay – Apurímac – Perú

2023

Tesis

“Aplicación del análisis estático no lineal en la determinación del desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021”

Línea de investigación:

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor:

Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL EN LA DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL BLOQUE II DE LAS AULAS INTELIGENTES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES – 2021”

Presentado por el Bach. **ROMMEL DIMAS TEVES TORRES**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 22 de junio del 2023 ante el jurado:

Presidente : Mg. Juan Franks Valenzuela Carrasco
Primer miembro : Ing. Chistian Martínez Huamán
Segundo miembro : Ing. Milson Moran Moreno
Asesor : Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho

Aplicación del análisis estático no lineal en la determinación del desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	vsip.info Fuente de Internet	1%
5	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

“A mi apreciada madre Julia, por la persona quien estuvo siempre motivándome en mi desarrollo personal y profesional”.

“A mi honorable padre Dimas, por enseñarme mediante su ejemplo la lucha constante de superación personal y profesional”

“A mis hermanos: Renne, William, Emperatriz, Marizol, Rosalyn, Dennis, Ronny y Nila, por su paciencia en esta aventura de superación en la vida.

Rommel Dimas Teves Torres

AGRADECIMIENTO

A mis padres por darme la vida y disfrutar en estos tiempos de lo bueno que ofrece el mundo.

A mi asesor de tesis Ing. Mauro Samuel Altamirano Camacho, por el apoyo incondicional en esta etapa y poder cumplir con uno de mis objetivos.

A todos los docentes que fueron parte de mi formación profesional, por el esfuerzo de compartir sus conocimientos profesionales.

A todos mis amigos, por la constante motivación y recomendaciones a lo largo del proceso de mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
POS PORTADA	ii
PÁGINA DE JURADOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ACRÓNIMOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Identificación y Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación de la investigación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Delimitación de la investigación.....	7
1.5.1. Espacial.....	7

1.5.2. Temporal	7
1.5.3. Social	7
1.5.4. Conceptual	7
1.6. Viabilidad de la investigación	7
1.6.1. Económico	7
1.6.2. Acceso a las muestras	8
1.6.3. Técnicas	8
1.7. Limitaciones de la Investigación	8
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de investigación	10
2.1.1. A nivel internacional	10
2.1.2. A nivel nacional	14
2.1.3. A nivel regional y local	19
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. Desempeño estructural del bloque II	20
2.2.2. Análisis estático no lineal	29
2.3. Marco conceptual	47
CAPÍTULO III	50
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	50
3.1. Hipótesis	50
3.1.1. Hipótesis general	50
3.1.2. Hipótesis específicas	51
3.2. Método	51
3.3. Tipo de investigación	51

3.4.	Enfoque de investigación.....	52
3.5.	Nivel o alcance de investigación.....	52
3.6.	Diseño de investigación	52
3.7.	Operacionalización de variables.....	53
3.7.1.	Variable I.....	53
3.7.2.	Variable II.....	53
3.8.	Población, muestra y muestreo	55
3.8.1.	Población.....	55
3.8.2.	Muestra y muestreo.....	55
3.9.	Técnicas e instrumentos	55
3.9.1.	Técnica de recolección de datos.....	55
3.9.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	56
3.10.	Consideraciones éticas	56
3.11.	Procesamiento de datos estadísticos	57
CAPÍTULO IV		58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		58
4.1.	VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS LINEAL DE LA ESTRUCTURA.....	58
4.1.1.	Descripción de la edificación de estudio.....	58
4.1.2.	Sistema estructural de muros estructurales	58
4.2.	RESULTADOS	68
4.2.1.	Patrón de cargas laterales	68
4.2.2.	Rotulas plásticas.....	74
4.2.3.	Coeficientes de desplazamiento	84
4.2.4.	Objetivos de desempeño.....	92
4.2.5.	Nivel de desempeño.....	93

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
4.3.1. Discusión de resultados hipótesis general	95
4.3.2. Discusión de resultados hipótesis específico H1	96
4.3.3. Discusión de resultados hipótesis específico H2.....	97
4.3.4. Discusión de resultados hipótesis específico H3.....	98
4.3.5. Discusión de resultados hipótesis específico H4.....	100
4.3.6. Discusión de resultados hipótesis específico H5.....	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de desempeño deseados.....	22
Tabla 2 Nivel de desempeño según el Comité SEOCE/VISION 2000	25
Tabla 3 Deriva máximas según el SEAOC/VISION 2000.....	26
Tabla 4 Tabla de modelado de rotulas plásticas en vigas.....	38
Tabla 5 Tabla de modelamiento de rotulas plásticas en columnas.....	39
Tabla 6 Tabla de modelamiento de rotulas plásticas en muros	41
Tabla 7 Valores para el factor de modificación C_0	45
Tabla 8 Factor de Masa Efectivo C_m	47
Tabla 9 Matriz de Operacionalización de variables	- 54 -
Tabla 10 Metrado de Cargas.....	60
Tabla 11 Peso sísmico	60
Tabla 12 Parámetros sísmicos	62
Tabla 13 Principales modos de vibración.....	62
Tabla 14 Cortante basal estático.....	63
Tabla 15 Verificación del cortante dinámico.....	66
Tabla 16 Verificación del sistema estructural	66
Tabla 17 Derivas de entre piso dirección X.....	67
Tabla 18 Derivas de entre piso dirección Y-Y	67
Tabla 19 Verificación torsional	68
Tabla 20 Determinación del patrón de cargas laterales	69
Tabla 21 Valores del desplazamiento objetivo para X.....	90
Tabla 22 Valores del desplazamiento objetivo para Y	91
Tabla 23 Fuerzas actuantes en X	96
Tabla 24 Fuerzas actuantes en Y	97

Tabla 25 Evaluación del Desempeño según ASCE/SEI 41-17	101
Tabla 26 Condición de rotulas plásticas	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Visualización esquemática de los niveles de desempeño	23
Figura 2	Sectorización de la representación bilineal de la curva de capacidad.....	27
Figura 3	Sectorización para componentes primarios.....	28
Figura 4	Ilustración del Análisis Estático No Lineal	31
Figura 5	Modos principales de vibración de una estructura.....	32
Figura 6	Diagrama de flujo del AENL	34
Figura 7	Rotulas plásticas en elementos estructurales	35
Figura 8	Parámetros de definición de rótulas plásticas.	36
Figura 9	Ilustración de los criterios de aceptación.	36
Figura 10	Formación de rotulas plásticas en los extremos de la viga	37
Figura 11	Formación de rotulas plásticas en columnas.....	39
Figura 12	Tipos de falla en muros portantes	40
Figura 13	Curva de capacidad de la estructura.....	43
Figura 14	Curva idealizada fuerza vs desplazamiento.	44
Figura 15	Propuesta arquitectónica de proyecto	59
Figura 16	Vista en planta y 3D del modelo.....	61
Figura 17	Espectro de pseudo aceleración para X (NTE E.030).....	64
Figura 18	Espectro de pseudo aceleración para Y (NTE E.030).....	64
Figura 19	Modos de vibración predominantes	65
Figura 20	Definición de cargas de gravedad no lineal.	70
Figura 21	Caso de carga en X	71
Figura 22	Punto de control en X.....	72
Figura 23	Caso de carga en Y	73
Figura 24	Punto de control Y	73

Figura 25	Formación de primeras rotulas plásticas en vigas X.....	74
Figura 26	Rotulas plásticas en vigas X.....	75
Figura 27	Formación de primeras rotulas plásticas en vigas eje Y	76
Figura 28	Formación de rotulas plásticas en vigas Y.....	77
Figura 29	Formación de primeras rotulas plásticas em columnas X.....	78
Figura 30	Desarrollo de rotulas plásticas en columnas X	78
Figura 31	Desarrollo de primeras rotulas plásticas en columnas Y	79
Figura 32	Desarrollo de rotulas plásticas en columnas Y	80
Figura 33	Desarrollo de primeras rotulas plásticas en muros de corte X.....	81
Figura 34	Desarrollo de rotulas plásticas en muros de corte X.....	82
Figura 35	Desarrollo de primeras rotulas plásticas en muros de corte Y.....	83
Figura 36	Desarrollo de rotulas plásticas en muros de corte Y	84
Figura 37	Curva de capacidad en X	85
Figura 38	Curva de capacidad en Y	86
Figura 39	Curva de capacidad en X, Y.....	87
Figura 40	Representación bilineal de la curva de capacidad en X.....	88
Figura 41	Representación bilineal de la curva de capacidad en Y.....	89
Figura 42	Punto de desempeño en X.....	90
Figura 43	Punto de desempeño en Y	91
Figura 44	Sectorización en X	92
Figura 45	Sectorización en Y	93
Figura 46	Nivel de desempeño en X	94
Figura 47	Nivel de desempeño en Y	95
Figura 48	Estructuración del bloque II.....	100

ACRÓNIMOS

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones

ASCE: American Society of Civil Engineers

ATC: Applied Technology Council

FEMA: Federal Emergency Management Agency

SEAOC: Structural Engineering Association of California

CCCSR-84: Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes

NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente

NEC-SE-DS: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Cargas Sísmicas, Diseño Sismo Resistente

NEC-SE-RE: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras

NTDS: Norma Técnica para Diseño por Sismo

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

IGP: instituto geofísico del Perú

AENL: Análisis Estático No Lineal

ADNL: Análisis Dinámico no Lineal

UTEA: Universidad Tecnológica de los Andes

UNAMBA: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac

ANL: Análisis No Lineal

GDL: Grados De Libertad

MDOF: Multiple Degrees of Freedom

SDOF: Single Degree of Freedom

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolló como objetivo fundamental determinar el desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes por medio de la aplicación del análisis estático no lineal método Pushover.

Se utilizó la siguiente metodología: el método es deductivo, de tipo básica con enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y diseño no experimental – transversal.

se ha determinado la respuesta de la edificación en el eje global “X” desarrollando un nivel de desempeño de seguridad de vida (LS) desplazándose 0.1658 m y una cortante actuante en base de 1312.7762 tonf, de la misma manera para el eje global “Y”, el edificio se desarrolla en el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO), donde la estructura se desplaza 0.092085 m y una cortante en la base de 973.8555 tonf.

En concordancia al último censo realizado por el INEI, Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda, podemos presumir la cantidad de viviendas particulares en el territorio nacional que son construidos de concreto armado y posiblemente no tengamos estudios sobre vulnerabilidades ante un sismo, en ese sentido, la presente investigación tiene por finalidad probar conceptos normativos de origen norteamericano para su aplicación en nuestra realidad por estudiantes y profesionales dedicados a la ingeniería estructural y con ello, la aportación a la comunidad ingenieril en ofrecer nuevos conocimientos de conformidad a la Ley Universitaria N° 30220.

Palabras claves: Cargas laterales, rotulas plásticas, análisis estático no lineal, nivel de desempeño, curva de capacidad, punto de desempeño.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the structural performance of Block II of the intelligent classrooms of the Universidad Tecnológica de los Andes through the application of the non-linear static analysis of the Pushover method.

The following methodology was used: the method is deductive, basic type with quantitative approach, descriptive level and non-experimental - transversal design.

The response of the building has been determined in the global axis "X" developing a performance level of life safety (LS) displacing 0.1658 m and an acting shear at base of 1312.7762 tonf, in the same way for the global axis "Y", the building develops in the performance level of Immediate Occupancy (IO), where the structure displaces 0.092085 m and a constant at the base of 973.8555 tonf.

According to the last census conducted by INEI, National Census 2017: XII of Population and VII of Housing, we can presume the amount of private homes in the national territory that are built of reinforced concrete and possibly do not have studies on vulnerabilities to an earthquake, in that sense, the present research aims to test normative concepts of North American origin for its application in our reality by students and professionals dedicated to structural engineering and with it, the contribution to the engineering community in offering new knowledge in accordance with the University Law No. 30220.

Key words: Lateral loads, plastic patellas, nonlinear static analysis, performance level, capacity curve, performance point.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Tecnológica de los Andes con la finalidad de mejorar sus servicios académicos en la sede central, decide ampliar su infraestructura de aulas y ambientes administrativos con la construcción de aulas inteligentes que consta de cuatro bloques, las que están ubicadas en la ciudad universitaria frente a la Av. Perú, la estructuración de los bloques está compuesto por vigas, losas, columnas y muros estructurales.

La presente investigación, tiene por finalidad la valor del desempeño estructural del del bloque II de la infraestructura antes mencionadas, mediante un análisis estático no lineal aplicando normas Norte Americanas (ASCE/SEI 41-17, SEAOC/VISION 2000), de esa manera afianzaremos los conceptos utilizados para su posterior aplicación a nivel nacional.

La metodología de la presente investigación, se rige estrictamente al instructivo general de investigación versión 3.0 de la UTEA, que compone 4 capítulos; el capítulo I está dedicado a la descripción amplia de la realidad problemática de la presente investigación, la investigación cuenta con un problema general y problemas específicos, así como el objetivo general y los específicos de la investigación. En el capítulo II está dedicada al desarrollo del marco teórico, donde se considera también los antecedentes de la investigación y las bases teóricas. El capítulo III se menciona toda la metodología utilizada en la investigación, donde se propone la hipótesis general e hipótesis específicas. En el capítulo IV, se presentan ampliamente los resultados y discusión de la investigación.

Se presenta los anexos y todos los instrumentos de recolección de información para luego procesar, también información primaria.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Según Arone (2019), sostiene lo siguiente: El análisis estático no línea (AENL), se ha desarrollado desde los años 60, popularizándose en los años 90 al utilizar softwares comerciales de uso libre que realizaban este tipo de análisis, asimismo, se desarrollaron normas y guías para aplicar a diferentes tipos de estructuras, como el FEMA 273 (1997), el ATC-40 (1996), el FEMA 356 (2000) o el ASCE 41 (2017), con los que se establecen los criterios para definir el patrón de cargas, el punto de desempeño y las medidas de rehabilitación de las estructuras analizadas.

El análisis estático no lineal, permite conocer con más certeza el comportamiento estructural de una edificación ante un evento sísmico de variable magnitud, de esa manera tener un panorama más amplio y tomar las decisiones más acertadas sobre la estructura existente.

Según el INEI (2017), menciona mediante los Censos Nacionales 2017: Las cifras que existen en el país de 10'102,849 viviendas particulares, de los cuales

2'285,959 son viviendas denominadas casa independiente y 441,679 son viviendas como departamentos en edificios, en el mismo censo se reveló la cantidad de 884,550 viviendas particulares en calidad de desocupadas.

La misma institución revela que 4'298,274 viviendas particulares, 55.8% del total de viviendas, tienen como material predominante el ladrillo o bloque de cemento, 43,170 viviendas tienen muros de piedra o sillar con cal o cemento, 4'341,444 viviendas particulares que representa el 56.4%, tienen material noble en sus muros exteriores, 3'246,505 viviendas predominan el cemento en sus pisos, y 3'298,280 viviendas tiene el concreto armado como material predominante en sus techos.

La gran cantidad de viviendas particulares construidas como departamentos en edificios y otras que tienen como material de construcción el ladrillo o bloque de concreto, pisos de cemento y techos de concreto armado, nos da una idea de que son edificaciones de concreto armado que pueden ser: sistemas porticados, duales, de muros estructurales o sistemas de muros de ductilidad limitada, mayores a 3 niveles, los que serán necesarios intervenir con un diagnóstico certero y viendo la realidad en que se encuentren, para así tomar la decisión más conveniente respecto a la permanencia de seguir brindando servicios.

Pérez (2019), por otro lado, el Perú no es inmune a los terremotos. Se producen eventos sísmicos con regularidad y, dado que la zona es sísmicamente activa, es probable que se produzca un evento de gran magnitud. Es simplemente cuestión de tiempo que la energía almacenada a lo largo del tiempo se libere a través de una actividad sísmica de gran intensidad.

Alfaro (2012), puntualiza que, Apurímac posee un porcentaje mayor de superficie rural, empleándose en la mayoría de las edificaciones sistemas

constructivos no convencionales ligados a sus tradiciones y costumbres (autoconstrucción), así también por la economía de las familias. En la Región de Apurímac esta forma de autoconstrucción es muy arraigado en las familias de poblaciones rurales y zonas periféricas a las principales ciudades siendo los factores fundamentales que influyen en este comportamiento los factores legales y económicos.

En la ciudad de Abancay, capital de departamento de Apurímac, en estos últimos 5 años, se ha visto la evolución de la construcción de edificaciones de materiales tradiciones de la zona como es el adobe por el de concreto armado, sin embargo, todavía prevalece una alta tasa de autoconstrucciones sin que estas sean verificadas con un mínimo de cumplimiento por las normas regidas por el reglamento nacional de edificaciones, específicamente por la norma de diseño sismo resistente E.030, esta informalidad puede conllevar a que las estructuras no tengas una respuesta eficiente ante un sismo. “Se tiene antecedentes recientes de un sismo de magnitud 5.8 en el año 2001” (IGP 2016).

La UTEA, en su objetivo de mejorar la calidad educativa, amplio su infraestructura de aulas, con la construcción de aulas inteligentes para la facultad de Ingeniería y ambientes administrativos que consta de 04 bloques, todos de concreto armado, esta construcción fue analizada estructuralmente conforme a la NTP E.030 - 2014, sin embargo, es importante verificar el desempeño de la estructura mediante un análisis estático no lineal.

Choque y Luque (2019), comenta que los métodos de análisis sísmico (análisis estático lineal y análisis dinámico lineal) mencionados en la NTP E.030 no permiten validar la filosofía de diseño allí expuesta, ni prever cómo se comportarán los edificios en caso de sismos de menor magnitud, en consecuencia, la acción

repetida de estos eventos sísmicos puede causar daños estructurales en los edificios.

Mediante la metodología del análisis estático no lineal se evaluará el Bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes, del análisis podremos comprender el desempeño estructural ante un evento sísmico de magnitud considerable, con ello se pretende tomar decisiones más certeras para la funcionalidad de la edificación y de esa manera resguardar la vida de sus habitantes, con el conocimiento producido, podremos aplicar a las estructuras existentes a nivel nacional como lo indica el INEI en el último censo, cabe recalcar que este conocimiento está encaminado a los profesionales de la ingeniería civil específicamente a los especialistas en estructuras.

1.2. Identificación y Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo es el desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes mediante la aplicación del análisis estático no lineal – 2021?

1.2.2. Problemas específicos

P1) ¿Cuál es el patrón de cargas laterales que interviene en el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021?

P2) ¿Cómo son las rotulas plásticas que se desarrollan en el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021?

P3) ¿De qué manera el coeficiente de desplazamiento define el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021?

P4) ¿Cómo son los objetivos de desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021?

P5) ¿Cuál es el nivel del desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021?

1.3. Justificación de la investigación

La presente investigación pretende analizar la estructura del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, aplicando el AENL, con los lineamientos presentadas por el ASCE/SEI 41-17, y el apoyo de tecnologías informáticas para el análisis del modelo matemático aprobadas por la comunidad científica e ingenieril, se hizo uso el software etabs V.20, con la finalidad de presentar los patrones de carga, rotulas plásticas y el desplazamiento objetivo aplicando la metodología de los coeficientes de desplazamiento.

Desplazamiento objetivo o punto de desempeño propuesto por ASCE/SEI 41-17, será determinado mediante la metodología de los coeficientes de desplazamiento, el espectro de respuesta será a partir de la propuesta definida en la NTP E.030 2018, se aplicará cargas monotónicas laterales y así visualizar las rotulas plásticas y determinar el objetivo de desplazamiento de la estructura, finalmente se definirá los objetivos para establecer el nivel de desempeño bajo las recomendaciones del SEAOC/VISION 2000, estos resultados nos darán un panorama de como la estructura se comporta por desempeño sísmico.

Asimismo, la investigación en curso será importante para la sociedad nacional y local comprendida en los profesionales dedicados a la rama de

estructural, con los conocimientos producidos, los profesionales podrán analizar por métodos no tradicionales que no están comprendidas en la normativa del Perú, el análisis estático no línea trae muchos beneficios para la sociedad, ya que se puede desarrollar estructuras con un eficiente comportamiento y acertadamente más reales ante un evento sísmico.

La presente investigación, tendrá un impacto positivo en la economía de los clientes finales, las estructuras analizadas por desempeño, nos dará una clara realidad del comportamiento estructural y podemos predecir con ella las posibles fallas de sus elementos, de esta manera tomar las decisiones más acertadas en cuanto a su permanencia y seguridad de la estructura.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Describir el desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes mediante la aplicación del análisis estático no lineal – 2021

1.4.2. Objetivos Específicos

- O1)** Definir el patrón de cargas laterales para la determinación del desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021
- O2)** Definir las rotulas plásticas para determinar el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021
- O3)** Aplicar el coeficiente de desplazamiento para determinar de desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes – 2021.

O4) Definir los objetivos de desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes – 2021

O5) Describir el nivel del desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes – 2021

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial

La investigación, se desarrolló en la UTEA central de la ciudad de Abancay.

1.5.2. Temporal

El desarrollo de la presente investigación, se llevó a cabo en el año 2022, en los meses de abril a setiembre.

1.5.3. Social

Según Silvestre y Huamán (2019), refieren a la “población accesible que participara en el estudio”. Sen lo referido, no corresponde para el trabajo de investigación.

1.5.4. Conceptual

El estudio se centra en determinar el desempeño de los elementos y en su conjunto del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, se rige estrictamente a los conceptos y lineamientos del SEAOC/VISION 2000 (1995) y ASCE/SEI 41-17.

1.6. Viabilidad de la investigación

1.6.1. Económico

Para la presente investigación, en financiamiento en tu totalidad, fue cubierto por el estudiante investigador.

1.6.2. Acceso a las muestras

Para el acceso al Boque II de la infraestructura de las aulas inteligentes, se coordinó con el personal correspondientes de la UTEA, autorizando el uso de toda la información relevante.

1.6.3. Técnicas

Como técnica principal, se utilizó la observación directa, así mismo, los instrumentos y equipos necesarios para el registro y observación de datos.

1.7. Limitaciones de la Investigación

Tecnológicos.

En el presente trabajo científico se identificaron limitación tecnológica, debido a que la Universidad Tecnológica de los Andes y la Escuela Profesional de Ingeniería Civil en su laboratorio de informática, no cuenta con licencia original del software a ser utilizado.

Científico

No se encontró limitaciones científicas, debido a que todos los conceptos básicos y fundamentales están al alcance mediante la web y libros de manera gratuita, asimismo, los profesionales entendidos en materia de investigación están disponibles a los horarios del tesista.

Económico

No se dispuso de muchos recursos económicos debido a que se desarrolló la investigación por un único aspirante, razón por la cual, solo se alquiló un laboratorio informático acorde a las exigencias de una investigación científica de pre grado.

Información

Limitado acceso a la información primaria, debido a la falta de liquidación técnica y financiera del proyecto, solo se tuvo acceso al expediente técnico y ensayos no destructivos al concreto de los diferentes elementos, mas no a los informes mensuales ni planos de replanteo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. A nivel internacional

Sinisterra (2017), en su tesis *“Determinación del desempeño sísmico para edificios de concreto reforzado diseñados bajo la norma de diseño sismo resistente CCCSR. 84”* aplica el diseño no experimental, alcance descriptivo, enfoque cuantitativo y método deductivo, en una de sus conclusiones menciona que, los propietarios de edificios y otras organizaciones públicas y privadas tomen la iniciativa de examinar e investigar las estructuras que no se adhieren completamente a la norma NSR-10. Cuando se produzca un sismo de moderado a severo, muchas estructuras construidas de acuerdo con la norma CCCSR 84 no se modificaron o actualizaron según a la norma NSR-10 hay la probabilidad de encontrarse en el intervalo no lineal y presentar fallos en los componentes

estructurales. Según el número A.6.4.4.2 de la NSR-10, se obtuvo 0.5% y 1.5% de distorsiones globales para un nivel de LS (Seguridad de Vida). Multiplicando estos resultados por 0,7 se ajustarán a la restricción del 1,0% para edificios de hormigón armado. Según los criterios del Comité VISION 2000 y del ATC-40, el número de edificios evaluados ofrece un diagnóstico preliminar para definir los grados de aceptabilidad; las conclusiones se basan en datos extraídos de los planos estructurales.

Cueva y Gonzales (2013), en su tesis *“Diseño por desempeño de edificaciones en hormigón armado con muros de corte mediante los códigos FEMA, utilizando el programa etabs”* usan el diseño no experimental, alcance descriptivo, enfoque cuantitativo y método deductivo – inductivo, se propusieron como objetivo: El diseño de edificaciones esenciales con muros de corte utilizando el código FEMA 273.

Los autores llegaron a las conclusiones: El edificio de 12 plantas recibió un nivel de desempeño de LS (Seguridad de Vida); se produjeron daños parciales en las vigas como consecuencia de la incursión al rango no lineal mediante las rótulas plásticas que se generaron; la edificación sigue siendo funcional, pero deben repararse los elementos estructurales que incursionaron en la no linealidad y tuvieron daños; y los componentes no estructurales, como la mampostería, las ventanas y las instalaciones sanitarias, sufrieron daños de menor importancia que asegurando la seguridad e integridad de los ocupantes del edificio.

Segura (2021), en su trabajo científico titulada *“Comparación del desempeño sísmico mediante análisis estático no lineal (pushover) de dos edificaciones en concreto reforzado situadas en zona de amenaza sísmica alta con grado de disipación de energía des, diseñadas bajo los criterios del AIS 114-17 y la norma*

NSR-10”, usa el diseño no experimental, alcance correlacional, enfoque cuantitativo y método deductivo, propone como objetivo: “Comparar el nivel de desempeño sísmico de dos edificaciones dispuestas en zona de amenaza sísmica alta con grado de disipación de energía DES, con similar disposición geométrica en planta y altura, por el método de análisis estático no lineal (Pushover)”.

El autor concluye en los siguientes: El Edificio nº 1 se creó utilizando la metodología AIS 114-17, y ninguno de sus componentes estructurales entro en el rango plástico, debido a que no presentaron rotulas plasticas. Esto permitió que el edificio cumpliera las normas ASCE 41-17 tanto para los componentes estructurales como para los no estructurales sin sufrir daños, alcanzando el pleno rendimiento operativo a un desplazamiento objetivo de 7 cm. El desempeño sísmico del edificio N° 2 ante un evento sísmico de diseño toma en consideración un desplazamiento objetivo de unos 24 cm en ambas direcciones, alcanzando un nivel de desempeño en la zona de IO (Ocupación Inmediata), y produciendo daños menores en las vigas de las tres primeras plantas sin considerar interrupciones temporales para su habitabilidad ya que no se produce pérdidas significativas de resistencia especifica o general, haciendo que el edificio tenga una respuesta adecuada.

Orellana y Parra (2017) en su tesis denominado “*Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial aporticado de hormigón armado según la norma ecuatoriana de construcción (nec-se-re, 2015)*” se usó el enfoque cuantitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental, se planteó como objetivo principal: “Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial aporticado de hormigón armado según la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-DS 2015)”. Tras un análisis y un debate exhaustivos, se realizó un análisis Pushover estático y análisis

dinámico no lineal para determinar el desplazamiento objetivo del edificio que se iba a analizar. Con la finalidad de conocer las partes más vulnerables de sufrir daños ante un evento sísmico, se compararon los dos métodos propuestos en el proyecto

Los autores, llegan a la conclusión más importante: Debido a que cada elemento de la viga exhibe ruptura o falla, la edificación tienen un comportamiento inadecuado; se asume que la estructura es severamente inestable o colapsa. También se evitó que el edificio experimentara un mayor desplazamiento como resultado de estos fallos; en consecuencia el 2% como máximo desplazamiento, no es superado por las derivas establecido por el NEC-SE-DS, los resultados llegaron al 1,84%, 1,80% y 1,77% para los formulados por el ATC 40, FEMA 440 y análisis dinámico no lineal, respectivamente. El edificio entra en el rango inelástico, según la curva de capacidad, pero con una ductilidad global de 3,2 en lugar de la ductilidad global recomendada por NEC-SE-RE de más de 4. Esto indica que los componentes estructurales han fallado antes de que el edificio haya experimentado el desplazamiento máximo para el que estaba previsto. El arriostramiento de la columna ha cumplido los requisitos aceptables descritos en el código FEMA 356 situándose en un nivel de desempeño de IO (ocupación inmediata), el cual se conoce como, el estado de los daños posteriores al evento sísmico que todavía es seguro para ser ocupado. Finalmente, dado que el edificio no podrá seguir soportando las cargas gravitatorias tras el movimiento sísmico, se determina que no cumple los criterios de rendimiento especificados para una estructura importante. Además, debido a que las secciones y los refuerzos son tan bajos, el edificio no funcionaría al mismo nivel que otro tipo de construcción, ya que sólo se vería dañado por las cargas de gravedad.

Duarte, et al. (2017), en su investigación científica denominada *“Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la universidad de el salvador”*, usó el diseño no experimental, alcance descriptivo, enfoque cuantitativo, se plantean como objetivo primordial: utilizar el análisis estático no lineal “Pushover” para evaluar el comportamiento y funcionalidad estructural del Cuerpo Central del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador.

Los autores concluyen: La edificación en estudio, antes de llegar al milite de daño admisible de seguridad de los ocupantes (48,64 cm), mantiene un buen rango de deformaciones, cumpliendo con el desempeño deseado de LS (Seguridad de Vida) para la solicitaciones establecido en la NTDS con un desplazamiento de 15,89 cm. Alcanzando el punto de desempeño mientras mantiene un rango de deformación al límite de control de daño de la edificación de 20,59 cm, el límite de seguridad de vida de 32,75 cm, con una fuerza cortante de 2523,41 toneladas y un desplazamiento de 15,89 cm.

2.1.2. A nivel nacional

Choque y Luque (2019), en sus tesis *“Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la NTP E.030”*, utilizaron el diseño experimental, método cuantitativo, con un alcance explicativo – descriptivo, el objetivo propuesto es: Aplicar la metodología del diseño basado en el desempeño sísmico a dos alternativas de estructuración de un edificio de 8 niveles para evaluar y comparar los resultados obtenidos.

Después de las discusiones de los autores, llegaron a la conclusión: para un sismo de naturaleza frecuente la edificación compuesta de muros estructurales no alcanzo cumplir con el desempeño deseado, incursionando al rango no lineal de

manera leve, situándose el nivel de desempeño en Operacional. Con referencia al sismo de servicio, el nivel de desempeño es más óptimo de la estructura, fluctuando en la sección Operacional, en cambio, para el sismo de diseño el desempeño se ubica en los parámetros de LS (Seguridad de Vida), los comportamientos descritos son iguales para las dos direcciones hasta el momento; en relación al desempeño de la edificación para el sismo máximo tiene una respuesta esperada en el eje global "X", estableciéndose en el nivel de Seguridad de Vida y en el eje global "Y" incursiona levemente en el nivel de Prevención de Colapso.

Mamani (2018), en su tesis titulado "Determinación del desempeño *sísmico de un edificio de 8 niveles en la ciudad de Juliaca, 2018*", donde aplica el tipo de investigación aplicada, nivel de investigación descriptiva y con una muestra no probabilística, se propuso como objetivo principal, determinar el nivel de desempeño sísmico de una edificación de ocho niveles en la ciudad de Juliaca mediante un análisis estático no lineal.

El autor ha realizado la discusión de los resultados, llegando a la conclusión: el nivel de desempeño en función de la rigidez, ductilidad, disipación de energía y resistencia es estimada de manera muy favorable por la sencillez de emplear el AENL. Al establecer la curva de capacidad en ambas direcciones de estudio. La estructura muestra una ductilidad de 4,25 con una sobre resistencia de 2,70 en la dirección "X". La edificación muestra una sobre resistencia de 1,84 con una ductilidad de 5,20 en la dirección "Y". Por tanto, podemos predecir cómo se comporta la estructura específicamente el tipo de colapso que puede producirse (fallo frágil o fallo dúctil). De acuerdo con la NTP E.030, se ha generado el espectro de demanda para la región donde se ubica la edificación (Juliaca). Según el código ATC-40, este espectro pertenece a un sismo de diseño. A partir de la demanda

sísmica de diseño, será posible calcular el sismo de servicio y el sismo máximo, ambos con magnitudes de 1.25 veces el sismo de diseño. Para establecer el nivel de desempeño de la edificación se utilizó la teoría del espectro de capacidad propuesto por el FEMA-440. La estructura tiene un nivel de desempeño en la dirección "X" de Seguridad de Vida, Colapso y Colapso para los sismos de servicio, diseño y máximo respectivamente, en esta situación no cumplen los objetivos deseados de comportamiento propuestos por el ATC 40. El nivel de desempeño para la dirección "Y" es el siguiente, nivel de Ocupación Inmediata, nivel de Seguridad de Vida, y nivel de Prevención de Colapso, para una demanda de sísmica de servicio, diseño y máximo respectivamente, alcanzando los objetivos fundamentales que establece el ATC 40.

Cahuana y Ccaso (2021), desarrollaron un trabajo de investigación titulado *“Desempeño sísmico aplicando el análisis estático no lineal (pushover) del módulo III de la comisaría de ciudad Nueva, Tacna 2021”*, utilizando el tipo de investigación básica, nivel de investigación descriptiva, diseño de investigación documental y con una muestra no probabilística, los autores determinan su objetivo de estudio: *“Evaluación del desempeño sísmico aplicando el análisis estático no lineal (Pushover) del Módulo III de la Comisaría de Ciudad Nueva, Tacna 2021”*.

Los autores finalmente concluyen: La estructura materia de estudio, no satisface con los objetivos de desempeño, mostrando los resultados en el eje global “X” sometidos a una demanda sísmica frecuente y ocasional, fluctúa en un nivel de desempeño Totalmente Operacional, para un peligro sísmico raro, el nivel de desempeño es Seguridad de Vida, finalmente para el sometimiento ante un peligro sísmico muy raro el nivel de desempeño que alcanza la edificación es de cerca al colapso, en cambio para el eje global “Y” de análisis, el edificio muestra una

respuesta de nivel de desempeño Totalmente Operacional cuando es sometido a un peligro sísmico frecuente, sigue siendo Totalmente Operacional para un evento sísmico ocasional, finalmente un desempeño cerca al colapso para los sismos raro y muy raro. Los resultados se siguen a la inconsistencia del coeficiente de reducción sísmica, valores que se emplearon en el análisis lineal, interviene el mal diseño de la distribución de los muros de mampostería, produciendo una irregularidad torsional en Y.

Pérez (2019), en su trabajo de investigación *“Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos”*, usando el tipo de investigación aplicado – descriptivo, diseño descripción simple con propuesta y muestra aleatoria, fija como objetivo de estudio; “Verificar el diseño estructural mediante el modelamiento de la estructura utilizando los parámetros de la norma de diseño sismo resistente E.030”.

Después del análisis y correspondientes discusiones de los resultados obtenidos, el investigador concluye: Conforme a los requisitos de NTP E.030 para la condición de Edificio Esencial, la edificación cumple con los requerimientos de control de distorsión y la masa participativa modal. La estructura incurre en desplazamientos inelásticos en la región inelástica, pero sigue funcionando; cuando el edificio incurre en el sector inelástico, los desplazamientos máximos son mayores de lo recomendado. En el caso de columnas, el diseño del refuerzo cumple los requisitos mínimos; sin embargo, para las vigas no cumple con la cuantía requerida. La ductilidad prevista en el diseño era de 2, pero la ductilidad real de la estructura es de 4,09. Debido a su comportamiento elástico, la estructura se comporta satisfactoriamente en presencia de sismos frecuentes, ocasionales y raros. Sin embargo, en el caso de un evento sísmico de naturaleza raro con una aceleración

superior a 0.9g, el edificio colapsará en el eje global "Y". La propuesta de falla viga débil columna fuerte no se cumple en los elementos estructurales.

Pinto (2019), en su tesis de pregrado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado "*Evaluación del nivel de desempeño de una edificación, con empleo del análisis estático no lineal – Pushover*", utilizó el método de investigación no experimental, tipo descriptivo, diseño descriptivo y nivel de la investigación básico, establece como objetivo de estudio: "Evaluar el nivel de desempeño de una edificación en la dirección "X" y "Y", con empleo del análisis estático no lineal, Pushover".

Finalmente, el autor, después de realizar los análisis y discusiones del caso, llega a la conclusión: En cuanto a los desplazamientos finales del edificio, se observa que ambas direcciones tendrán desplazamientos finales comparables, pero los resultados demostrarán que la dirección "X" tiene más rigidez que la dirección "Y". De ello se deduce que la ductilidad de una estructura aumenta con la rigidez en el rango elástico. Con respecto a las deformaciones de la edificación, tomando en cuenta los criterios dados por el ASCE 41-13 se verificó el desempeño de los componentes primarios, se concluye que no exceden el 75% del límite de Seguridad de Vida. Cabe señalar que los elementos estructurales no superan el límite de "Seguridad de Vida" en los sismos moderados. Por tanto, las deformaciones se consideran aceptables, ya que cualquier daño potencial puede solucionarse.

Vega (2020), en su tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, titulado "*Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal, vivienda-comercio miura grill, Chiclayo*", donde aplica el tipo y diseño de investigación aplicada – descriptiva en modalidad propositiva y muestra por

conveniencia, define como objetivo de estudio: "Evaluar el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal, vivienda-comercio miura grill, Chiclayo".

El autor concluye: La deriva máxima que debería ser de 0,007 según la NTP E.030, en la edificación materia de estudio llega a 0,008291 resultado que es producto de un AENL. En consecuencia, el edificio se considera flexible. La máxima deriva calculada para la dirección "X" es de 0,009268, siendo este resultado mayor que 0,007; como resultado, la estructura es considerada flexible. En la dirección "Y", se constata que las derivas producidas cumplen con los requisitos de la norma que gobierna el diseño sismorresistente E.030. Pero según el AENL (Pushover), sometido a un peligro sísmico raro, el edificio ya ha colapsado en la dirección "X", causando un desplazamiento en el techo de 63,318 mm y una cortante basal de 732,357 toneladas, y en la dirección "Y", el edificio está en el nivel de desempeño Cerca al Colapso, producido por un peligro sísmico raro que origina un desplazamiento en el techo de 76,86 mm y una cortante basal de 777,83 toneladas.

2.1.3. A nivel regional y local

Realizada las indagaciones en los repositorios de las universidades de la región (UTEA y UNAMBA), asimismo en las instituciones dedicadas a desarrollos e investigaciones en proyectos de ingeniería de la región, no se encontró antecedente alguno sobre investigaciones en la línea que se desarrolló en la presente investigación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Desempeño estructural del bloque II

Según el ATC-40 (1996), establece el desempeño estructural de una edificación se conoce por tres teorías fundamentales, el desplazamiento más allá del rango elástico (ductilidad), la gran capacidad soportara grandes fuerzas (resistencia) y la deformación de los elementos estructurales que intervienen en la capacidad global. Es necesario un ANL (análisis no lineal) exhaustivo para establecer las capacidades dentro del rango inelástico. Cuando las estructuras están sometidas a fuerzas sísmica, se generan desplazamientos horizontales que pueden cambiar con el pasar del tiempo. El máximo desplazamiento conjuntamente con un nivel sísmico se combinan estimar la reacción máxima prevista de un elemento estructural o toda la estructura. Cuando se calcula o estima el máximo desplazamiento y la curva de capacidad, se determina el comportamiento del edificio, lo que permite verificar su desempeño. Finalmente, se hace una evaluación de todos los daños ocasionados en los componentes estructurales y no estructurales y determinar que no estén alejados de los factores máximos establecidos en los objetivos de desempeño

Es fundamental conocer el comportamiento de una estructura ante una amenaza sísmica, con la finalidad de conocer el comportamiento de cada uno de sus elementos en el rango no lineal.

2.2.1.1. Objetivos de desempeño

Luque (2020), define a los objetivos de desempeño sísmico como: “la elección de un nivel esperado de desempeño para una determinada amenaza sísmica, los objetivos son definidos por estados límite, para elementos estructurales

o no estructurales, la funcionalidad de una estructura puede ser bloqueado por problemas de componentes no estructurales”.

Cuando un elemento estructural o todo un sistema estructural llega a un estado limite, puede haber casos en que la estructura ya no cumpla con los requerimientos para las que ha sido diseñado.

SEAOC. (1995), Se pueden definir diversos niveles de desempeño deseado para cada uno de los niveles de peligros sísmicos especificados. Considerando los factores importantes como: la importancia del uso del edificio, la característica de la funcionalidad de cada uno de sus instalaciones, valoraciones económicas con relación a los costos de reparación de daños e interrupción del servicio, y la suprema importancia del edificio en el contexto cultural e histórico.

Los objetivos de desempeño, deben ser elegidos básicamente a factores sociales, culturales y económicos.

2.2.1.1.1. Objetivos de desempeño según el SEAOC/VISION 2000

SEAOC/VISION 2000 (1995), desarrolla los objetivos de acuerdo a la significancia, cada nivel de desempeño sísmico esperado para un edificio se expone en la Tabla 1. Los niveles recomendados en la situación de las edificaciones existentes pueden requerir cuantías económicas elevadas en base a criterios o enfoques prácticos. Es vital verificar el rendimiento en cada nivel de riesgo, ya que alcanzar un nivel de rendimiento en una condición de riesgo no garantiza que se haya cumplido el objetivo de rendimiento establecido.

Los objetivos de desempeño representados en la Tabla 1 ilustran la relación entre elementos estructurales como los no estructurales tienen los mismos objetivos de rendimiento.

Tabla 1*Niveles de desempeño deseados*

Seismic hazard level	Seismic performance level			
	Fully operational	Operational	Security	Collapse
Frequent (T=43 years)	1	0	0	0
Occasional (T=72 years)	2	1	0	0
Rare (T=475 years)	3	2	1	0
Very rare (T=970 years)	-	3	2	1

0. **Unacceptable performance**
1. **Basic objectives**
2. **Essential objectives**
3. **Critical safety objectives**

*Fuente: SEAOC/VISION 2000 (1995).***2.2.1.2. Nivel de desempeño**

Choque y Luque (2019), Utilizado los conceptos de los objetivos de desempeño estructural, el daño se describe como una situación o condición límite.

Se basa en tres elementos cruciales:

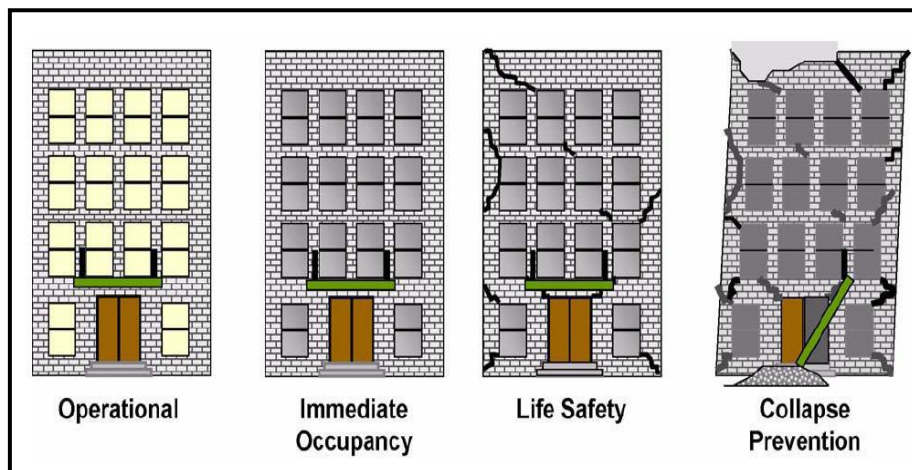
1. Daños visibles a los componentes estructurales como a los no estructurales de la estructura.
2. El daño potencial que implique el resguardo de vida de los residentes de la edificación.
3. Post funcionalidad del edificio después del evento sísmico.

Luque (2020), describe como un estado límite de daño, configurando un estado máximo o fiable definida en concordancia a las probabilidades de deterioros físicos visibles sobre la estructura, el peligro sobre la integridad de los habitantes generados por estos daños y la operatividad de la estructura posterior al evento sísmico. Los niveles de desempeño se expresan de una forma cualitativa

importante para la población en general y en conceptos técnicos propios de la profesión para los posibles diseños y/o el estudio del nivel de vulnerabilidad de edificios antiguos.

Figura 1

Visualización esquemática de los niveles de desempeño



Fuente: FEMA 356 (2004).

2.2.1.2.1. Nivel de desempeño según el SEAOC/VISION 2000

SEAOC/VISION (1995), hace referencia a los distintos niveles de desempeño referente a la consideración de aspectos importantes como: peligro para los ocupantes y daños a los componentes estructurales y no estructurales que afectan a su desempeño en la continuación de los servicios esenciales. Se prosigue a enumerar los distintos niveles de desempeño.

Totalmente operacional. Nivel de desempeño tras un sismo cuando no hay daños estructurales en la infraestructura. La edificación es completamente segura para los que residen al interior, asimismo, los servicios siguen siendo operativos y accesibles. En el edificio, no hay necesidad de reparaciones.

Ocupación Inmediata. Nivel de desempeño después de un evento sísmico en el que son posibles tanto daños estructurales escasos como daños no estructurales importantes. Aunque algunos servicios se detienen por los daños

sufridos, los daños visibles son modestos y no ponen en peligro la seguridad de la edificación y de sus residentes. Aun así, podrían ser necesarias algunas reparaciones menores.

Seguridad de vida. Es posterior al evento sísmico, el interior, así como los componentes estructurales del edificio han sufrido daños moderados. Los escombros de materiales no estructurales bloquean las vías de evacuación del edificio e interrumpen los sistemas de agua potable, eléctricos y mecánicos. La estructura necesita una importante reparación.

Prevención de Colapso. Tras el evento sísmico la edificación está a punto del colapso total o parcialmente como consecuencia del deterioro de la resistencia y la superación de la rigidez lateral de los componentes estructurales. Hay retrasos en los servicios fundamentales y las salidas. Visto desde la perspectiva técnica y económica, no se aconsejan reparaciones, ya que la estructura es insegura para sus inquilinos.

El código SEAOC/VISION 2000, recomienda que los niveles de desempeño deben ser determinados cuidadosamente para su correcta interpretación y tomar acciones adecuadas cuando se presente un sismo de magnitud considerable que la estructura haya experimentado

Tabla 2

Nivel de desempeño según el Comité SEOCE/VISION 2000

Estado de daño	Nivel de Desempeño	Características Principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Los daños estructurales y no estructurales fueron mínimos o inexistentes. Tras el sismo, los servicios básicos están operativos.
Ligero	Ocupación Inmediata	Daños leves. Las instalaciones no esenciales pueden experimentar pausas en la recuperación rápida mientras que las instalaciones vitales siguen funcionando.
Moderado	Seguridad de Vida	Daños de nivel medio. A pesar de los daños, el edificio sigue siendo resistente. seguridad de los habitantes. Es posible que se produzcan daños en algunos componentes no estructurales.
Severo	Prevención de Colapso	Región de colapso estructural y daños estructurales significativos, los elementos no estructurales tienen daños considerables. Se ha puesto en peligro la seguridad de los ocupantes.

Fuente: SEAOC/VISION (1995).

Criterios de Aceptación en la Evaluación del Desempeño Sísmico

Para la verificación del cumplimiento de un objetivo de desempeño, el resultado del AENL en el desplazamiento objetivo o punto de desempeño, se debe realizar comparaciones con los máximos establecidos a los niveles de desempeño, donde se definen los criterios de aceptación para estructuras. Estas máximas respuesta se clasifican en dos grupos:

- **Límites de aceptación global de edificio:** Donde se incorporan requerimientos para la capacidad de fuerzas verticales, resistencia con respecto a fuerzas laterales y derivas laterales.
- **Límite de aceptabilidad de elementos y componentes:** Es necesario examinar en particular todo componente estructural con la finalidad de asegurarse de que las respuestas estén entre de los límites establecidos de aceptabilidad.

Límites de aceptación global de edificio

- a) **Cargas de Gravedad:** Cuando se determine el nivel en un determinado desempeño aceptable, la estructura debe permanecer intacta frente a sus cargas de gravedad. El conjunto de elementos estructurales debe ser capaz de desplazar estas cargas a otras partes del sistema estructural en el momento en que el elemento pierda su capacidad de soportar cargas gravitatorias.
- b) **Cargas Laterales:** Es inaceptable perder más del 20% de la resistencia límite de la edificación debido a la aplicación de cargas laterales provenientes de las fuerzas gravitatorias, este empuje lateral provocara desplazamientos laterales.
- c) **Desplazamientos Laterales:** Por último, es importante comparar los el desplazamiento objetivo con los máximos fijados según el nivel de desempeño.

El Comité Visión 2000, ha establecido derivas límites para cada uno de sus niveles de desempeño, se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Deriva máximas según el SEAOC/VISION 2000

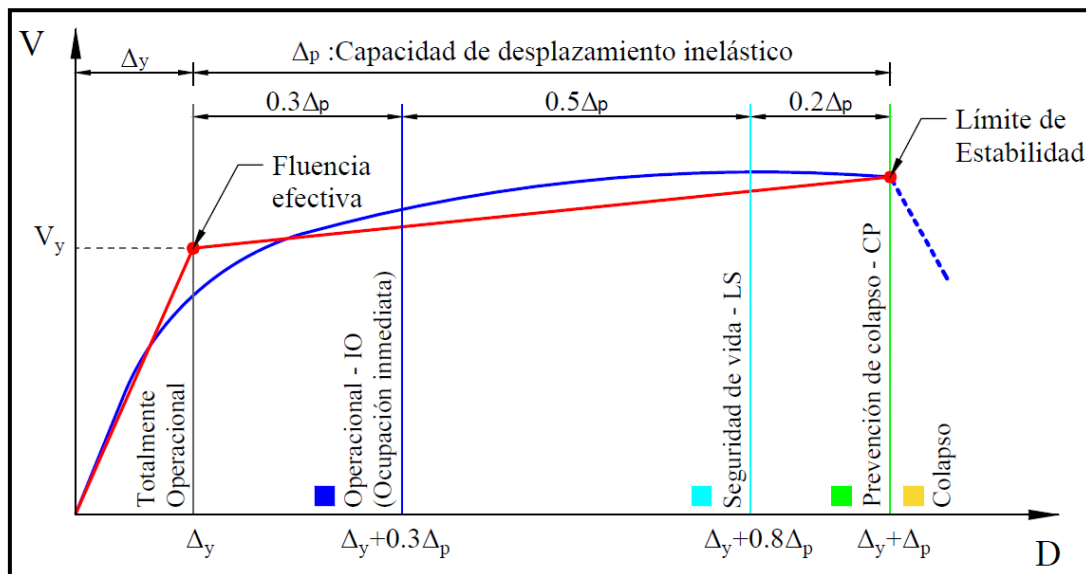
Drift	Performance level				
	Fully Operational	Operational	Life safety	Collapse prevention	Collapse
Permissible	< 0.002	< 0.005	< 0.015	< 0.025	> 0.025
Permanent	Despicable	Despicable	< 0.005	< 0.025	> 0.025

Fuente: SEAOC/VISION 2000 (1995)

El ATC-40 (1996), establece que, “los niveles de desempeño se ubican al sectorizar la curva bilineal o representación bilineal de la curva de capacidad”, como se muestra en la Figura 2:

Figura 2

Sectorización de la representación bilineal de la curva de capacidad



Fuente: ATC – 40 (1996)

Límites de aceptabilidad de elementos y componentes

- a) **Resistencia de componentes:** No está permitido superar la resistencia debido a la demanda que actúa en el punto de desempeño. La respuesta inelástica a acciones discretas controladas por deformación es aceptable cuando no se excedan las máximas de deformaciones.
- b) **Capacidad de deformación de componentes:** Las deformaciones determinadas no pueden superar las máximas deformaciones para los diferentes niveles de desempeño establecidos de cada componente o elemento estructural. Como criterio de aceptación, las deformaciones deben especificarse lo siguiente:

Componentes primarios y secundarios

- **Ocupación inmediata:** La deformación no debe ser superior a 0,67 veces el límite de deformación para la seguridad de la vida y no debe haber provocado daños irreversibles.

Componentes primarios:

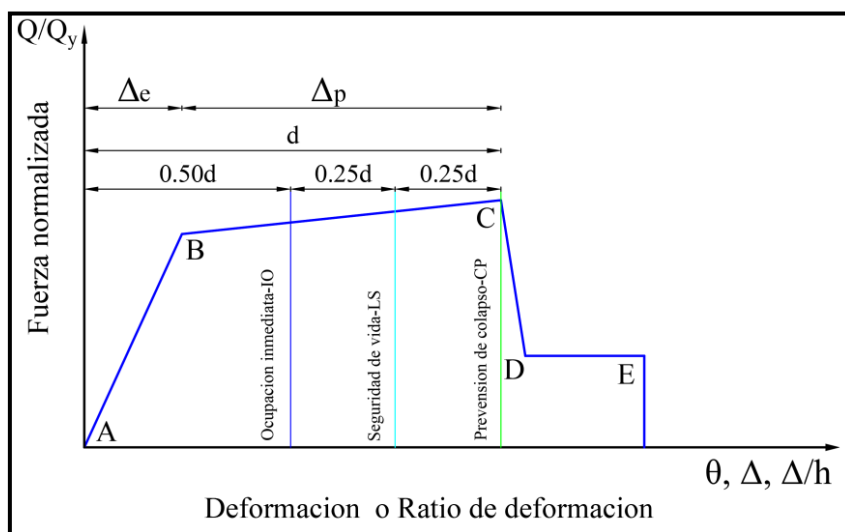
- **Seguridad de vida:** Se admite en un máximo de 0.75 veces, que corresponde a la deformación en el punto C
- **Prevención de colapso:** Corresponde al punto C, donde se experimenta la máxima deformación con la condición de no superar el punto E en 0.75 veces la deformación

Componentes secundarios

- **Seguridad de vida:** Esta en el intervalo del punto E de la curva sin superar el 0.75 veces de deformación.
- **Prevención de colapso:** Esta ubicado en el punto E de la curva, será 1,0 veces más deformado.

Figura 3

Sectorización para componentes primarios



Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

2.2.2. Análisis estático no lineal

Pinto (2019), hace mención: el Análisis No Lineal (ANL), donde considerara al comportamiento de una estructura próxima a su realidad, la estructura cuando fluye en el rango elástico y después pasa al rango plástico son estimados en el análisis y las propiedades de los materiales que forman parte de ella. Las estructuras de concreto armado, cuando son sometido a cargas monotónicas, incursionan en el rango inelásticos, los materiales como el concreto y acero de refuerzo experimentan deformaciones producto de la cortante basal, formando la curva de capacidad donde se puede analizar la respuesta sísmica de la edificación.

El autor citado hace mención uno de los objetivos del ANL, siendo la determinación de la respuesta estructural, estos resultados son consideradas a un escenario cercana a la veracidad que pueda experimentar la estructura en estudio, el comportamiento de los materiales y en general de la edificación es la más cercana posible a la realidad.

Duarte (2017), define: el análisis estático no línea (AENL), sobre resultados que se obtuvieron en investigación donde se sometieron a cargas laterales a la estructura, posteriormente observaron de manera organizada y secuencial la formación mecanismo de disipación de energía conocidas como rotulas plásticas. Con el tiempo se han aplicado en estructuras existentes para el reforzamiento necesario debido a la vulnerabilidad que estas puedan presentar a acciones naturales, como sismos y vientos. El principal objetivo de la aplicación del AENL en una edificación de concreto armado es establecer la capacidad resistente como respuesta ante una amenaza sísmica que experimente la estructura en estudio. La amenaza sísmica con el sitio donde está ubicado la edificación está relacionada

con la demanda, en cuanto a la capacidad estructural, está fijada a la rigidez, resistencia y deformación de cada elemento que componen la estructura.

El mismo autor recomienda, en el proceso de AENL, es importante contar con la información que se detalla:

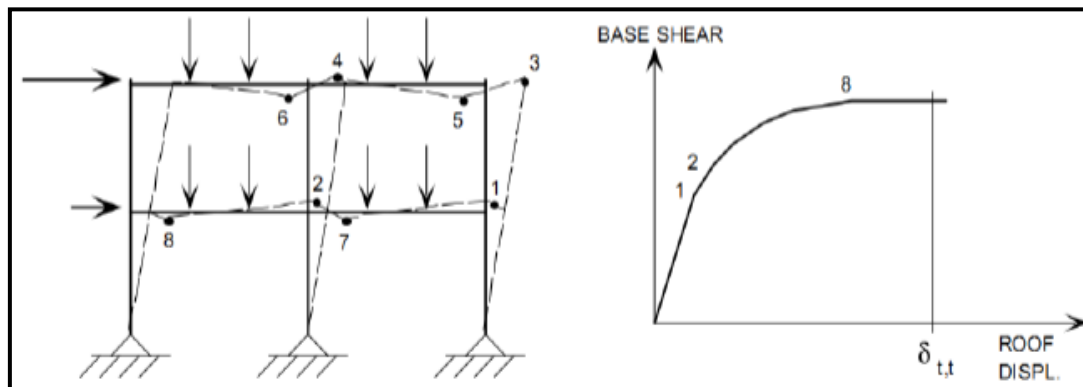
- Propiedades de los materiales
- Sección de los componentes de la estructura y cuantía del acero longitudinal y transversal.
- Las cargas constantes y variables que la componen
- La resistencia de vigas, columnas y placas
- Generación de rotulas plásticas y propiedades de esfuerzo deformación con los aceros de refuerzo cuantificado
- Cargas laterales aplicadas en el centro de masa conforme al modo fundamental de vibración

A continuación, el autor describe el proceso del AENL, que se inicia con la generación y aplicación de fuerzas gravitatorias, dando lugar a deformaciones iniciales del edificio en conjunto, y es seguido por el sometimiento al empuje de cargas monotónicas laterales que aumentan secuencialmente en la dirección de análisis hasta que incursiona en el rango inelástico visualizándose las primeras rótula plástica, que redistribuye la rigidez de los elementos estructurales de manera. Esto es un proceso iterativo hasta llevar al follo total o casi total de la estructura.

Paredes (2016), a través de la Figura 4, observa cómo actúan las cargas o fuerzas de gravedad (carga muerta, carga viva, carga de nieve), para posteriormente ser empujados por cargas laterales de manera monotónica y con este efecto se generan las rotulas plásticas con lo que finalmente se va creando la curva de capacidad.

Figura 4

Ilustración del Análisis Estático No Lineal



Fuente: Paredes (2016)

2.2.2.1. Patrón de cargas laterales.

Duarte et al. (2017), define que, estas fuerzas deberían ser proporcionales a las fuerzas de inercia que actúan sobre los diafragmas rígidos de cada entrepiso como el grupo de cargas laterales que se suministran al modelo matemático. Mínimamente deben ser aplicados 2 distribuciones de cargas laterales, la primera debe seleccionarse del modelo modal y el segundo del patrón de fuerzas laterales adaptativas.

Los mismos autores describen a detalle los dos patrones de fuerzas laterales que se da a conocer a continuación:

Patrón modal

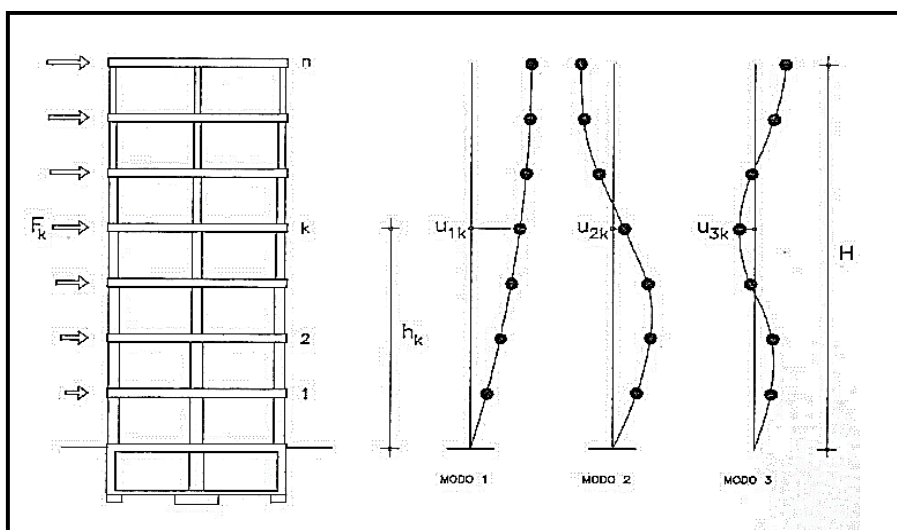
En este modelo las cargas laterales tienen tres distribuciones:

1. Distribución de cargas dispuestas en el análisis de fuerzas equivalentes, estas fuerzas deben ser de acuerdo al primer modo fundamental de vibración y sea mayor al 75% de la masa participativa.
2. Distribución vertical, también debe ser ajustado a la forma del primer modo fundamental de vibración en el eje global o dirección analizada, debe cumplir con ser mayor al 75% de la masa participativa.

3. Distribución en el sentido vertical ajustado a la fuerza cortante producto de las combinaciones modales, es importante que la cantidad de modos alcance el 90% a más de la masa total y el periodo fundamental de vibración exceda a 1.0 segundos

Figura 5

Modos principales de vibración de una estructura



Fuente: Duarte et al. (2017)

Patrón de fuerzas laterales adaptativas

Cargas laterales que corresponde al segundo patrón, las que se describen a continuación:

1. Distribución de carácter uniforme, reside en cargas laterales que deben ser ajustados a la participación de masa en cada entre piso
2. Distribución de cargas laterales adaptativas, se modifica en relación a la deformación de la estructura. Según a las características de la estructura cuando incursiona en la parte inelástica (modificación de la rigidez), la información del patrón de cargas se actualiza, es un proceso iterativo.

2.2.2.1.1. Cargas laterales

ASCE/SEI 41-17 (2017) define, “El modelo matemático recibirá cargas laterales que son proporcionales a la distribución de masas de cada diafragma de piso. La forma del modo básico en la dirección evaluada debe ser proporcional a la distribución vertical de estas fuerzas”

Las cargas de gravedad Q_G , tiene que ser estimado antes de ser sometido a fuerzas sísmicas a la estructura según la siguiente ecuación.

$$Q_G = Q_D + Q_L + Q_S \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Q_D = Carga Muerta

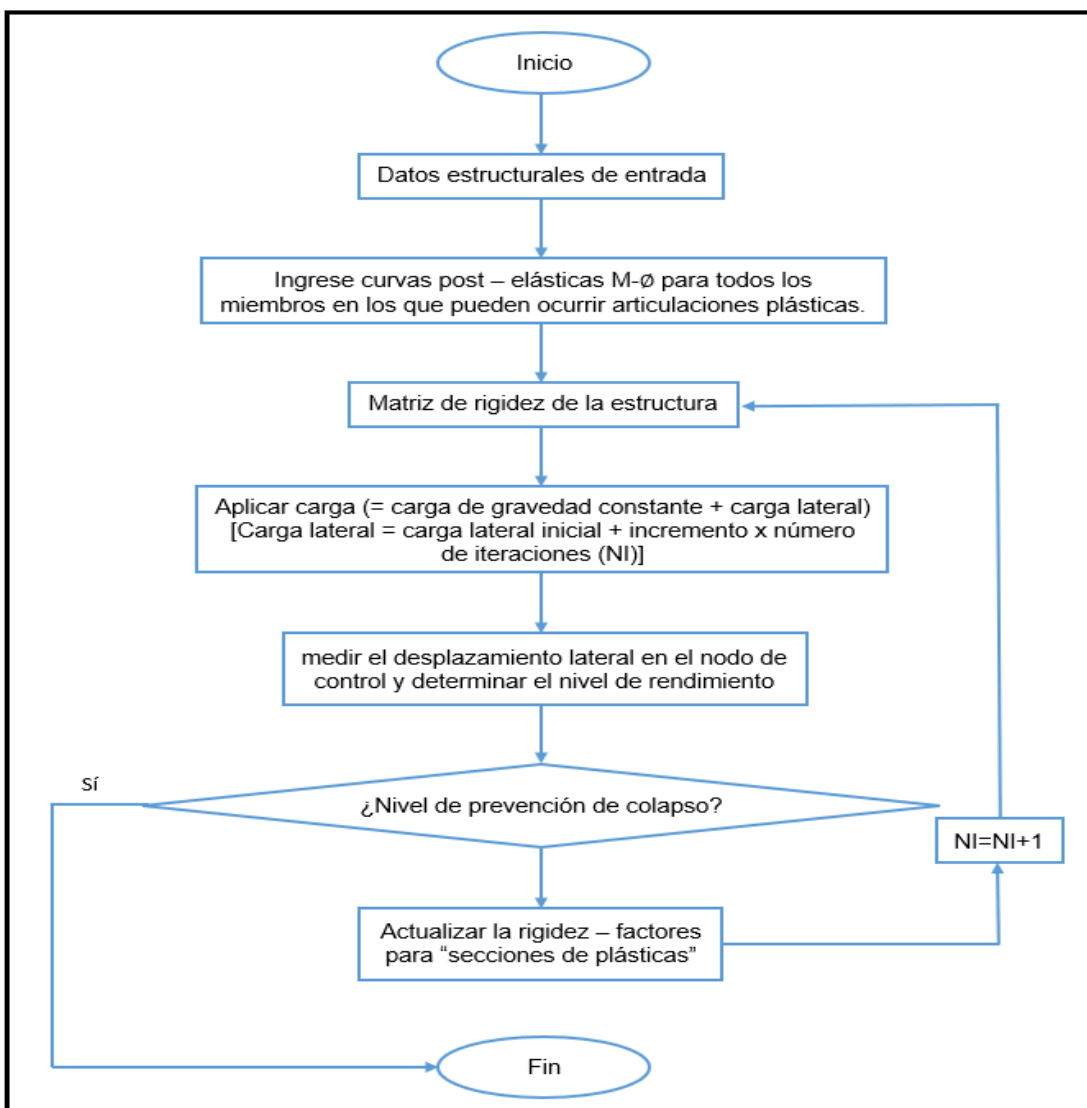
Q_L = Carga Viva efectiva, igual al 25% de la carga viva de diseño no reducido.

Q_S = Carga de Nieve

Luque (2020), sustenta; para realizar el análisis estático no lineal es importante fijar un patrón de cargas laterales incrementales, en el diagrama de flujo de la siguiente imagen se muestra el camino a seguir, el presente trabajo está bajo el enfoque de patrón de cargas adaptativo.

Figura 6

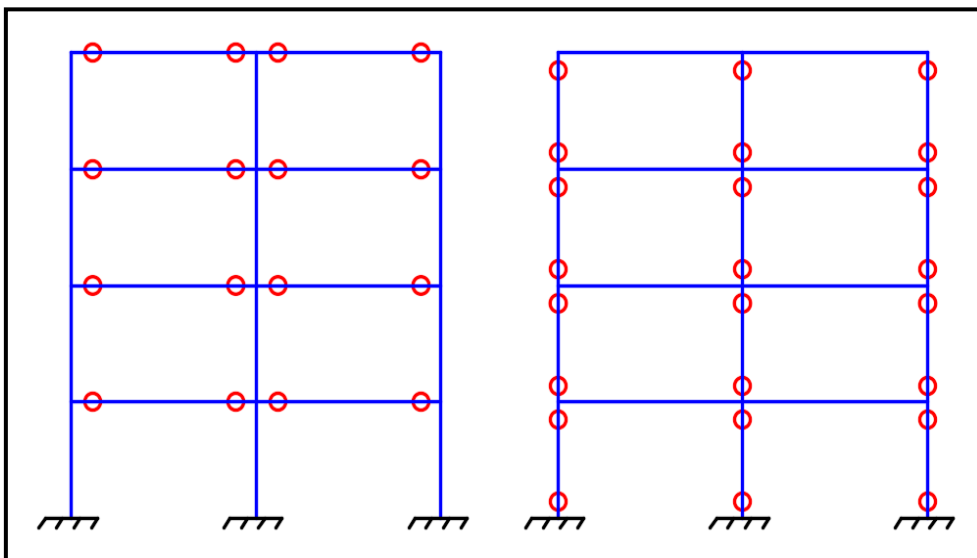
Diagrama de flujo del AENL



Fuente: Luque (2020)

2.2.2.2. Rotulas plásticas

Choque y Luque (2019), formulan a la rótula plástica como mecanismo que disipa energía, permitiendo el giro plástica de un elemento conservando un momento plástico casi constante. Es de suma importancia este dispositivo para definir la no linealidad de todo el edificio.

Figura 7*Rotulas plásticas en elementos estructurales**Fuente: Fernández (2020)*

Pérez (2019), subraya lo fundamental de la aplicación del AENL, que se prevé que produzca rótulas plásticas en lugares concretos, los que se determinan calculando la longitud plástica del elemento o componente estructural. La longitud plástica se encuentra entre la superficie perpendicular acoplada al elemento donde se desarrollan las rotulas plásticas sea en vigas o columnas y está definida por la siguiente expresión:

$$L_p = 0.08L + 0.022f_{ye}d_{al} \geq 0.044f_{ye}d_{bl} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

f_{ye} = Punto de fluencia en el acero de refuerzo

d_{al} = Diámetro del acero longitudinal

Pinto (2019), hace mención a la rótula plástica como el “estado donde la sección del elemento gira como si se encontrara articulada, el comportamiento de la rótula plástica, determinara la reducción gradual de la rigidez en las secciones y de la edificación en general”.

El ASCE 41-17 (2017) determina distintos parámetros que a continuación se muestran.

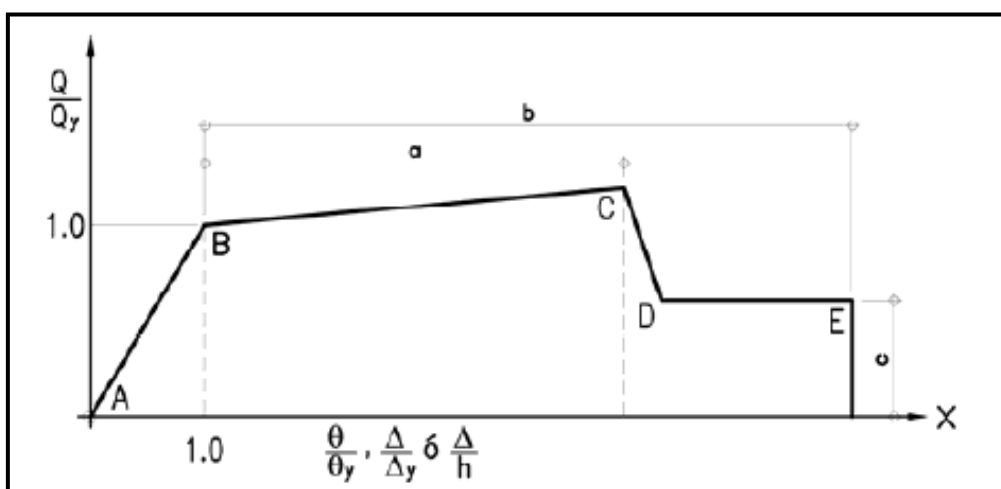
a = Deformaciones inelásticas estables

b = Deformaciones máxima hasta el punto de colapso

c = Resistencias residuales.

Figura 8

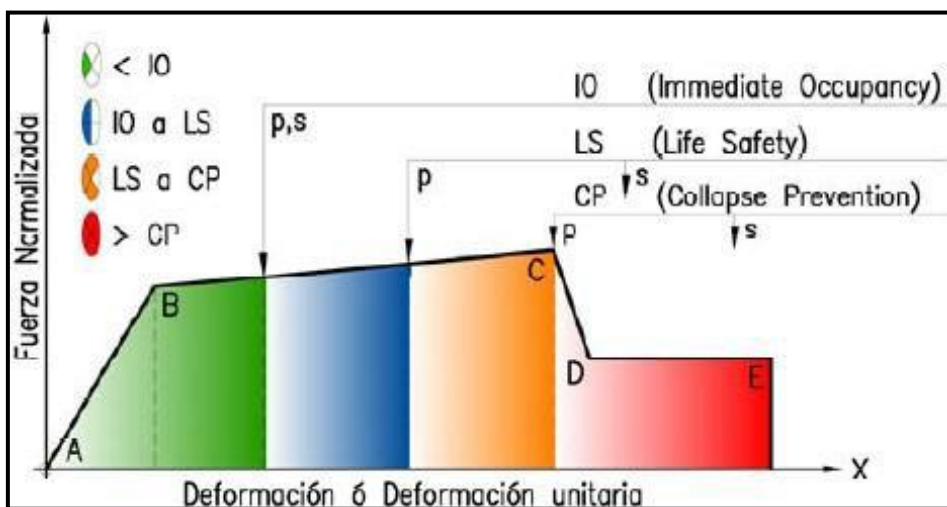
Parámetros de definición de rótulas plásticas.



Fuente: Luque (2020)

Figura 9

Ilustración de los criterios de aceptación.



Fuente: Luque (2020)

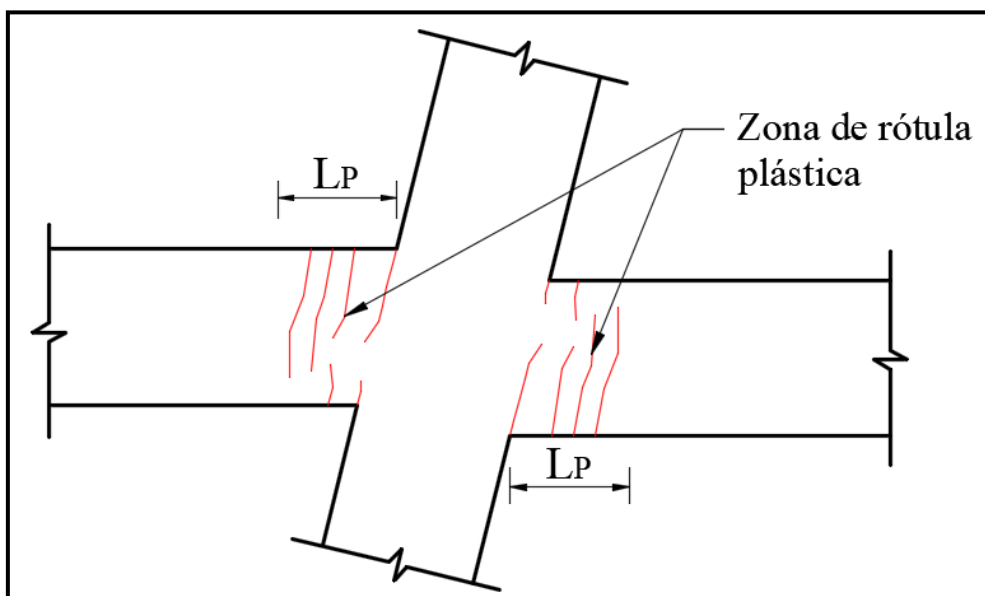
2.2.2.2.1. En vigas

Choque y Luque (2019), se refiere al hecho de que “durante un evento sísmico, las vigas exhiben un comportamiento no lineal que tiende a concentrarse en las áreas cercanas a los nodos a una distancia L , causando daños más concentrados hacia los nodos”.

Los mismos autores detallan, en el desarrollo de un modelo matemático se infunde una región de daño equivalente donde se concentra las deformaciones inelásticas a una distancia “ L_p ”, cómo se detalla en la Figura 10. Se presume una cercanía de L_p a 0.4 – 0.5 veces de la sección más larga de la viga ($L_p = 4\%d$ ó $5\%d$), asumiendo una curvatura constante.

Figura 10

Formación de rotulas plásticas en los extremos de la viga



Fuente: Choque y Luque (2019)

Tabla 4

Tabla de modelado de rotulas plásticas en vigas

Table 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams								
Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		Performance Level		
					IO	LS	CP	
Condition i. Beams controlled by flexure ^b								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ^d						
P_{bal}								
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

NOTE: f'_c in lb/in.² (MPa) units.
^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.
^bWhere more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
^c"C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at $\leq d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_s) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.
^d V is the design shear force from NSP or NDP.

Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

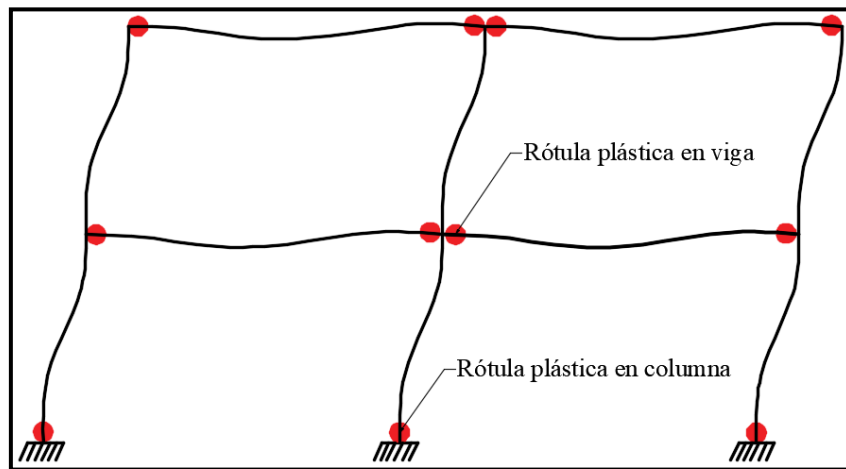
2.2.2.2.2. En columnas

Choque y Luque (2019), a diferencia de las rotulas plásticas en vigas, afirman que las rotulas plásticas en columnas dependen de la fuerza axial (P en compresión), en esta situación es importante verificar que la fuerza axial no supere la fuerza axial balanceada (P_b), con la finalidad de provocar una falla dúctil en la sección y la determinación de una rotula plástica.

Los mismos autores precisan de lo anterior, cada carga axial tendrá una ductilidad que será soportado por una sección y debe cumplir obligatoriamente $P < P_b$.

Figura 11

Formación de rotulas plásticas en columnas



Fuente: Choque y Luque (2019)

Tabla 5

Tabla de modelamiento de rotulas plásticas en columnas

Table 10-8. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns								
Conditions	Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a				
	Plastic Rotations Angle (radians)	Residual Strength Ratio	c	Plastic Rotations Angle (radians)				
				IO	LS	CP		
Condition i.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006	0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060	
≥ 0.6	≥ 0.006	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010	
≤ 0.1	$= 0.002$	0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034	
≥ 0.6	$= 0.002$	0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005	
Condition ii.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$						
≤ 0.1	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii.^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE: f'_c is in lb/in.² (MPa) units.
^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.
^bRefer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
^cWhere $P > 0.7A_g f'_c$, the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at $\leq d/3$ and the strength provided by the hoops (V_h) is at least 3/4 of the design shear. Axial load P should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.
^d V is the design shear force from NSP or NDP.

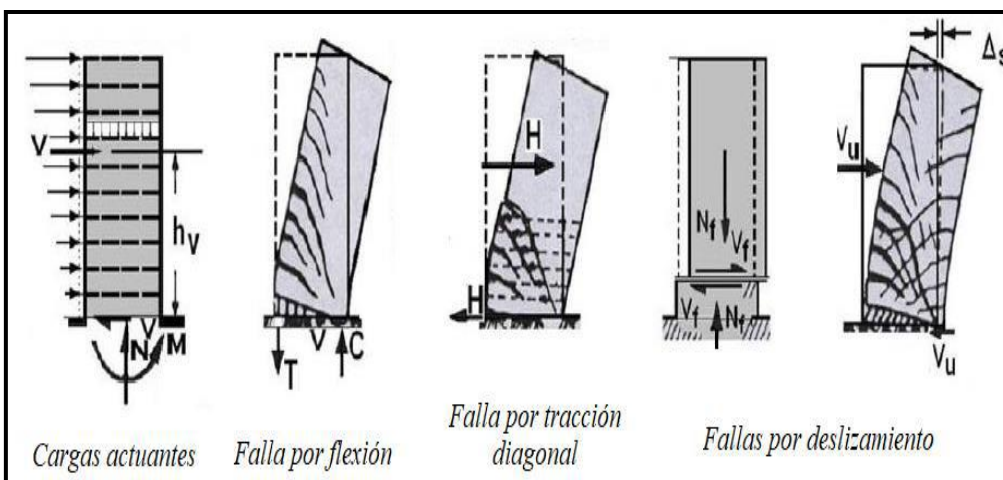
Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

2.2.2.3. En muros de corte

Choque y Luque (2019), aducen que los muros tienen un comportamiento según su altura – longitud, es una relación directamente proporcional. Es necesario tener en cuenta un fallo por deslizamiento ya que, en algunas circunstancias, la magnitud de la rótula plástica puede superar la extensión del muro, provocando grietas por flexión (tracción por flexión) junto a grietas de tensión diagonal y necesitando más refuerzo a cortante extremadamente significativo. Dependiendo de la disposición de la superficie de contacto, esto ocurre en los encuentros de entre pisos o entre la cimentación y el primer nivel.

Figura 12

Tipos de falla en muros portantes



Fuente: Blanco Blasco (1994)

Tabla 6

Tabla de modelamiento de rotulas plásticas en muros

Table 10-19. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—R/C Shear Walls and Associated Components Controlled by Flexure									
Conditions			Plastic Hinge Rotation (radians)		Residual Strength Ratio	Acceptable Plastic Hinge Rotation* (radians)			
			a	b		Performance Level			
					c	IO	LS	CP	
i. Shear walls and wall segments									
$(A_s - A'_s)f_y + P$	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$	Confined Boundary ^b	0.015						
≤ 0.1	≤ 4	Yes	0.010	0.020	0.75	0.005	0.015	0.020	
≤ 0.1	≥ 6	Yes	0.009	0.015	0.40	0.004	0.010	0.015	
≥ 0.25	≤ 4	Yes	0.005	0.012	0.60	0.003	0.009	0.012	
≥ 0.25	≥ 6	Yes	0.008	0.010	0.30	0.0015	0.005	0.010	
≤ 0.1	≤ 4	No	0.006	0.015	0.60	0.002	0.008	0.015	
≤ 0.1	≥ 6	No	0.003	0.010	0.30	0.002	0.006	0.010	
≥ 0.25	≤ 4	No	0.002	0.005	0.25	0.001	0.003	0.005	
≥ 0.25	≥ 6	No	0.002	0.004	0.20	0.001	0.002	0.004	
ii. Shear wall coupling beams ^c									
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ^d			$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$		0.050				
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement			≤ 3	0.025	0.040	0.75	0.010	0.025	0.050
			≥ 6	0.020	0.035	0.50	0.005	0.020	0.040
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement			≤ 3	0.020	0.025	0.50	0.006	0.020	0.035
			≥ 6	0.010	0.050	0.25	0.005	0.010	0.025
Diagonal reinforcement			NA	0.030	0.050	0.80	0.006	0.030	0.050

^aLinear interpolation between values listed in the table shall be permitted.
^bA boundary element shall be considered confined where transverse reinforcement exceeds 75% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. It shall be permitted to take modeling parameters and acceptance criteria as 80% of confined values where boundary elements have at least 50% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. Otherwise, boundary elements shall be considered not confined.
^cFor coupling beams spanning < 8 ft 0 in., with bottom reinforcement continuous into the supporting walls, acceptance criteria values shall be permitted to be doubled for LS and CP performance.
^dConventional longitudinal reinforcement consists of top and bottom steel parallel to the longitudinal axis of the coupling beam. Conforming transverse reinforcement consists of (a) closed stirrups over the entire length of the coupling beam at a spacing $\leq d/3$, and (b) strength of closed stirrups $V_s \geq 3/4$ of required shear strength of the coupling beam.

Table 10-20. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—R/C Shear Walls and Associated Components Controlled by Shear										
Conditions			Total Drift Ratio (%), or Chord Rotation (radians) ^a			Strength Ratio		Acceptable Total Drift (%) or Chord Rotation (radians) ^b		
			d	e	g	c	f	Performance Level		
								IO	LS	CP
i. Shear walls and wall segments ^b										
$(A_s - A'_s)f_y + P$	≤ 0.05		1.0	2.0	0.4	0.20	0.6	0.40	1.5	2.0
$(A_s - A'_s)f_y + P$	> 0.05		0.75	1.0	0.4	0.0	0.6	0.40	0.75	1.0
ii. Shear wall coupling beams ^c										
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ^d			$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f'_c}}$							
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement			≤ 3	0.02	0.030	0.60		0.006	0.020	0.030
			≥ 6	0.016	0.024	0.30		0.005	0.016	0.024
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement			≤ 3	0.012	0.025	0.40		0.006	0.010	0.020
			≥ 6	0.008	0.014	0.20		0.004	0.007	0.012

^aFor shear walls and wall segments, use drift; for coupling beams, use chord rotation; refer to Figures 10-5 and 10-6.
^bFor shear walls and wall segments where inelastic behavior is governed by shear, the axial load on the member must be $\leq 0.15A_g f'_c$; otherwise, the member must be treated as a force-controlled component.
^cConventional longitudinal reinforcement consists of top and bottom steel parallel to the longitudinal axis of the coupling beam. Conforming transverse reinforcement consists of (a) closed stirrups over the entire length of the coupling beam at a spacing $\leq d/3$ and (b) strength of closed stirrups $V_s \geq 3/4$ of required shear strength of the coupling beam.
^dFor coupling beams spanning < 8 ft 0 in., with bottom reinforcement continuous into the supporting walls, acceptance criteria values shall be permitted to be doubled for LS and CP performance.

Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

2.2.2.3. Coeficientes de desplazamiento

FEMA 440 (2005), conceptualizo al procedimiento de coeficientes de desplazamiento como aquel proceso estático no lineal primario fomentado en

FEMA 365, el desplazamiento objetivo, también conocido como punto de desempeño, es producido por la respuesta elástica del edificio correspondiente a un grado de libertad (1 GDL) multiplicándola por coeficientes (C_0 a C_3).

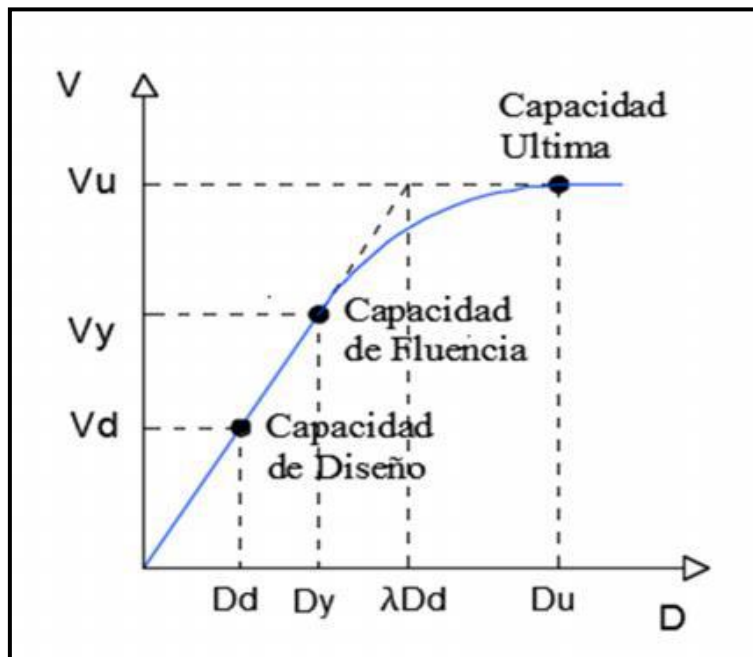
El mismo código refiere que la curva fuerza vs deformación idealizada donde el cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior o cubierta denota el inicio del proceso. De forma similar al periodo inicial " T_i ", el periodo efectivo " T_e " se crea a partir de él, teniendo en cuenta un porcentaje de disminución de rigidez en el cambio de rango elástico a inelástico. La rigidez lineal de la estructura de un grado de libertad (1 GDL) proporcional (oscilador) es representado por el periodo efectivo. El periodo efectivo revela una respuesta de aceleración máxima mostrando un espectro de respuesta elástica S_a vs T . La suposición estándar para el amortiguamiento es del 5%, para una edificación típica donde la reacción estará en la fase elástica.

2.2.2.3.1. Curva de capacidad

Sinisterra (2017), resume que, la determinación de la curva de capacidad de la edificación es a través de un AENL (análisis estático no lineal), a menudo conocido como "análisis Pushover", inicia con la adaptación de un patrón de carga mencionado anteriormente, se incrementa monótonamente, es decir, el desplazamiento de la estructura está determinado por cada incremento hasta llegar a una condición límite o de colapso, que ocurre más comúnmente en rangos no lineales o inelásticos, finalmente, el comportamiento de la estructura es como se puede observar en la Figura 13.

Figura 13

Curva de capacidad de la estructura



Fuente: FEMA 356 (2000)

ASCE/SEI 41-17 (2017), define como el “desplazamiento del techo y la cortante basal partiendo de la presunción de que el primer modo de vibración es la reacción dominante de la estructura, se construye con la intención de retratar la respuesta del primer modo de la estructura”.

2.2.2.3.2. Modelo bilineal de la curva de capacidad

ASCE/SEI 41-17, (2017). El capítulo 5 presenta las técnicas mejoradas de modificación del desplazamiento. Basándose en pruebas empíricas, ofrece recomendaciones y formulaciones de coeficientes, también se eliminó el coeficiente C_3 para ser remplazado un máximo de resistencia mínima (máximo valor de $R = \mu_{strength}$) con la finalidad de impedir la oscilación dinámica.

Este enfoque se conoce como el procedimiento para determinar el comportamiento sísmico en ASCE/SEI 41-17 y versiones anteriores.

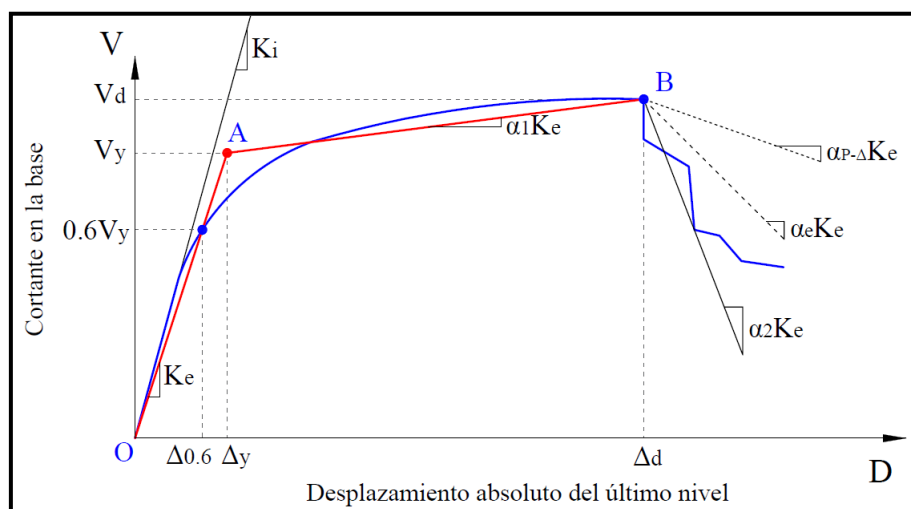
En la Figura 14, se puede observar el inicio del primer segmento que inicia en el origen, la pendiente es igual a la rigidez lateral efectiva K_e , la secante se determina para un cortante igual al 60% del cortante de fluencia de la edificación V_y .

El código en mención detalla, la curva donde la pendiente es positiva pos-fluencia $\alpha_1 K_e$, pertenece al segundo segmento, se determina al unir el punto (V_d, Δ_d) con la intersección del primer segmento, el resultado debe señalar que las áreas por encima de la curva deben ser igual que el área por debajo de la curva por el principio de energía. Cabe destacar que el punto (V_d, Δ_d) se encuentra en el punto de desempeño previsto o, si existe, en el mayor desplazamiento del cortante en la base de la curva de capacidad real, dependiendo cuál de los dos sea menor.

Finalmente, el ultimo segmento corresponde a la pendiente negativa pos-fluencia $\alpha_1 K_e$, representada por el par ordenado de puntos (V_d, Δ_d) y el punto donde la fuerza cortante en la base es disminuida a un 0.60 de la resistencia de fluencia efectiva.

Figura 14

Curva idealizada fuerza vs desplazamiento.



Fuente: FEMA 440 (2005)

2.2.2.3.3. Punto de desempeño

Cahuana y Ccaso (2021), describe el proceso del coeficiente de desplazamiento, “que utiliza un trazado bilineal idealizado de la curva de capacidad y factores de corrección, o coeficientes, para calcular numéricamente el punto de comportamiento sísmico de una estructura”.

El ASCE/SEI 41-17 (2017), propone el cálculo del desplazamiento objetivo o punto de desempeño mediante la ecuación algebraica que se detalla a continuación:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

S_a = Aceleración del espectro de respuesta con $R = 1$.

g = Factor de aceleración de la gravedad

C_0 = Factor que compara el desplazamiento de un sistema con múltiples grados de libertad (MDOF) con el desplazamiento de un sistema equivalente con un solo grado de libertad (SDOF). El factor de participación de la masa se determina tomando el número apropiado de la Tabla 7.

Tabla 7

Valores para el factor de modificación C_0

Number of Stories	Shear Buildings ^a		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

Note: Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
^a Buildings in which, for all stories, story drift decreases with increasing height.

Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

C_1 = Factor de modificación para relacionar los desplazamientos máximos inelásticos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta elástica lineal calculada por ecuación 4. Para períodos inferiores a 0,2 s, no es necesario tomar C_1 como mayor que el valor en $T = 0,2$ s. Para períodos superiores a 1,0 s, $C_1 = 1,0$.

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength}^{-1}}{aT_e^2} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

a = Factor de clase de sitio.

$a = 130$ para clasificación de sitio A o B

$a = 90$ para clasificación de sitio C

$a = 60$ para clasificación de sitio D, E o F

T_e = Período fundamental efectivo de la estructura (seg).

$\mu_{strength}$ = Calculada mediante la ecuación 5, es la relación entre el coeficiente de límite elástico y la demanda de resistencia elástica:

$$\mu_{strength} = \frac{S_\alpha}{V_y/W} C_m \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

V_y = Limite elástico estimado de la estructura, en función de la curva de capacidad idealizada.

W = Peso de toda la estructura

C_m = Factor de masa efectiva propuesta en la Tabla 8. En ocasiones, se permitirá C_m : tomado como el factor de participación de masa modal efectivo calculado para el modo fundamental utilizando un análisis de valor propio. C_m : se tomará como 1,0 si el período fundamental, T , es mayor que 1,0 s

Tabla 8*Factor de Masa Efectivo C_m*

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentrically Braced Frame	Steel Eccentrically Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

Note: C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T , in the direction of response under consideration is greater than 1.0 s.

Fuente: ASCE/SEI 41-17 (2017)

C_2 = Factor de transformación para representar cómo la degradación cíclica de la rigidez, el deterioro de la resistencia y la forma de histéresis afectan a la respuesta determinada por la Ecuación 6. Para períodos superiores a 0,7seg, $C_2 = 1,0$:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{180} \left(\frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

La siguiente ecuación determina la relación de resistencia máxima μ_{max} para las estructuras con rigidez negativa posterior a la fluencia.:

$$\mu_{max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4} \dots\dots\dots(7)$$

2.3. Marco conceptual

Análisis estático no lineal: El AENL es un método que se usa para estudiar el comportamiento de las estructuras cuando las relaciones entre las cargas y las respuestas no son lineales (Mamani, 2018).

Patrón de cargas laterales: El patrón de cargas laterales es una forma de representar las fuerzas que actúan sobre una estructura debido a acciones como el viento, el sismo o el empuje de tierra (Pardo, 2022).

Rotulas plásticas: Se trata de un segmento que permite la rotación conservando su resistencia a la flexión; a medida que aumenta la rotación en esta parte, las secciones vecinas se someten a una tensión cada vez mayor. A medida que

aumenta la tensión externa, pueden crecer las rótulas plásticas, convirtiendo el sistema en un mecanismo inestable (Harmsen, 2017).

Coeficientes de desplazamiento: Es un método que tiene un proceso algebraico de manera directa más reducido para determinar el desplazamiento de demanda. Simplifica al no requerir la curva de capacidad en espectro de capacidad (FEMA 356, 2000)

Desempeño estructural: El desempeño estructural es la capacidad que tiene una estructura de resistir y deformarse ante las acciones externas que la afectan, como el viento, el sismo o la gravedad (Pinto, 2019).

Objetivos de desempeño: Es un par conformado por los niveles de desempeño estructural y no estructural, así como por un nivel de peligrosidad sísmica elegido (Choque y Luque, 2019).

Nivel de desempeño: Un nivel de desempeño estructural es una categoría que describe el estado de una estructura después de un evento sísmico, en función de los daños físicos, la seguridad de los ocupantes y la funcionalidad de la edificación (ATC-40, 1999).

Rigidez: Es la capacidad de una estructura o elementos estructurales para resistir la deformación causada por una fuerza o un sistema de fuerzas (Cutimbo, 2016).

Curva de capacidad: Está formada por el desplazamiento lateral d vs fuerza cortante en la base V , conocida frecuentemente como la curva Pushover (ATC – 40, 1996).

Capacidad: Es la resistencia espectral final de un elemento estructural, omitiendo el factor de reducción (ϕ), que puede ser en flexión, cortante o esfuerzo axial. Se utiliza en el diseño de componentes estructurales de concreto armado (ATC – 40, 1996).

Sismo: Son movimientos telúricos provocados por la formación de nuevas fallas o por la reactivación de fallas antiguas. Pueden encontrarse en cualquier parte de la corteza terrestre, pero son más frecuentes cerca de las zonas orogénicas intraplaca y de los bordes de las placas tectónicas. La litosfera, la capa menos densa, más fría y más sólida de la estructura terrestre, está formada por rocas macizas y duras llamadas placas tectónicas (INDECI, 2021).

Peligro sísmico: Se refiere a las intensidades más altas que pueden producirse en un lugar determinado y describe hasta qué punto ese lugar está expuesto a movimientos sísmicos (Mamani, 2018).

Ductilidad: Es la capacidad de deformación inelástica con rigidez y pérdida de resistencia tolerable en un material, componente, eslabón o estructura en su conjunto.

Estructura: Se denomina así a un grupo de componentes resistentes que trabajan juntos para hacer frente a presiones o cargas permaneciendo siempre en un estado de equilibrio, lo que significa que todas las fuerzas y/o cargas que actúan sobre la estructura se equilibran entre sí (Delgado, 2011).

Elementos estructurales: Edificios, puentes, presas y otras estructuras incluyen componentes estructurales que trabajan para soportar las diversas tensiones provocadas por las presiones verticales y horizontales (Cutimbo, 2016).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

La presente investigación por ser de nivel puramente descriptivo, las hipótesis son de naturaleza invariable, donde responde a los problemas descriptivos, de tal manera que son conjeturas referidas a las características del objeto de estudio (Ñaupas et al. 2014)

3.1.1. Hipótesis general

El desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes se determina mediante la aplicación del análisis estático no lineal.

3.1.2. Hipótesis específicas

- H1.** El patrón de cargas laterales interviene en la determinación del desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.
- H2.** Las rotulas plásticas se desarrollan en la determinación el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.
- H3.** El coeficiente de desplazamiento define el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.
- H4.** Los objetivos de desempeño predicen el desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes
- H5.** El nivel del desempeño define el desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes

3.2. Método

Deductivo.

El método es deductivo, pues el estudio partió de un hecho general a uno particular, siguiendo un proceso y se aplica el método científico para obtener resultados

3.3. Tipo de investigación

Básica

Se hará uso de conceptos teóricos de las normas americanas ASCE/SEI 41-17 y SEAOC/VISION 2000, para conocer el comportamiento del nivel de desempeño estructural del bloque II de la UTEA.

3.4. Enfoque de investigación

Cuantitativa

Ñaupas et al. (2014), señalan que, el enfoque cuantitativo se caracteriza por el empleo de métodos y técnicas que implican la medición, el uso de números, la observación y medición de unidades analíticas, el muestreo y el análisis estadístico. Análogamente en la presente investigación, se observó, cuantifico, comparo y describió el desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes.

3.5. Nivel o alcance de investigación

Descriptivo

Baptista (2014) conceptualiza al nivel descriptivo como la “descripción de fenómenos en circunstancias reales, en un tiempo y área geográfica definida, con la finalidad de describir variables y estimar parámetros”.

La presente investigación, reúne las condiciones para ser una investigación de nivel descriptivo, fundamentalmente porque se medirá, evaluará y recolectará datos sobre diversos conceptos (variables), características, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

Asimismo, se describirá el nivel de desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA por medio de la aplicación del AENL.

3.6. Diseño de investigación

No experimental – Transversal Descriptivo

Hernández y Mendoza (2018), conceptualiza como, el estudio se llevó a cabo sin manipulación intencionada de las variables. En otras palabras, en estos estudios no se modifican intencionadamente los factores independientes para observar cómo afectan a las variables dependientes. En el transcurso de la investigación, se

observan acontecimientos reales en lugar de provocarlos intencionadamente, son estudios puramente descriptivos.

En esta investigación, observaremos como el desempeño estructural es determinado a partir de la aplicación del AENL, los resultados observados son producidos durante la ejecución de la tesis en un momento y tiempo determinado.

3.7. Operacionalización de variables

3.7.1. Variable I

Análisis estático no lineal.

Huamán (2016), es un método que consiste en aplicar cargas laterales de forma monótona, con la finalidad de producir desplazamientos laterales en cada entre piso, mostrando la incursión en el rango no lineal de tal modo que permitirá identificar los puntos de falla en los elementos estructurales, hasta llegar al colapso de la estructura.

3.7.2. Variable II

Desempeño estructural

Duarte et al. (2017), describen que, para que el comportamiento de la estructura sea coherente con los objetivos de desempeño, debe ser capaz de soportar las demandas sísmicas durante un periodo de tiempo adecuado. El comportamiento de la estructura puede evaluarse una vez identificada la curva de capacidad y, a su vez, el desplazamiento de la demanda. El comportamiento de la estructura demuestra que tanto sus elementos estructurales como no estructurales no han sufrido daños que superen los límites permitidos establecidos por los objetivos de desempeño.

Tabla 9 Matriz de Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de Medición
<p>Variable I:</p> <p>Análisis estático no lineal.</p> <p>Huamán (2016), es un método que consiste en aplicar cargas laterales de forma monótona, con la finalidad de producir desplazamientos laterales en cada entre piso, mostrando la incursión en el rango no lineal de tal modo que permitirá identificar los puntos de falla en los elementos estructurales, hasta llegar al colapso de la estructura.</p>	<p>Patrón de cargas laterales</p> <p>ASCE/SEI 41-17 (2017) son fuerzas o cargas laterales proporcionales a la representación del modo fundamental, estas cargas se aplicarán al modelo matemático y también serán ajustados a las fuerzas de inercia que actúan en cada diafragma.</p>	Cargas laterales	2.1.1	Toneladas
	<p>Rotulas plásticas</p> <p>Choque y Luque (2019) dispositivo de disipación de energía, permitiendo la rotación plástica de un elemento, que se mantiene casi constante el momento plástico.</p>	En vigas	2.2.1	Metros
	<p>Coefficientes de desplazamiento</p> <p>FEMA 356 (2000) este método tiene un proceso numérico de manera directa más reducido para determinar el desplazamiento de demanda. Simplifica al no requerir la curva de capacidad en espectro de capacidad.</p>	En columnas	2.2.2	Metros
		En muros de corte	2.2.3	Metros
		Curva de capacidad	2.3.1	Metros, Toneladas
	<p>Objetivos de desempeño.</p> <p>Choque y Luque (2019) un objetivo de desempeño es un par formado por un nivel de peligro sísmico seleccionado y un nivel de desempeño estructural y no estructural.</p>	Modelo bilineal de la curva de capacidad	2.3.2	Metros, Toneladas
		Punto de desempeño sísmico	2.3.3	Metros, Toneladas
<p>Variable II:</p> <p>Desempeño estructural</p> <p>Pinto (2019) el diseño justificado en el desempeño sísmico, se basa en la designación de esquemas de correctas evaluaciones que perturban el dimensionamiento y detalle de sus elementos, así como sus componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de modo que, para niveles de movimiento del sitio y ciertos niveles de fiabilidad, las edificaciones en estudio no deberían superar ciertos estados de límite.</p>	<p>Nivel de desempeño</p> <p>Luque (2020) es el resultado de un daño en su máxima extensión, considerando las condiciones de los elementos estructurales y no estructurales con el contenido, y debe ser relacionado con el empleo de la edificación. La expresión de los niveles de desempeño es de manera cualitativa de significado público y en conceptos técnicos propios de la profesión para el diseño o evaluación de edificaciones existentes.</p>	Objetivos de desempeño según el SEAOC/VISION 2000	1.1.1	Metros, tonelada
		Nivel de desempeño según el SEAOC/VISION 2000	1.2.1	Totalmente operacional, Ocupación Inmediata (IO), Resguardo de vida (LS), Cerca al colapso (CP) y Colapso

3.8. Población, muestra y muestreo

3.8.1. Población

Silvestre y Huamán (2019), definen al universo o población, como el un conjunto de componentes conocidos como unidades de análisis (personas, cosas, organizaciones, sucesos, comunidades, circunstancias, acontecimientos, etc.). Se designa con la letra (N) mayúscula. En cualquier caso, el término "universo" o "población" se refiere a todos los componentes sociales y naturales del área de estudio.

En esta investigación, la población N será el conjunto de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes que está compuesto por 04 bloques.

3.8.2. Muestra y muestreo

Hernández y Mendoza (2018), refiere que una muestra es una porción de la población que le interesa sobre la que se recopilarán datos pertinentes, y debe ser representativa de esa población (en un sentido probabilístico, para que pueda generalizar a la población las conclusiones descubiertas en la muestra).

Para la presente investigación, la muestra se ha determinado de manera conveniente, para efectos de análisis más verídicos y respuestas acercadas a la realidad, se escogió el Bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.

3.9. Técnicas e instrumentos

3.9.1. Técnica de recolección de datos.

Silvestre y Huamán (2019), refieren que un investigador utiliza un conjunto de procesos conocidos como técnicas de investigación para alcanzar determinados objetivos o abordar una cuestión concreta.

Para esta investigación se ha determinado la técnica de la Observación Directa, los datos observados se comparan con tablas establecidas por la ASCE/SEI 41-17 y SEAOC/VISION 2000.

- ✓ Objeto de la observación: Desempeño Estructural
- ✓ Observador: el Investigador
- ✓ Circunstancias que ocurre la observación: Laboratorio de informática
- ✓ Medios de observación: Percepción del investigador, equipo informático, procesamiento de datos y documentos normativos.
- ✓ Conocimientos Observados: Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones.

3.9.2. Instrumentos de recolección de datos.

Silvestre y Huamán (2019), al respecto refiere que, es un recurso físico que el investigador utiliza para captar información o datos sobre la variable estudiada. Estos instrumentos de medición deben ser legítimos y fiables para garantizar la exactitud de los resultados.

La investigación actual, los instrumentos de acopio de información y datos para el análisis estático no lineal fueron:

- ✓ Expediente técnico del proyecto
- ✓ Normas técnicas
- ✓ Software de análisis estructural
- ✓ Fichas de recolección de información y datos validadas

3.10. Consideraciones éticas

Honestidad, la presente investigación, se ha definido de acuerdo a la condición problemática del objeto de estudio, se procesarán los datos acordes a los

datos encontrados, lo que obedece a que el trabajo sea original y único en todos los aspectos metodológicos.

Reconocer a los autores bibliográficos, por ser de justicia al desempeño de investigar y aportar con conocimientos.

Responsabilidad, la presente investigación se elaboró conforme al cronograma de actividades planteada, del mismo modo, los instrumentos y normas a ser consultadas, con el que cumpliremos fielmente para obtener datos fidedignos.

3.11. Procesamiento de datos estadísticos

Se empleo un estudio de los resultados obtenidos del AENL mediante tablas propuestas por el ASCE/SEI 41-17 y SEAOC/VISION 2000, con el objetivo de verificar el nivel de desempeño del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS LINEAL DE LA ESTRUCTURA

4.1.1. Descripción de la edificación de estudio

El bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, está compuesta por elementos verticales como columnas y muros de corte, y elementos horizontales como vigas y losas aligeradas.

El modo de estructuración estimado ha ofrecido una solución estructural adecuada permitiendo disponer de suficientes componentes que dan rigidez y desplazamientos laterales dentro de lo estipulado.

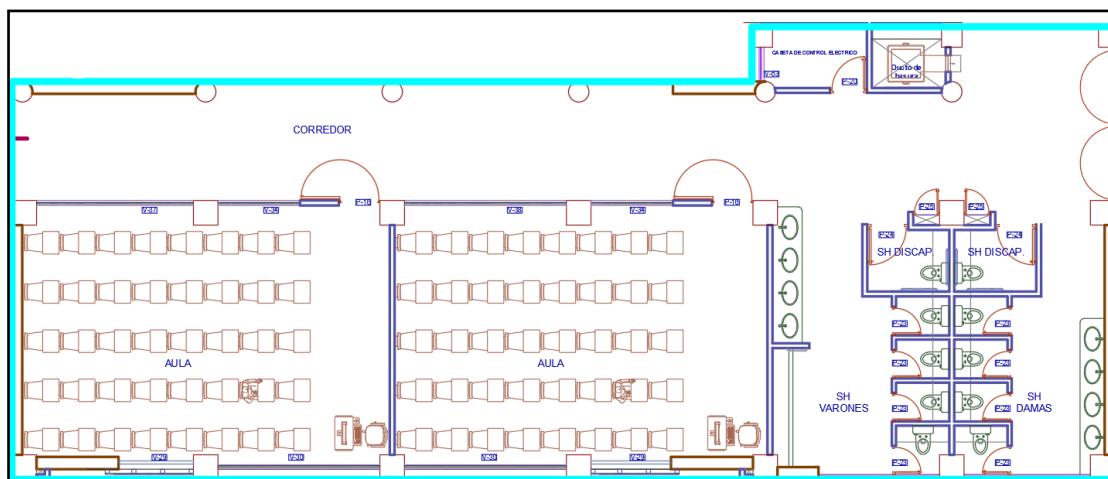
4.1.2. Sistema estructural de muros estructurales

Se verifico la composición estructural del bloque II de las aulas inteligentes como losas aligeradas con luces comprendidas entre 4,20 m y 5,60 m, columnas con alturas entre 3,00 m y 6,50 m. vigas peraltadas en la dirección principal de

mayor luz y dirección secundaria, también compone los muros de corte en la dirección X y en la dirección Y, estos últimos elementos prevalecen en la elección del sistema estructural.

Figura 15

Propuesta arquitectónica de proyecto



Nota: En la Figura 15, se observa la distribución arquitectónica del bloque II de aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes.

4.1.2.1. Sección de elementos estructurales

Todas las geometrías de los elementos estructurales como vigas, losas, columnas y muros de corte, se encuentran detallados en el anexo, planos estructurales del proyecto, también están los detallados de los aceros de refuerzo longitudinal y transversal de cada elemento, las características que debe cumplir según la norma E.060, concreto armado.

4.1.2.2. Análisis por cargas de gravedad

Conforme a lo establecido en el RNE E.020, se realizó un metrado detallado de cargas y se utilizaron los pesos unitarios de los materiales y las sobrecargas, posteriormente asignados al modelo matemático con la ayuda del programa etabs, las que se detallan a continuación:

Tabla 10*Metrado de Cargas*

Tipo de carga distribuida	Peso (kgf)
Carga Muerta	250
Carga Muerta en Techo	150
Carga Viva	300
Carga Viva de Techo	100

Nota: en la Tabla 10, se muestra las cargar que fueron introducidos al modelo matemático para su análisis.

Conforme a la RNE E.030 el cálculo del peso sísmico para edificaciones esenciales (categoría A2) se determinó de la siguiente manera:

$$P_{sismico} = CM + 50\%CV + 25\%CVT$$

En la Tabla 11, Se visualiza los pesos sísmicos concentrados de cada nivel de entre pisos. Para el estudio de las masas concentradas, las cargas de gravedad se concentran en el centro de masas de cada entre piso, teniendo en cuenta tanto la mitad superior como la inferior en cada nivel estudiado.

Tabla 11*Peso sísmico*

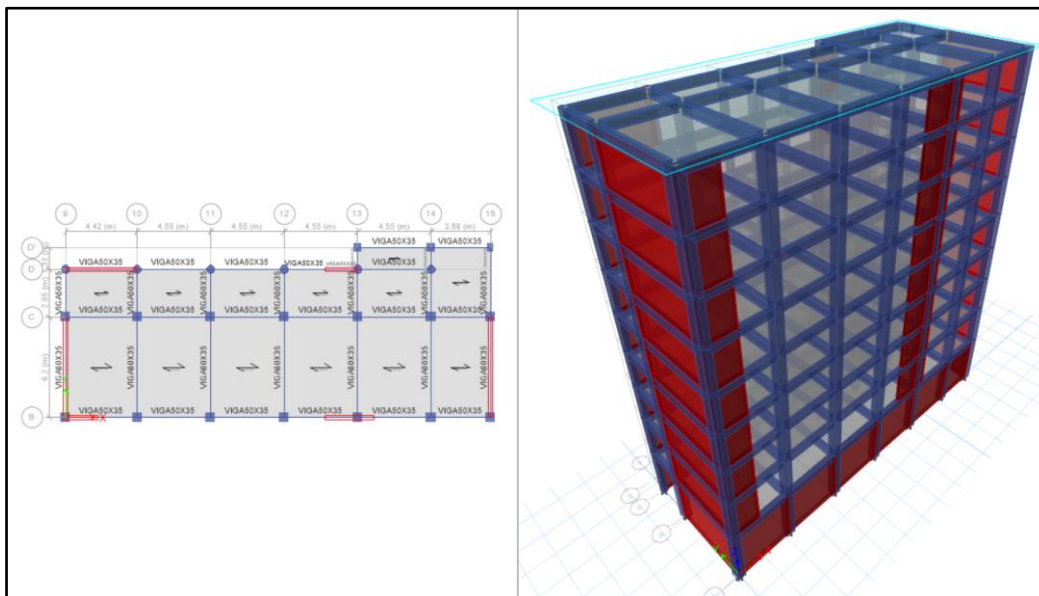
Nivel	Masa	Gravedad	Peso Sísmico
	ton	m/s ²	tonf
T8	21.530	9.81	211.2083
T7	30.046	9.81	294.7535
T6	30.046	9.81	294.7535
T5	30.046	9.81	294.7535
T4	30.046	9.81	294.7535
T3	30.046	9.81	294.7535
T2	30.046	9.81	294.7535
T1	30.444	9.81	298.6572
SOT 1	31.761	9.81	311.5780
	TOTAL		2589.9646

Nota: En la Tabla 11, se muestra el desarrollo del peso sísmico del bloque II de aulas inteligentes de la UTEA.

Continuamente, mostramos el modelo matemático del sistema estructural del edificio en el software etabs, con lo que idealizaremos matemáticamente el comportamiento real de la estructura.

Figura 16

Vista en planta y 3D del modelo



Nota: En la Figura 16, se muestra el modelo matemático en 3D de la edificación.

4.1.2.3. Análisis sísmico

4.1.2.3.1. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

Para la determinación de las cortantes en la base del sismo estático, se partirá de la ecuación 8 establecida en la NTP E.030.

$$V = \frac{ZUCS}{R} P \dots\dots\dots (8)$$

Siendo:

Tabla 12*Parámetros sísmicos*

Parámetro	Valor	Descripción
Z	0.25	Z2 – Factor de Zona
U	1.5	A2 – Categoría (Universidad)
S	1.20	S2 – Perfil de Suelo
T _p	0.60	Periodo que define la plataforma del factor C
T _L	2.00	Periodo que define el inicio de la zona del factor C

Nota: En la Tabla 12, se muestra los parámetros sísmicos propios de la ubicación donde se ha construido la edificación.

Es importante determinar los periodos fundamentales de vibración para la dirección X e Y, mediante un análisis modal considerando tres modos de vibración por piso.

Tabla 13*Principales modos de vibración*

Modo	T(s)	Descripción
I	0.513	Traslación en el eje global X
II	0.412	Traslación en el eje global Y
III	0.285	Rotación en el global Z

Nota: En la Tabla 13, se muestra los modos fundamentas de vibración de la edificación en estudio.

Par la dirección “X-X” e “Y-Y”, T cumple con la condición de $T < T_p$

$$C_x = 2.5$$

$$C_y = 2.5$$

El sistema estructural de la edificación en la dirección “X” corresponde a Dual, en “Y” es de muros estructurales, por lo tanto, el coeficiente básico de reducción R_0 será:

$$R_{0x} = 7$$

$$R_{0y} = 6$$

La estructura muestra regularidad en planta como en altura en X e Y, entonces:

$$I_a = I_p = 1$$

Una vez determinado el análisis estático, se verificarán los resultados tomados en esta sección, el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas es:

$$R_x = R_y = 6$$

Se debe verificar que, C/R debe ser mayor que 0.11

$$\frac{C_x}{R_x} = 0.3571 > 0.11$$

$$\frac{C_y}{R_y} = 0.4167 > 0.11$$

Finalmente se ha determinado la fuerza basal estático para X e Y, conociendo que el peso sísmico de la edificación $P = 2627.16$ tonf.

Tabla 14

Cortante basal estático

DIRECCIÓN	V (tonf)	% PESO SÍSMICO
XX	416.5409	16.08%
YY	485.9644	18.76%

Nota: En la Tabla 14, se muestra el cortante en la base con el porcentaje de participación del peso sísmico.

4.1.2.3.2. Análisis dinámico modal espectral

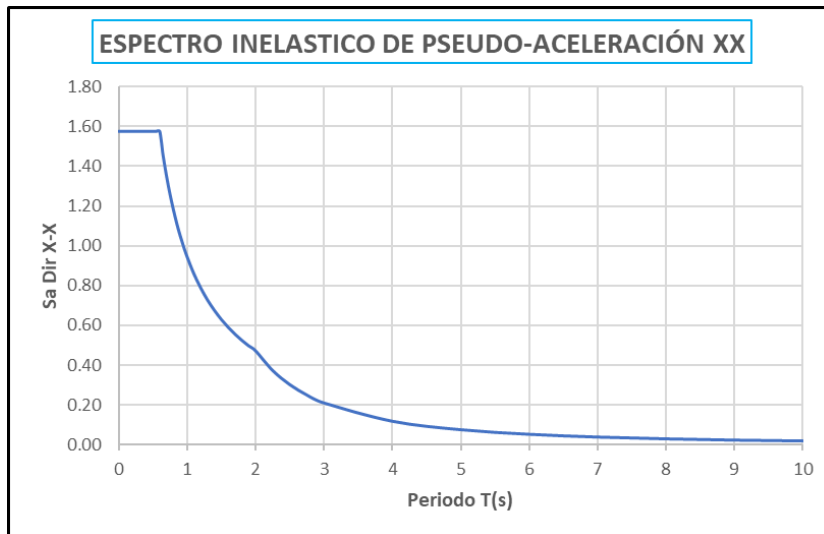
En un análisis espectral donde se ha utilizado una composición de efectos modales y un espectro de pseudo aceleración. En el análisis de cada dirección se

utilizará un espectro de respuesta inelástico de pseudo – aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \dots\dots\dots (9)$$

Figura 17

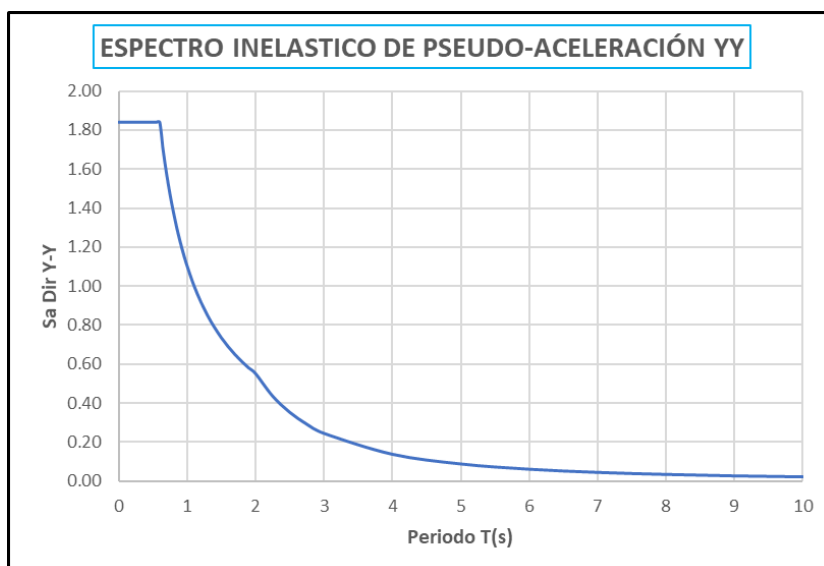
Espectro de pseudo aceleración para X (NTE E.030)



Nota: En la Figura 17, se muestra el espectro inelástico de pseudo-aceleración desarrollada conforme al RNE E.030 para el análisis del eje global X

Figura 18

Espectro de pseudo aceleración para Y (NTE E.030)

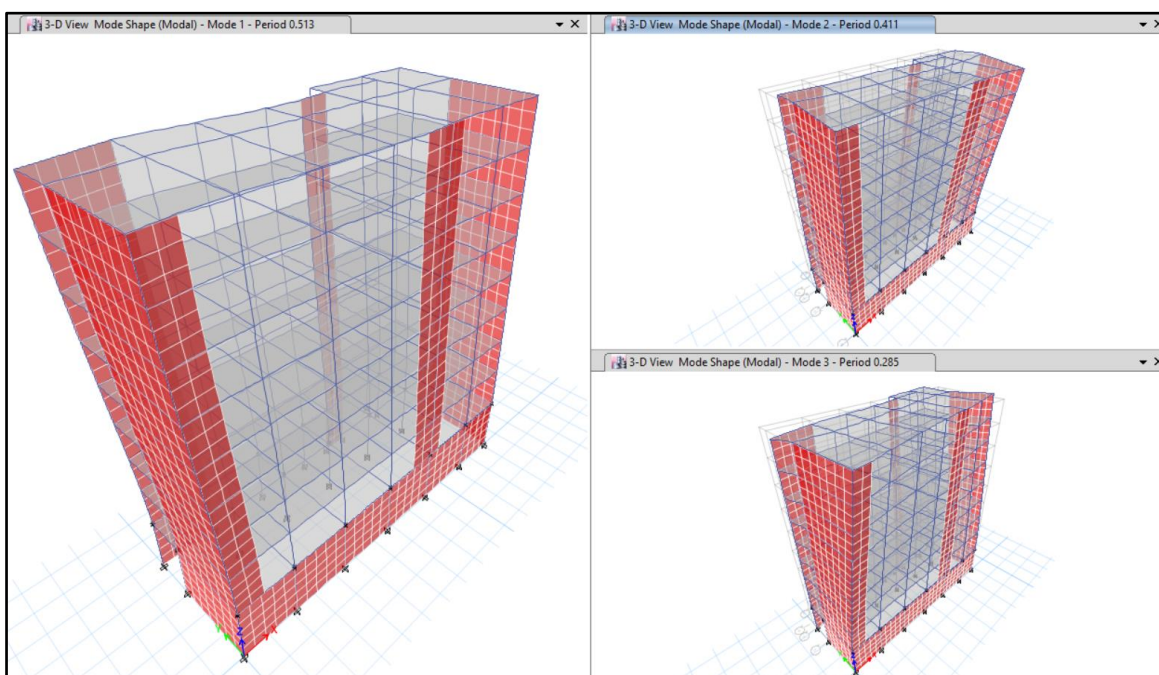


Nota: En la Figura 18, se muestra el espectro inelástico de pseudo-aceleración desarrollada conforme al RNE E.030 para el análisis del eje global Y.

En el modelo matemático, se establecieron los parámetros de combinación modal CQC, esto nos ayudara a visualizar y determinar la respuesta de la estructura ante el sometimiento de un sismo.

Figura 19

Modos de vibración predominantes



Nota: En la Figura 19, se visualiza los modos fundamentas de vibración de la edificación.

4.1.2.4. Verificación de requerimientos mínimos

Cortante dinámico

Conforme a la NTP E.030, se debe verificar que las fuerzas cortantes dinámicas deben ser mayor o igual al 80% de las fuerzas cortantes estáticas, en estructuras regulares. Todas las estructuras de categoría A2, deben ser regulares tanto en planta como en altura.

Tabla 15*Verificación del cortante dinámico*

Dirección	Tipo de sismo	Fuerza cortante (tonf)	% de verificación	Verificación
XX	Sismo estático	269.8971		Cumple
	Sismo dinámico	215.9177	80% del sismo estático	
YY	Sismo estático	478.8766		Cumple
	Sismo dinámico	383.1013	80% del sismo estático	

Nota: En la Tabla 15, se visualiza la determinación del cortante dinámico conforme al RNE

E.030.

Sistema estructural

El sistema estructural propuesto es de: muros estructurales, la NTP E.030, indica que el sistema debe resistir las fuerzas sísmicas sobre los que actúa por lo menos el 70% de las fuerzas cortantes en la base.

Tabla 16*Verificación del sistema estructural*

Dirección	Cortante Basal (tonf)	Cortante en la Base (tonf)		% Cortante Muros	Sistema Estructural
		Columnas	Muros		
XX	416.5295	161.1063	255.4232	61.32%	Dual
YY	485.5337	106.7546	378.7791	78.01%	Muros estructurales

Nota: En la Tabla 16, se muestra la determinación del sistema estructural del bloque II de aulas inteligentes – UTEA.

Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El RNE E.030, indica que los desplazamientos laterales relativos admisibles no deben ser mayor que 0.007, el cálculo de los desplazamientos laterales obtenidas del análisis lineal elástico para estructuras regulares es la multiplicación de 0.75R para las direcciones en estudio

Tabla 17*Derivas de entre piso dirección X*

Piso	Desp. (m)	Desp. (cm)	$\Delta=0.75*R*D$	$\delta=\Delta_{i+1}-\Delta_i$	hi (m)	Dist.= δ/hi	Verificación
T8	0.000151	0.015072	0.0791280	0.0077017	3.00	0.002567	Correcto
T7	0.000136	0.013605	0.0714263	0.0089355	3.00	0.002979	Correcto
T6	0.000119	0.011903	0.0624908	0.0101115	3.00	0.003371	Correcto
T5	0.000100	0.009977	0.0523793	0.0110775	3.00	0.003693	Correcto
T4	0.000079	0.007867	0.0413018	0.0115710	3.00	0.003857	Correcto
T3	0.000057	0.005663	0.0297308	0.0113558	3.00	0.003785	Correcto
T2	0.000035	0.003500	0.0183750	0.0101745	3.00	0.003392	Correcto
T1	0.000016	0.001562	0.0082005	0.0082005	3.50	0.002343	Correcto

Nota: En la Tabla 17, se visualiza la determinación de las derivas de entre piso en la dirección X del bloque II de aulas inteligentes.

Tabla 18*Derivas de entre piso dirección Y-Y*

Piso	Desp. (m)	Desp. (cm)	$\Delta=0.75*R*D$	$\delta=\Delta_{i+1}-\Delta_i$	hi (m)	Dist.= δ/hi	Verificación
T8	0.000158	0.015808	0.0711360	0.0091080	3.00	0.003036	Correcto
T7	0.000138	0.013784	0.0620280	0.0096435	3.00	0.003215	Correcto
T6	0.000116	0.011641	0.0523845	0.0099180	3.00	0.003306	Correcto
T5	0.000094	0.009437	0.0424665	0.0099540	3.00	0.003318	Correcto
T4	0.000072	0.007225	0.0325125	0.0096300	3.00	0.003210	Correcto
T3	0.000051	0.005085	0.0228825	0.0088740	3.00	0.002958	Correcto
T2	0.000031	0.003113	0.0140085	0.0076185	3.00	0.002540	Correcto
T1	0.000014	0.001420	0.0063900	0.0063900	3.50	0.001826	Correcto

Nota: En la Tabla 18, se visualiza la determinación de las derivas de entre piso en la dirección Y-Y del bloque II de aulas inteligentes.

Irregularidad Torsional

Para que se genere una irregularidad torsional, el desplazamiento relativo máximo en planta en un extremo de la estructura no debe ser superior a 1,3 veces el desplazamiento relativo medio de los extremos de la misma entreplanta para la misma condición de carga.

Tabla 19*Verificación torsional*

Dirección	Nivel	Deriva Máxima (Max Drift)	Deriva Promedio (Avg Drift)	Ratio	Verificación
X	T8	0.000614	0.000604	1.0160044	Correcto
	T7	0.000712	0.000703	1.0132764	Correcto
	T6	0.000806	0.000797	1.0112923	Correcto
	T5	0.000883	0.000874	1.0106789	Correcto
	T4	0.000923	0.000914	1.0098468	Correcto
	T3	0.000906	0.000898	1.0089087	Correcto
	T2	0.000812	0.000806	1.0074442	Correcto
	T1	0.000562	0.000555	1.0120978	Correcto
Y	T8	0.000750	0.000610	1.2300546	Correcto
	T7	0.000796	0.000651	1.2222222	Correcto
	T6	0.000821	0.000674	1.2176063	Correcto
	T5	0.000827	0.000681	1.2139011	Correcto
	T4	0.000803	0.000665	1.2080201	Correcto
	T3	0.000743	0.000619	1.2008616	Correcto
	T2	0.000641	0.000538	1.1914498	Correcto
	T1	0.000462	0.000395	1.1703436	Correcto

Nota: En la Tabla 19, se determina la irregularidad torsional del bloque II de aulas inteligentes.

Conforme a los resultados obtenidos, puede concluirse que satisface los criterios mínimos del diseño, corresponde realizar un AENL (análisis estático no lineal) del bloque II de las aulas inteligentes ubicado en la Universidad Tecnológica de los Andes.

4.2. RESULTADOS

4.2.1. Patrón de cargas laterales

4.2.1.1. Cargas laterales

Para la aplicación de las cargas laterales, primero se deben definir las cargas de gravedad no lineal, este concepto está mencionado en el ítem 2.2.1.1, y debe ser aplicado mediante la ecuación algebraica (1), los componentes de disminución

de carga viva de la norma E.30 deben ser considerados en esta etapa. En la Tabla 20 se presenta la definición de la carga de gravedad mediante los siguientes parámetros:

$$QG = \text{Peso Propio} + CM + 0.50CV + 0.25CVT$$

Tabla 20

Determinación del patrón de cargas laterales

Nivel	Cargas gravitacionales (tonf)				Total de QG (tonf)	H (m)	QG x H (tonf.m)	% Participación	Patrón de cargas laterales
	PP	CM	CV	CVT					
T8	232.85	37.74	0.00	25.16	295.74	29	8576.579	15.59%	51.655
T7	232.85	62.90	75.48		371.22	26	9651.756	17.54%	58.130
T6	232.85	62.90	75.48		371.22	23	8538.090	15.52%	51.423
T5	232.85	62.90	75.48		371.22	20	7424.426	13.50%	44.716
T4	232.85	62.90	75.48		371.22	17	6310.764	11.47%	38.008
T3	232.85	62.90	75.48		371.22	14	5197.100	9.45%	31.301
T2	232.85	62.90	75.48		371.22	11	4083.434	7.42%	24.594
T1	248.29	62.90	75.48		386.67	8	3093.352	5.62%	18.631
SOT 1	336.70	62.90	75.48		475.07	4.5	2137.835	3.89%	12.876
TOTAL	2214.92	540.92	603.82	25.16	3384.82			100.00%	331.332

Nota: En la Tabla 20, se determina el patrón de cargas laterales distribuidos en cada nivel de entre piso.

Los patrones de carga determinados en la Tabla 20, se definen en el programa Etabs V20.

Figura 20

Definición de cargas de gravedad no lineal.

Load Case Data

General

Load Case Name: GRAV [Design...]

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

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

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

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Peso Propio	1
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	CV	0.5
Load Pattern	CVT	0.25

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Nota: En la Figura 20, se visualiza la definición de cargas de gravedad no lineal introducidos al modelo matemático.

Consiguientemente deben definirse los casos de carga en las direcciones de los ejes globales “X”, “Y” para el desarrollo del AENL (Análisis Estático no Lineal), también debe definirse el punto cercano al centro de masa que será el control y asignar parámetros con la finalidad de alcanzar la correlación del análisis de naturaleza iterativa.

Figura 21*Caso de carga en X*

Load Case Data

General

Load Case Name: ANLEXX [Design...]

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

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

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

Nonlinear Case: GRAV

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

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

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

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined - Event-to-Event Only [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Nota: en la Figura 21, se muestra el caso de carga laterales introducidos al modelo matemático del bloque II.

Con la finalidad de verificar el desplazamiento en el techo y cortante en la base, se precisa el punto de control, que está ubicada cercana al centro de masa del último entre piso para la dirección del eje global "X".

Figura 22

Punto de control en X.

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of m

Monitored Displacement

DOF/Joint

Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

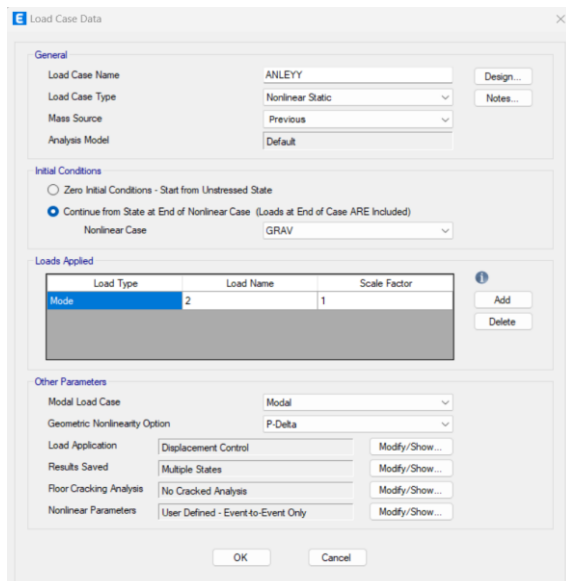
Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Nota: En la Figura 22, se visualiza la introducción del punto de control al modelo matemático en la dirección X.

Con la misma metodología se realiza la asignación de casos de cargas laterales para la dirección en el eje global “Y”, que también corresponde al segundo modo fundamental de vibración.

Figura 23

Caso de carga en Y

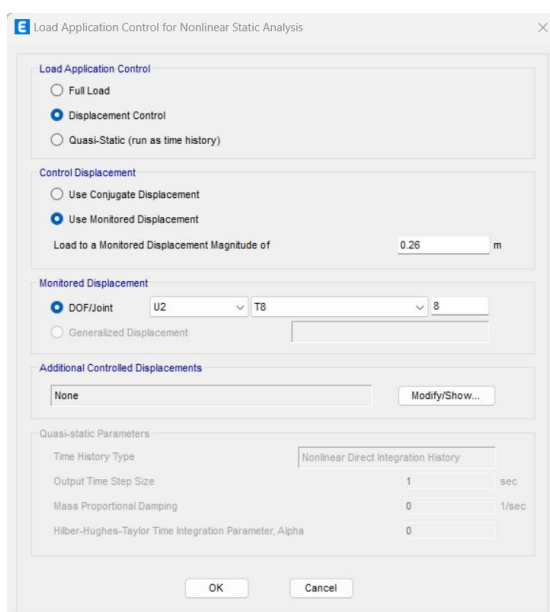


Nota: En la Figura 23, se visualiza la introducción al modelo matemático el modelo de carga laterales en la dirección Y.

Para la dirección Y-Y, también asignamos el punto de control que nos permitirá visualizar y analizar los desplazamientos y la cortante basal.

Figura 24

Punto de control Y



Nota: En la Figura 24, se visualiza el punto de control en la dirección Y.

4.2.2. Rotulas plásticas

Cuando los elementos experimentan una evolución de falla, en el programa Etabs se puede visualizar por una secuencia de pasos (step), donde el usuario o modelador elige un paso visualizando los desplazamientos del edificio y el comportamiento de las rotulas plásticas cuando incursiona el elemento en el rango no lineal.

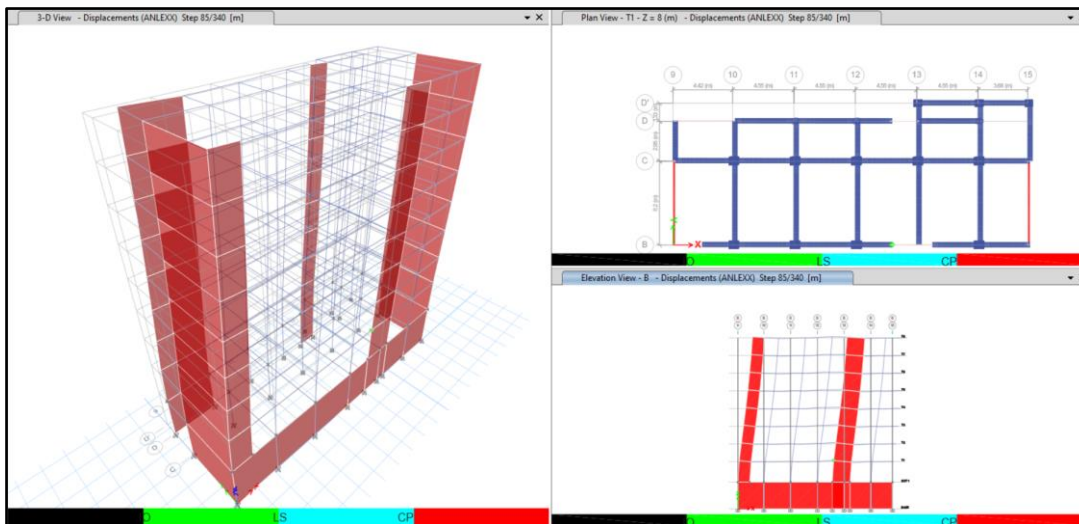
4.2.2.1. Vigas

Dirección X

Como se puede visualizar en la Figura 25, la formación de la rótula plástica se dio en la Viga S. N° 01 (0.35x0.50), ubicada en el eje B entre los ejes 12-13, en el entre piso T1, para un desplazamiento de 0.085 m y una fuerza cortante actuante de 1041.5184 tonf, condición del elemento es de Ocupación Inmediata (IO).

Figura 25

Formación de primeras rotulas plásticas en vigas X



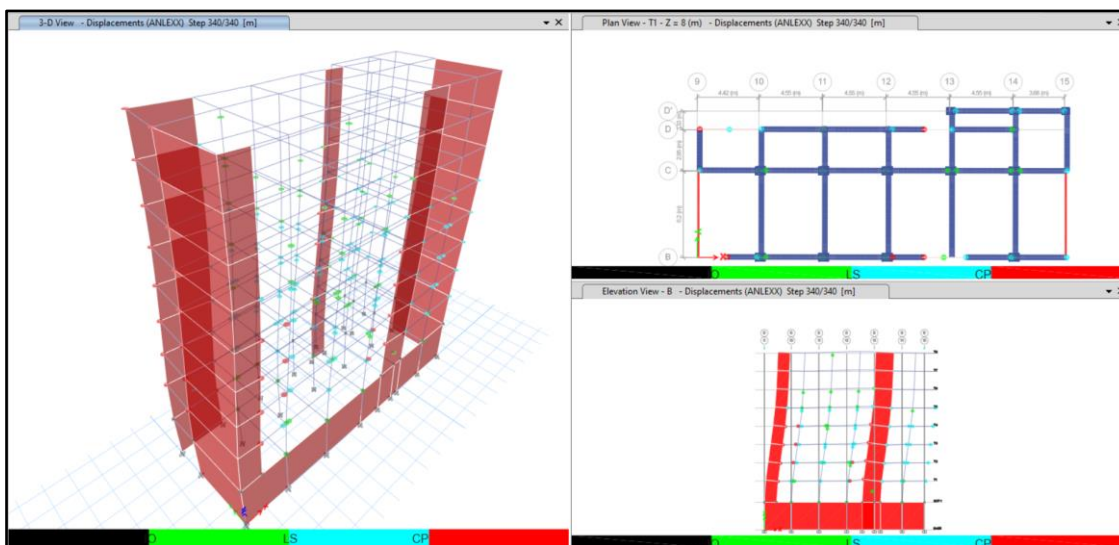
Nota: En la Figura 25, se visualiza la formación de las primeras rotulas plásticas en vigas cuando el elemento incursiona en la sección no lineal, dirección X.

La estructura experimenta un desplazamiento máximo de 0.34 m. producto del empuje monotónico de las fuerzas laterales, las rotulas plásticas en vigas se

desplazaron a una condición de Cerca al Colapso (CP), las vigas experimentan rotulas plásticas con mayor frecuencia en los 6 niveles, lo que indica que no colapsaran.

Figura 26

Rotulas plásticas en vigas X



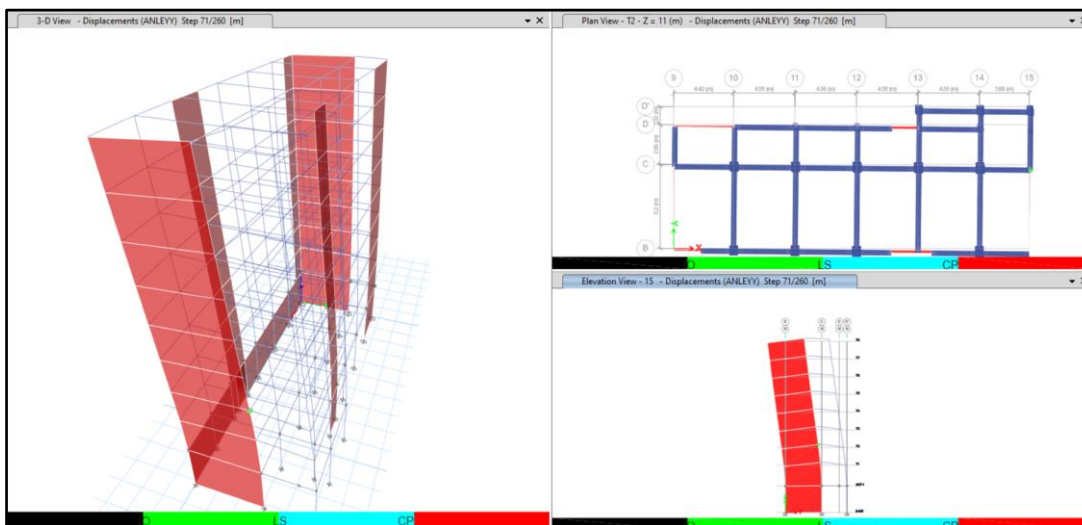
Nota: En la Figura 26, se visualiza las rotulas plásticas en vigas cuando la estructura llega a su máximo desplazamiento en la dirección X.

Dirección Y

En la dirección Y, la primera rotula se forman cuando la estructura se desplaza a 0.071 m, con una fuerza cortante actuante de 877.4607 tonf, en la Viga P. N° 01 (0.35x0.50), ubicado en el eje 15 entre los ejes C-D' en el entre piso T2, la condición de la rótula plástica es de Ocupación Inmediata (IO), como se visualiza en la Figura 27.

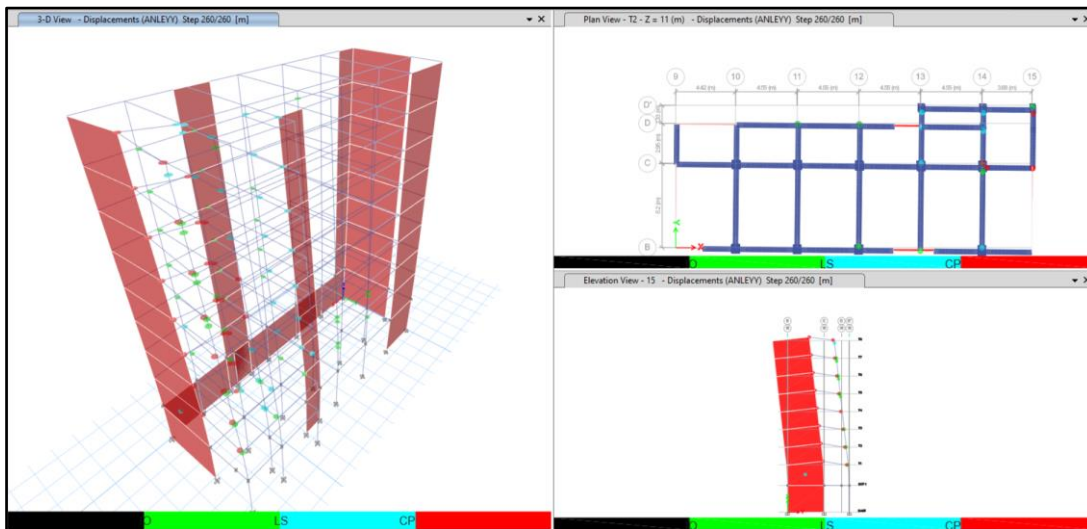
Figura 27

Formación de primeras rotulas plásticas en vigas eje Y



Nota: En la Figura 27, cuando el edificio incursiona en el intervalo plástico, se visualiza la generación de las primeras rotulas plásticas en la dirección Y.

Cuando la estructura experimenta el desplazamiento máximo de 0.26 m. y una fuerza cortante actuante de 1055.9786 tonf, las rotulas plásticas tienen una condición de Prevención de Colapso (CP) y están mayormente en el eje 14 y 15 y en los niveles del T1 al T8, lo que hace vulnerable a las vigas en la dirección Y, pero no llegan al colapso inminente lo que asegura los escenarios de Ocupación Inmediata de la edificación después de un movimiento sísmico.

Figura 28*Formación de rotulas plásticas en vigas Y*

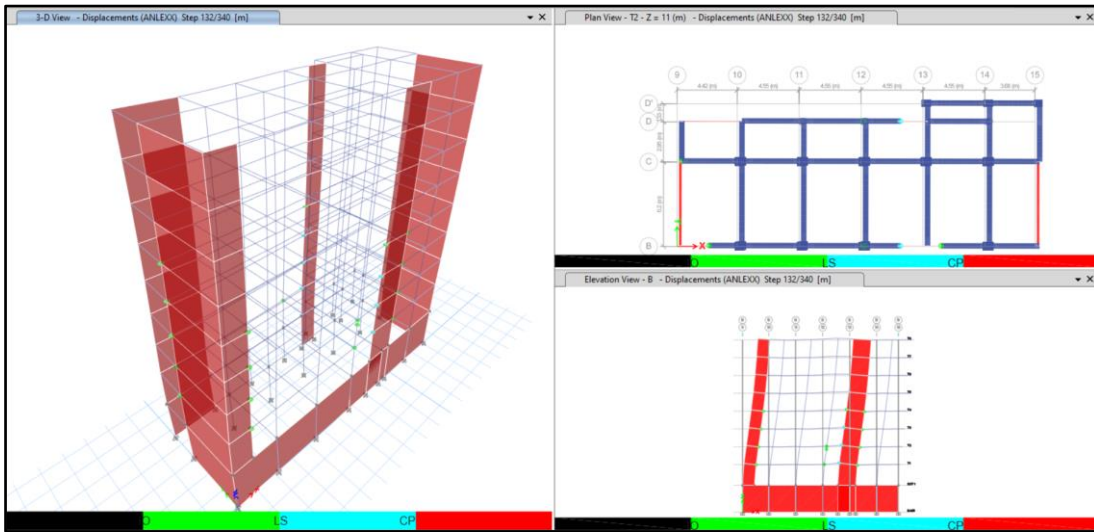
Nota: En la Figura 28, la estructura es sometido a un empuje simulando un sismo muy raro, alcanzando su máximo desplazamiento, las rotulas plásticas son visualizadas con mayor detalle en la dirección Y.

4.2.2.2. Columnas**Dirección X**

La primera rotula plástica que se genera en la columna por el empuje lateral del patrón de cargas y el proceso iterativo en la dirección X está ubicado en la intersección del eje 12 y B y pertenece a la columna C-2, ubicado en el segundo piso, el desplazamiento que da inicio a este dispositivo es de 0.132 m. y una fuerza cortante de 1255.9225 tonf, la rótula plástica está en condición de Ocupación Inmediata (IO).

Figura 29

Formación de primeras rotulas plásticas en columnas X

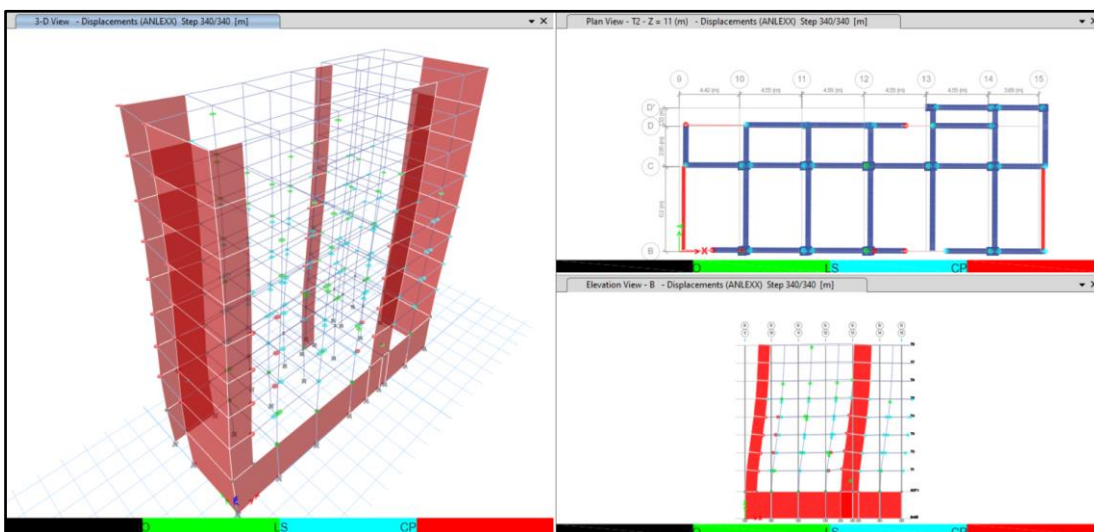


Nota: En la Figura 29, la estructura al incursionar en el intervalo inelástico, se visualiza la composición de las primeras rotulas plásticas en columnas sobre la dirección X.

El máximo desplazamiento de la estructura es de 0.340, donde se presentan las mayores rotulas plásticas en columnas, siendo la condición de LS – Seguridad de Vida, garantizando la estabilidad de la edificación y cumpliéndose la filosofía de viga débil y columna fuerte.

Figura 30

Desarrollo de rotulas plásticas en columnas X



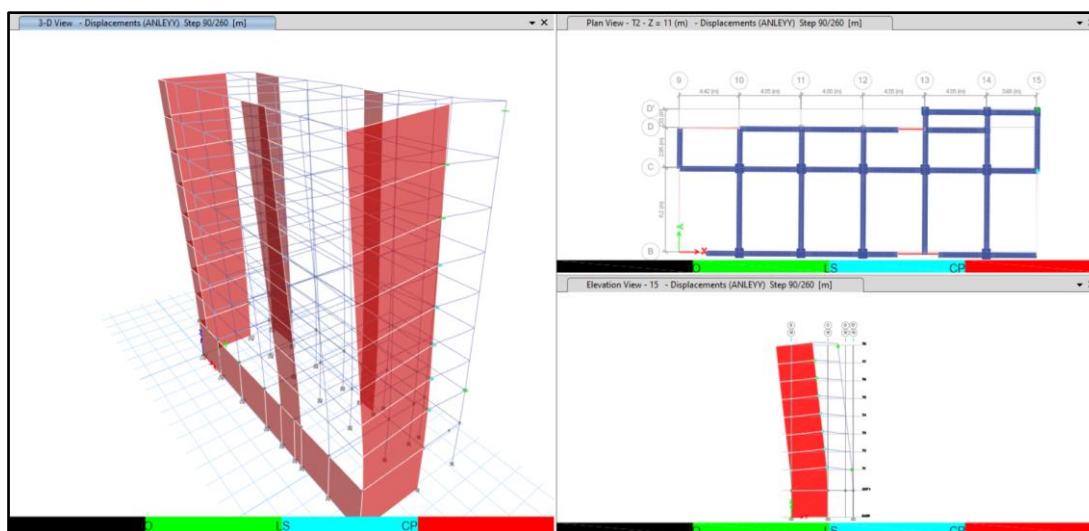
Nota: En la Figura 30, se visualiza las rotulas plásticas en columnas cuando el edificio llega a su máximo desplazamiento en la dirección X.

Dirección Y

El comportamiento de la estructura en el eje Y, se caracteriza por tener luces cortar de eje a eje y también porque hay mayor longitud de muros de corte, lo que hace más rígido, la primera rotula plástica se presenta cuando la estructura se desplaza a 0.090 m. y una fuerza cortante actuante de 965.521 tonf, condición de es de IO (Ocupación Inmediata), la columna está situada en el encuentro de los ejes 15 y D' que corresponde a la columna C-7 en el último nivel.

Figura 31

Desarrollo de primeras rotulas plásticas en columnas Y



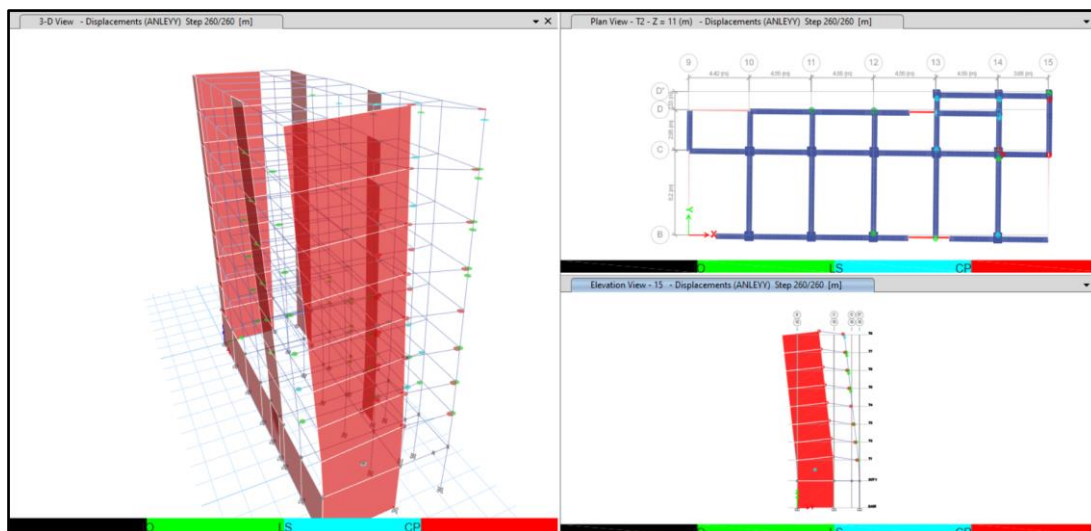
Nota: En la Figura 31, se visualiza el desarrollo de las primeras rotulas plásticas en columnas sobre la dirección Y.

Cuando la estructura se desplaza en 0.260 m. con una fuerza cortante actuante de 1055.9786 tonf, las rotulas plásticas en columnas se sitúan en el estado de IO (Ocupación Inmediata), que pertenece a la C-7 ubicado en la intersección de los ejes 15 y D' del piso 5to al 7mo, en el piso 8vo, la condición de la columna se encuentra en LS (Seguridad de Vida), este comportamiento en la dirección Y es

debido al aporte de los muros de corte o placas en la absorción de fuerzas, como se ha verificado anteriormente, el sistema estructural en esta dirección es de muros estructurales. Las columnas al incursionar en el intervalo inelástico después de las vigas, se cumple con la filosofía de diseño de viga débil columna fuerte.

Figura 32

Desarrollo de rotulas plásticas en columnas Y



Nota: En la Figura 32, se visualiza las rotulas plásticas en columnas cuando el edificio llega a su máximo desplazamiento en la dirección Y.

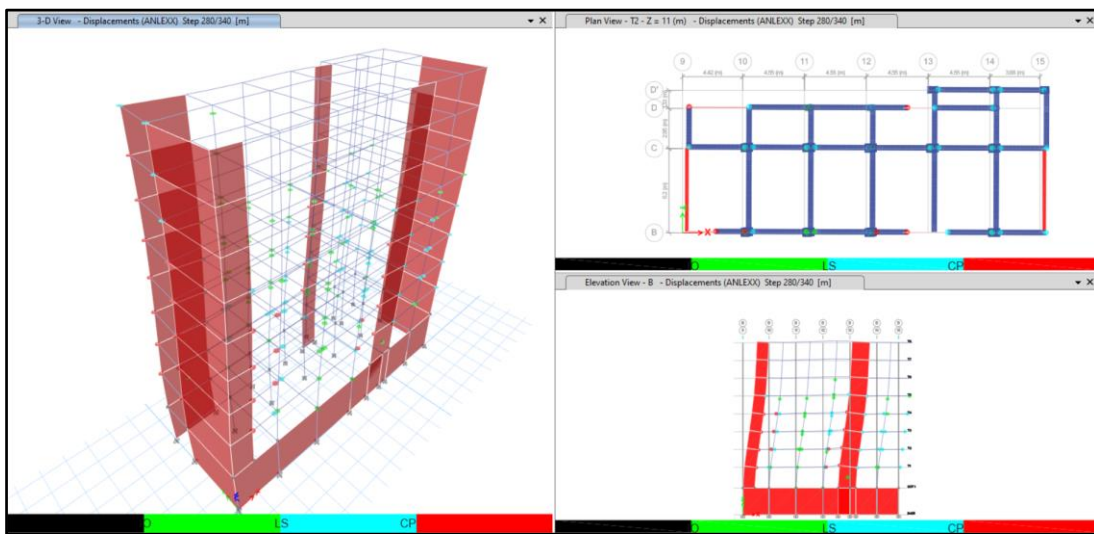
4.2.2.3. Muros de corte

Dirección X

Las placas o muros de corte son elementos de gran absorción de fuerzas, ayudando a la estructura con mayor rigidez. Cuando la estructura es desplazada a 0.189 m, con una fuerza cortante actuante de 1293.1162 tonf el muro de corte PL-2 ubicado en la primera planta del eje D, incursiona en el intervalo no lineal en la condición de Ocupación Inmediata (IO), este desplazamiento esta fuera del rango máximo, por lo tanto, el muro de corte en esta dirección no incurrirá al rango inelástico.

Figura 33

Desarrollo de primeras rotulas plásticas en muros de corte X

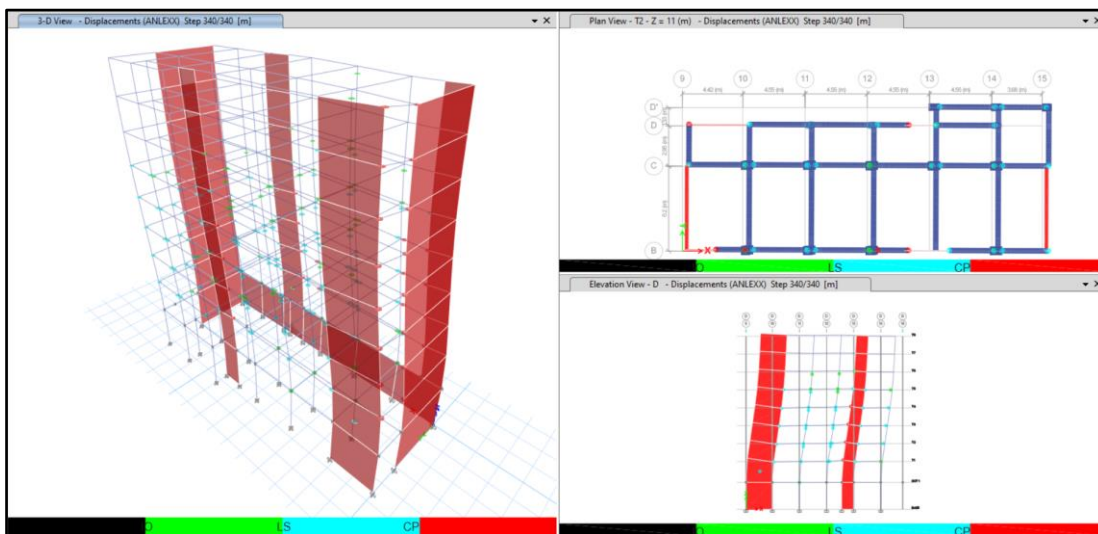


Nota: En la Figura 33, se visualiza el desarrollo de las primeras rotulas plásticas en muros de corte sobre la dirección X.

La estructura al momento de experimentar el máximo desplazamiento de 0.340 m, con una fuerza cortante actuante de 1172.2455 tonf, la placa PL-2 ubicada en el primer nivel del eje D se encuentra en la condición de Seguridad de Vida (LS), asimismo, la placa PL-02 del eje B ubicado en el primer nivel incursiona en el intervalo de Ocupación Inmediata (IO), no habiéndose generado más rotulas plásticas en los otros muros de corte, debido a que la estructura mantiene una rigidez considerable por el aporte de las placas.

Figura 34

Desarrollo de rotulas plásticas en muros de corte X



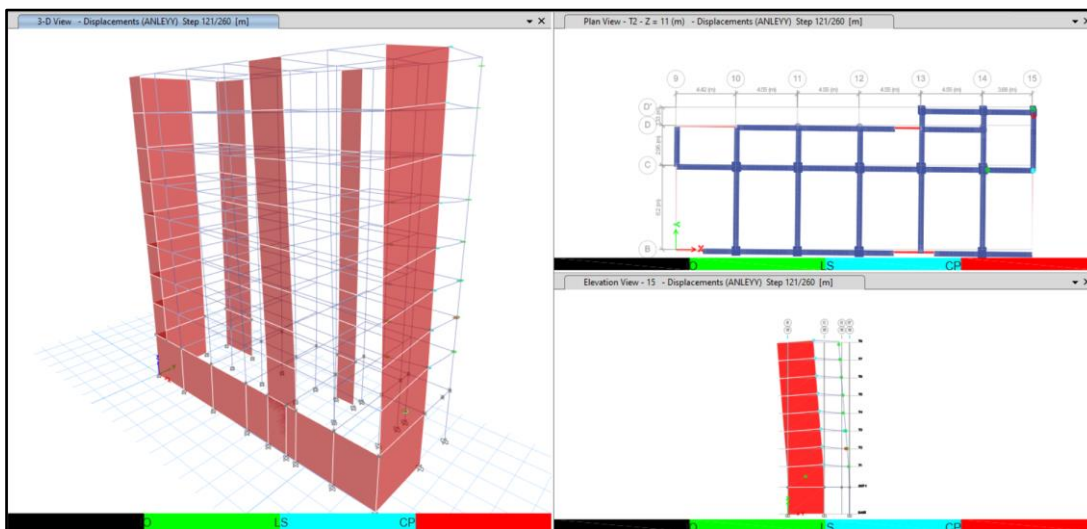
Nota: En la Figura 34, se visualiza las rotulas plásticas en muros de corte cuando la estructura llega a su máximo desplazamiento en la dirección X.

Dirección Y

En la orientación Y, los muros de corte aportan considerable rigidez a la estructura, la incursión en el intervalo no lineal de primero muro de corte es cuando la estructura se desplaza a 0.121 m, y una fuerza cortante actuante de 1017.0616 tonf, la placa PL-01 situado en el eje 15 del primer nivel se encuentra en la condición de Ocupación Inmediata (IO), de toda todo los elementos estructurales, es el segundo que incursiona en el rango inelástico después de las vigas, este fenómeno es resultado de la gran absorción de energía por parte de los muros estructurales.

Figura 35

Desarrollo de primeras rotulas plásticas en muros de corte Y

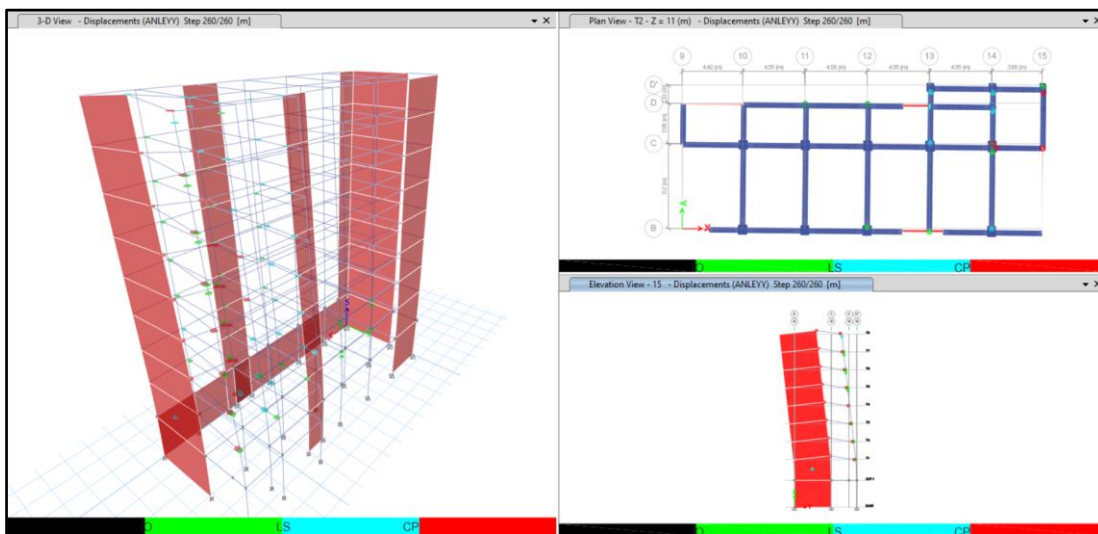


Nota: En la Figura 35, se visualiza la formación de las primeras rotulas plásticas en muros de corte sobre la dirección Y.

Cuando la estructura se desplaza 0.260 m. provocado por una fuerza cortante de 1055.9786 tonf, considerado el máximo desplazamiento antes del colapso (teórico), la única rotula plástica generada es en la placa PL-1, ubicada en el eje 15 del primer nivel, ha ascendido a la condición de LS (Seguridad de Vida), teniendo la seguridad de que no llegara al colapso, el planteamiento estructural ha sido el adecuado para asegurar los servicios que brinda la infraestructura, también cumple con las filosofías de diseño sismo resistente de la norma Peruana, es preciso indicar, en la dirección de análisis Y, el sistema estructural es de muros estructurales, teniendo un eficiente comportamiento.

Figura 36

Desarrollo de rotulas plásticas en muros de corte Y



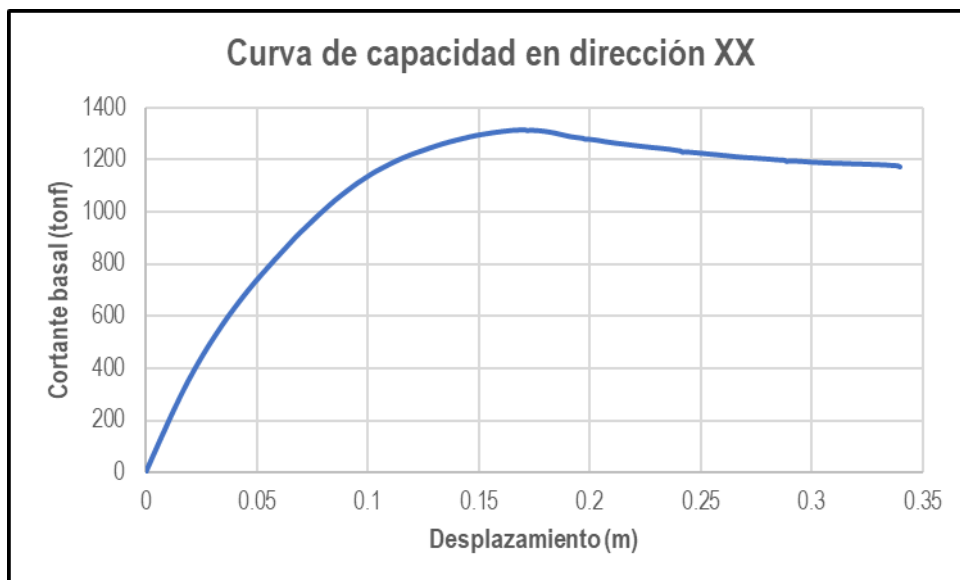
Nota: En la Figura 36, se visualiza las rotulas plásticas en muros de corte cuando la estructura llega a su máximo desplazamiento en la dirección Y.

4.2.3. Coeficientes de desplazamiento

4.2.3.1. Curva de capacidad

Curva de capacidad en la dirección X

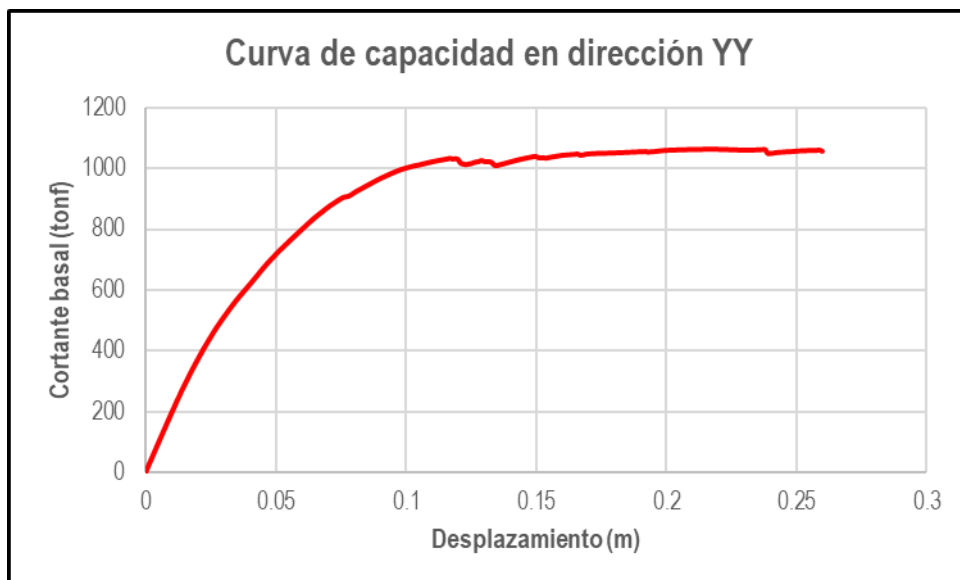
En la Figura 37 se puede apreciar la curva de capacidad en X, obtenidas del AENL, con la ayuda del programa Etabs V.20, representa el máximo desplazamiento del entre piso ultimo y la fuerza cortante en la base máxima de todos los componentes estructurales del bloque II de las aulas inteligentes, la curva se inicia en 0.0, el desplazamiento máximo producto del empuje monótonico es de 0.34 m y una fuerza basal de 1172.2455 tonf.

Figura 37*Curva de capacidad en X*

Nota: En la Figura 37, se visualiza de la curva de capacidad en la dirección X producto del empuje lateral.

Curva de capacidad en la dirección Y-Y

En las mismas condiciones que el anterior (X), se puede mostrar en la Figura 38 la generación de la curva de capacidad en la dirección del eje global Y-Y, realizada por la aplicación del AENL con ayuda informática del software Etabs. La curva inicia en (0,0), el par ordenado final está ubicado a 0.26 m correspondiente a su desplazamiento y una fuerza cortante basal de 1055.9786 tonf.

Figura 38*Curva de capacidad en Y*

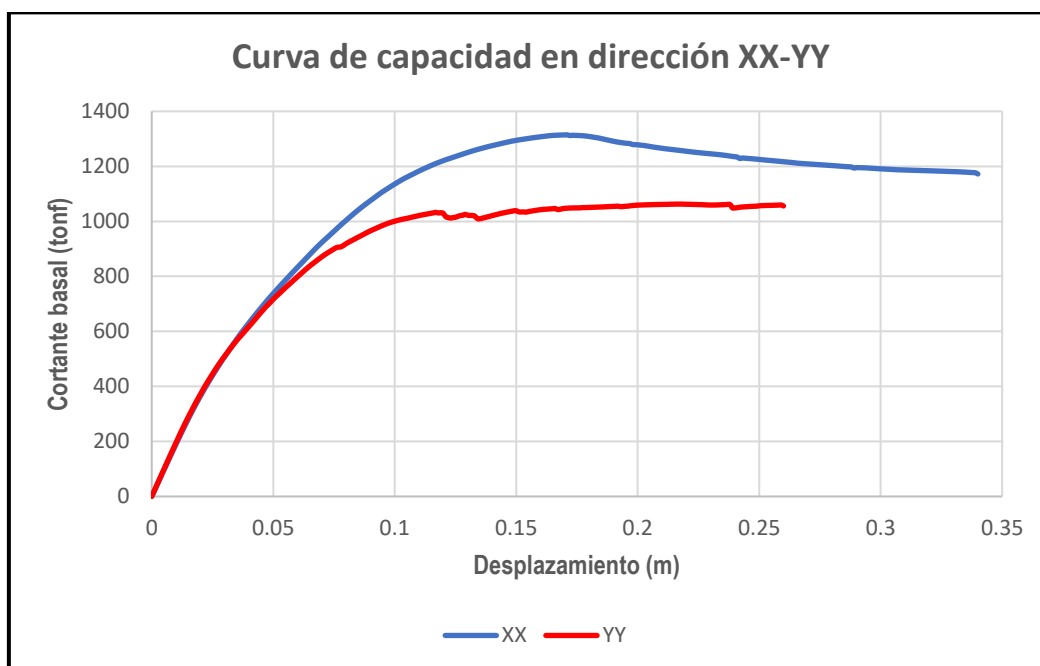
Nota: En la Figura 38, se visualiza de la curva de capacidad en la dirección Y producto del empuje lateral.

Curva de capacidad en la dirección X e Y

En la Figura 39, se presenta la integración de las dos curvas correspondientes al eje X y Y, se puede observar que la curva del eje X es más prolongada que la curva del eje Y, la razón es porque, en la dirección del eje global X la estructura tiene un comportamiento más dúctil debido al sistema estructural que prevalece (sistema dual), la composición estructural de la edificación, muestra una mayor longitud de placas en la dirección Y, lo que le hace más rígido en esa dirección debido al sistema estructural dominante de muros estructurales.

Figura 39

Curva de capacidad en X, Y



Nota: En la Figura 39, se visualiza las curvas de capacidad en los ejes X e Y, producto del empuje lateral de carga laterales simulado por un sismo.

4.2.3.2. Modelo bilineal de la curva de capacidad

Para la generación de la curva bilineal, se prosigue lo propuesto por el FEMA 356, descrita en el apartado 2.1.1.3.2 de la presente tesis.

Representación bilineal de la curva de capacidad en la dirección X

Desplazamiento inicial $:(D_i, V_i) = (0.00m, 0.00tonf)$

Desplazamiento ultimo $:(D_u, V_u) = (0.339m, 1176.5397 tonf)$

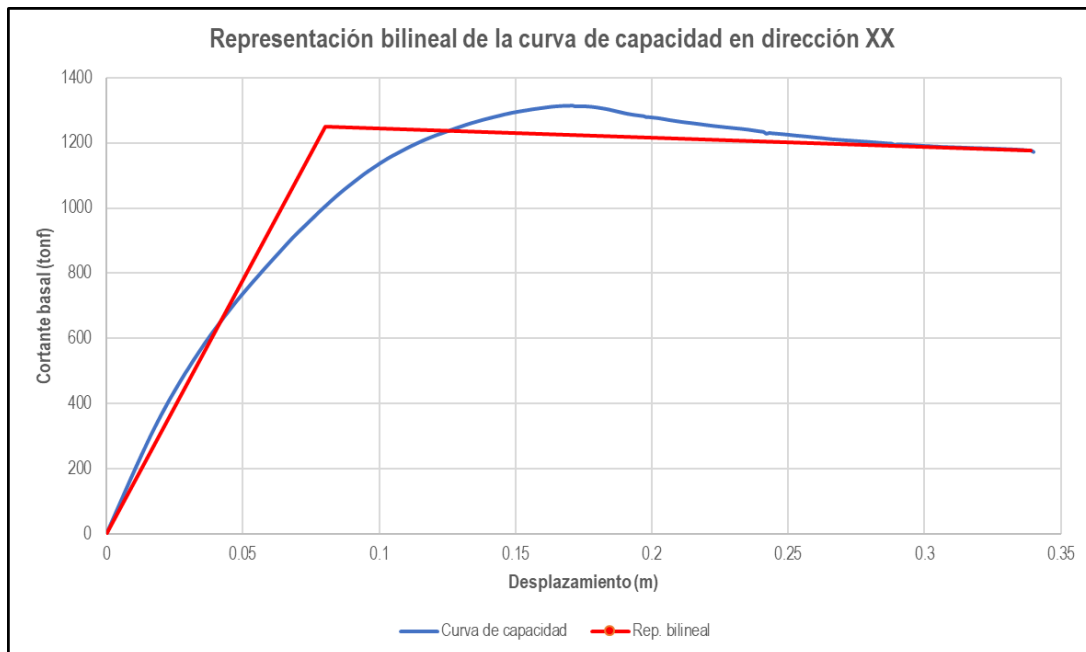
Punto de fluencia efectiva $:(D_y, V_y) = (0.080123 m, 1248.7153 tonf)$

Rigidez lateral efectiva $:K_e = \frac{0.6V_y}{D_{0.6}} = \frac{749.229tonf}{0.0481m} = 15576.48tonf/m$

Rigidez lateral inicial $:K_i = 12789.836tonf/m$

Figura 40

Representación bilineal de la curva de capacidad en X



Nota: En la Figura 40, se visualiza la representación bilineal de la curva de capacidad, donde determina la rigidez lateral inicial y rigidez lateral efectiva en el eje X.

Representación bilineal de la curva de capacidad en la dirección Y

Desplazamiento inicial $:(D_i, V_i) = (0.00 \text{ m}, 0.00 \text{ tonf})$

Desplazamiento ultimo $:(D_u, V_u) = (0.259 \text{ m}, 1059.4588 \text{ tonf})$

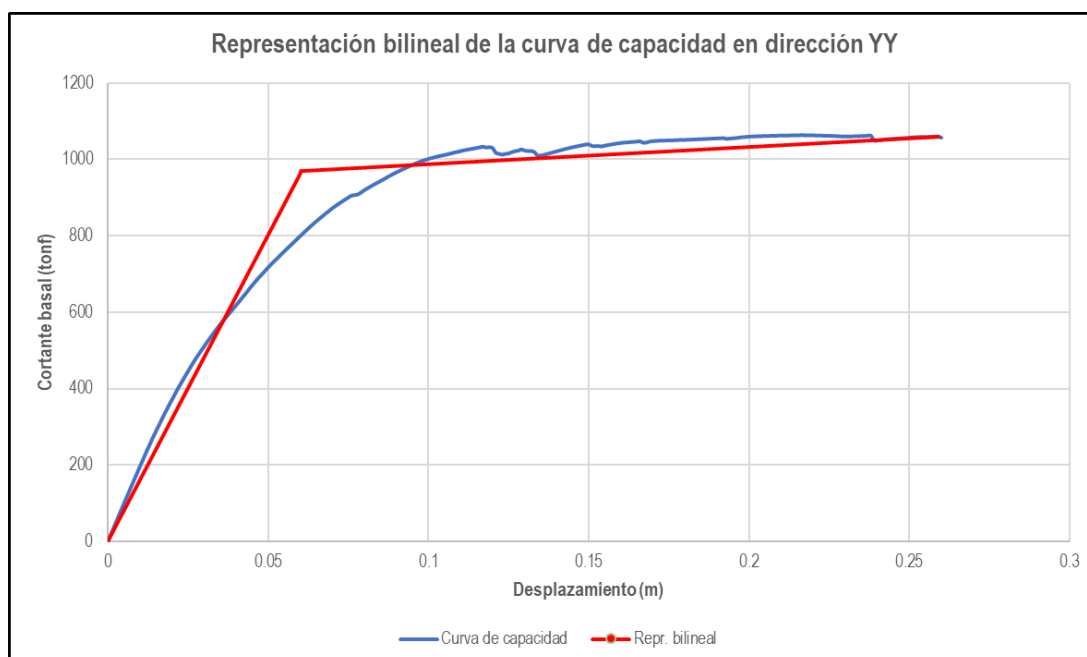
Punto de fluencia efectiva $:(D_y, V_y) = (0.06029 \text{ m}, 968.8217 \text{ tonf})$

Rigidez lateral efectiva $:K_e = \frac{0.6V_y}{D_{0.6}} = \frac{581.293 \text{ tonf}}{0.0361 \text{ m}} = 16069.36 \text{ tonf/m}$

Rigidez lateral inicial $:K_i = 14640.57 \text{ tonf/m}$

Figura 41

Representación bilineal de la curva de capacidad en Y



Nota: En la Figura 41, se visualiza la representación bilineal de la curva de capacidad, donde se determina la rigidez lateral inicial y rigidez lateral efectiva en el eje Y.

4.2.3.3. Punto de desempeño sísmico

Punto de desempeño en la dirección X para un sismo máximo.

La determinación del punto de desempeño o desplazamiento objetivo, es mediante el método de los coeficientes propuesta por el ASCE/SEI 41-17, consiste en determinar coeficientes de acuerdo a las características físicas y mecánicas de la edificación y un espectro de respuesta ante el sometimiento de un sismo muy raro, este método está incorporado en el software etabs V.20, el resultado se muestra en la Figura 41, y los valores de los segmentos correspondientes en la Tabla 21.

Tabla 21

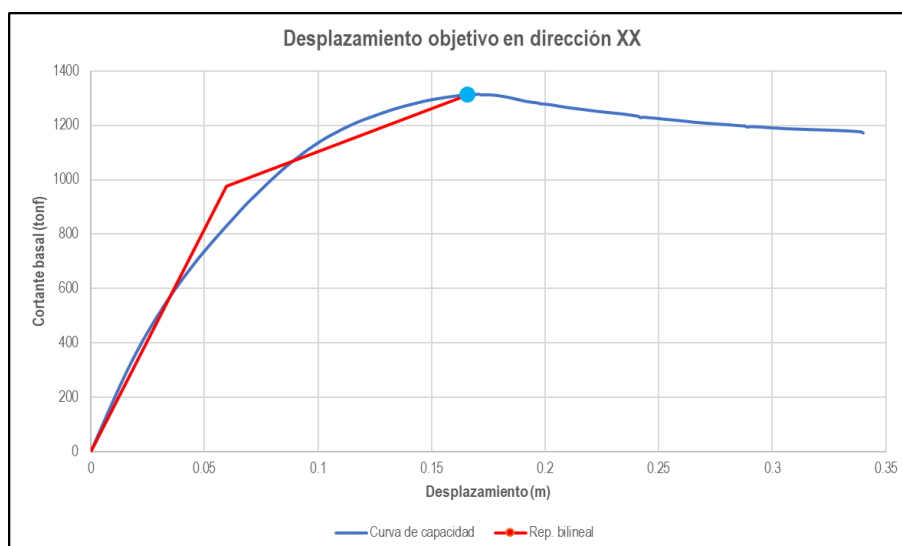
Valores del desplazamiento objetivo para X

Descripción	Datos de curva bilineal		Punto de desempeño	
	Desplazamiento (m)	Fuerza cortante (tonf)	Desplazamiento (m)	Fuerza cortante (tonf)
Punto inicial	0.000	0.0000	0.1658	1312.7762
Punto de fluencia efectiva	0.060	974.7468		
Punto final	0.166	1312.7762		

Nota: En la Tabla 21, se muestran los valores de la curva bilineal y el punto de desempeño.

Figura 42

Punto de desempeño en X



Nota: En la Figura 42, se visualiza el desplazamiento objetivo o punto de desempeño determinado en la dirección global X.

Punto de desempeño en la dirección Y para un sismo máximo.

Para la dirección de análisis "Y", las consideraciones son las mismas que la anterior, en la Tabla 22, se indican los valores de dos curvas y el punto de desempeño que se visualiza en la Figura 43.

Tabla 22

Valores del desplazamiento objetivo para Y

Descripción	Datos de curva bilineal		Punto de desempeño	
	Desplazamiento (m)	Fuerza cortante (tonf)	Desplazamiento (m)	Fuerza cortante (tonf)
Punto inicial	0.00000	0.0000	0.092085	973.8555
Punto de fluencia efectiva	0.03281	610.9835		
Punto ultimo	0.09209	973.8555		

Nota: En la Tabla 22, se muestran los valores de la curva bilineal y el punto de desempeño para el eje global Y.

Figura 43

Punto de desempeño en Y



Nota: En la Figura 43, se visualiza el punto de desempeño determinado en la dirección Y

4.2.4. Objetivos de desempeño

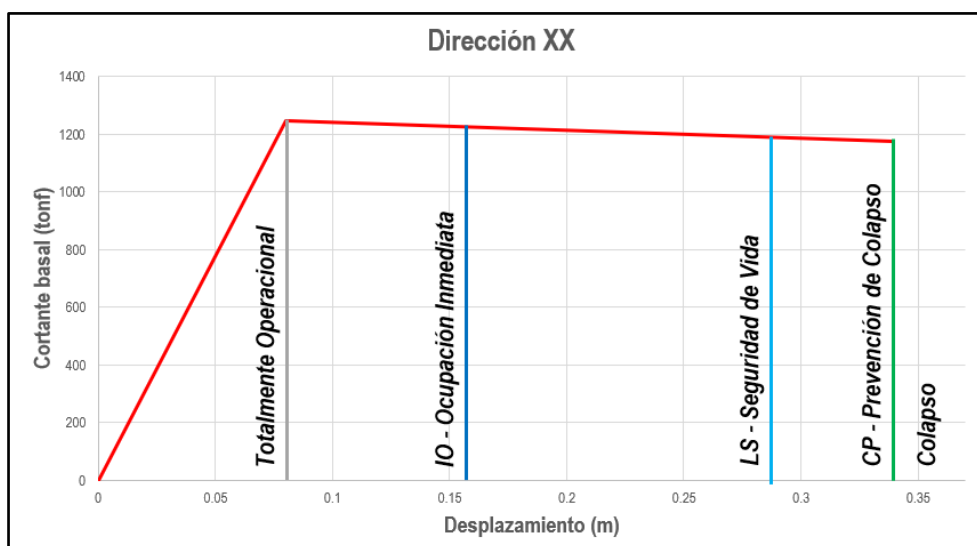
4.2.4.1. Objetivos de desempeño según el SEAOC/VISION 2000

Sectorización de los objetivos de desempeño en la dirección X

Conforme a los niveles de desempeño especificadas por el SEAOC/VISION 2000, el desplazamiento objetivo calculado como consecuencia de la aplicación del método del coeficiente se muestra en la curva bilineal sectorizada de la curva de capacidad.

Figura 44

Sectorización en X



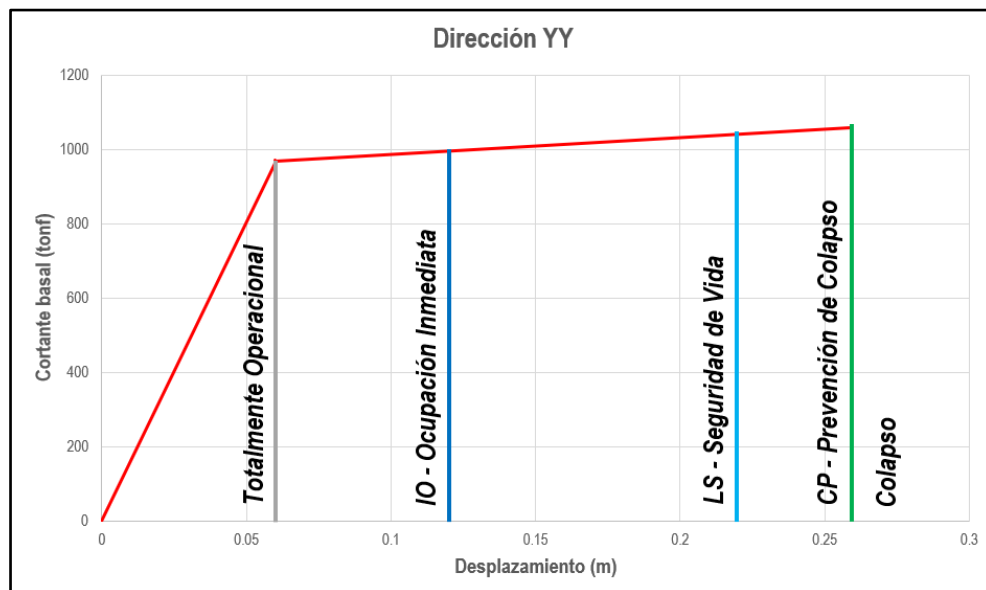
Nota: En la Figura 44, la curva de capacidad es representado por medio de una representación bilineal, esta última se divide en 4 sectores en el eje global X.

Sectorización de los objetivos de desempeño en la dirección Y

Al igual que en la dirección X, para Y se definen la sectorización con los criterios establecidos en el ítem correspondiente en la curva bilineal.

Figura 45

Sectorización en Y



Nota: En la Figura 45, la curva de capacidad es representado por medio de una representación bilineal, esta última se divide en 4 sectores en el eje global Y.

4.2.5. Nivel de desempeño

4.2.5.1. Nivel de desempeño según el SEAOC/VISIÓN 2000

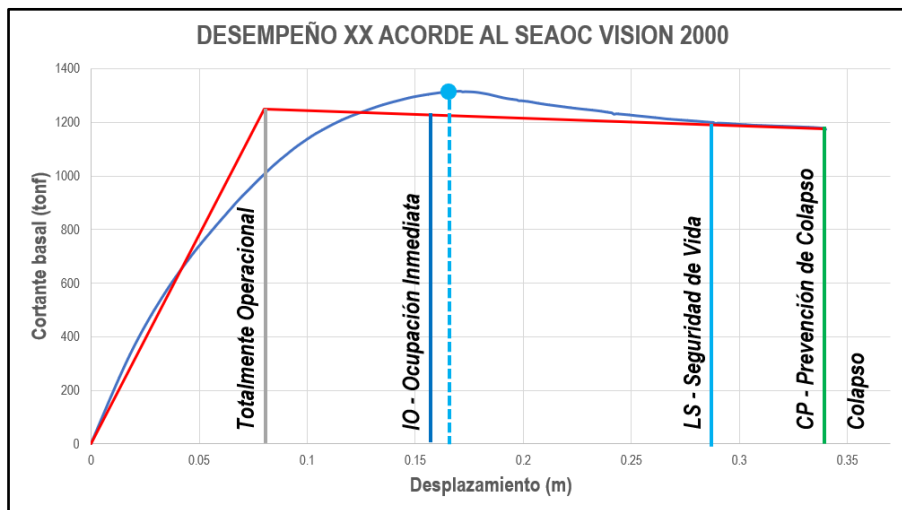
Nivel de desempeño en la dirección X-X

El nivel de desempeño determinado para la dirección global "X", fue realizado para la respuesta de un sismo muy raro, la evaluación en la situación más crítica nos dará un concepto más claro del método de los coeficientes en el AENL. El punto de desempeño o desplazamiento objetivo se encuentra en el nivel de **Seguridad de Vida (LS)**, debido a que el edificio muestra ductilidad considerable y rigidez por el aporte de muros de corte las cuales disipan las fuerzas provocadas por un sismo, el desplazamiento máximo que puede generar el sismo muy raro es de 0.1658 m y la fuerza cortante máxima que genera es de 1312.7762 tonf. La infraestructura sufrirá daños en todo sus componentes estructurales y no estructurales y los

servicios básicos serán interrumpidos, también necesitara reparación de carácter importante.

Figura 46

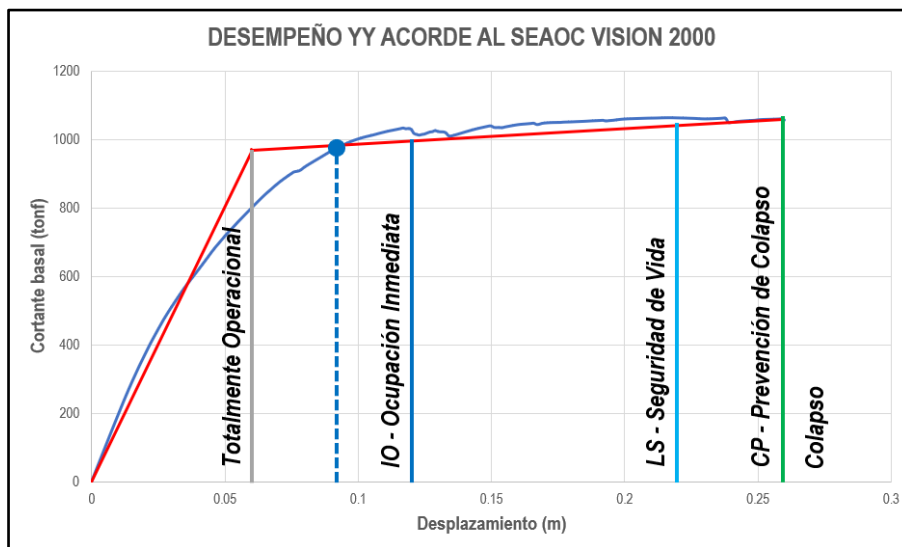
Nivel de desempeño en X



Nota: En la Figura 46, se visualiza la determinación del nivel de desempeño del edificio del bloque II en el eje global X.

Nivel de desempeño en la dirección Y.

Para la dirección o eje global Y, la determinación del punto de desempeño se ubica en el nivel de **Ocupación Inmediata (IO)**, si vemos la estructuración del edificio, podemos visualizar muros de corte o placas que funcionan como elementos de gran disipación de fuerzas provocadas por un sismo muy raro, el desplazamiento máximo como respuesta de la edificación frente a un sismo muy raro es de 0.092085 m y una fuerza cortante basal de 973.8555 tonf. La edificación no mostrara daños en sus elementos estructurales y no estructurales después del movimiento.

Figura 47*Nivel de desempeño en Y*

Nota: En la Figura 47, se visualiza la determinación del nivel de desempeño estructural del bloque II en la dirección Y.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1. Discusión de resultados hipótesis general

En la presente investigación con referencia a la hipótesis general (El desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes se determina mediante la aplicación del análisis estático no lineal), el nivel de desempeño del edificio en estudio, alcanzo a LS-Seguridad de Vida en dirección X que coincide con el estudio de Mendoza y Rivera (2020), en la dirección Y el nivel desempeño de la estructura alcanzo a IO-Ocupación Inmediata, para Mendoza y Rivera (2020) el estudio alcanzo a un nivel de desempeño de LS-Seguridad de Vida, debido a que el estudio se desarrolló en una zona sísmica Z3, lo que hizo a la estructura menos rígido, se definió las cargas monotónicas, empujando al edificio hasta la generación de rotulas plásticas que muestran la no linealidad de los componentes estructurales, consiguientemente, se determinó la curva de capacidad, la curva bilineal o representación bilineal de la

curva de capacidad y el desplazamiento objetivo o punto de desempeño bajo la metodología de los coeficientes de desplazamiento.

4.3.2. Discusión de resultados hipótesis específico H1

En el presente estudio con referencia a la hipótesis específica H1 (El patrón de cargas laterales interviene en la determinación del desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes), se inicia con la definición de patrones de carga y ser aplicadas al modelo matemático en un punto cercano al centro de masa en cada eje global de estudio, la generación de las fuerzas laterales se realizó proporcional a la distribución de masa de cada diafragma de piso y en relación a la forma del modo fundamental de vibración en la dirección de estudio. Para la distribución de las fuerzas laterales monotónicas, se empleó la siguiente expresión:

Tabla 23

Fuerzas actuantes en X

Nivel	Patrón de cargas laterales (tonf)	Fuerza cortante XX (tonf)
T8	51.655	51.655
T7	58.130	109.785
T6	51.423	161.208
T5	44.716	205.924
T4	38.008	243.932
T3	31.301	275.233
T2	24.594	299.827
T1	18.631	318.458
SOT 1	12.876	331.334
TOTAL	331.334	

Nota: En la Tabla 23, se detalla la estimación numérica de las fuerzas laterales que actuarán en la estructura en el eje global X.

Tabla 24*Fuerzas actuantes en Y*

Nivel	Patrón de cargas laterales (tonf)	Fuerza cortante YY (tonf)
T8	60.527	60.527
T7	68.098	128.625
T6	60.255	188.881
T5	52.413	241.294
T4	44.532	285.825
T3	36.689	322.514
T2	28.808	351.322
T1	21.819	373.142
SOT 1	15.103	388.244
TOTAL	388.244	

Nota: En la Tabla 24, se detalla la determinación de las fuerzas laterales que actuarán en la estructura producto de una acción sísmica en la dirección Y.

4.3.3. Discusión de resultados hipótesis específico H2

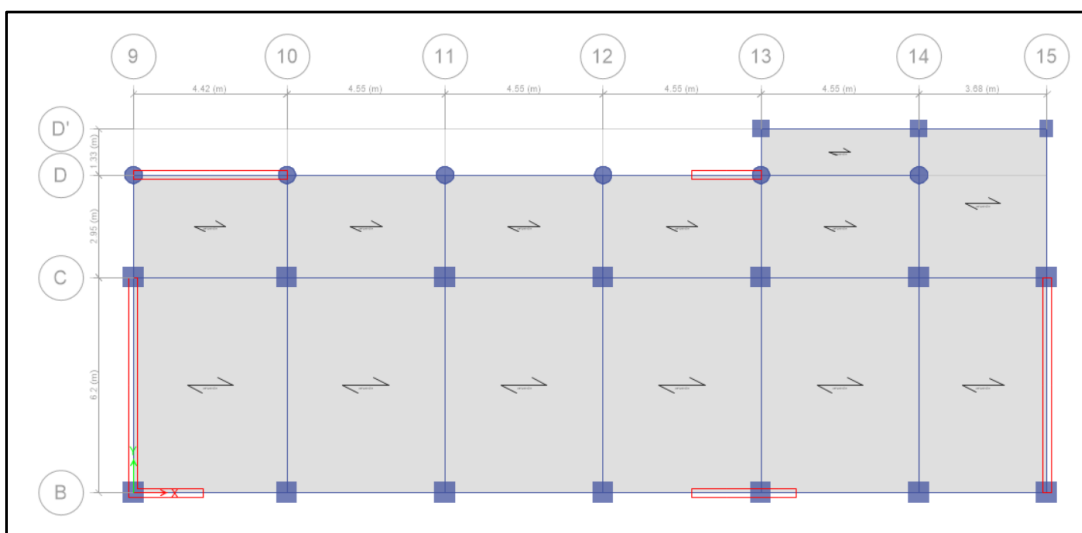
En el presente estudio con referencia a la hipótesis específica H2 (Las rotulas plásticas se desarrollan en la determinación del desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes), se somete a un empuje lateral proporcional hasta que incurra en la zona no lineal mediante el desarrollo de rotulas plásticas, cuando la estructura se desplaza 0.0850 m en la dirección "X", incurre en el rango inelástico generándose las primeras rotulas plásticas en condición de Ocupación Inmediata (IO), si continuamos con el empuje lateral mediante las cargas laterales monotónicas, hasta el desplazamiento máximo, la edificación se desplazara 0.340 m, provocando que algunas de las rotulas plásticas lleguen a la condición de Prevención de Colapso (CP), en el eje global "Y" las primeras rotulas plásticas se genera cuando la estructura llega a un

desplazamiento de 0.0710 m en la condición de Ocupación Inmediata (IO), cuando llega al máximo desplazamiento de 0.260 m, algunas rotulas plásticas llegan a la condición de Prevención de Colapso (CP), esta condición de rotulas nos alertan donde puede ser las posibles fallas. De igual modo las columnas experimentan un comportamiento inelástico en la dirección "X", cuando el desplazamiento llega a 0.1320 m, las rotulas plásticas están en condición de Ocupación Inmediata (IO) y cuando el desplazamiento máximo es de 0.340 m, las rotulas plásticas en las columnas siguen en la condición de Seguridad de Vida (LS), en el eje global "Y" las primeras rotulas plásticas en columnas se desarrollan cuando la estructura se ha desplazado 0.090 m, estas rotulas se ubican en la condición de Ocupación Inmediata (IO), y con el máximo desplazamiento de 0.260 m, las rotulas se mantienen en la misma condición. Finalmente, para los muros de corte en el eje global "X", el desarrollo de la primera rotula pastica es cuando se desplaza 0.189 m, en condición de Ocupación Inmediata (IO), al analizar nos podemos dar cuenta de que este desplazamiento supera el desplazamiento máximo que puede provocar el sismo muy raro, por lo que, los muros de corte, no estarían incurriendo en el rango no lineal, similarmente, en la dirección "Y", el edificio debe desplazarse 0.121 m para experimentar las primeras rotulas plásticas en condición de Ocupación Inmediata (IO) y cuando llega a un desplazamiento máximo de 0.260 m, las rotulas plásticas se desplazan a una condición de Seguridad de Vida (LS), debido a que los muro de corte aportan rigidez a la estructura y estando en una zona de baja sismicidad, la estructura tiene una eficiente respuesta.

4.3.4. Discusión de resultados hipótesis específico H3

En el presente estudio con referencia a la hipótesis específica H3 (El coeficiente de desplazamiento define el desempeño estructural, del bloque II de las

aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes), se definió la curva de capacidad donde nos muestra el desplazamiento del edificio en el techo por medio de la cortante basal. En el eje global "X", la curva de capacidad empieza en el punto (0 m, 0 tonf) y el punto final es (0.340 m, 1172.2455 tonf) y en la dirección "Y" también empieza en (0 m, 0 tonf) y finaliza en los puntos (0.260 m, 1055.9786 tonf). el mayor desplazamiento y cortante basal se da en el eje global "X", por la mayor luz de estructuración y construcción de la edificación. Consiguientemente se procede a formar el modelo bilineal de la curva de capacidad donde lo más importante es, al superponer sobre la curva de capacidad es verificar que las áreas calculadas por encima de la curva de capacidad deben ser iguales que el área por debajo de la curva, esto por el principio de energía, en la dirección "X" el punto de fluencia está dado por lo siguiente: $D_y = 0.080$ m, $V_y = 1248.7153$ tonf, con una rigidez lateral efectiva ($K_e = 15,576.48$ tonf/m), en la dirección Y el punto de fluencia es el siguiente $D_y = 0.06029$ m, $V_y = 968.8217$ tonf, con una rigidez lateral $K_e = 16,069.36$ tonf/m, como ya se había mencionado anteriormente, la mayor rigidez lateral está en el eje global "Y". Finalmente se determina el desplazamiento objetivo para establecer el nivel de desempeño del edificio en estudio, en el eje global "X" el punto de desempeño se encuentra en $D_u = 0.1658$ m y $V_u = 1312.7762$ tonf y en la dirección "Y" el punto de desempeño se definió en el punto $D_u = 0.092085$ m y $V_u = 973.8555$ tonf, podemos observar que el mayor desplazamiento y fuerza cortante en la base se da en la dirección "X", como ya se mencionó anteriormente, es la dirección con mayor luz de estructuración por lo que le hace más vulnerable, como se muestra en la Figura 48:

Figura 48*Estructuración del bloque II*

Nota: En la Figura 48, se visualiza la estructuración del bloque II de aulas inteligentes de la UTEA.

4.3.5. Discusión de resultados hipótesis específico H4

En el presente estudio con referencia a la hipótesis específica H4 (Los objetivos de desempeño predicen el desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes), los objetivos del desempeño según la metodología del SEAOCE/VISIÓN 2000, están definidas en la Figura 2, conforme al desplazamiento de la estructura provocado por el empuje de cargas monotónicas, puede darse en condiciones de: Totalmente Operacional, Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS), Prevención de Colapso (CP) y colapso.

4.3.6. Discusión de resultados hipótesis específico H5

En el presente estudio con referencia a la hipótesis específica H4 (El nivel del desempeño define el desempeño estructural del bloque II de las aulas Inteligentes de la Universidad tecnológica de los Andes), se procede a definir el nivel el desempeño estructural acorde al SEAOCE/VISION 2000, en la dirección X

el desempeño estructural está en LS (Seguridad de Vida), con un desplazamiento máximo de $D_u = 0.1658$ m y una cortante en la base de $V_u = 1312.7762$ tonf, para la dirección Y, el desempeño estructural esta se ubica en Ocupación Inmediata (IO), con un desplazamiento máximo de $D_u = 0.092085$ m, con una fuerza cortante basal de $V_u = 973.8555$ tonf. en las dos direcciones la estructura después de un sismo muy raro, permanecerá estable con algunos recortes de los servicios básicos y escombros producto de los desprendimientos de elementos no estructurales.

Tabla 25

Evaluación del Desempeño según ASCE/SEI 41-17

Dirección	Sismo	Niveles de Desempeño				
		Total Operacional	Ocupación Inmediata (IO)	Seguridad de Vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)	Colapso
XX	Muy raro 50% g					
YY	Muy raro 50% g					

Nota: En la Tabla 25, se presenta la evaluación del nivel de desempeño de la estructura en las direcciones XX, YY según el ASCE/SEI 41-17

CONCLUSIONES

Conclusión N° 1 – del objetivo general

En esta tesis se aplicó el análisis estático no lineal para determinar el desempeño estructural, del bloque II de las aulas inteligentes de la Universidad Tecnológica de los Andes, para este proceso se han aplicado un patrón de cargas laterales monotónicas, empujando a la estructura hasta incurrir en el rango inelástico donde se generaron las rotulas plásticas en los elementos estructurales como: vigas, columnas y muros estructurales, la respuesta de la estructura es ante un sísmico muy raro, finalmente se aplicó el método de los coeficientes de desplazamiento, para determinar la curva de capacidad, el modelo bilineal de la curva de capacidad y el desplazamiento objetivo (punto de desempeño). Se ha

establecido los objetivos de desempeño y el nivel de desempeño estructural según el SEAOC/VISION 2000.

Conclusión N° 2 – del objetivo específico “O1”

Se definió el patrón de cargas laterales que intervinieron en la determinación del nivel de desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, este patrón de cargas se estableció de acuerdo a la masa participativa en cada entre piso, lo que corresponde a cargas laterales adaptativas, haciendo un total de 331.332 tonf. Así como se visualiza en la Tabla 20.

Conclusión N° 3 – del objetivo específico “O2”

Se definió las rotulas plásticas en vigas, columnas y muros estructurales en las dos direcciones de análisis, con la finalidad de determinar el nivel de desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, las condiciones de las rotulas plásticas en las dos direcciones de análisis se muestran en la Tabla 26:

Tabla 26

Condición de rotulas plásticas

Dirección	Despl. (m)	Cortante (tonf)	Condición de la rótula plástica			
			A	IO	LS	CP
XX	0.085	1041.518	874	1	0	0
	0.34	1172.246	647	62	133	33
YY	0.071	877.4607	874	1	0	0
	0.26	1055.979	764	42	32	37

Nota: En la Tabla 26, se resume las rotulas plásticas en los elementos de la estructura en estudio en relación al desplazamiento en las dos direcciones X, Y.

Conclusión N° 4 – del objetivo específico “O3”

Se aplicó el método de los coeficientes de desplazamiento para determinar el desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, para la dirección X, el punto de desempeño está ubicado en $D_u=0.1658$ m, $V_u=1312.7762$

tonf. de la curva de capacidad, como se muestra en la Figura 42, para el eje global “Y”, el desplazamiento objetivo o punto de desempeño está ubicado en las coordenadas $D_u=0.092085$ m, $V_u=973.8555$ tonf. Como el mostrado en la Figura 43.

Conclusión N° 5 – del objetivo específico “O4”

Se definió los objetivos de desempeño estructural del bloque II de las aulas inteligentes de la UTEA, en los ejes globales de análisis “X” e “Y”, seccionando la curva bilineal en cuatro partes, Totalmente Operacional, Ocupación Inmediata (IO), Seguridad de Vida (LS) y Prevención de Colapso (CP), como se muestra en la Figura 44 y Figura 45 respectivamente, la metodología obedece a lo establecido por el SEAOC/VISION 2000.

Conclusión N° 6 – del objetivo específico “O5”

El nivel de desempeño alcanzado por el bloque II de las aulas inteligentes, de la Universidad Tecnológica de los Andes, en la dirección “X”, es de Seguridad de Vida con un $D_u = 0.1658$ m y $V_u = 1312.7762$ tonf. Así como se presenta en la Figura 46, en el eje global “Y”, alcanzo a un nivel de desempeño de Ocupación Inmediata (IO), con un $D_u=0.092085$ y una $V_u=973.8555$ tonf. Como se presenta en la Figura 47, la metodología se rige a lo indicado por el SEAOC/VISION 2000.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la aplicación del análisis estático no lineal, para evaluar edificaciones que han sido construidos desde hace 30 años y están operativos, con la finalidad de determinar su desempeño estructural y de acuerdo a los resultados obtenidos tomar decisiones convenientes, ya sean de reforzamiento o demolición del edificio.

Se recomienda realizar un exhaustivo análisis estructural estático y dinámico lineal con las consideraciones del reglamento sismorresistente, siendo el parámetro para definir el peso de la estructura el cual también será considerado como el peso no lineal el que se empleara en el modelo matemático como cargas laterales, a su vez, definirán el patrón de cargas laterales.

Se recomienda evaluar las rotulas plásticas en cada componente estructural, donde podremos analizar la incursión en el rango no lineal y así ver la vulnerabilidad del elemento sobre todo su ubicación, de esta manera, nos permitirá ver en qué lugar la estructura es muy vulnerable, y esta información nos permitirá tomar decisiones oportunas.

Se recomienda aplicar el método de los coeficientes por su simplicidad recomendado por el ASCE/SEI 41-17, la finalidad es determinar del punto de desempeño, con esta información, podremos saber con exactitud el nivel de desempeño de la estructura, información valiosa para tomar decisiones oportunas.

Se recomienda formular los objetivos de desempeño de acuerdo a la metodología el SEAOCE/VISION 2000, por su practicidad en la determinación del nivel de desempeño.

Se recomienda tomar decisiones conforme al nivel de desempeño determinado, con la finalidad de resguardar la vida humana y que las pérdidas económicas no sean muy considerables.

BIBLIOGRAFÍA

- Choque J, Luque E. (2019). Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma E.030. Arequipa – Perú.
- Cahuana M, Casso G. (2021). Desempeño sísmico aplicando el análisis estático no lineal (Pushover) del módulo III de la comisaria de ciudad nueva, Tacna 2021.
- Luque O. (2020). Niveles de desempeño sísmico del edificio de ciencias físico matemáticas, según las normas E.030 FEMA 440 y ASCE 41. Puno – Perú.
- Aguilar R, Ormeño M. (2020). Análisis adaptativo Pushover estático no lineal por desempeño de una estructura de concreto armado, Lima – Perú.
- Vega G. (2020). Evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal, vivienda-comercio miura grill, Chiclayo. Chiclayo – Perú.
- Pérez A. (2019). Evaluación del desempeño sísmico en edificaciones esenciales mediante la aplicación del análisis inelástico por desplazamientos. Chiclayo – Perú.
- Pinto B. (2019). Evaluación del nivel de desempeño de una edificación, con empleo del análisis estático no lineal – Pushover. Juliaca – Perú.
- Ojeda J, López J. (2021). Desempeño sísmico de una edificación de concreto armado dual mediante el análisis no lineal en el tiempo ubicado en el distrito de Lince, departamento de Lima-Perú. Lima – Perú.
- Manani E. (2018). Determinación del nivel de desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles en la ciudad de Juliaca, 2018. Puno – Perú.
- Paredes M. (2016). Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de lima aplicando el análisis estático no lineal Pushover. Lima – Perú.

- Sinisterra H. (2015). Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de lima aplicando el análisis estático no lineal Pushover. Santiago de Cali – Colombia.
- Slebi C, Vargas D. (2014). Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de lima aplicando el análisis estático no lineal Pushover. Bucaramanga – Colombia.
- Duarte C, Martínez M, Santamaria J. (2017). Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la universidad de El Salvador. San Salvador – El Salvador.
- Pérez L. (2015). Estudio y aplicación de los métodos mejorados fema 440 para el análisis Pushover y su incidencia en el cálculo de pórticos de acero estructural special moment frames según aisc. Ambato – Ecuador.
- Cueva J, Gonzales D. (2013). Diseño por desempeño de edificaciones en hormigón armado con muros de corte mediante los códigos FEMA, utilizados en el programa Etabs. Sangolquí – Ecuador.
- Paredes M. (2016). Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el Análisis Estático no Lineal Pushover. Lima – Perú.
- Orellana G, Parra J. (2017). Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial aporricado de hormigón armado según la norma Ecuatoriana de construcción (NEC-SE-RE, 2015). Cueca – Ecuador.
- Castillo M. (2016). Análisis estático no lineal: aplicación de métodos avanzados a un edificio típico de la República Dominicana. Barcelona – España.
- Oviedo R. Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado. 1ª.ed.Lima: Oviedo Ingeniería EIRL; 2016.

Cutimbo W. Ingeniería Sismorresistente. 1ª.ed.Lima; 2016.

Delgado G. Diseño de estructuras aperticadas de concreto armado. 9ª.ed.Lima: Editorial Edicivil S.R.Ltda; 2011.

Silvestre I; Huamán C. Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis, 1ª.ed.Lima: Editorial San Marcos; 2019.

Hernández R; Mendoza Ch. Metodología de la investigación. 7ª.ed.Mexico: Editorial Mc Graw Hill; 2018.

Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40). Volume 1: California Seismic Safety Commission; Report SSC 96-01.

Federal Emergency Management Agency. FEMA 356: American Society of Civil Engineers; 2000.

Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17). American Society of Civil Engineers; 2017.

Performance Based Seismic Engineering of Buildings (SEAOC, Vision 2000). San Francisco, April 1995.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas; 2018.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Ficha de evaluación por juicio de expertos

Anexo 3: Ficha de recolección de información

Anexo 4: Planos de estructuras del bloque II

Anexo 5: Resultados de ensayos de resistencia a compresión

Anexo 6: Certificado de calibración

Anexo 7: Actuados administrativos

Anexo 8: Declaración personal de autenticidad y de no plagio.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos se encuentran resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes