

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL DE LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA N°141 - HÉROES DE JACTAY - HUÁNUCO, MEDIANTE UN ANÁLISIS
ESTÁTICO Y DINAMICO NO LINEAL - 2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA ESTRUCTURAL
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

RAMOS CONTRERAS , FREDDY FLORENCIO

ASESOR:

Ing. DOMINGUEZ MAGINO, MAURO ANTONIO

HUÁNUCO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Al Adonay, por su eterno amor y misericordia; a mis padres (Cornelio y Marlene), quienes inculcaron en mí, valores morales, amor, educación y el temor a DIOS; a mis hermanas (Fiorella, Yolanda y Anghela), que estimo mucho; a mi familia, con quienes compartimos muchas alegrías; a mis profesores y al estado, por ser una guía y ayuda en mi formación profesional.

RESUMEN

Para el presente proyecto fue aplicada una investigación **cuantitativa, aplicada y no experimental – correlacional**. Para la evaluación del desempeño estructural, fueron aplicados las metodologías siguientes: Método del espectro de capacidad bajo una linealización equivalente y análisis tiempo-historia, propuestas por el Comité Técnico Americano (ATC-40) y la Agencia Federal para el manejo de Emergencias (FEMA 400 – 356); método de los coeficientes, propuesta por la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE 41-17) y la aplicación del Análisis Dinámico Incremental (IDA), propuesta por la FEMA P58; de manera similar fue aplicada la Norma Técnica Peruana (N.T.P.E.030, E.060 y E.070). Para la **respuesta global** de la estructura, se analizó la degradación del sistema resistente y las distorsiones de entrepiso respecto al nivel de desempeño correspondiente, y comparadas con las tablas de límite de distorsiones y daños estructurales desarrollados por el ATC, FEMA en la Normativa HAZUS 1999 y la N.T.P. E.030; para la respuesta de los **componentes** estructurales fueron utilizadas las tablas de las normativas ATC 40, FEMA 440, ASCE 41-17 y E.070. Los resultados obtenidos luego de la comparación contra los límites establecidos por el objetivo de desempeño correspondiente, determinan que, la estructura y componentes estructurales en general se encuentran en un nivel de desempeño sísmico de **ocupación inmediata y seguridad de vida**, con daño estructural leve, adecuada para que la estructura sea funcional ante un sismo máximo, sin requerir proyectos de intervención estructural; demostrándose la hipótesis planteada (la estructura tendrá un desempeño de ocupación inmediata, permaneciendo en condiciones operativas luego de un sismo severo).

Palabras clave: Desempeño estructural, espectro de capacidad, linealización equivalente, análisis tiempo historia, análisis dinámico incremental, objetivos de desempeño, daños estructurales, ocupación inmediata, seguridad de vida.

ABSTRACT

For the present project, a quantitative, applied and non-experimental - correlational research was applied. For the evaluation of structural performance, the following methodologies were applied: Capacity spectrum method under equivalent linearization and time-history analysis, proposed by the American Technical Committee (ATC-40) and the Federal Emergency Management Agency (FEMA). 400-356); coefficient method, proposed by the American Society of Civil Engineering (ASCE 41-17) and the application of the Incremental Dynamic Analysis (IDA), proposed by FEMA P58; in a similar way, the Peruvian Technical Standard (N.T.P.E.030, E.060 and E.070) was applied. For the global response of the structure, the degradation of the resistant system and the interstory distortions were analyzed with respect to the corresponding performance level, and compared with the limit tables of distortions and structural damages developed by the ATC, FEMA in the 1999 HAZUZ Regulation. and the N.T.P. E.030; For the response of the structural components, the tables of the ATC 40, FEMA 440, ASCE 41-17 and E.070 regulations were used. The results obtained after the comparison against the limits established by the corresponding performance objective, determine that the structure and structural components in general are at a seismic performance level of immediate occupancy and life safety, with slight structural damage, adequate so that the structure is functional in the event of a maximum earthquake, without requiring structural intervention projects; proving the proposed hypothesis (the structure will have a performance of immediate occupation, remaining in operational conditions after a severe earthquake).

Keywords: Structural performance, capacity spectrum, equivalent linearization, time history analysis, incremental dynamic analysis, performance targets, structural damage, immediate occupancy, life safety.

INDICE GENERAL

Dedicatoria	2
Resumen	3
Abstract	4
Introducción	23
Capítulo I Problema de Investigación	
1.1 Fundamentación del problema de investigación	25
1.2 Formulación del problema de investigación, general y específicos	29
1.3 Formulación de objetivos general y específicos	29
1.4 Justificación	30
1.5 Limitaciones	33
1.6 Formulación de hipótesis generales y específicas	34
1.7 Variables	35
1.8 Definición teórica y Operacionalización de Variables	35
Capítulo II Marco Teórico	
2.1. Antecedentes	38
2.2. Bases Teóricas	41
2.3. Bases Conceptuales	46
2.4. Bases Epistemológicas	98
Capítulo III Metodología	
3.1 Ámbito	107
3.2 Población	110
3.3 Muestra	110

3.4 Nivel y Tipo de Estudio	110
3.5 Diseño de investigación	111
3.6 Métodos, Técnicas e instrumentos	114
3.7 Validación y Confiabilidad del Instrumento	115
3.8 Procedimiento	116
Descripción geométrica, de carga, materiales y apoyo para la estructura y suelo de f.	116
Modelado de la estructura para una análisis lineal	138
Modelado de la estructura para una análisis no lineal	144
Análisis lineal y Análisis estático no lineal (pushover)	169
Definición del sismo de servicio, diseño y máximo	179
Análisis Dinámico No Lineal Tiempo-Historia	180
Análisis Dinámico Incremental – IDA	197
3.9 Consideraciones Éticas	204
Capítulo IV Resultados	
4.1 Resultados de la Investigación y Validación de la Hipótesis	205
Resultados del análisis lineal estructural y sismo resistente	205
Resultados del análisis Estático No Lineal – Pushover	210
Resultados del análisis Dinámico No Lineal – Tiempo Historia	242
Resultados del Análisis Dinámico Incremental –IDA	260
Conclusiones	268
Recomendaciones o sugerencias	272
Referencias Bibliográficas	274
Anexos	278

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modificaciones Puntuales De La N.T. E030 Del R.N.E, Para El Proyecto Específico	31
Tabla 2 Vida Útil De Los Edificios.....	33
Tabla 3 Operacionalización De Variables	36
Tabla 4 Distribución De Los Terremotos En El Perú	42
Tabla 5 Niveles De Desempeño, Propuestos Por Visión 2000	47
Tabla 6 Niveles De Desempeño, Propuestos Por Atc 40	47
Tabla 7 Niveles De Amenaza Sísmica, Propuestos Por Visión 2000	48
Tabla 8 Niveles De Amenaza Sísmica, Propuestos Por Atc 40	49
Tabla 9 Descripción De Módulos De La Institución Educativa N° 141 – Huánuco.....	108
Tabla 10 Caso De Cargas Para La Losa Interior, Usos Múltiples.....	119
Tabla 11 Caso De Cargas Para El Volado, Pasadizo	119
Tabla 12 Propiedades Del Suelo De Fundación De La Institución Educativa En Estudio	125
Tabla 13 Propiedades De Los Materiales De La Estructura En Estudio.....	135
Tabla 14 Secciones y refuerzos reales en los Componentes Estructurales, Para El Modelado ..	145
Tabla 15 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 1-1, Nivel 01.....	158
Tabla 16 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 1-1, Nivel 02.....	160
Tabla 17 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 3-3, Nivel 01.....	161
Tabla 18 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 3-3, Nivel 02.....	161
Tabla 19 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 5-5, Nivel 01.....	162
Tabla 20 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 7-7, Nivel 01.....	162
Tabla 21 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 7-7, Nivel 02.....	163
Tabla 22 Modelo Numérico De La Rótula Por Corte Para El Muro Del Eje 9-9, Nivel 01.....	163

Tabla 23 Corrección Por Corte De La Estructura En Su Dirección Xx E Yy.....	171
Tabla 24 Niveles Sísmicos Aplicados Al Aenl	179
Tabla 25 Registros Sísmicos Seleccionados Y Extraídos De La Base De Datos Del Instituto Geofisico Del Perú	181
Tabla 26 Registros Sísmicos Seleccionados, Corregidos Y Acortados Para Su Espectro Compatibilización.....	203
Tabla 27 Niveles De Intensidad Sísmica.....	203
Tabla 28 Derivas De La Estructura En Sus Direcciones Principales Xx E Yy.....	205
Tabla 29 Revisión A Corte De Los Muros De Albañilería Confinada	209
Tabla 30 Desempeño Sísmico Estructural En Función A La Máxima Deriva Total	218
Tabla 31 Desempeño Sísmico Estructural En Función A La Máxima Deriva Inelástica	218
Tabla 32 Degradación De La Rigidez De La Estructura Para El Sistema De Pórtico	219
Tabla 33 Daño Global De La Estructura, Según Hazuz 99, Para Un Nivel Sísmico Moderado	219
Tabla 34 Evaluación Del Desempeño Para La Componente Viga.....	222
Tabla 35 Evaluación Del Desempeño Para La Componente Columnas	227
Tabla 36 Evaluación Del Desempeño Para La Componente Muro De Albañilería Confinada .	233
Tabla 37 Corte Basal Y Desplazamientos Para Un Aenlth, Escalados A Un Sismo De Diseño Y Máximo	245
Tabla 38 Evaluación Del Desempeño Estructural Para Un Aenlth, Escalados A Un Sismo De Diseño Y Máximo Para El Sistema Estructural De Pórtico.....	246
Tabla 39 Evaluación Del Desempeño Estructural Para Un Aenlth, Escalados A Un Sismo De Diseño Y Máximo Para El Sistema Estructural De Albañilería Confinada.....	246
Tabla 40 Daño Estructural Para Un Aenlth, Escalados A Un Sismo De Máximo Para El Sistema Estructural De Pórtico Y Albañilería Confinada	251

Tabla 41 Máximos Desplazamientos Y Cortante Basal Par Aun Aenl Y Adnl, Bajo Un Sismo De Diseño	251
Tabla 42 Máximos Desplazamientos Y Cortante Basal Par Aun Aenl Y Adnl, Bajo Un Sismo Máximo	252
Tabla 43 Evaluación del desempeño de las componentes columnas, vigas y muros de confinamiento para un ADNL -TH.....	260
Tabla 44 Evaluación del desempeño de la estructura para un IDA, en la dirección de pórtico	266
Tabla 45 Evaluación del desempeño de la estructura para un IDA, en la dirección de albañilería confinada	267

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación De La I.E.I. N° 141-Heroes De Jactay.	25
Figura 2 Vista De La I.E.I. N° 141-Heroes De Jactay.	27
Figura 3 Expediente Técnico Para La Construcción De La I.E.I. N° 141-Heroes De Jactay	28
Figura 4 Módulo Evaluado (M-02) De La I.E.I. N° 141-Heroes De Jactay	28
Figura 5 Comparativa del espectro inelástico N.T. E030 2003 y N.T. E030 2018.....	32
Figura 6 Objetivos De Desempeño	45
Figura 7 Descripción Gráfica De La Curva De Capacidad.....	51
Figura 8 Representación Gráfica De Una Curva Ida, Distorsión Vs. Intensidad Sísmica	53
Figura 9 Representación Gráfica De Una Curva De Capacidad (Desplazamiento Vs. Corte Basal)	54
Figura 10 Representación Del Modelo De Espectro De Capacidad, Atc 40	55
Figura 11 Representación Gráfica Del Método De Los Coeficientes De Desplazamientos, Fema 440	56
Figura 12 Curva De Capacidad Y Espectro De Capacidad (Atc-40).....	57
Figura 13 Espectro De Respuesta En Formato Adrs (Atc-40).....	58
Figura 14 Representación Bilineal Del Espectro De Capacidad (Atc-40).....	59
Figura 15 Factores De Reducción Espectrales (Atc-40).....	60
Figura 16 Familias De Espectro De Demanda Reducida (Atc-40).....	61
Figura 17 Punto De Desempeño Entre Los Espectros De Capacidad Y De Demanda (Atc-40) .	61
Figura 18 Espectro De Respuesta Modificado En Función Al Teff Y Beff (Fema 440).....	63
Figura 19 Posibles Puntos De Desempeño En Función A La Ductilidad (Fema 440)	64
Figura 20 Representación Gráfica Del Método De Los Coeficientes (Asce 41-17).....	65

Figura 21 Curva Idealizada Fuerza Desplazamiento (Asce 41-17)	66
Figura 22 Curvas Generales Fuerza-Deformación Que Representan El Modelo Y Los Criterios De Aceptación De Los Componentes (Asce 41-17)	66
Figura 23 Resistencia A Compresión De Las Pilas De Albañilería (Coral Alva, 2017)	69
Figura 24 Resistencia A Corte Del Murete De Albañilería (Coral Alva, 2017)	69
Figura 25 Construcción Del Muro De Albañilería Confinada Y Sus Elementos De Confinamiento (Coral Alva, 2017)	70
Figura 26 Curva Trilineal De La Curva De Capacidad (Coral Alva, 2017)	71
Figura 27 Curva Trilineal De Límites De Niveles De Daño (Coral Alva, 2017)	71
Figura 28 Curva Fuerza Vs. Deriva Para Un Muro De Albañilería Confinada	72
Figura 29 Muro De Albañilería Y Su Modelo No Lineal Equivalente, Rótula Por Corte	72
Figura 30 Resistencia Axial De Las Pilas De Albañilería (Bernardo Y Peña, 2009)	73
Figura 31 Resistencia A Corte Del Murete De Albañilería (Bernardo Y Peña, 2009)	74
Figura 32 Construcción Del Muro M1 Con Peralte De Columnas De 20cm (Bernardo Y Peña, 2009)	74
Figura 33 Propiedades Mecánicas Y Geométricas De Los Componentes (Bernardo Y Peña, 2009)	75
Figura 34 Curva De Capacidad Del Muro M1 Y M2 (Bernardo Y Peña, 2009)	75
Figura 35 Modelo Numérico Para El Análisis No Lineal Del Muro De Albañilería, Ensayo De Calibración 1	76
Figura 36 Asignación Del Modelo Numérico No Lineal Representado En El Software, Para El Análisis Del Muro De Albañilería, Ensayo De Calibración 01	76
Figura 37 Desarrollo De La Rótula De Corte, En Relación A La Rótula Definida Y Calibración 01	77

Figura 38 Curva De Capacidad Del Modelo Muro De Albañilería Con Calibración 01	78
Figura 39 Curva De Capacidad Del Modelo Ensayado Y Modelo Del Software Calibrado Del Muro 1	78
Figura 40 Resistencia A Compresión De Las Pilas De Ladrillo (Angles, 2008).....	79
Figura 41 Resistencia A Corte De Muretes De Ladrillo De Arcilla (Angles, 2008).....	79
Figura 42 Dimensiones De Los Muros De Albañilería (Angles, 2008).....	79
Figura 43 Propiedades Mecánicas Y Geométricas De Los Componentes (Angles, 2008).....	80
Figura 44 Envolvente Fuerza-Desplazamiento De Un Muro Confinado Con Ladrillo De Concreto Y Con Ladrillo De Arcilla (Angles, 2008).....	81
Figura 45 Modelo Numérico Para El Análisis No Lineal Del Muro De Albañilería, Ensayo De Calibración 2.....	81
Figura 46 Asignación Del Modelo Numérico No Lineal Representado En El Software, Para El Análisis Del Muro De Albañilería, Ensayo De Calibración 02	82
Figura 47 Desarrollo De La Rótula De Corte, En Relación A La Rótula Definida Y Calibración 02	83
Figura 48 Curva De Capacidad Del Modelo Muro De Albañilería Con Calibración 02	83
Figura 49 Curva De Capacidad Del Modelo Ensayado Y Modelo Del Software Calibrado Del Muro 2	84
Figura 50 Registros Sísmicos Para Un Análisis Tiempo Historia (Cismid)	85
Figura 51 Escalamiento De Registros Sísmicos.....	87
Figura 52 Curva De Peligro Sísmico Probabilidad De Excedencia Anual Vs. Peligro Sísmico ..	88
Figura 53 Representación De Las Curvas Ida, Aceleración Espectral Vs. Distorsión De Piso	89
Figura 54 Representación Media De Las Curvas Ida.....	89
Figura 55 Criterios De Aceptabilidad De Los Componentes.....	92

Figura 56 Parámetros De Modelado No Lineal, Y Criterios De Aceptación Para La Componente Viga Reforzada	93
Figura 57 Parámetros De Modelado No Lineal, Y Criterios De Aceptación Para La Componente Columna Reforzada	94
Figura 58 Tipos De Edificación Para La Evaluación Del Daño Estructural.....	94
Figura 59 Límites De Distorsión Para Criterios De Daños En La Respuesta Global De La Estructura Pórtico.....	96
Figura 60 Límites De Distorsión Para Criterios De Daños En La Respuesta Global De La Estructura Albañilería	97
Figura 61 Modelo De Plasticidad Concentrada Y Distribuida.....	103
Figura 62 Modelo De Histéresis Tipo Pivot Para Los Muros De Albañilería	104
Figura 63 Lazos Histeréticos Para Los Muros De Albañilería (Angles 2008)	104
Figura 64 Modelo De Histéresis Tipo Takeda Para Elementos De Concreto.....	105
Figura 65 Lazos Histeréticos Para Elementos De Concreto	106
Figura 66 Vista En Planta De Los Módulos De La I.E.I. N°141 – Huánuco.....	108
Figura 67 Mapa conceptual del diseño de la investigación para el estudio denominado “Evaluación del Desempeño Sísmico estructural de la Institución Educativa N°141 - Huánuco 2022, mediante un Análisis estático y dinámico no lineal”.....	112
Figura 68 Vista en elevación (eje x-x) de la estructura a evaluar, sistema de pórticos	116
Figura 69 Vista de la estructura a evaluar, visita in situ, sistema de pórticos.....	116
Figura 70 Vista Del Corte Transversal (Eje Y-Y) De La Estructura A Evaluar, Sistema De Albañilería Confinada.....	117
Figura 71 Vista de la estructura a evaluar, visita in situ, sistema de albañilería confinada, nivel 01	118

Figura 72 Vista 3D del módulo de evaluación de la Institución Educativa N°141, Héroes de Jactay.....	118
Figura 73 Asignación De Cargas De Peso Propio	120
Figura 74 Asignación De Sobrecarga Permanente.....	120
Figura 75 Asignación De Sobrecarga Viva.....	121
Figura 76 Asignación De Cargas Distribuidas.....	122
Figura 77 Asignación De Cargas Puntuales.....	123
Figura 78 Espectro De Diseño Para Un Análisis Lineal Y Un Sistema Estructural De Pórticos, Dirección Xx	126
Figura 79 Espectro De Diseño Para Un Análisis Lineal Y Un Sistema Estructural De Albañilería Confinada, Dirección Yy	127
Figura 80 Definición Del Caso Sísmico Espectral Para El Sistema De Pórtico	127
Figura 81 Definición Del Caso Sísmico Espectral Para El Sistema De Albañilería Confinada .	129
Figura 82 Espectro De Diseño Para Un Análisis No Lineal	130
Figura 83 Definición Del Caso De Carga Gravitacional No Lineal	132
Figura 84 Definición Del Caso De Carga No Lineal O Pushover, En La Dirección Xx	132
Figura 85 Definición Del Caso De Carga No Lineal O Pushover, En La Dirección Yy	133
Figura 86 Propiedades Para El Concreto Confinado Aplicado A Componentes Columnas.....	136
Figura 87 Propiedades Para El Concreto No Confinado Aplicado A Componentes Vigas.....	136
Figura 88 Propiedades Para La Barra De Refuerzo Aplicado A Todo Componente De Concreto Armado	137
Figura 89 Vista Del Modelo Analítico De La Estructura, Para Un Análisis Lineal	138
Figura 90 Definición De La Sección Columna – Modelo Tipo Frame.....	138
Figura 91 Definición De La Sección Viga De Sección Uniforme – Modelo Tipo Frame.....	139

Figura 92 Definición De La Sección Viga De Sección Variable En Cantilibre – Modelo Tipo	
Frame	140
Figura 93 Definición De La Sección Muro De Albañilería – Modelo Tipo Shell-Thin	141
Figura 94 Definición De La Sección De Losa – Modelo Tipo Membrana Con Un Espesor	
Mínimo	142
Figura 95 Recomendaciones Para El Modelado De Nodos	143
Figura 96 Vista Del Modelo Analítico De La Estructura, Para Un Análisis No Lineal	144
Figura 97 Disposición De Las Rótulas Plásticas Para Los Componentes Vigas	146
Figura 98 Parámetros De Modelado No Lineal, Y Criterios De Aceptación Para La Componente	
Viga Reforzada.	148
Figura 99 Aplicación De Rótulas Concentradas En Vigas	149
Figura 100 Diagrama Momento-Curvatura De La Sección Viga 25x45cm	150
Figura 101 Gráfica Normalizada Momento-Rotación, Caso Viga 25x45cm (M - Θ)	151
Figura 102 Modelo Matemático No Lineal, Diagrama Momento-Rotación Para La Componente	
Viga 25x45cm.....	152
Figura 103 Diagrama Momento-Curvatura De La Sección Viga 25x25cm	153
Figura 104 Gráfica Normalizada Momento-Rotación, Caso Viga 25x25cm (M - Θ)	154
Figura 105 Modelo Matemático No Lineal, Diagrama Momento-Rotación Para La Componente	
Viga 25x25cm.....	155
Figura 106 Disposición De Las Rótulas Distribuidas Para Los Componentes Columnas.....	156
Figura 107 Asignación De Rótulas Distribuidas En Las Columnas	156
Figura 108 Valores De Rigidez Efectiva, En Consideración A Secciones Agrietadas.....	157
Figura 109 Asignación De Rigidez Efectiva A Flexión Para La Sección De Las Vigas.....	158

Figura 110 Grafica Normalizada (F-Δ) De La Rótula Por Corte Para El Análisis No Lineal De Los Muros De Albañilería, Del Eje 1-1, Nivel 01	159
Figura 111 Modelo Numérico Aplicada En El Software Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 1-1, Nivel 01	164
Figura 112 Modelo Numérico Aplicada En El Software Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 1-1, Nivel 02	164
Figura 113 Modelo Numérico Aplicada En El Software Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 3-3, Nivel 01	165
Figura 114 Modelo Numérico Aplicada En El Software Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 3-3, Nivel 02	166
Figura 115 Modelo Numérico Aplicada En El Software, Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 5-5, Nivel 01	166
Figura 116 Modelo Numérico Aplicada En El Software, Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 7-7, Nivel 01	167
Figura 117 Modelo Numérico Aplicada En El Software, Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 7-7, Nivel 02	168
Figura 118 Modelo Numérico Aplicada En El Software, Etabs V2018.1.1, Para El Muro Del Eje 9-9, Nivel 01	168
Figura 119 Masa Sísmica De La Estructura, En Ambas Direcciones De Estudio	169
Figura 120 Revisión De Irregularidad Crítica - Torsión.....	170
Figura 121 Fuerzas En La Base De La Estructura Corregida, En Ambas Direcciones De Estudio	170
Figura 122 Formación De Rótulas Plásticas, En La Dirección Xx, Para El Sistema Estructural De Pórticos	172

Figura 123 Vista De La Formación De Rótulas Plásticas, Para El Sistema Estructural De Pórticos	174
Figura 124 Formación De Rótulas Plásticas, En La Dirección Yy, Para El Sistema De Albañilería Confinada	175
Figura 125 Vista De La Formación De Rótulas Plásticas, Para El Sistema Estructural De Albañilería Confinada	175
Figura 126 Curva De Capacidad De La Estructura, Para El Sistema Estructural De Pórticos ...	176
Figura 127 Curva De Capacidad De La Estructura, Para El Cálculo De Ductilidad Del Sistema Estructural De Pórticos	177
Figura 128 Curva De Capacidad De La Estructura, Para El Sistema Estructural De Albañilería Confinada	178
Figura 129 Corrección De Los Registros Sísmicos	182
Figura 130 Vista De Los Registros Sísmicos Corregidos Y Originales	183
Figura 131 Espectro De Diseño, Para Un Sismo De Diseño Y Un Adnl.....	183
Figura 132 Recorte De Registro Sísmico Por La Energía Acumulada, Método De Intensidad De Arias	184
Figura 133 Registros Sísmicos A Recortar	185
Figura 134	186
Figura 135 Media De Los Registros Sísmicos Espectrocompatibles Con El Espectro De Diseño ..	187
Figura 136 Juego De Registro En Cada Dirección, Escaladas Al Sismo De Diseño.....	188
Figura 137 Juego De Registro Escalados En Cada Dirección E Insertados Al Software De Análisis	190
Figura 138 Propiedades Para El Concreto Confinado, Modelo De Histéresis De Takeda	191

Figura 139 Propiedades Para El Concreto No Confinado, Modelo De Histéresis De Takeda ...	192
Figura 140 Propiedades Para La Barra De Refuerzo, Modelo De Histéresis Kinematic.....	193
Figura 141 Casos De Carga Tiempo-Historia, Para Un Sismo De Diseño.....	194
Figura 142 Casos De Carga Tiempo-Historia, Para Un Sismo Máximo	196
Figura 143 Curva De Probabilidad Anual De Excedencia Vs. Aceleración Espectral, Aplicada Al Proyecto	199
Figura 144 Espectro De Peligro Uniforme (Uhs), Para Un Amortiguamiento Del 5%, Para Cada Nivel De Intensidad Sísmica.....	202
Figura 145 Factor De Participación Modal De Las Masas	205
Figura 146 Relación Demanda/Capacidad De Las Columnas	206
Figura 147 Relación Demanda/Capacidad De Los Nodos Viga-Columna.....	207
Figura 148 Relación De La Capacidad Viga/Columna.....	208
Figura 149 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Espectro De Capacidad Fema 440, Para El Sistema Estructural De Pórtico Y Un Sismo De Diseño.....	210
Figura 150 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Espectro De Capacidad Fema 440, Para El Sistema Estructural De Pórtico Y Un Sismo Máximo	211
Figura 151 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Espectro De Capacidad Fema 440, Para El Sistema Estructural De Albañilería Confinada Y Un Sismo De Diseño.....	211
Figura 152 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Espectro De Capacidad Fema 440, Para El Sistema Estructural De Albañilería Confinada Y Un Sismo Máximo	212
Figura 153 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Los Coeficientes Asce 41-17, Sistema Estructural De Pórtico Y Un Sismo De Diseño	213
Figura 154 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Los Coeficientes Asce 41-17, Sistema Estructural De Pórtico Y Un Sismo Máximo.....	214

Figura 155 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Los Coeficientes Asce 41-17, Sistema Estructural De Albañilería Confinada Y Un Sismo De Diseño	215
Figura 156 Punto De Desempeño, Mediante El Método De Los Coeficientes Asce 41-17, Sistema Estructural De Albañilería Confinada Y Un Sismo Máximo.....	216
Figura 157 Distorsión De Entrepiso, Sistema Estructural De Pórtico, Para Un Sismo Máximo	217
Figura 158 Distorsión De Entrepiso, Sistema Estructural De Albañilería Confinada, Para Un Sismo Máximo	217
Figura 159 Formación De Rótula Plástica, Del Componente Primario Viga (25x45 Cm) Crítica Del Primer Nivel	220
Figura 160 Formación De Rótula Plástica, Del Componente Primario Viga (25x25cm) Crítica Del Segundo Nivel.....	221
Figura 161 Curva Momento – Rotación, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Primer Nivel	222
Figura 162 Curva Esfuerzo - Deformación, De La Sección De Concreto, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Primer Nivel.....	223
Figura 163 Curva Esfuerzo - Deformación, Del Acero De Refuerzo, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Primer Nivel.....	224
Figura 164 Curva Momento – Rotación, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Segundo Nivel.....	225
Figura 165 Curva Esfuerzo - Deformación, De La Sección De Concreto, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Segundo Nivel.....	225
Figura 166 Curva Esfuerzo - Deformación, Del Acero De Refuerzo, Para La Columna Más Crítica (Ct 25x70cm) Del Segundo Nivel.....	226

Figura 167 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 1-1, A-B, Del Primer Nivel	228
Figura 168 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 1-1, B-C, Del Primer Nivel	228
Figura 169 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 3-3, A-B, Del Primer Nivel	229
Figura 170 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 3-3, B-C, Del Primer Nivel	230
Figura 171 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 5-5, A-B, Del Primer Nivel	231
Figura 172 Rótulas Plástica Del Componente Muro De Albañilería, Eje 5-5, B-C, Del Primer Nivel	232
Figura 173 Registro De Desplazamiento Vs. Tiempo, Escalados A Un Sismo De Diseño Lima 1974 Xx	242
Figura 174 Registro De Desplazamiento Vs. Tiempo, Escalado A Un Sismo De Diseño Lima 1966 Yy	242
Figura 175 Registro De Desplazamiento Vs. Tiempo, Escalado A Un Sismo Máximo Lima 1974 Xx	243
Figura 176 Registro De Desplazamiento Vs. Tiempo, Escalado A Un Sismo Máximo Lima 1966 Yy	244
Figura 177 Deriva Máxima, Escalada A Un Sismo De Diseño, Lima 1974 Xx.....	247
Figura 178 Deriva Máxima, Escalada A Un Sismo De Diseño, Lima 1966 Yy.....	248
Figura 179 Deriva Máxima, Escalada A Un Sismo Máximo, Lima 1974 Xx	248
Figura 180 Deriva Máxima, Escalada A Un Sismo Máximo, Lima 1966 Yy	249

Figura 181 Desplazamientos Máximos De Un Adnl Th Y Aenl, Para Un Sismo Máximo Y Un Sistema De Pórtico.....	252
Figura 182 Desplazamientos Máximos De Un Adnl Th Y Aenl, Para Un Sismo Máximo Y Un Sistema De Albañilería	253
Figura 183 Corte Basal Para Desplazamientos Máximos De Un Adnl Th Y Aenl, Para Un Sismo Máximo Y Un Sistema De Pórtico	254
Figura 184 Corte Basal Para Desplazamientos Máximos De Un Adnl Th Y Aenl, Para Un Sismo Máximo Y Un Sistema De Albañilería	254
Figura 185 Histéresis De La Columna Crítica, Para Un Sistema Estructural Tipo Pórtico.....	255
Figura 186 Histéresis Del Acero De Refuerzo Para La Columna Crítica De Un Sistema Estructural Tipo Pórtico.....	256
Figura 187 Histéresis Del Concreto Confinado Para La Columna Crítica De Un Sistema Estructural Tipo Pórtico.....	256
Figura 188 Histéresis De La Viga Crítica, Para Un Sistema Estructural Tipo Pórtico.....	257
Figura 189 Histéresis Del Componente Muro De Albañilería, Para Un Sistema Estructural De Albañilería Confinada.....	258
Figura 190 Registro De La Deriva Sísmica De La Estructura, Ida.....	260
Figura 191 Registro Del Desplazamiento Sísmico De La Estructura, Ida.....	261
Figura 192	261
Figura 193 Registro De La Rotación De Las Vigas Para El Sistema De Pórtico, Ida.....	262
Figura 194 Derivas De Entrepisos, Curva Intensidad Sísmica Vs. Deriva, Ida Máximos.....	262
Figura 195 Desplazamientos De Entrepisos, Curva Intensidad Sísmica Vs. Desplazamiento, Ida Máximos	263

Figura 196 Corte En La Base De La Estructura, Curva Intensidad Sísmica Vs Corte, Ida

Máximos264

Figura 197 Rotación En La Viga Crítica De La Estructura, Curva Intensidad Sísmica Vs

Rotación, Ida Máximos265

INTRODUCCIÓN

Para los estudios de evaluación de desempeño sísmico, en función a su importancia y funcionalidad, es decir, a su objetivo de desempeño; se han determinado una serie de metodologías, con el propósito de calificar de manera analítica y probabilística el desempeño de la estructura evaluada; verificando, si se encuentra dentro de los criterios de aceptación para tal edificación en función a las normativas FEMA 440, 356, ATC-40, ASCE 41-17, FEMA P58 y E.030 que las permite evaluar.

Debido a que el comportamiento inadecuado de las edificaciones ante la ocurrencia de eventos sísmicos importantes es el responsable de generar daños y colapsos estructurales, es conveniente evaluar el comportamiento y desempeño sismorresistente de aquellas estructuras esenciales, que fueron construidas años antes de la actualización de la norma técnica E.030.

La situación de las edificaciones esenciales, excepto de aquellas singulares (construidas con posterioridad a la actualización de la norma técnica E.030), y especialmente de la institución educativa en estudio “N°141” ubicada en el distrito, provincia y región de Huánuco, donde se aplicaba para el diseño sismorresistente la normativa E.030 – 2003, para su proyección y luego construcción, manifiesta cierta incertidumbre con respecto a su comportamiento estructural, sísmico y al objetivo de desempeño (criterio necesario para una evaluación y validación del diseño sismorresistente), debido que estas normas fueron actualizadas con variaciones significativas y que son de uso obligatorio; como también, según el criterio de desempeño sísmico, dicha institución debería presentar un nivel de desempeño entre el rango de ocupación inmediata y seguridad de vida para un sismo máximo.

Cabe destacar que no existen estudios a nivel de desempeño sísmico estructural para ésta edificación, haciéndose incierto ubicar ante un evento sísmico las componentes y elementos de mayor probabilidad de daño.

Todo esto ha llevado a consultar las diferentes metodologías de evaluación, donde se ha concebido utilizar los métodos de aplicación del espectro de capacidad (linealización equivalente) y de los coeficientes para un análisis estático no lineal y el método de análisis tiempo – historia para un análisis dinámico no lineal, debido a una evaluación analítica y otras características propias del método que se ajusta con el escenario a evaluar.

El trabajo de investigación ha sido dividida en cuatro capítulos: El **capítulo I** presenta el Planteamiento del problema, donde se plantea la problemática y sus limitaciones, problemática que es justificada, para luego pasar a definir una hipótesis o solución probable, con sus variables, indicadores y dimensiones correspondientes; en el **capítulo II** se desarrolla el marco teórico, definiendo los antecedentes bibliográficos, conceptos fundamentales para el desarrollo del trabajo de investigación, revisando el estado actual de la edificación a evaluar y describiendo su metodología a aplicar; en el **capítulo III** se describe el desarrollo del trabajo de tesis, determinando y describiendo los casos de análisis a aplicar, justificadas con las normativas correspondientes, describiéndose y aplicándose las formas de modelados de la edificación y modelos matemáticos no lineales para cada componente estructural, según las metodologías utilizadas, de igual manera realizando los tratamientos sísmicos correspondientes, aplicados al trabajo de investigación; en el **capítulo IV** se presentan los resultados de la investigación y se valida la hipótesis para cada caso de análisis, en función a la metodología desarrollada en el capítulo III, determinando así el desempeño sísmico estructural de la edificación a evaluar; luego se describe las conclusiones y recomendaciones para el trabajo de investigación denominada **“Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héros de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022”**; finalizando con la presentación de las fuentes bibliográficas que fueron de soporte para el desarrollo del trabajo de investigación.

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Fundamentación del problema de investigación

Perú es un país propenso a eventos sísmicos de gran magnitud, debido a que forma parte del cinturón de fuego del pacífico, caracterizado por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica, además, se hace presente la existencia de estructuras educativas proyectadas y construidas en décadas pasadas, con las normativas vigentes de diseño para aquel entonces, normativas que en estos últimos años fueron actualizándose, basados en las experiencias sísmicas y buenas prácticas, traduciéndose en edificaciones con un desempeño incierto durante un evento sísmico de importancia, con el riesgo de sufrir pérdidas humanas y económicas.

La ciudad de Huánuco está propensa a experimentar eventos sísmicos medianamente destructivos en función a la categoría de la edificación y calidad de la construcción, sin embargo, existe una tendencia al crecimiento poblacional lineal a exponencial en la ciudad, sobre todo en áreas fuera del casco urbano; generándose la necesidad básica de la educación. Como muestra tenemos la institución educativa Inicial “N°141-Héroes de Jactay”, ubicada en el AA.HH. Héroes de Jactay-Las Moras, distrito, provincia y región de Huánuco (figura 1 y 2); esta es una edificación calificada según la N.T.P. E.030 como esencial, categoría A2, cuya función no debe ser interrumpida después de un sismo severo y servir de refugio después de un desastre, y según el criterio de desempeño sísmico, dicha institución debería presentar un nivel de desempeño de ocupación inmediata luego de un sismo severo; para lo cual se debe brindar seguridad a nivel estructural.

Para la concepción y diseño de esta Institución Educativa, se contemplaba la normativa sismorresistente E.030, del año 2003, según el expediente técnico correspondiente (figura 3), el cual manifiesta cierto desfase con respecto a su comportamiento sísmico y al objetivo de

desempeño (criterio necesario para una evaluación y validación del diseño sismorresistente), con la normativa actual E.030 – 2018; pues éstas normas pasadas aplicadas hasta ese entonces, se modificaron de manera gradual en función a las experiencias sísmicas, buenas prácticas y recomendaciones por expertos; como variación en los parámetros de cortante dinámico en la base, desplazamiento laterales, demanda de acero en el refuerzo de la estructura y otros para el análisis de varios edificios (Zapata,2019), traducándose todo esto en las normas que hoy en día son de uso obligatorio.

Por lo cual no es posible describir con exactitud el estado post sismo de la estructura a evaluar, amparándonos solo en la normativa vigente para ese entonces; es por ello, la necesidad de evaluar y determinar el comportamiento a nivel de desempeño sísmico de esta edificación existente, bajo otras metodologías internacionales en amparo a la normativa actualizada, específicamente para el módulo con mayor masa sísmica (figura 4), que permitan estimar el objetivo de desempeño, identificando los componentes y elementos más susceptibles a sufrir daño, conllevando en la medida de que sea posible la rehabilitación de ésta, cumpliéndose el objetivo de desempeño según la categoría de la edificación. El aporte de la presente investigación a la ingeniería civil y a la sociedad en base a evaluar el desempeño sísmico estructural de la Institución educativa en estudio, es el de determinar bajo análisis y mediciones numéricas, el comportamiento sísmico y estructural de esta institución educativa y con ello inferir el comportamiento (en base a la ductilidad, resistencia, redundancia y rigidez) de las demás edificaciones educativas de configuración estructural típicas y similares en la ciudad de Huánuco y a nivel nacional, ante un evento sísmico máximo, por ahora simulados, instituciones educativas típicas que fueron concebidos bajo esta normativa anterior; en caso no pueda demostrarse tendrá que intervenir y análogamente revisar las demás instituciones educativas similares.

Figura 1

Ubicación de la I.E.I. N° 141-Heroes de Jactay.

**Figura 2**

Vista de la I.E.I. N° 141-Heroes de Jactay.



Figura 3

Expediente técnico para la construcción de la I.E.I. N° 141-Heroes de Jactay



Nota: Adaptado de Sustitución de Infraestructura e implementación con mobiliario de la IEI N° 141-Heroes de Jactay-Huánuco, Gerencia de Infraestructura, 2006, Gobierno regional Huánuco.

Figura 4

Módulo evaluado (M-02) de la I.E.I. N° 141-Heroes de Jactay



1.2 Formulación del problema de investigación, general y específicos

Problema General

Empleando las metodologías de evaluación por desempeño sísmico para edificaciones existentes, ¿cuál será el desempeño sísmico estructural de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay?

Problemas Específicos

P.E. 1: ¿Cuál es el comportamiento estructural de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay?

P.E. 2: ¿Cuál es el comportamiento sismorresistente de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay?

P.E. 3: Si la institución educativa no reúne las condiciones para un desempeño estructural eficiente, ¿cuáles son las componentes y elementos estructurales vulnerables que necesiten una intervención estructural para lograr un nivel de desempeño objetivo?

1.3 Formulación de objetivos general y específicos

Objetivo General

Determinar el desempeño sísmico estructural de la institución educativa N° 141-Héroes de Jactay, aplicando las metodologías existentes para su evaluación.

Objetivos Específicos

O.E. 1: Determinar el comportamiento estructural de la institución educativa N°140 Héroes de Jactay.

O.E. 2: Determinar el comportamiento sismorresistente de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay.

O.E. 3: Determinar los componentes y elementos estructurales vulnerables que necesiten una adecuación o intervención estructural para generar un nivel de desempeño objetivo.

1.4 Justificación

Por definiciones normativas, el distrito de Huánuco está ubicada en áreas de peligrosidad sísmica moderada propensos a eventos sísmicos medianamente destructivos (zona sísmica 2, N.T. E.030, 2018), debido a ello, muchas veces se ha descuidado las precauciones básicas de protección frente a tal evento, conllevando a un aumento de su vulnerabilidad. Generalmente las predicciones del comportamiento sísmico son aproximadas y aunque la probabilidad de que existan eventos sísmicos de magnitudes importantes, como las que se espera, y destructivas es mínima, los efectos e intensidad de estos serán elevados por la vulnerabilidad que se presenta.

Tanto el daño parcial como el colapso de las edificaciones pueden afectar a las personas que habitan o realizan actividades, produciendo víctimas y pérdidas económicas.

Dentro de este contexto se ha realizado una evaluación del objetivo de desempeño estructural sísmico para la institución educativa en estudio, que tenía como objeto determinar el comportamiento estructural (nivel desempeño) frente a un nivel de amenaza sísmica, traduciéndose en un nivel de riesgo sísmico; debido a que la etapa de construcción para aquella institución se desfasa de la normativa vigente, mostrándose cambios esenciales en la norma respecto a la evaluación y análisis sismorresistente (tabla 1 y figura 5).

Además, se ha realizado la revisión del expediente técnico denominado “Sustitución de infraestructura e implementación con mobiliario de la IEI N°141-Héroes de Jactay-Huánuco” donde no se ha encontrado el periodo de vida útil proyectada de la edificación educativa, debido a ello, se ha hecho uso de una referencia como se muestra en la tabla 2, determinado que el periodo de vida útil de las edificaciones en general es de al menos 50 años, específicamente, la Institución Educativa evaluada fue construida en el año 2006, hasta la fecha, han transcurrido 17 años, existiendo una ventana donde la estructura por filosofía sismorresistente deben brindar la seguridad y estabilidad adecuada de hasta por lo menos 33 años a más, sin ser intervenida estructuralmente; sin embargo bajo el desarrollo de esta investigación, se tiene la incertidumbre de la respuesta de la estructura ante eventos sísmicos leves a severos, ello justificaría una intervención o reforzamiento si así lo requiere.

La presente evaluación también es de importancia, debido que al determinar el objetivo de desempeño de dicha edificación se evidencia aquellos componentes, sino es toda la estructura, que degradan el comportamiento global de la edificación, que reduce el nivel de desempeño permisible, y en función a ello, es posible plantear algunos modelos de intervención en función a una evaluación global generando una línea de investigación.

Tabla 1

Modificaciones puntuales de la N.T. E030 del R.N.E, para el proyecto específico

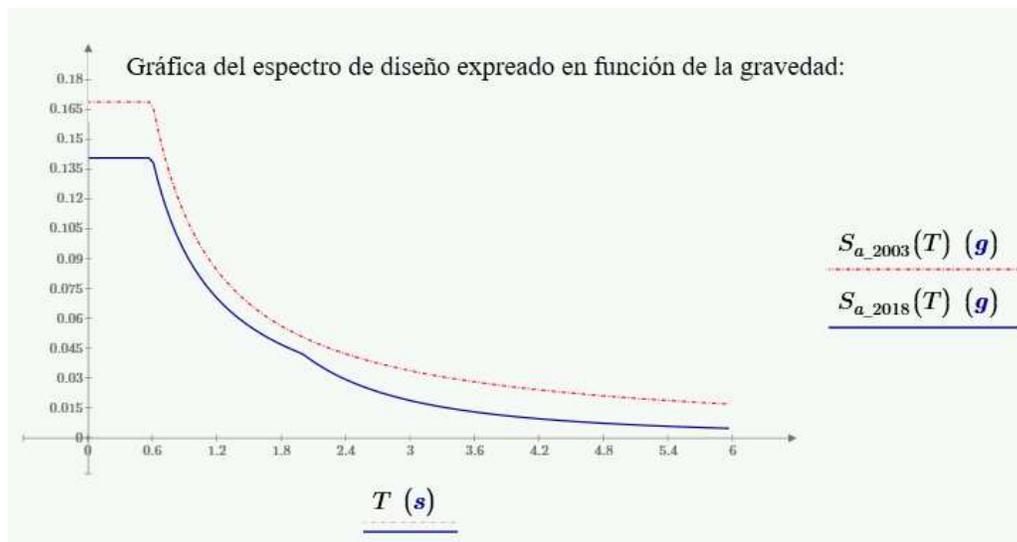
Descripción	RNE 2003	RNE Actual
Análisis Tiempo-Historia	No existe una metodología de análisis.	Se muestra una metodología para el

	desarrollo y tratamiento de resultados.	
Capacidad estructural	Ductilidad y resistencia	Rigidez, ductilidad y resistencia
Desplazamiento lateral inelástico	0.75R	0.85R

Nota: N.T E030 – Norma técnica E030 Diseño sismorresistente, R.N.E – Reglamento nacional de edificaciones

Figura 5

Comparativa del espectro inelástico N.T. E030 2003 y N.T. E030 2018



Nota: El gráfico aceleración espectral vs. Tiempo, muestra una variación de 0.03g de aceleración espectral (S_a) de la N.T E030 2003 respecto a la N.T. E030 2018, para el proyecto específico,

Tabla 2*Vida útil de los edificios*

Categoría de edificios	Vida útil de diseño por categoría (años)	Ejemplos
Temporales	Hasta 10 años	Estructuras provisionales
Vida media	24-49	Edificios industriales y para estacionamiento
Vida larga	50-99	Edificios residenciales, oficinas, comerciales, de educación, de salud
Permanentes	Más de 100	Edificios monumentales, patrimoniales, etc

Nota: Se hace uso de esta tabla, debido a la no existencia de la vida útil proyectada en el expediente técnico de la institución en estudio. Canadian Standards association, 2001, Australian Building codes board, 2006; International Standards Organization, 2000, como se citó en Hernandez, 2016

1.5 Limitaciones*Limitaciones Instrumentales*

Para realizar los ensayos en forma de simulaciones sísmicas de la edificación (laboratorio); para salvar esta limitación, utilizaremos laboratorios digitales o softwares que realicen las simulaciones sísmicas de la edificación.

Limitaciones Económicas

Para adquirir instrumentos de ensayos de materiales y software con licencia de simulaciones y análisis de edificaciones a gran escala; para salvar esta limitación, utilizaremos softwares con licencia educativa y datos de materiales, extraídos de los archivos del proyecto de construcción de la institución a evaluar.

Limitaciones de tiempo

Para incluir estudios de interacción suelo – estructura e intervención estructural y propuesta de reforzamiento sísmica para la edificación a evaluar; para salvar esta limitación, utilizaremos en el modelo, condiciones de frontera de empotramiento rígido en la base y llegaremos a un alcance de generación de datos necesarios para evaluar si es posible una intervención estructural.

Limitaciones de espacio

Para ampliar nuestros límites de evaluación e incluir al estudio demás instituciones educativas que desfasan el tiempo construido respecto a la normatividad última de evaluación; para salvar esta limitación, éste trabajo de investigación será de apoyo para la evaluación de otras instituciones educativas o edificios similares que lo requieran.

1.6 Formulación de hipótesis generales y específicas

Hipótesis General

La estructura educativa tendrá un desempeño sísmico estructural en el rango de **seguridad de vida** y de **ocupación inmediata**, permaneciendo en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Hipótesis Específicas

H.E. 1: La estructura tiene un comportamiento estructural adecuado (con una participación modal de masa acumulada mayor al 90% de la masa total y un desplazamiento traslacional en sus principales direcciones de análisis)

H.E. 2: La estructura tiene un comportamiento sismorresistente adecuado (con una deriva inelástica de la estructura bajo una aceleración espectral o sísmica, dentro del límite admisible normado, para sus principales direcciones de análisis)

H.E. 3: La estructura y componentes estructurales de la edificación educativa se encuentran en un nivel de desempeño entre **seguridad de vida** y **ocupación inmediata**, sin requerir un mejoramiento ni intervención estructural hasta que cumpla su vida útil.

1.7 Variables

Variable Independiente

Punto de desempeño sísmico de la estructura.

Variable Dependiente

Desempeño sísmico de la estructura.

1.8 Definición teórica y Operacionalización de Variables

Definición Teórica

Punto de Desempeño Sísmico de la Estructura. El punto de desempeño se define como la intersección entre los parámetros de respuesta de la estructura junto a sus elementos, y un nivel de amenaza sísmica definida, definidas por las metodologías existentes para el estudio.

Desempeño Sísmico de la Estructura. El Desempeño sísmico se define como el comportamiento o estado de daño de la estructura, en función al punto de desempeño, en base a las metodologías que las evalúan.

Operacionalización de Variables

Medición de la Variable Independiente. El punto de desempeño se medirá en función a los indicadores de Espectro de capacidad del FEMA 440, Coeficientes del ASCE41-17, índice de desplazamiento incremental (IDA) del FEMA P58 y E030 y niveles de movimiento sísmico del ATC 40.

Medición de la Variable Dependiente. El desempeño sísmico se medirá en función a los indicadores de punto u objetivo de desempeño y los criterios de aceptación de los componentes y respuesta global y daño de la estructura del ATC 40, ASCE 41-13, ASCE41-17 y HAZUZ 99.

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variables	Descripción	Indicadores	Unidades	Dimensiones	Instrumentos
Independiente	Punto de desempeño sísmico de la estructura	Espectro de capacidad del FEMA 440, Coeficientes del ASCE41-17, índice de desplazamiento incremental (IDA) del FEMA P58 y E030 y niveles de movimiento sísmico del ATC 40	Desplazamiento (cm.), deriva (adimensional) y rotación (rad.)	Respuesta de la estructura, Nivel de amenaza sísmica	Curva de capacidad y curva bilineal del ASCE-41-17, Curva de aceleración espectral vs. Desplazamiento espectral del FEMA 440, Curva de distorsión de entrepiso, Curva IDA de desplazamiento.
Dependiente	Desempeño sísmico de la estructura	Objetivo de desempeño y los criterios de aceptación de los componentes y respuesta global y daño de la estructura del ATC 40, ASCE41-17 y HAZUZ 99	IO: Inmediata ocupación, LS: Seguridad de vida, CP: Colapso progresivo, CE: Colapso de la estructura	Desempeño de los componentes estructurales, Desempeño de la estructura global.	Tablas de aceptación de componentes según el ASCE - 17 , Tablas de aceptación de la estructura según el ATC 40, Tablas de daño de la estructura según HAZUZ 99

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el Ámbito Internacional

Un estudio relacionado “**Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial porticado de hormigón armado según la norma ecuatoriana de construcción (NEC-SE-RE, 2015)**” realizado en el año 2017 en Ecuador por el Ing. Gonzalo Andrés Orellana Román y Jonnathan Lizardo Parra Mora.

En éste proyecto se ha evaluado el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (AENL) y análisis dinámico no lineal (ADNL) empleando el programa SAP 2000; obteniendo la curva de capacidad y a partir de esta se ha determinado el punto de desempeño mediante las metodologías FEMA 440 (equivalent linearization) y ATC 40 (capacity spectrum method); donde se concluye que las derivas están dentro del límite permisible, las rótulas plásticas para la edificación presentan daños locales para ambos métodos de análisis; las rótulas de las vigas con mayor daño superaron el nivel de desempeño de la prevención de colapso (CP), también las rótulas de las columnas han alcanzado el nivel de desempeño de ocupación inmediata (IO), la estructura retiene esencialmente la fuerza de diseño previo al sismo y la rigidez de la estructura, cumpliendo con los criterios de aceptación especificados en el FEMA 356 para el nivel de desempeño estructural (p. 1-79-80)

Otro estudio relacionado “**Desempeño sísmico por el método push-over de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10.**” realizado en el año 2017 en Colombia por el Ing. Yuler H. Salcedo Barco.

En este proyecto se ha determinado el desempeño sísmico por el método Pushover, modelándose el edificio en el rango elástico e inelástico mediante el software Etabs, obteniéndose la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura, así como su punto de desempeño y los niveles de desempeño para cada nivel de amenaza sísmica. Donde se ha

concluido que para un sismo de intensidad alta, la deriva esperada es del 2.59% y el nivel de desempeño del edificio en caso de presentarse el sismo de diseño es el de ocupación inmediata (IO), y se espera un daño mínimo en elementos estructurales (p.6-105)

En el ámbito Nacional:

Un estudio similar denominado “**Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo**” se realizó en el año 2011 en la ciudad de Lima, por el Ing. Víctor Adolfo Gálvez Chunas de la Pontificia Universidad católica del Perú.

El proyecto ha evaluado el desempeño sísmico de una Institución Educativa ubicado en la costa peruana, de 2 Niveles con sistemas aporticados y muros de albañilería confinada, utilizando los criterios de desempeño del FEMA 368 y Ghobarah. La estructura se analizado en el rango inelástico y calibrando los elementos estructurales de la edificación con ensayos reales del PEER con el programa CANNY. Al aplicar el procedimiento estudiado en la edificación escolar se ha concluido que la estructura es robusta con niveles de confianza del 84% y $U=1.5$, que ante demandas frecuentes y ocasionales obtenemos derivas menores al 0.40%, estando dentro del nivel operacional. Ante un sismo raro obtenemos derivas de 0.85% estando dentro del nivel de resguardo de vida con daños moderados. Finalmente obtenemos que ante un sismo muy raro obtenemos 1.10% de deriva obteniendo algunos daños irreparables. En ningún momento la estructura estuvo cerca del colapso total. (p.iii-44-45)

Otro estudio similar denominado “**Análisis sísmico usando sap2000 para evaluar la efectividad del comportamiento sismorresistente de la infraestructura de la I.E 82109, San Antonio Plan Tual – centro poblado -Huambocancha alta, provincia y región de Cajamarca**” se realizó en el año 2015 en la ciudad de Cajamarca por el Ing. Cristhian A. Amoros Barrantes de la Universidad Cesar Vallejo.

En el presente proyecto se hizo uso del software SAP2000 v15. Para la

evaluación del comportamiento sísmico, se tomó los datos del expediente técnico como los planos de la estructura, los cuales permitieron ejecutar la configuración para el modelo, definiéndose las secciones y materiales. Para la evaluación del análisis sísmico, se realizó dos tipos de análisis, el análisis lineal, que consiste en verificar el cumplimiento de la Norma E.030 RNE, y el análisis estático no lineal, usando las normas FEMA 273 ATC – 40 y comité Visión 2000. Donde se ha concluido que para ambos análisis, la estructura no cumple los criterios de aceptación de la Norma E. 030 del RNE, y que debe ser reforzada para mejorar su comportamiento, y que para el análisis sísmico no Lineal Pushover la estructura se encuentra en el nivel de Seguridad Vida. (p. 10-207)

Otro estudio relacionado denominado **“Análisis de desempeño sísmico de los edificios escolares típicos 780 post 97 de la costa peruana”** se realizó en el año 2016 en Perú por los Ing. Roberto Chacón Álvarez Israel A. Paz Fuentes, de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

En este proyecto se utilizó el IDA para analizar de forma más objetiva la respuesta estructural de los colegios típicos 780 post 97. Se conoció a detalle los daños, las pérdidas y el costo de reparación para diferentes niveles de intensidades sísmicas (p. 7); todo ello aplicado a casos de colegios de 3 aulas, de 2 y 3 pisos, para cuyo análisis se utilizarán 14 registros sísmicos (p. 8); concluyendo que: Los edificios escolares 780 post 97 de dos y tres niveles presentan pérdidas bajas hasta una intensidad de 1.5g de pseudoaceleración, estos edificios entran en el rango de irreparabilidad aproximadamente en valores cercanos a 2.5g. Además, se concluye que los edificios educativos tienen un buen desempeño sísmico frente a sismos raros y cumplen satisfactoriamente la filosofía del diseño sísmorresistente según la norma E.030, donde los índices de daño global de la estructura son los siguientes: Inmediata ocupación (IO) 3%; Daño Controlado (DC) 15%; Seguridad de Vida (LS) 25%; Prevención de colapso de la estructura (CO) 100%. (p. 66)

En el ámbito local:

Luego de recopilar información relacionada, solamente se ha encontrado un solo antecedente a nivel local, y este estudio es: **“Evaluación estructural de la Institución Educativa Emblemática Nuestra Señora de las Mercedes, usando el método del espectro de capacidad”** Publicado en el año 2018 en Huánuco – PERÚ, por el Ing. Paredes Chura, Carlos.

El presente proyecto tuvo como objetivo calificar la competencia de la estructura ante la demanda por sismo (desempeño estructural). Como metodología de evaluación se usó el Método del Espectro de Capacidad, metodología basada en el ASCE 41-13 NSP, donde se ha concluido que la estructura en dirección X se encuentra dentro de un nivel de desempeño ante una demanda sísmica de "Seguridad de Vida", quiere decir, que se espera daño significativo en componentes estructurales y no estructurales y se tendría que reforzar las columnas del primer piso; en dirección Y, se encuentra dentro de un nivel de desempeño ante una demanda sísmica de "Prevención del colapso" (CP), quiere decir, que la estructura difícilmente podrá ser reparada y no es segura para la reocupación ante una amenaza sísmica; por lo tanto, se tendría que reforzar las columnas del primer piso y se recomienda llevar a cabo un proyecto de reforzamiento de la estructura que apunte a reducir el nivel de posibles daños estructurales.

2.2. Bases Teóricas

Sismicidad en la ciudad de Huánuco

El Perú, está situado en el círculo de fuego del pacífico, zona en la cual la ocurrencia de eventos sísmicos, ha sido y será frecuente. Los terremotos en el Perú se clasifican en los siguientes grupos, según A. Iceberg en 1925:

Tabla 4*Distribución de los terremotos en el Perú*

Tipo	Fuerza	Mercalli
Mundiales	X	XII
Terremotos grandes	VIII	XII
Terremotos medianos	VII	X
Terremotos pequeños o locales		VII

Nota: La ciudad de Huánuco en dicho mapa, aparece en el grupo de terremotos medianos a veces destructivos. Tomado de Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad de Huánuco (p. 91), por Ing. Félix Marín Guillen, 2012, Universidad Nacional de Ingeniería.

Según Marín (2012), La mayoría de sismos que se producen en el territorio peruano son tectónicos, sin embargo la Cordillera de los Andes y la Fosa Oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más saltante precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes.

Según la incidencia sísmica, los sismos en Huánuco pueden considerarse:

Mayor Gravedad, colapso de viviendas y grietas grandes en las paredes.

Mediana Gravedad, con grietas pequeñas en las paredes, sin destrucción o pocas viviendas colapsadas.

Menor Gravedad, con pequeñas fisuras en las viviendas.

Según la profundidad del foco de los sismos se agrupan en:

Superficiales o Someros, cuya profundidad del foco es menor de 60 o 70 Km. son de origen tectónico.

Intermedios, cuya profundidad del foco está entre 60 a 300 Km. son de origen tectónico.

Profundos, cuya profundidad del foco es mayor a 300 Km.

Los sismos que se registraron en Huánuco con mayor intensidad, se suscitaron el 29 de octubre de 1956, con una magnitud local de 6.0 con intensidades de VI -VII en la escala de MM y el 14 de febrero de 1970, con una magnitud local de 7.0 con intensidades de VII- VIII según MM. En referencia a los sismos en la zona de influencia de Huánuco, mencionaremos el sismo de Panao (Huánuco) del 04 de Agosto del 2011, el cual se percibió en la ciudad de Huánuco con una intensidad II – MM, el epicentro fue ubicado a 22 kilómetros al este de Panao y a 28 kilómetros de profundidad, con una magnitud local de 4,2 en la escala de Richter; El sismo del 24 de Agosto del 2011 en Contamana (Ucayali) de magnitud local de 7,0 el cual se sintió en la ciudad de Huánuco con una intensidad de IV – MM; El Sismo de Pisco (Ica) del 15 de Agosto del 2007 se sintió en la ciudad de Huánuco con una intensidad de IV – MM y el terremoto de Ancash del 31 de Mayo de 1970 se percibió en la ciudad de Huánuco con una intensidad de VII – MM. (p. 91-92)

Diseño y evaluación por desempeño sísmico de una edificación

El diseño y evaluación se basa en un adecuado control de daños de la edificación en su vida útil, referido a sus componentes estructurales y no estructurales, orientados desde la prevención de la estructura, evitando la pérdida de vida, hasta los criterios de funcionabilidad acorde las actividades realizadas en dicha edificación; lo cual implica fijar unos objetivos específicos de desempeño que generen la optimización de costos de construcción. Un objetivo de desempeño que requiera que el edificio permanezca operacional incluso en el evento más fuerte, resultaría en costos extraordinariamente altos, pero por el contrario, si solo se considera fundamental la seguridad de vidas, probablemente no se protejan adecuadamente los intereses económicos. (Hernández y Villamizar, 2018, p. 2)

Normativas enfocadas al diseño y evaluación por desempeño

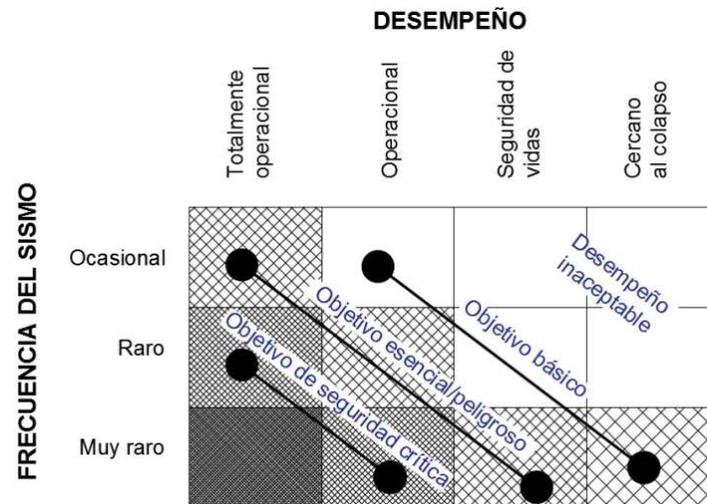
Existiendo normativas que se enfocan en la aplicación del diseño y evaluación por desempeño sísmico basados en un análisis lineal y no lineal pero con procedimientos diferentes, algunas como: FEMA 356 (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias) que aplica el **método de los coeficientes** y el ATC-40 (Consejo de Tecnología Aplicado) que aplica el **método del espectro de capacidad**; ambos orientados a obtener el punto de desempeño para una determinada acción sísmica. Ambas normas fueron aplicadas, de manera que fueron corregidas y validadas las cuales se presentan en el documento FEMA 440 (Mejora de los procedimientos de análisis sísmico estático no lineal – junio 2005). También se presentan las Normas ASCE/SEI 31-03 (Evaluación sísmica para edificaciones existente) compatible al FEMA 356; ASCE/SE 41-06 (Rehabilitación sísmica de edificaciones existentes) y ASCE/SEI 41-17 (Evaluación y adecuación sísmico de edificaciones existente) que aplica el **método de los coeficientes**, generándose un documento completo que reemplaza las dos anteriores. (Hernández y Villamizar, 2018)

Objetivos de desempeño

El objetivo de desempeño representa un estado de desempeño o comportamiento de la estructura (considerando también los elementos no estructurales) para una intensidad de sismo dada, también definida como la combinación del máximo estado de daño admisible (nivel de desempeño) con una amenaza sísmica identificada (movimiento sísmico). Para cada edificación, debe seleccionarse el desempeño aceptable para diferentes niveles de amenaza sísmica, teniendo en cuenta factores tales como: ocupación, importancia y consideraciones económicas, incluyendo el costo de reparación y el costo de la interrupción de las actividades que se realizan en su interior. (Hernández y Villamizar, 2018)

Figura 6

Objetivos de desempeño



Nota: Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones - Introducción, Visión 2000, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018, Inesa Tech.

Niveles de desempeño de la edificación

Hernández y Villamizar (2018) definen que un nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto. En función de tres aspectos fundamentales: posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al sismo. Compuesto por la combinación de un nivel seleccionado de desempeño estructural y un nivel seleccionado de desempeño no estructural. (p. 16)

Niveles de Amenaza sísmica

Hernández y Villamizar (2018) mencionan que la amenaza sísmica debida al movimiento del terreno, debe contemplar, considerar e investigar la ubicación del edificio con respecto a las fallas que existan y las características geológicas regionales

y en sitio. Para permitir aplicaciones prácticas del diseño basado en el desempeño, es necesario seleccionar una serie de eventos sísmicos discretos que pueden ocurrir y que representan el rango de severidad sísmica para un desempeño particular de la estructura deseada. Estos eventos sísmicos discretos, se denominan **movimientos sísmicos de diseño** y su definición varía de un sitio a otro, dependiendo tanto de la sismicidad de la región en la cual está localizada la estructura, como de los niveles social y económicamente aceptables del daño por parte de las instituciones responsables, los propietarios y usuarios de las estructuras. (p. 19)

Verificación del desempeño

Según, Hernández y Villamizar (2018), mencionan que para determinar si una estructura alcanza un objetivo esperado de desempeño, debe compararse la respuesta obtenida a partir del análisis no lineal y determinación de la demanda, contra los límites establecidos para los niveles de desempeños seleccionados, como se muestran en las tablas 5 y 6. Además cada componente se revisará para determinar si satisface los requerimientos de aceptabilidad en fuerzas y desplazamientos bajo el punto de desempeño obtenido. (p. 38)

2.3. Bases Conceptuales

Clasificación de los niveles de desempeño

Comité VISION 2000 (Define cuatro niveles de desempeño; **Totalmente operacional** – No ocurren daños esenciales, **Operacional** – Se presentan daños moderados en los elementos no estructurales, **Seguridad** – Ocurren daños estructurales moderados con necesidad de rehabilitación y **Próximo al colapso** – Se compromete la estabilidad estructural, llegando cerca del colapso).

Tabla 5

Niveles de desempeño, propuestos por Visión 2000

Nivel de desempeño	Deriva de entreciso
Totalmente operacional	0.002
Operacional	0.005
Seguridad	0.015
Cercano al colapso	0.025
Colapso	>0.025

Nota: Valores de derivas de piso, correspondientes al nivel de desempeño. Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones - Introducción, Verificación del desempeño, Comité Visión 2000, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018, Inesa Tech.

ATC-40 (para los elementos estructurales; se define tres niveles o estado de daños discretos; **Ocupación inmediata, seguridad y estabilidad estructural**, dentro de ellos se definieron rangos intermedios de **daño controlado y seguridad limitada**; y para los no estructurales se define cuatros niveles de desempeño, **operacional, ocupación inmediata, seguridad y amenaza reducida**).

Tabla 6

Niveles de desempeño, propuestos por ATC 40

Nivel de desempeño	Deriva de entreciso
Ocupación inmediata	0.01
Seguridad	0.02
Estabilidad estructural	$0.33V_i/P_i$

Nota: Valores de derivas de piso, correspondientes al nivel de desempeño, donde: V_i -Corte en el entreciso i , P_i -Carga axial en el entreciso i ; Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones - Introducción, Verificación del desempeño, ATC-40, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018, Inesa Tech.

Clasificación de los niveles de amenaza sísmica

Propuesta Comité VISION 2000: Los movimientos sísmicos de diseño son expresados en términos de una relación entre el intervalo de recurrencia o periodo de retorno (TR) con una probabilidad de excedencia:

$$TR = -\frac{t}{\ln(1 - pe)} \longrightarrow TR = -\frac{1}{1 - (1 - pe)^{\left(\frac{1}{t}\right)}}$$

Dónde:

t : Tiempo en años

pe : Probabilidad de excedencia en %

Tabla 7

Niveles de amenaza sísmica, propuestos por Visión 2000

Movimiento Sísmico de Diseño	Intervalo de Recurrencia	Probabilidad de Excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	950 años	10% en 100 años

Nota: Probabilidad de excedencia y periodos de retorno para los sismos de diseño, Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones – Introducción, Verificación del desempeño, Comité Visión 2000, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018, Inesa Tech.

Propuesta ATC-40: Utiliza tres niveles de movimiento sísmico para el diseño de estructuras:

Tabla 8

Niveles de amenaza sísmica, propuestos por ATC 40

Movimiento Sísmico de Diseño	Intervalo de Recurrencia	Probabilidad de Excedencia
Sismo de Servicio	75 años	50% en 50 años
Sismo de Diseño	475 años	10% en 50 años
Sismo Máximo	975 y 2475 años	2% y 5% en 50 años

Nota: Probabilidad de excedencia y periodos de retorno para los sismos de diseño, Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones – Introducción, Verificación del desempeño, ATC 40, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018, Inesa Tech.

Conocido el período de retorno (T_{R1}) y aceleración correspondiente a un nivel de sismo (a_1), se puede determinar la aceleración esperada correspondiente a_2 , permitiendo pasar de un sismo de diseño a uno de servicio y máximo, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{T_{R_2}}{T_{R_1}} \right)^{0.4}$$

Dónde:

T_{R_1} : Período de retorno para un nivel de amenaza sísmica 1

T_{R_2} : Período de retorno para un nivel de amenaza sísmica 2

a_1 : Aceleración del sismo de diseño 1

a_2 : Aceleración del sismo de diseño 2

Procedimientos de análisis no lineal

Análisis estático no lineal. Basado en la aplicación de un patrón de cargas laterales de forma incremental a la estructura (bajo una distribución proporcional al modo fundamental, a la masa de cada nivel, a las fuerzas de piso, a un factor de distribución vertical) hasta alcanzar un desplazamiento objetivo (tope de la estructura). La estructura comienza con una respuesta

elástica asociada a una rigidez inicial, con el incremento de carga los elementos superan la cadencia produciéndose una reducción de su rigidez inicial (incrementándose su periodo) incurriendo la estructura en un rango inelástico en proporción a su ductilidad (disipación de energía). Con el incremento de las cargas laterales se aprecia la aparición de rótulas (asignado a cada componente en función a su tipo de falla) dejando en evidencia el mecanismo de falla que se produce, dúctil o frágil, conduciéndose al colapso de la estructura.

Al aplicar un análisis estático no lineal se obtiene la **curva de capacidad** expresada en términos del desplazamiento del tope vs el corte en la base, definiendo la ductilidad (equivalente a un 80% del coeficiente de reducción sísmica aplicada al espectro de respuesta, para un análisis dinámico espectral) del sistema bajo una relación entre el desplazamiento último respecto al desplazamiento cedente bajo una curva bilineal idealizada. Hernández (2018) describió un procedimiento general:

Definir un caso no lineal asociado a cargas gravitacionales (permanente y variable).

Definir un segundo caso no lineal asociado al patrón de cargas laterales, de manera que algunos elementos o grupos de ellos estén bajo esfuerzos de alrededor del 10% de su resistencia, se inicia al final del caso gravitacional.

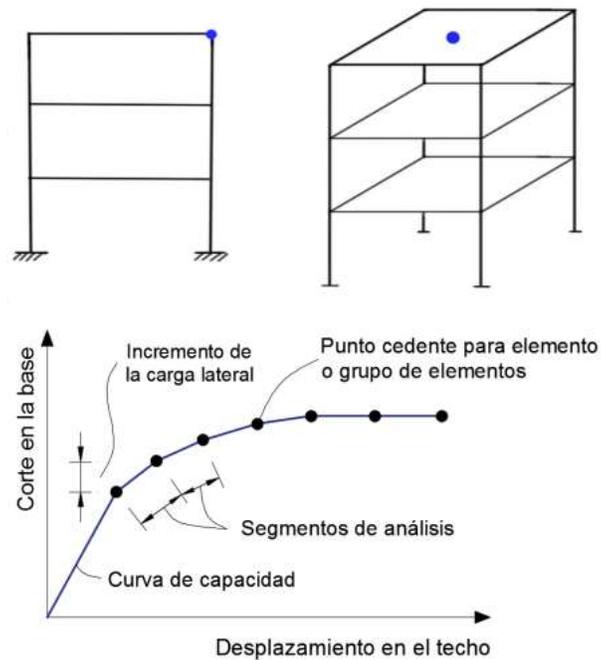
Se define un punto de control y monitoreo de desplazamientos en función al incremento de las fuerzas de corte, ubicado en el tope de la estructura.

Aplicación de rótulas plásticas o elementos de fibras en los componentes estructurales en función a los lineamientos de las normas FEMA 440 y ASCE41-17.

Se obtiene el patrón de rótulas plásticas y la curva de capacidad. (p. 14)

Figura 7

Descripción gráfica de la curva de capacidad



Nota: Curva de capacidad y punto de control de desplazamiento, Tomado de Aplicación del análisis estático no lineal – Procedimiento general, Hernández, 2018, Inesa Tech

Análisis dinámico no lineal. Generalmente denominado como un análisis no lineal (la excitación genera disipación de energía – respuesta histerética) Tiempo – Historia (ATHNL). El procedimiento inicial y bases de modelado de análisis son de forma similar al de un análisis estático no lineal, con la diferencia de que el cálculo de las respuestas se realizan mediante un análisis Tiempo Historia, donde los desplazamientos de control son determinados a través de un análisis dinámico haciendo uso de los registros sísmicos de aceleraciones; análisis de integración directa; (más de uno, según normativa E030 art. 30.1, como mínimo 3 pares aplicadas en un par de direcciones principales) debido a que las respuestas son altamente sensible. La respuesta inelástica del material y componente son adheridos directamente al modelo matemático, por ello los esfuerzos calculados serán razonablemente

aproximados a aquellas esperadas durante un sismo de diseño. El análisis THNL genera una respuesta estructural en función al desarrollo del sismo, variabilidad de registro en registro.

Análisis dinámico incremental (IDA). Es una extensión del análisis dinámico no lineal, para ello, la demanda sísmica es aplicada como aceleraciones en la base de la estructura que son escaladas obteniéndose respuestas para diferentes niveles de peligro sísmico (aceleración pico en el registro de aceleraciones – APS, equivalente a la aceleración espectral para un periodo cero); como respuesta del análisis se obtiene las curvas IDA (respuesta estructural vs. Nivel de intensidad o peligro sísmico) por cada registro sísmico empleado, se incrementa el nivel de peligro sísmico en función a la aceleración espectral, periodo estructural y amortiguamiento, obteniendo una respuesta probabilística (distorsión, corte) ante esa aceleración. Se describe un procedimiento general:

Seleccionar los registros sísmicos en función al tipo de suelo, ubicación y máximas aceleraciones, según el alcance del estudio.

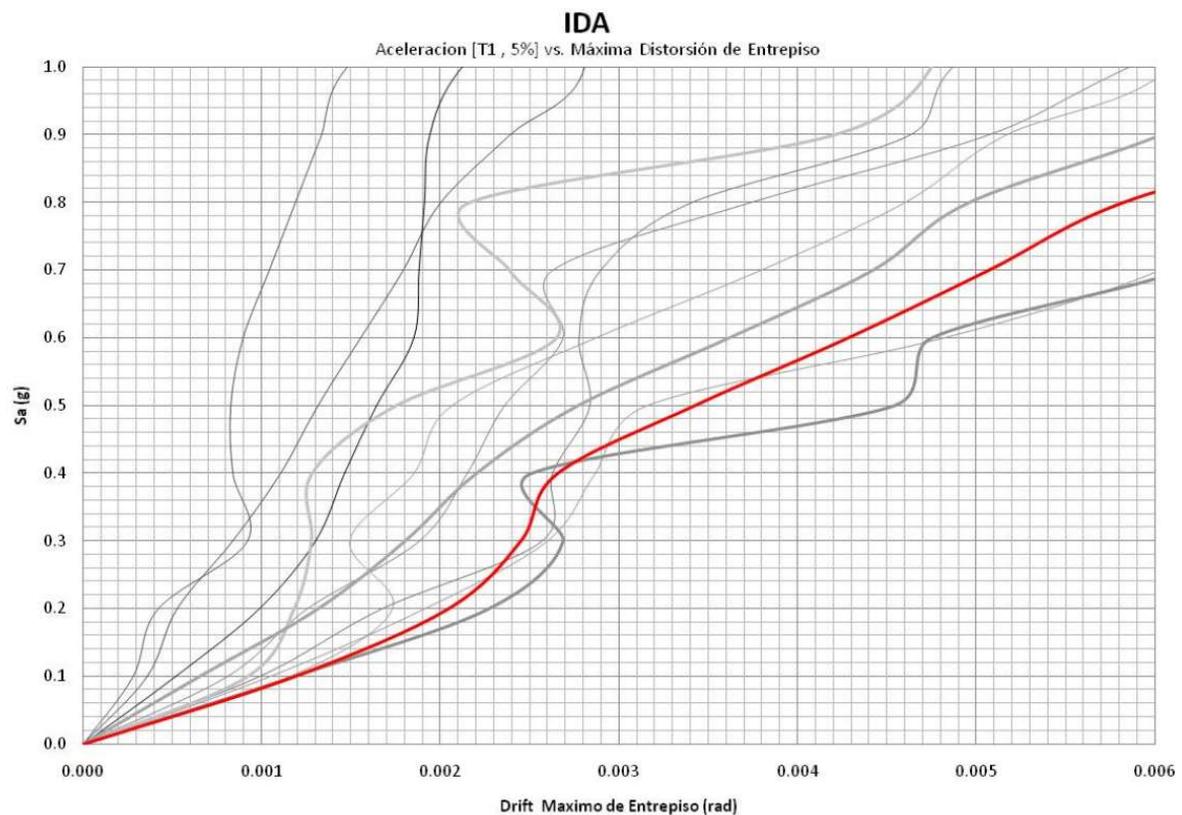
Escalar los registros sísmicos seleccionados, generando una variación de intensidades sísmicas aplicadas en la base de la estructura.

Determinar el nivel de peligro o amenaza sísmico probabilístico, curva de peligro sísmico en función al periodo estructural y amortiguamiento.

Generar las curvas IDA como una respuesta probabilística.

Figura 8

Representación gráfica de una curva IDA, distorsión vs. Intensidad sísmica



Nota: Se muestra la máxima distorsión de entrepiso, para un amortiguamiento de 5% y un periodo T1, Tomado de Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo, Gálvez, 2011, Pontificia Universidad Católica del Perú.

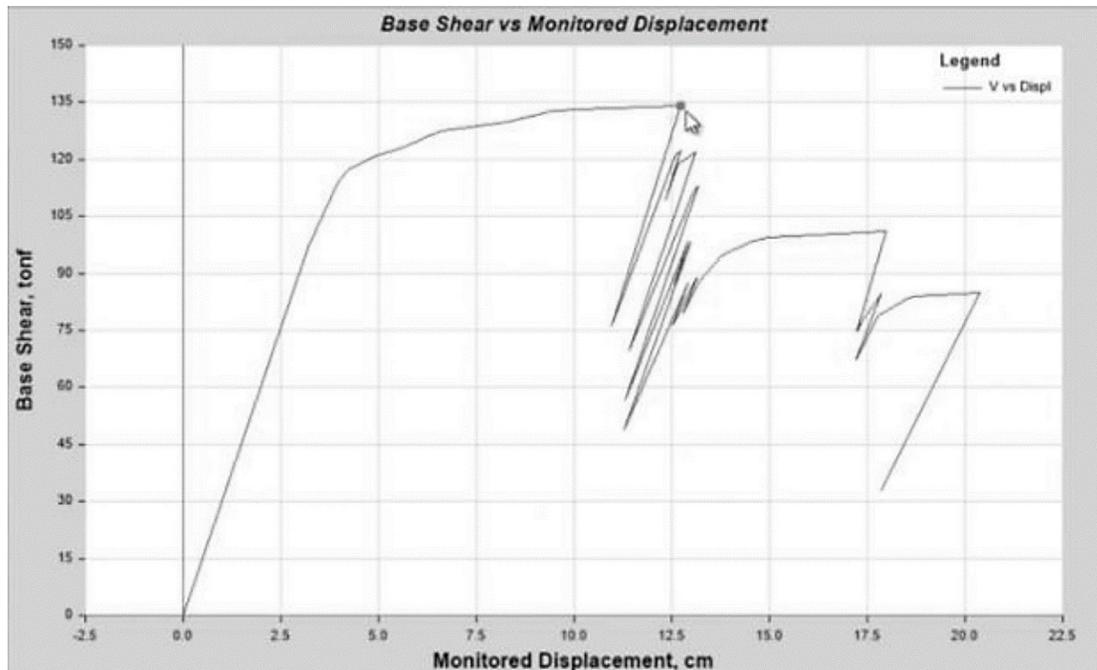
Capacidad no lineal de la estructura

Según, Hernández y Villamizar (2018), la capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar sus capacidades más allá del límite elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal, por ejemplo, el análisis estático no lineal (pushover). Definido como un análisis elástico secuencial, que se superponen generando la curva de capacidad. Dicha curva, relaciona las fuerzas en la base o cortante basal (V) y los desplazamientos (δ) en

el nivel superior de la estructura. La curva de capacidad se construye para representar principalmente la respuesta del primer modo de vibración de la estructura, basado en la hipótesis de que dicho modo corresponde a la respuesta predominante. (p. 30)

Figura 9

Representación gráfica de una curva de capacidad (desplazamiento vs. corte basal)



Nota: Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones – Introducción, cálculo de la capacidad de la estructura, Hernández, 2018, Inesa Tech.

Demanda de la estructura

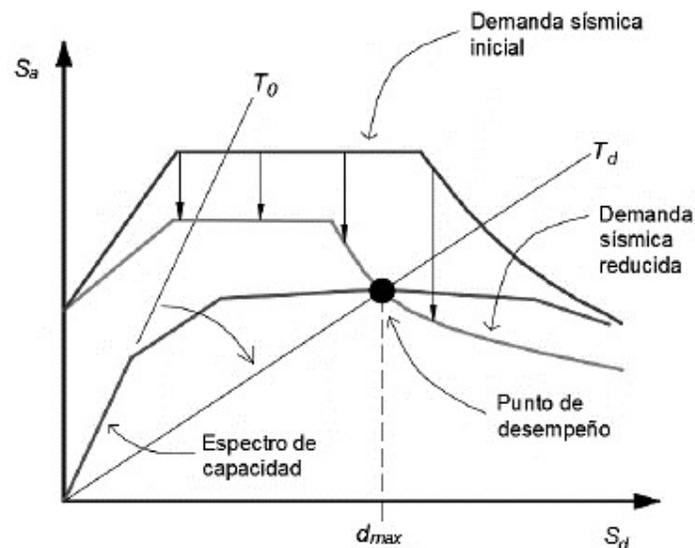
Está enfocado en determinar el punto de desempeño o la demanda de desplazamiento de una estructura cuando se ve sometida a un movimiento sísmico. El objetivo será calcular el desplazamiento máximo que experimentará la estructura bajo el nivel de amenaza sísmica elegido (Hernández y Villamizar, 2018, p. 33); los principales procedimientos para determinar el punto de desempeño son:

Método del espectro de capacidad. Propuesto por Freeman (1975), constituye un procedimiento para determinar el punto de desempeño de una estructura, cuando se ve

sometida a una acción sísmica; exige un proceso iterativo, inicialmente se compara el espectro de capacidad con el espectro de demanda, descrito a través del espectro de respuesta elástico usando 5% de amortiguamiento, que será sucesivamente ajustado por estos factor de reducción, que toman en cuenta de manera compatible la disipación histerética de energía o amortiguamiento efectivo asociado al punto de desplazamiento obtenido en cada fase; es necesario establecer una gráfica en formato ADRS “*Acceleration-Displacement Response Spectrum*”, donde se pueda convertir la demanda y la capacidad en términos de aceleraciones y desplazamientos espectrales (S_a vs S_d). (Hernández y Villamizar, 2018, p. 34);

Figura 10

Representación del modelo de espectro de capacidad, ATC 40



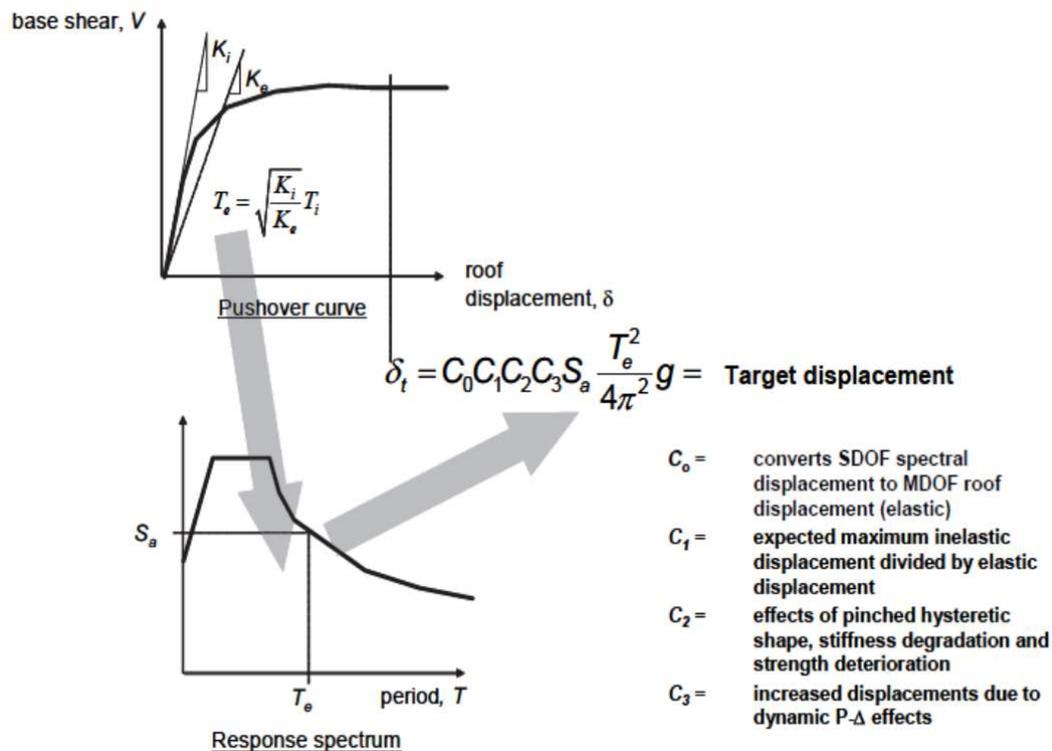
Nota: Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones – Introducción, cálculo de la demanda, Hernández, 2018, adaptada del ATC 40, Inesa Tech.

Método de los coeficientes de desplazamiento. Adoptado por ASCE 41-17, estima el punto de desempeño de la estructura, mediante un proceso numérico directo, que incluye el cálculo de una serie de coeficientes que modifican el desplazamiento espectral correspondiente al período fundamental efectivo, de acuerdo al

desplazamiento máximo probable en el tope, efectos de degradación de rigidez, pérdida de resistencia y estrangulamiento de ciclos histeréticos, e incremento del desplazamiento debido a efectos del segundo orden. (Hernández y Villamizar, 2018, p. 36);

Figura 11

Representación gráfica del método de los coeficientes de desplazamientos, FEMA 440



Nota: Tomado de Diseño por desempeño sísmico de edificaciones – Introducción, cálculo de la demanda, Hernández, 2018, adaptada del ATC 40, Inesa Tech. Donde, K_i es la rigidez inicial; K_e , rigidez efectiva; T_i , el periodo inicial; T_e , el periodo efectivo y g es la gravedad.

Cálculo del objetivo de desempeño mediante un AENL – Método del espectro de capacidad (linealización equivalente)

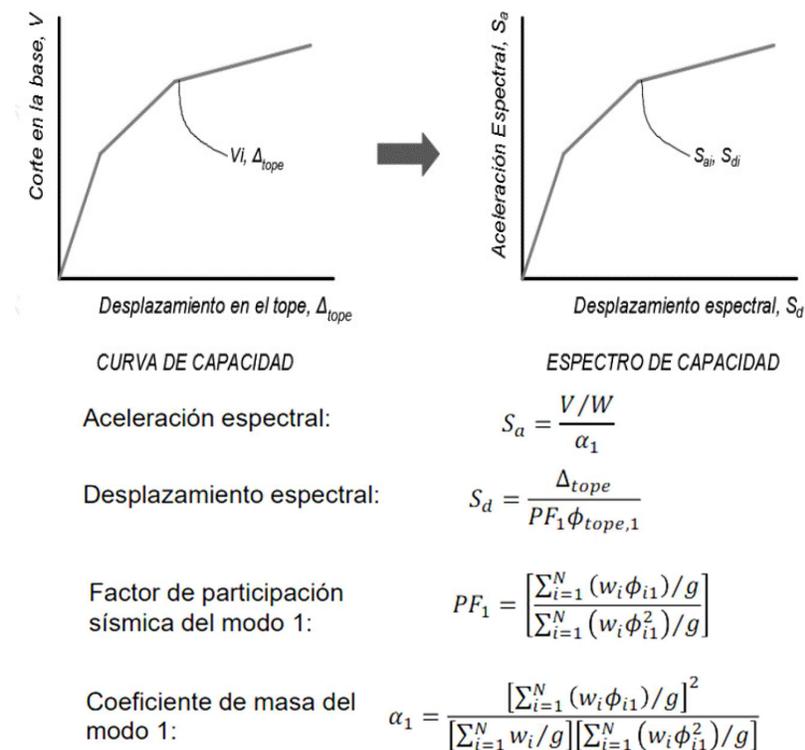
De acuerdo con el método del **espectro de capacidad – ATC 40** el cálculo de del objetivo de desempeño se obtiene al comparar el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de la demanda sísmica permitiéndose estimar la respuesta máxima de la edificación

que sirve de base para compararla con el nivel de desempeño esperado; se describe un procedimiento general para obtener el objetivo de desempeño:

Conversión de la curva de capacidad en espectro de capacidad, en función al factor de participación sísmica del modo fundamental, coeficiente de masa del modo fundamental, corte basal, masa estructural y desplazamiento en el punto de control.

Figura 12

Curva de capacidad y espectro de capacidad (ATC-40)



Nota: Cualquier punto V_i, Δ_{tope} en la curva de capacidad, se convierte en puntos correspondientes S_{ai}, S_{di} para el espectro de capacidad, utilizando las ecuaciones mostradas.

Tomado de Conversión a un espectro ADRS (cap. 6-8), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

Donde:

$w_i T g$ = masa asignada al nivel i

ϕ_{i1} = amplitud del modo 1 en el nivel i

N = nivel N , correspondiente al más alto de la estructura

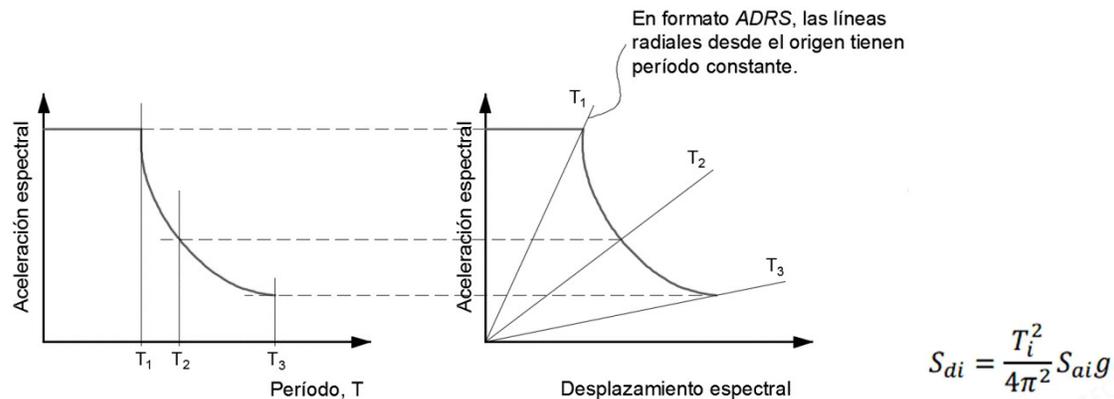
W = peso propio de la estructura, con un porcentaje de la carga variable $\Delta tope =$

desplazamiento en el tope (techo), obtenido de la curva de capacidad (para cada valor de corte basal V)

Conversión del espectro de respuesta en espectro de demanda, en función al periodo estructural y aceleración espectral.

Figura 13

Espectro de respuesta en formato ADRS (ATC-40)



Nota: Para convertir un espectro de respuesta estándar de valores S_{ai} , T_i a un formato equivalente S_{ai} , S_{di} , se debe determinar cada desplazamiento espectral S_{di} para cada T_i con la ecuación mostrada. Tomado de Conversión a un espectro ADRS (cap. 6-8), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

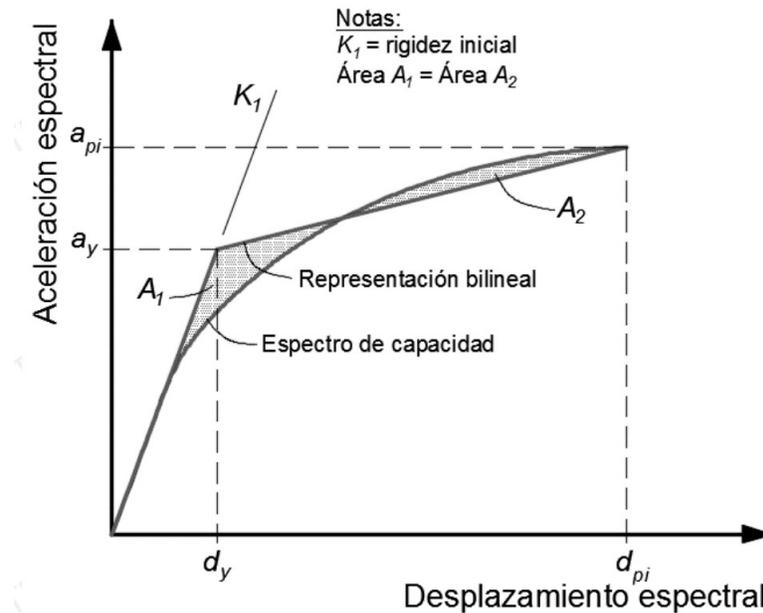
Donde:

S_{di} = Desplazamiento espectral i para cada valor de período T_i y aceleración espectral S_{ai} .

Representación bilineal del espectro de capacidad, bajo un método de igualdad de áreas A_1 y A_2 , que representa una energía de igual magnitud asociada en cada tramo, Para estimar el amortiguamiento efectivo y la reducción apropiada de la demanda espectral

Figura 14

Representación bilineal del espectro de capacidad (ATC-40)



Nota: Tomado de representación bilineal del espectro de capacidad (cap. 8-13), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

Reducción de la demanda por efectos no lineales, en función a la energía disipada por el amortiguamiento, al comportamiento estructural de la edificación (calidad del sistema sismorresistente y duración del movimiento sísmico) y una representación del amortiguamiento histerético, traduciéndose en factores de reducción espectral.

Figura 15

Factores de reducción espectrales (ATC-40)

Table 8-3. Spectral Reduction Factors, $SR_A = 1/B_s$ and $SR_V = 1/B_L$

β_0 (percent)	Behavior Type A ¹			Behavior Type B ¹			Behavior Type C ¹		
	β_{eff}	SR_A ($1/B_s$)	SR_V ($1/B_L$)	β_{eff}	SR_A ($1/B_s$)	SR_V ($1/B_L$)	β_{eff}	SR_A ($1/B_s$)	SR_V ($1/B_L$)
0	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00
5	10	0.78	0.83	8	0.83	0.87	7	0.91	0.93
15	20	0.55	0.66	15	0.64	0.73	10	0.78	0.83
25	28	0.44	0.57	22	0.53	0.63	13	0.69	0.76
35	35	0.38	0.52	26	0.47	0.59	17	0.61	0.70
≥ 45	40	0.33	0.50 ²	29	0.44	0.56	20	0.56	0.67 ²

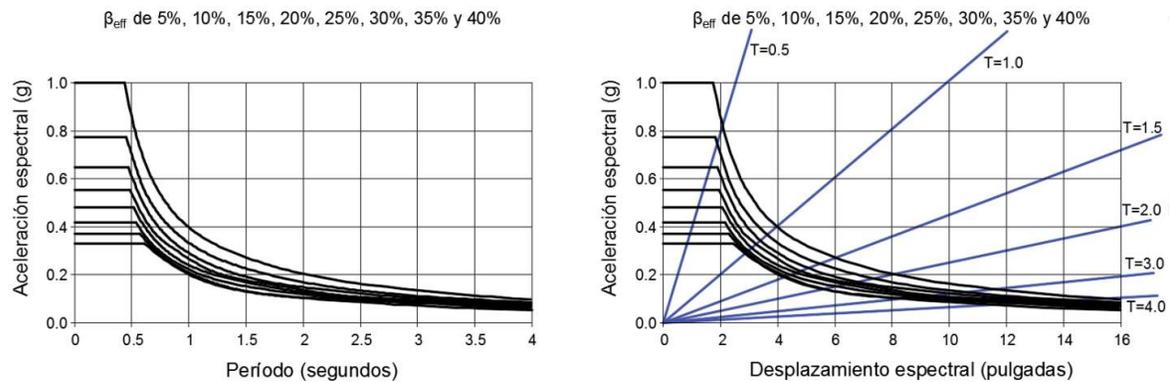
1. Structural behavior type, see Table 8-4.
2. Controlled by minimum allowable value for SR_V , see Table 8.2

Nota: β_{eff} (amortiguamiento efectivo), β_0 (amortiguamiento histérico), comportamiento estructural de la edificación Tipo A (estructura con lazos de histéresis estables), Tipo B (lazos históricos con una reducción moderada de área), Tipo C (comportamiento histérico pobre con reducción substancial del área del lazo), SR_A y SR_B (factores de reducción desarrolladas por Newmark y Hall). Tomado de factores de reducción espectrales (cap. 8-19), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

Desarrollo del espectro de demanda, en función al espectro de respuesta inicial con 5% de amortiguamiento que ha de ser afectado por los factores de reducción, obteniéndose el espectro de demanda reducido.

Figura 16

Familias de espectro de demanda reducida (ATC-40)

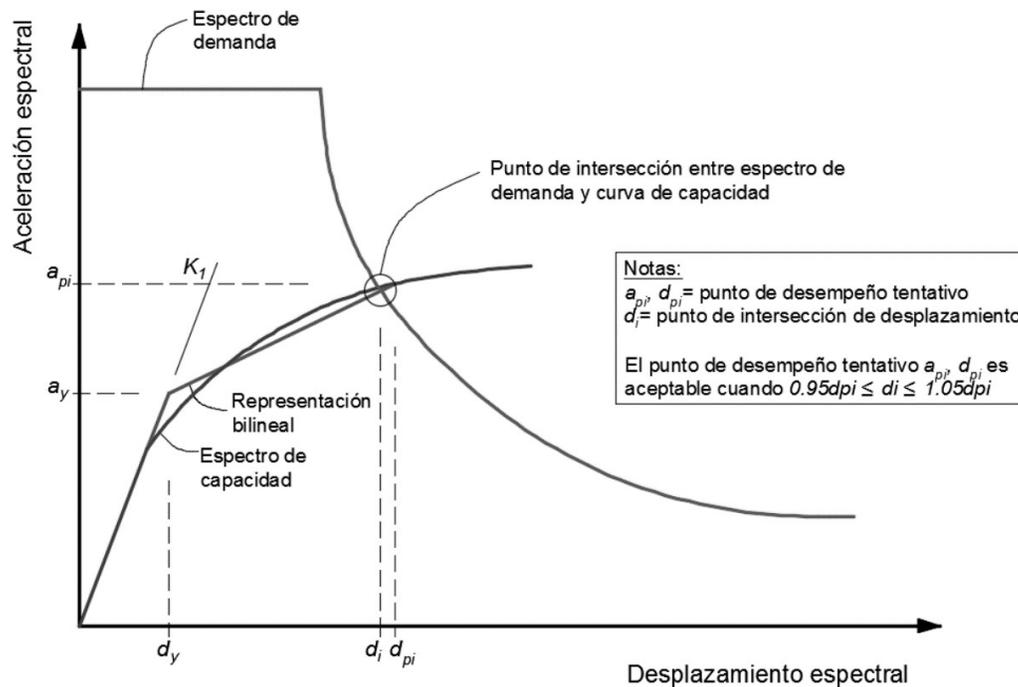


Nota: Cada espectro de demanda representa un nivel diferente de amortiguamiento efectivo, para el nivel de amenaza sísmica, esta familia de espectros puede construirse para cualquier información de perfil de suelo e intensidad del sismo. Tomado de factores de reducción espectrales (cap. 8-20), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

Intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda, con el objeto de determinar el punto de desempeño representando el máximo desplazamiento estructural para un movimiento de terreno definido.

Figura 17

Punto de desempeño entre los espectros de capacidad y de demanda (ATC-40)



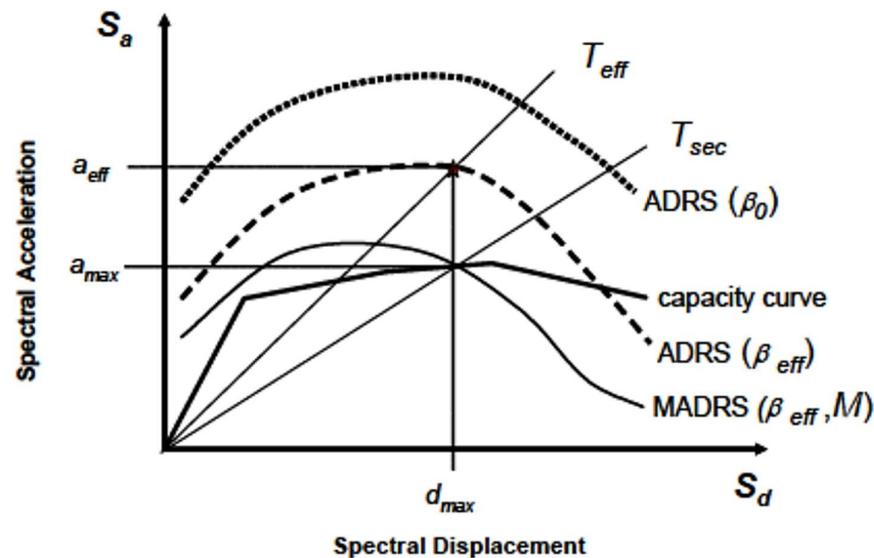
Nota: El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el movimiento del terreno definido como demanda. Tomado de factores de reducción espectrales (cap. 8-21), por el Consejo de tecnología aplicada (ATC 40), 1996.

El método del espectro de capacidad ha sido modificada y traducida al denominado **espectro de capacidad mediante una linealización equivalente mejorada – FEMA 440** cuyo objetivo es el de determinar la respuesta máxima de desplazamiento del sistema no lineal con un sistema equivalente lineal, utilizando los parámetros lineales equivalentes como el periodo y amortiguamiento efectivo que son función de la curva de capacidad, amortiguamiento, periodo inicial del sistema y la demanda de ductilidad; el procedimiento es de forma similar al método del ATC-40, con la diferencia de que se aplica un factor de reducción “M” generando un espectro de respuesta modificado (MADRS); luego del procedimiento del método anterior incluyendo en la representación bilineal el cálculo de los valores de rigidez post-elástica y de ductilidad, continua:

Cálculo de los valores de amortiguamiento y periodo efectivo, en función a los factores de ductilidad, amortiguamiento y rigidez post-elástica.

Figura 18

Espectro de respuesta modificado en función al T_{eff} y B_{eff} (FEMA 440)



Nota: Tomado de Espectro de respuesta modificado de aceleración-desplazamiento, para relacionar con el período secante, T_{sec} . (cap. 6-5), por la Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA 440), 2005.

Ajustar la demanda inicial en formato ADRS en función al amortiguamiento efectivo.

Multiplicar los valores de aceleración de la demanda (con amortiguamiento efectivo) por el factor de modificación M , hallado con T_{eff} , para generar un espectro de respuesta modificado MADRS.

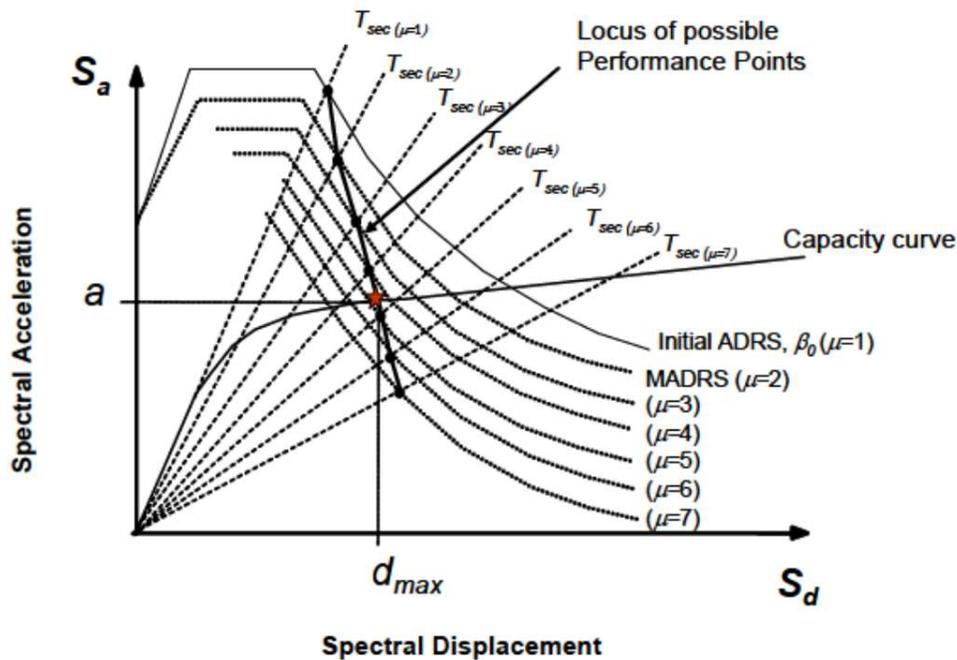
Se genera el punto de desempeño para la evaluación, mediante la intersección del período radial secante T_{sec} con la demanda MADRS.

Incrementar o disminuir el punto de desempeño generando una serie de puntos de desempeños posibles.

El punto de desempeño será el que interseque al espectro de capacidad.

Figura 19

Posibles puntos de desempeño en función a la ductilidad (FEMA 440)



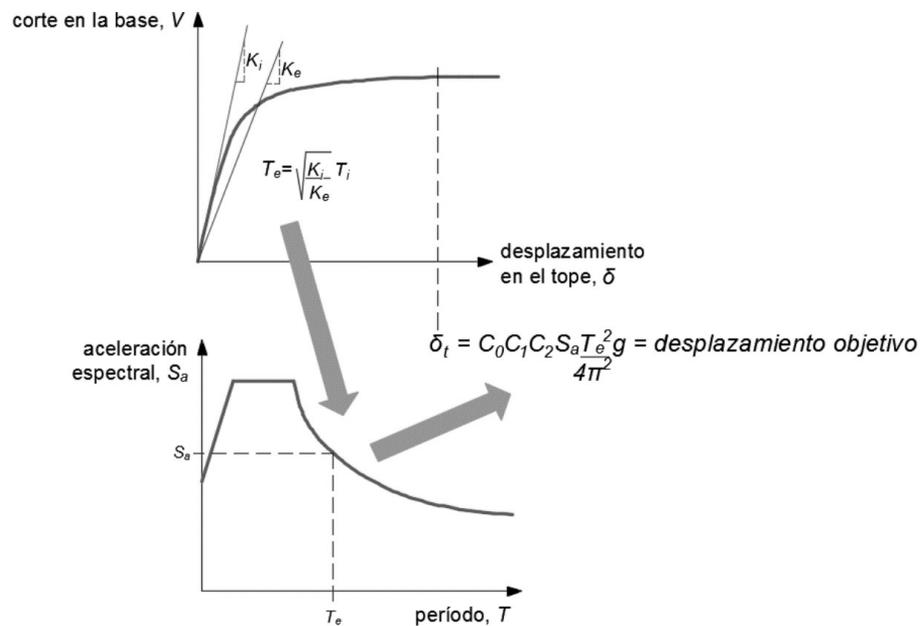
Nota: Tomado de lugar de posibles puntos de desempeño. (cap. 6-9), por la Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA 440), 2005.

Cálculo del objetivo de desempeño mediante un AENL –Método de los coeficientes

De acuerdo con el método de **los coeficientes** – ASCE 41-17 (Basado en un análisis estadístico de los resultados de análisis tiempo historia) la demanda de desplazamiento calculada se denomina objetivo de desplazamiento, el cálculo del objetivo de desempeño se obtiene sometiendo a un patrón de cargas monótonicamente creciente laterales a la estructura, que representa las fuerzas de inercia durante un evento sísmico hasta alcanzar el un desplazamiento objetivo evaluada en función a los criterios de aceptabilidad y desempeño; se describe un procedimiento general para obtener el objetivo de desempeño:

Figura 20

Representación gráfica del método de los coeficientes (ASCE 41-17)



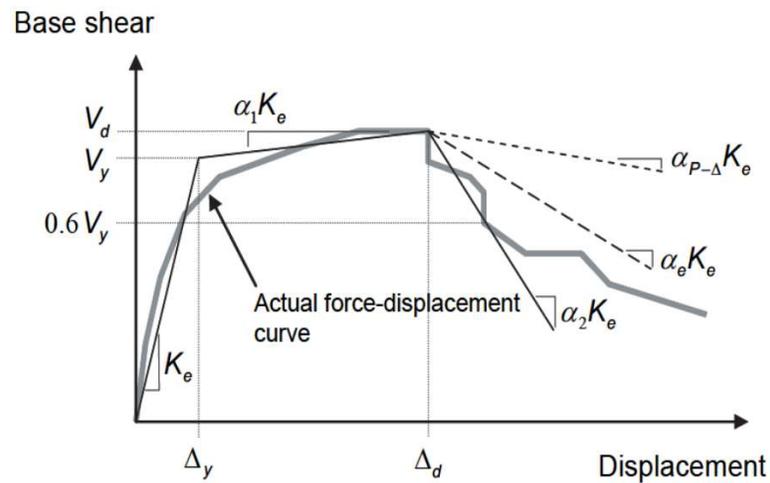
Nota: Tomado de Método del Coeficiente de modificación del desplazamiento para estimar el desplazamiento objetivo para un espectro de respuesta y un período efectivo determinados.

(cap. 2-10), por la Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA 440), 2005.

Generar una curva de capacidad propia de la estructura de manera idealizada en forma bilineal para determinar la demanda de ductilidad.

Figura 21

Curva idealizada fuerza desplazamiento (ASCE 41-17)

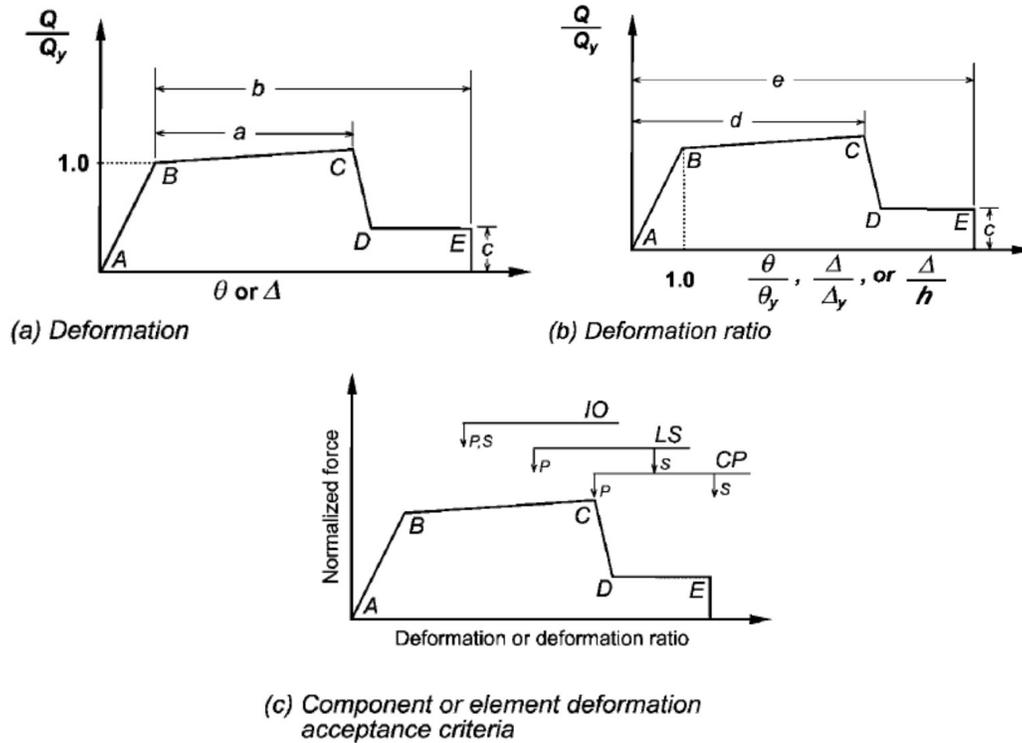


Nota: Tomado de Curva idealizada fuerza desplazamiento. (p. 74), por la Sociedad americana de Ingenieros civiles (ASCE 41 17), 2017.

Realizar el modelo matemático para un análisis no lineal para las componentes primarios, secundarios y estructura global, en función a las cargas gravitacional y lateral, elementos que influyan en masa, resistencia, rigidez y deformación, en función a su capacidad de deformación, considerándose también el efecto P- Δ y los parámetros de modelado con su correspondiente criterio de aceptación.

Figura 22

Curvas generales fuerza-deformación que representan el modelo y los criterios de aceptación de los componentes (ASCE 41-17)



Nota: Tomado de criterios de aceptación. (p. 81), por la Sociedad americana de Ingenieros civiles (ASCE 41 17), 2017.

Cálculo de los coeficientes para la determinación del desplazamiento objetivo δt , en función a la aceleración espectral, gravedad, periodo efectivo, tasa de amortiguamiento de la edificación y a los coeficientes que relacionan los desplazamientos espectrales, inelásticos, las curvas de histéresis, demanda, coeficiente de resistencia y la masa efectiva.

$$\delta t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength} - 1}{\alpha T_e^2}$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2$$

$$\mu_{strength} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

Donde:

δt : Desplazamiento objetivo.

S_a : aceleración espectral correspondiente al valor de período efectivo T_e y tasa de amortiguamiento de la edificación, en la dirección bajo consideración

g = aceleración de la gravedad

C_o : factor de modificación que relaciona desplazamientos espectrales de un sistema equivalente de un grado de libertad, con los desplazamientos en el tope del sistema de múltiples grados de libertad de la edificación, de la tabla 7-5 (Valores de factor de modificación C_o del ASCE 41-17)

C_1 : factor de modificación que relaciona los máximos desplazamientos inelásticos esperados, con los calculados para una respuesta lineal elástica.

C_2 : factor de modificación que representa el efecto de estrangulamiento en la curva de histéresis, degradación de la rigidez cíclica, y deterioro de resistencia en la respuesta máxima en términos de desplazamiento, $C_2=1.0$, para periodos mayores a 0.7s.

α : corresponde a la clasificación del tipo de suelo en el sitio, especificado según la clasificación definida en la norma ASCE 7: $\alpha = 130$ para clasificación de sitio A o B (roca), $\alpha = 90$ para clasificación de sitio C (suelo denso y roca suave), y $\alpha = 60$ para clasificación de sitio D, E o F (suelos rígidos, arcillosos o sin clasificación).

T_e : período fundamental efectivo de la estructura en la dirección en consideración.

$\mu_{strength}$: Relación entre la demanda elástica de resistencia y el coeficiente de resistencia a la cedencia de la estructura.

V_y : resistencia cedente de la estructura calculada en la idealización de la curva fuerza-desplazamiento de la edificación.

W : peso sísmico efectivo, calculado considerando toda la carga permanente y un porcentaje de la carga variable, según corresponda.

Modelos de calibración de muros de Albañilería Confinada

Curva de capacidad de muros de albañilería, CORAL ALVA, 2017

Figura 23

Resistencia a compresión de las pilas de albañilería (Coral Alva, 2017)

Pila	Dimensiones			Área (mm ²)	Esbeltez	Factor de corrección	Carga Máx. (kN)	Fm (MPa)
	Altura (mm)	Ancho (mm)	Espesor(mm)					
PL1	592	235	125	29375	4,74	0,989	317,96	10,71
PL2	590	234	127	29718	4,65	0,986	292,23	9,69
PL3	593	235	126	29610	4,71	0,988	282,10	9,42
PL4	590	236	125	29500	4,72	0,989	323,52	10,84
							Promedio	10,17
							Des. Est	0,72
							f'm	9,45

Nota: Tomado de Cálculo y resultados de la resistencia a compresión en pilas. (p. 33), por M.

Coral, 2017, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 24

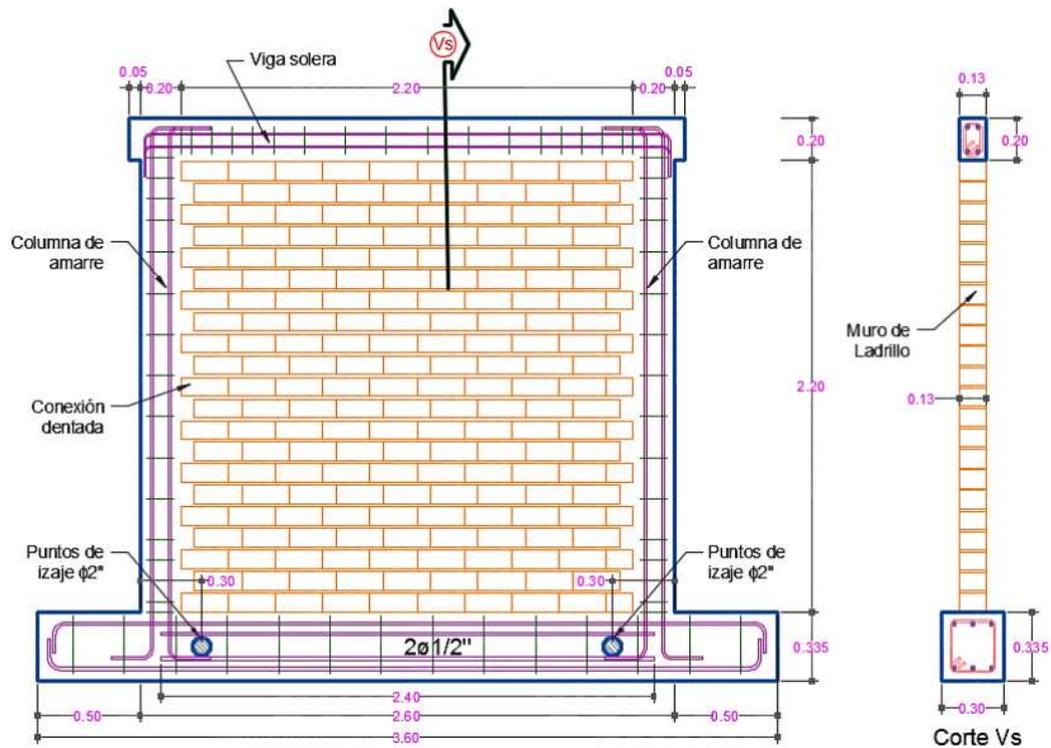
Resistencia a corte del murete de albañilería (Coral Alva, 2017)

Murete	Área (mm ²)	Carga Máxima (kN)	v _m (MPa)
MT1	108340	137,77	1,27
MT2	108481	139,34	1,28
MT3	107360	151,51	1,41
MT4	108841	170,94	1,57
		Promedio	1,38
		Desv. Est.	0,14
		v'm	1,25

Nota: Tomado de Cálculo de la resistencia característica al corte. (p. 40), por M. Coral, 2017,
Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 25

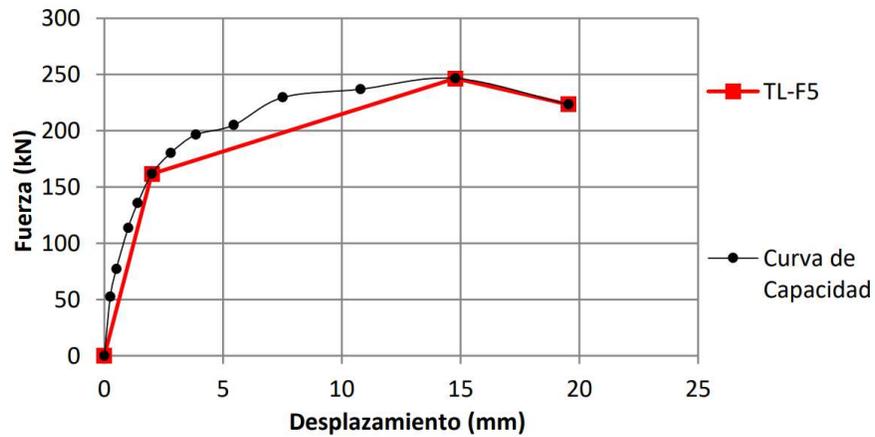
Construcción del muro de albañilería confinada y sus elementos de confinamiento (Coral Alva, 2017)



Nota: Tomado de Dimensiones del muro y sus elementos. (p. 43), por M. Coral, 2017, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 26

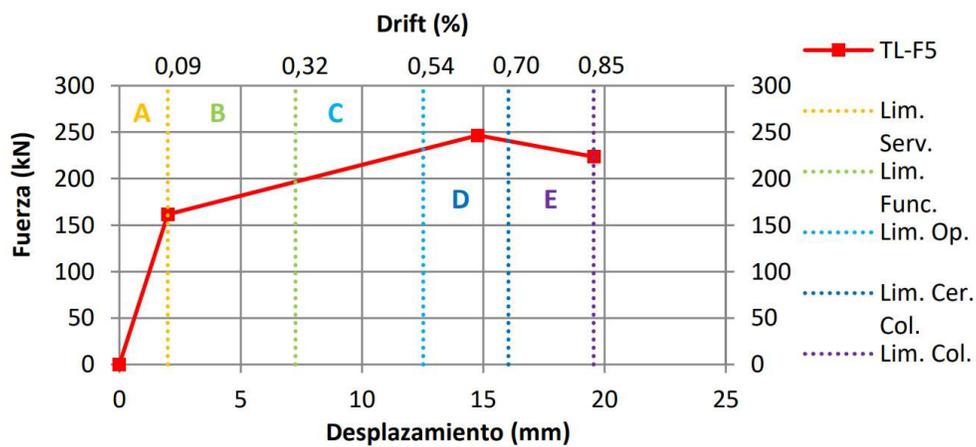
Curva trilineal de la curva de capacidad (Coral Alva, 2017)



Nota: Tomado de Gráfica trilineal de la curva de capacidad. (p. 87), por M. Coral, 2017, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 27

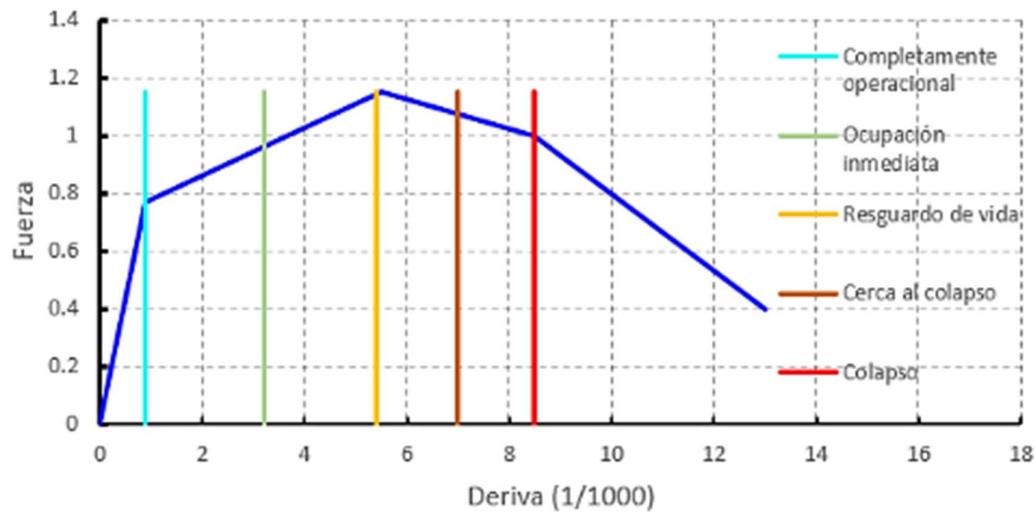
Curva trilineal de límites de niveles de daño (Coral Alva, 2017)



Nota: Tomado de curva trilineal dividida en los límites de niveles de daño. (p. 88), por M. Coral, 2017, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 28

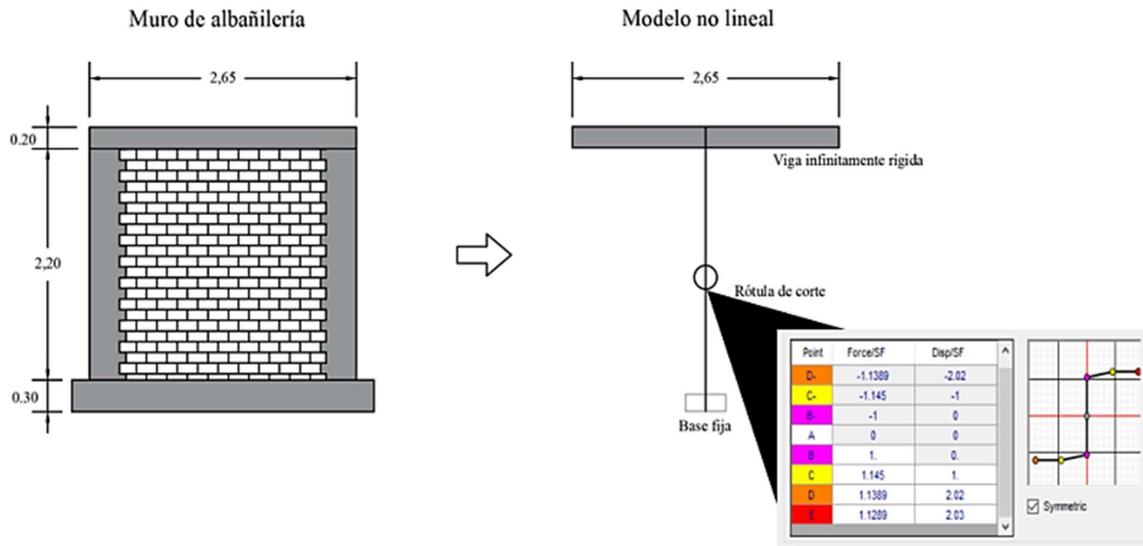
Curva fuerza vs. deriva para un muro de albañilería confinada



Nota: Tomado de Curva fuerza vs. deriva para un muro de albañilería confinada, ajustada para las calibraciones, Especialista en Análisis no lineal, C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com.

Figura 29

Muro de albañilería y su modelo no lineal equivalente, rótula por corte



Nota: Tomado de Análisis Dinámico Incremental de un Hospital de 60 Años de Antigüedad con Muros de Albañilería Artesanal, (p. 3), por G. Gonzales, A. Aguilar, G. Huaco, 2020, 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.

Curva de capacidad de muros de albañilería, Bernardo y Peña, 2009

Figura 30

Resistencia axial de las pilas de albañilería (BERNARDO Y PEÑA, 2009)

Muestra	Área (cm ²)	Carga (KN)	Factor(*)	f_m (Kg/cm ²)	Desv. (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	f_m (Kg/cm ²)
PC1	309.40	265.60	0.985	86.15	13.49	101.74	88
PC2	307.02	347.60	0.985	113.72			
PC3	303.15	338.50	0.987	112.29			
PC4	302.08	284.40	0.988	94.83			

Nota: Tomado de Resistencia a la compresión axial de las pilas. (p. 25), por J. Bernardo y M. Peña, 2009, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 31

Resistencia a corte del murete de albañilería (BERNARDO Y PEÑA, 2009)

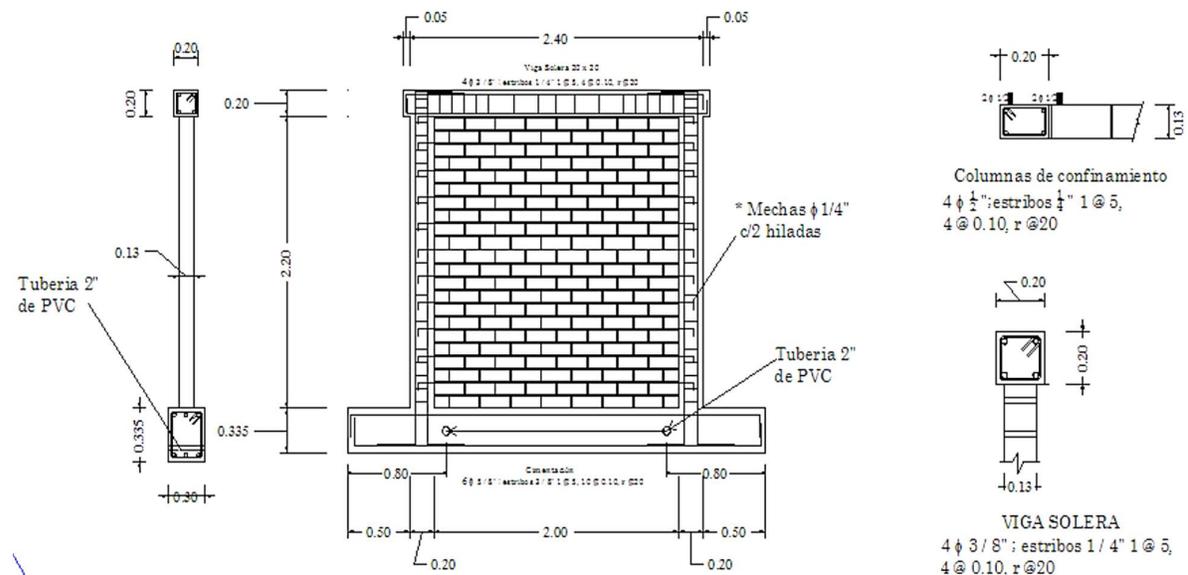
Muestra	Área (cm ²)	Carga (KN)	v'm (Kg/cm ²)	Desv. (Kg/cm ²)	Media (Kg/cm ²)	Prom v'm (Kg/cm ²)
MC1	3616.82	154.50	14.18	0.60	13.33	12.74 (*)
MC2	3653.90	142.01	13.18			
MC3	3684.24	137.41	12.77			
MC4	3648.12	144.51	13.21			

Nota: Tomado de Cálculo v'm. (p. 28), por J. Bernardo y M. Peña, 2009, Pontificia

Universidad Católica del Perú

Figura 32

Construcción del muro M1 con peralte de columnas de 20cm (BERNARDO Y PEÑA, 2009)



Nota: Muro de albañilería confinada con una conexión a ras mediante mecha o chicote de

anclaje-NT E.070, Art. 11. Tomado de Muro M1, peralte de columnas de 20 cm. (p. 30), por J.

Bernardo y M. Peña, 2009, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 33

Propiedades mecánicas y geométricas de los componentes (BERNARDO Y PEÑA, 2009)

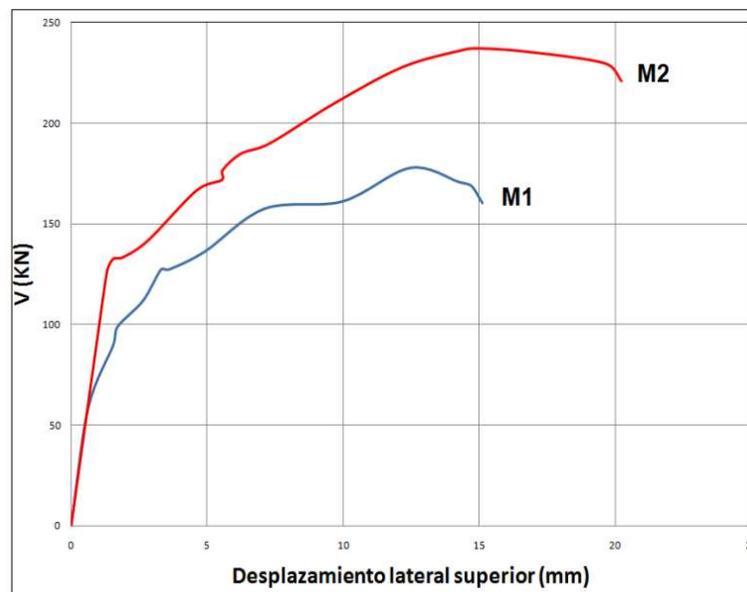
Ensayo I	Fm (kg/cm ²)	v'm (kg/cm ²)	L (cm)	H (cm)	t (cm)
Albañilería	102	10.100	240	240	13

Ensayo I	f c (kg/cm ²)	b (cm)	h (cm)	Acero	As (cm ²)
Columna	175	20	13	4φ1/2"	2.84
Viga	175	20	20	4φ3/8"	5.16

Nota: v'm (resistencia a corte del murete), fm (resistencia a compresión de la pila)

Figura 34

Curva de capacidad del muro M1 y M2 (BERNARDO Y PEÑA, 2009)



Nota: Tomado de Curva de capacidad del muro M1 y M2. (p. 73), por J. Bernardo y M. Peña, 2009, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 35

Modelo numérico para el análisis no lineal del muro de albañilería, ensayo de calibración 1

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- ensayo 1			
L(cm)	240.00	H(cm)	240.00
f _m	102	t(cm)	13
α	1	v'm	10.10
V _m (tonf)	16.22	P _g (tonf)	2
Force SF	16.22	Disp SD	0.24
	B	C	D
Fuerza	0.77	1.15	1.00
Desplazamiento	-	5.5	8.5
			E
			13.0

Donde:

$$v'm \leq \sqrt{f'm}$$

Resistencia corte del murete de albañilería (f'm-resistencia a compresión de la pila de albañilería)

$$V_m = 0.5 \cdot v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 P_g$$

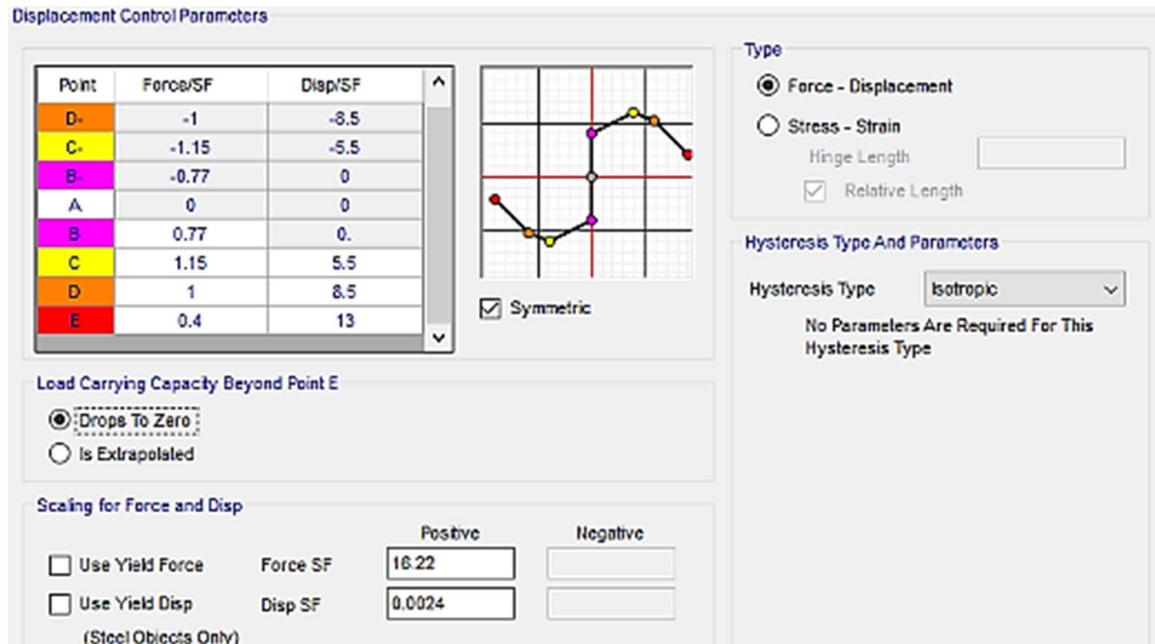
Resistencia a corte del muro de albañilería (t – espesor del muro, L – longitud del muro, α – factor de reducción de resistencia al corte)

$$P_g = CM + CV$$

Peso por gravedad del muro a ensayar (CM – peso propio y permanente, CV – sobre carga)

Figura 36

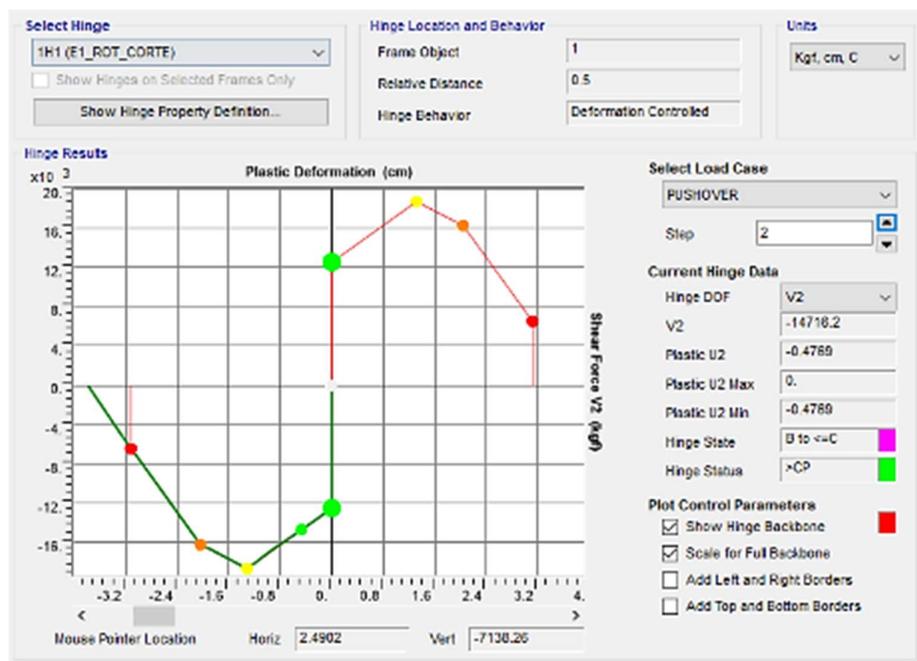
Asignación del modelo numérico no lineal representado en el software, para el análisis del muro de albañilería, ensayo de calibración 01



Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000

Figura 37

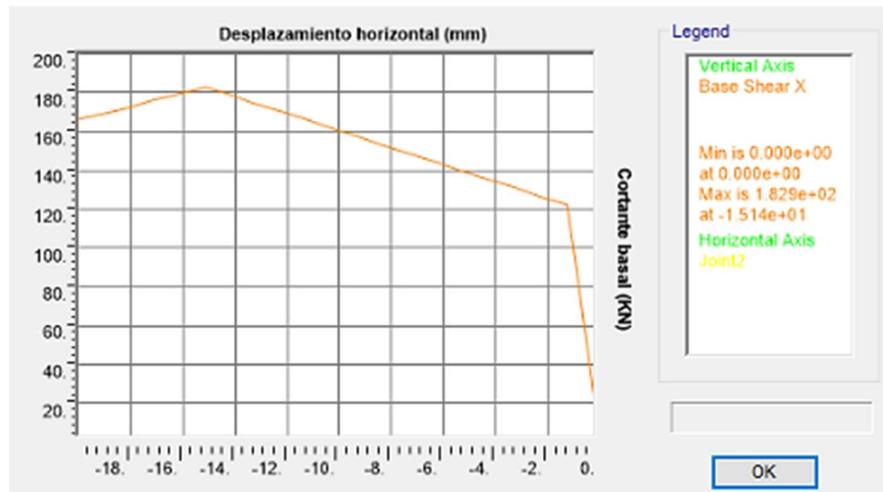
Desarrollo de la rótula de corte, en relación a la rótula definida y calibración 01



Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000.

Figura 38

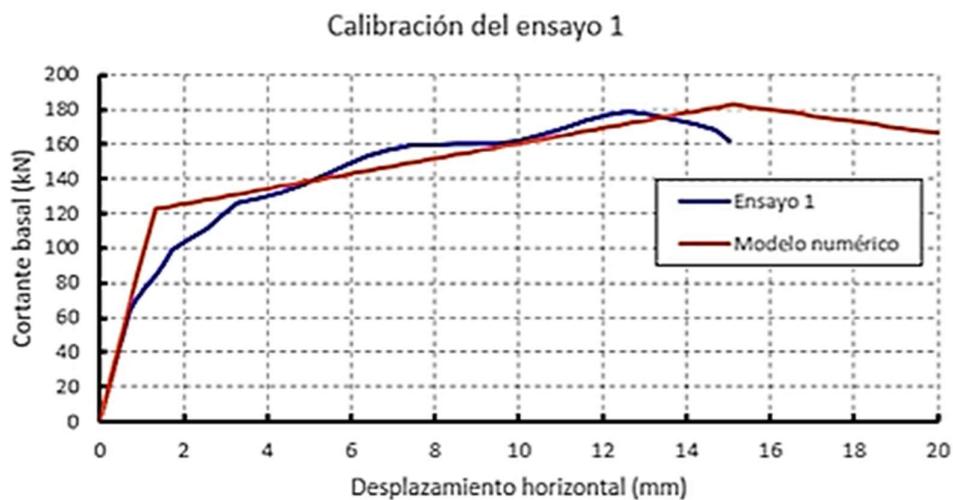
Curva de capacidad del modelo muro de albañilería con calibración 01



Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000

Figura 39

Curva de capacidad del modelo ensayado y modelo del software calibrado del muro 1



Nota: Curva de capacidad del modelo ensayado y modelo del software calibrado, Especialista en Análisis no lineal, C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com,

Curva de capacidad de muros de albañilería, tesis Angles, 2008

Figura 40

Resistencia a compresión de las pilas de ladrillo (Angles, 2008)

Espécimen	Dimensiones			Esbeltez (H/t)	P máx. Ton	Área cm ²	fm kg/cm ²	Factor Corrección	fm (Kg/cm ²) Corregido
	L mm	t mm	H mm						
PA-01	239	130	600	4.615	47.28	310.7	152.16	0.985	149.88
PA-02	240	130	602	4.631	42.94	312.0	137.64	0.985	135.57
PA-03	240	129	600	4.651	40.93	309.6	132.20	0.986	130.35
PA-04	240	130	601	4.623	47.67	312.0	152.79	0.985	150.50

fm : 141.57 Kg/cm²

σ : 10.18 Kg/cm²

f'm: 131 Kg/cm²

Nota: Tomado de Resistencia a la compresión de pilas de ladrillos de arcilla. (p. 24), por P.

Angles, 2008, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 41

Resistencia a corte de muretes de ladrillo de arcilla (Angles, 2008)

Espécimen	Dimensiones			Dimensiones con Capping			P Max. Kg	Area cm ²	v'm Kg/cm ²
	L	A	t	D(mm)	Lo mm)	Ao (mm)			
PA-01	600	590	130	878	610	607	19,127	1,141.4	16.76
PA-02	605	590	130	877	605	605	19,024	1,140.1	16.69
PA-03	600	590	130	876	610	590	20,076	1,138.8	17.63
PA-04	600	590	130	877	610	592	20,189	1,140.1	17.71

vm prom : 17.20 Kg/cm²

S : 0.55 Kg/cm²

v'm : 16.65 Kg/cm²

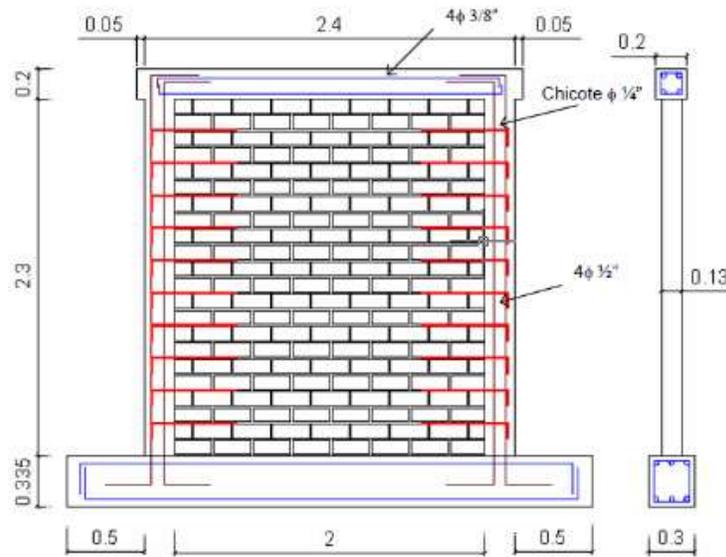
Nota: Tomado de resistencia al corte de muretes de ladrillo de arcilla. (p. 34), por P. Angles,

2008, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 42

Dimensiones de los

muros de albañilería (Angles, 2008)



Nota: Muro de albañilería confinada con una conexión a ras mediante mecha o chicote de anclaje-NT E.070, Art. 11. Tomado de Dimensiones de los Muros de Albañilería (m). (p. 37), por P. Angles, 2008, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 43

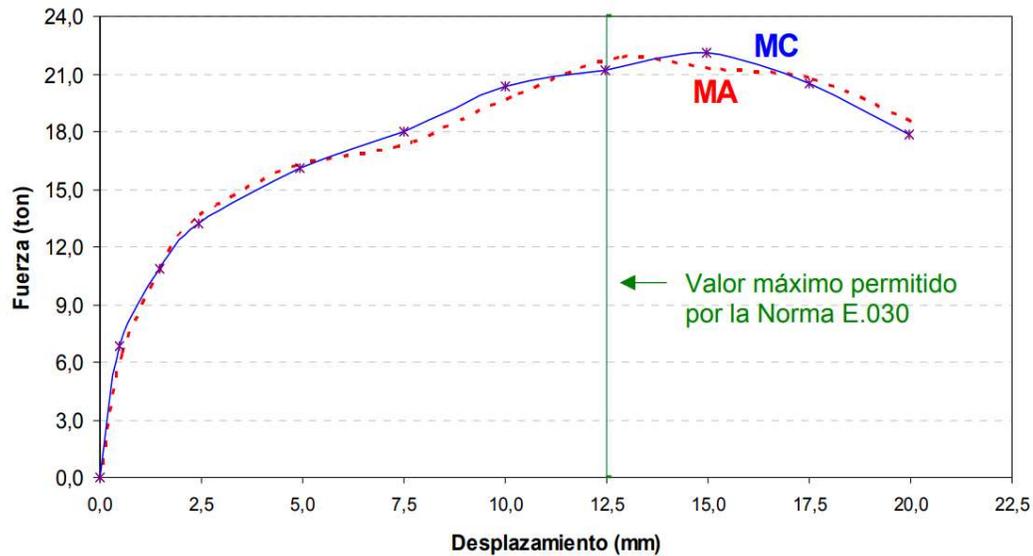
Propiedades mecánicas y geométricas de los componentes (Angles, 2008)

Ensayo 2	Fm (kg/cm ²)	v'm(kg/cm ²)	L(cm)	H(cm)	t (cm)
Albañilería	131.4	11.463	240	250	13

Ensayo 2	f _c (kg/cm ²)	b(cm)	h(cm)	Acero	As(cm ²)
Columna	175	20	13	4φ1/2"	2.84
Viga	175	20	20	4φ3/8"	5.16

Figura 44

Envolvente fuerza-desplazamiento de un muro confinado con ladrillo de concreto y con ladrillo de arcilla (Angles, 2008)



Nota: Tomado de Envoltura con valores absolutos promediados de los muros confinados. (p. 71), por P. Angles, 2008, Pontificia Universidad Católica del Perú

Figura 45

Modelo numérico para el análisis no lineal del muro de albañilería, ensayo de calibración 2

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- ensayo 2			
L(cm)	240.00	H(cm)	250.00
f _m	141	t(cm)	13
α	1	v'm	11.87
V _m (tonf)	18.98	P _g (tonf)	2
Force SF	18.98	Disp SD	0.25
	B	C	D
Fuerza	0.77	1.15	1.00
Desplazamiento	-	5.5	8.5
			E
			13.0

$$v'm \leq \sqrt{f'm}$$

Resistencia corte del murete de albañilería (V_m – resistencia a compresión de la pila de albañilería)

$$V_m = 0.5 \cdot v'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 P_g$$

Resistencia a corte del muro de albañilería (t – espesor del muro, L – longitud del muro, α – factor de reducción de resistencia al corte)

$$P_g = CM + CV$$

Peso por gravedad del muro a ensayar (CM – peso propio y permanente, CV – sobre carga)

Figura 46

Asignación del modelo numérico no lineal representado en el software, para el análisis del muro de albañilería, ensayo de calibración 02

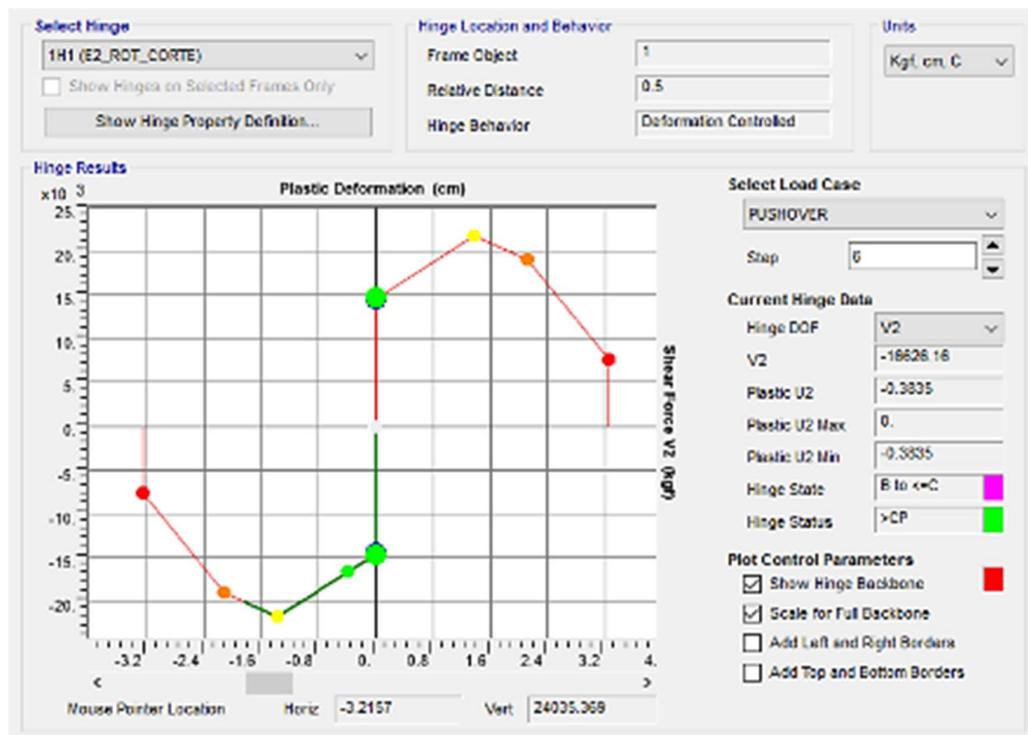
The screenshot shows the 'Displacement Control Parameters' dialog box in SAP 2000. It contains the following elements:

- Table:** A table with columns 'Point', 'Force/SF', and 'Disp/SF'. The rows are labeled E, D-, C-, B-, A, B, C, D, and E, with corresponding numerical values.
- Graph:** A hysteresis loop graph showing force versus displacement, with points A through E marked on the curve.
- Options:**
 - Type:** Radio buttons for 'Force - Displacement' (selected) and 'Stress - Strain'. There are also input fields for 'Hinge Length' and a checkbox for 'Relative Length'.
 - Hysteresis Type And Parameters:** A dropdown menu for 'Hysteresis Type' set to 'Isotropic', with a note: 'No Parameters Are Required For This Hysteresis Type'.
 - Load Carrying Capacity Beyond Point E:** Radio buttons for 'Drops To Zero' (selected) and 'Is Extrapolated'.
 - Scaling for Force and Disp:** Checkboxes for 'Use Yield Force' and 'Use Yield Disp (Steel Objects Only)'. Input fields for 'Force SF' (18980) and 'Disp SF' (0.25) are shown under 'Positive' and 'Negative' labels.

Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000

Figura 47

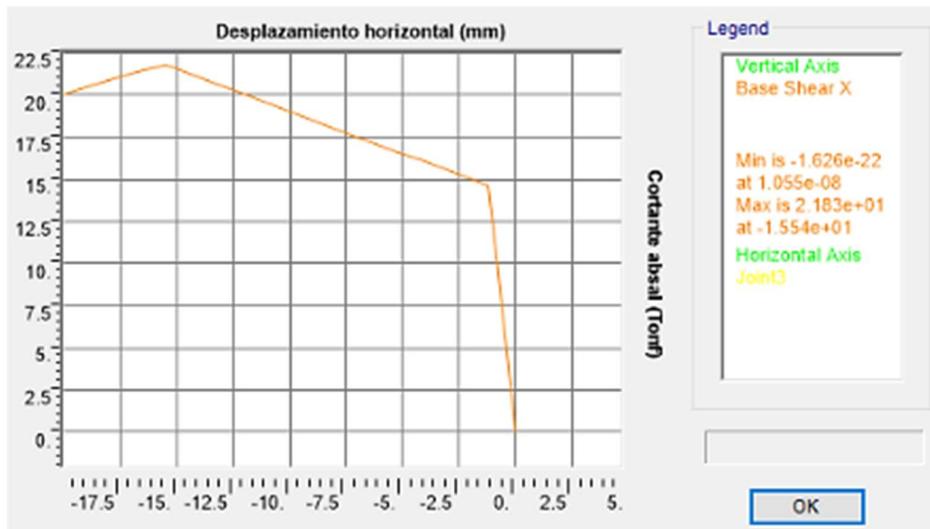
Desarrollo de la rótula de corte, en relación a la rótula definida y calibración 02



Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000

Figura 48

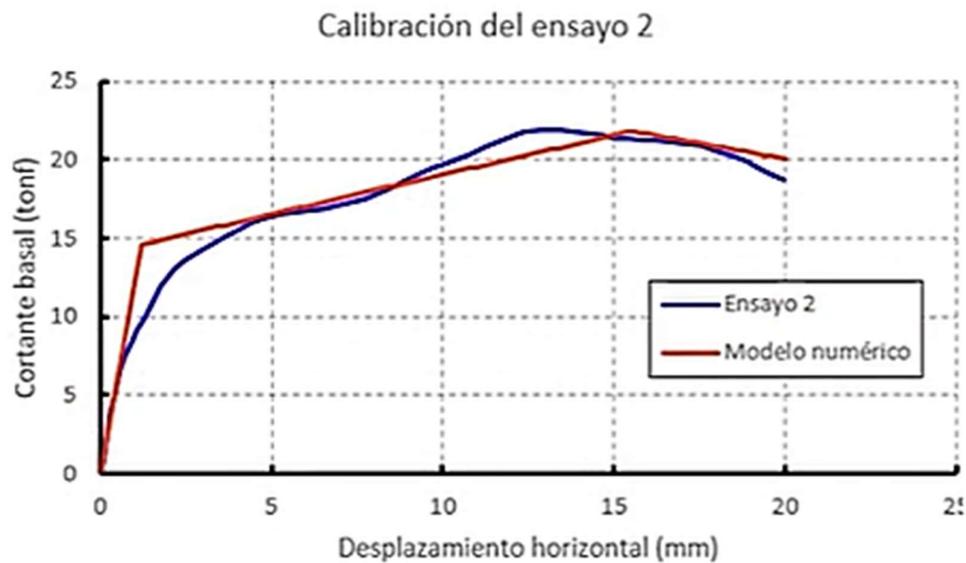
Curva de capacidad del modelo muro de albañilería con calibración 02



Nota: Software de análisis y modelado, SAP 2000

Figura 49

Curva de capacidad del modelo ensayado y modelo del software calibrado del muro 2



Nota: Curva de capacidad del modelo ensayado y modelo del software calibrado, Especialista en Análisis no lineal, C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com.

Cálculo del objetivo de desempeño mediante un ADNL – método Análisis Dinámico Incremental (Tiempo Historia)

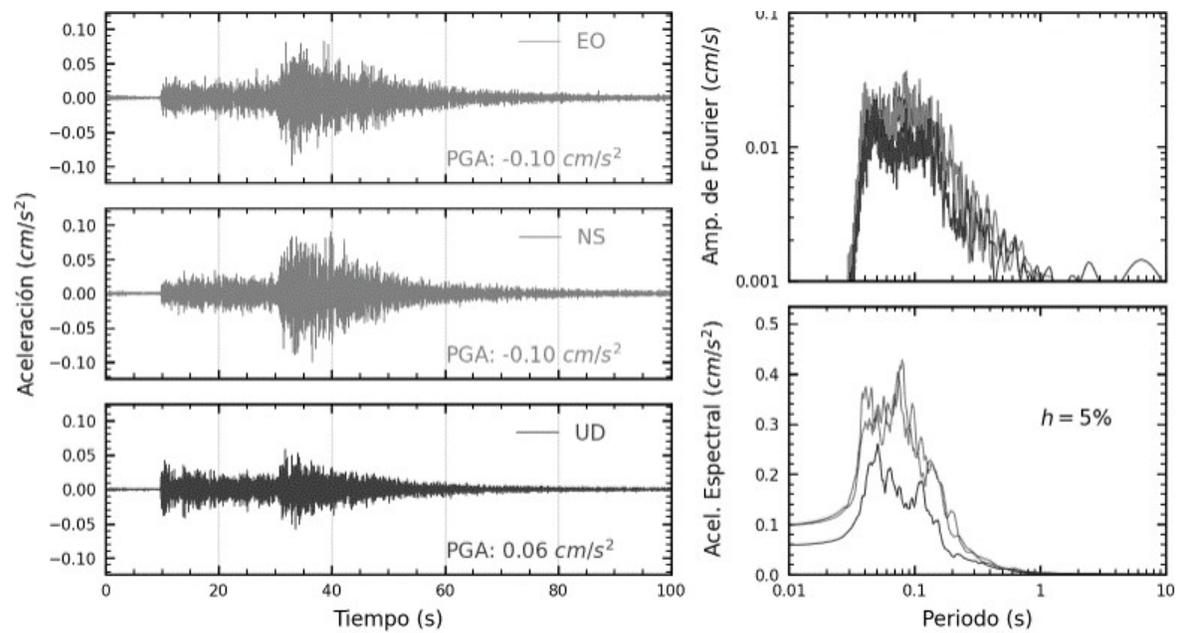
El método de **análisis dinámico Tiempo-Historia incremental – FEMA 356** corresponde a un análisis no lineal de integración directa, porque la vibración genera una disipación de energía mediante una respuesta histérica en función a un historial de registros sísmicos. La base, modelo de aproximación y aceptación son similares a un análisis estático no lineal con la diferencia de que el cálculo de la respuesta se realiza utilizando un análisis tiempo historia.

Se basa en someter un modelo estructural a uno o más registros sísmicos de aceleraciones escalados a múltiples niveles de intensidad, es decir, la demanda aplicada como aceleraciones en la base de la estructura; generándose unas curvas paramétricas de la respuesta estructural (distorsión, corte y otros) vs. El nivel de intensidad o peligro sísmico – Curvas IDA, obteniéndose una respuesta probabilística (debido a una dispersión de datos) estructural en función al desarrollo del sismo. Se describe un procedimiento general para el objetivo de desempeño:

Seleccionar los registros sísmicos en función al tipo de suelo, las máximas aceleraciones y la ubicación que depende del alcance del estudio.

Figura 50

Registros sísmicos para un análisis tiempo historia (CISMID)



Nota: Registro sísmico, aceleración vs. tiempo, Centro de observación para la ingeniería sísmica, CISMID/FIC/UNI, <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

Tratamiento de los registros sísmicos, corrección y escalamiento de las señales sísmicas en cada dirección a un espectro de respuesta con $R=1$, exponiendo a la estructura a diversos niveles de peligro sísmico; mediante los programas computacionales, Seismo Match Y SeismoSignal. Se muestra un procedimiento del tratamiento de registros sísmicos, luego de extraídos de los registros de la fuente matriz:

Corrección de registros sísmicos por línea base y filtrado de frecuencia (Ajuste parabólico de la línea base, Estudio de espectros sísmicos verticales y horizontales, 1973, por la comisión de energía atómica U.S. p. 132. Registro y Tratamiento de Acelerogramas, 1999, por E. Carreño, B. Bravo, A. Suárez y J. Tordesillas, p. 17. Aplicada en el software Seismo Match Y SeismoSignal.)

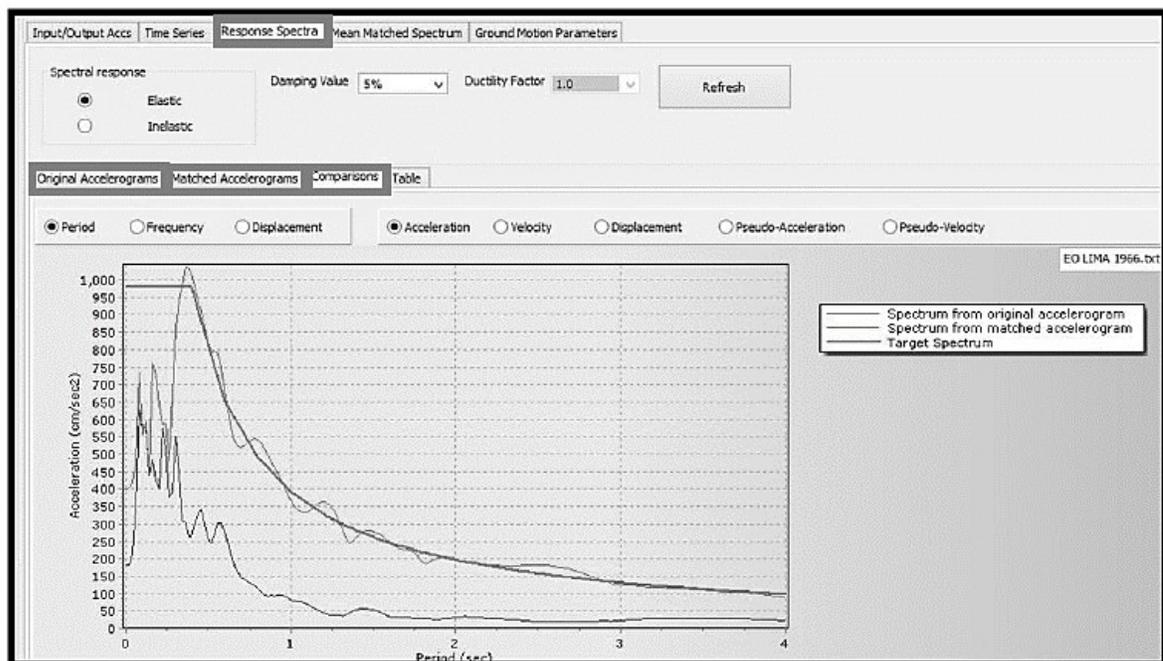
Acción sísmica de diseño para el análisis no lineal (Espectro para un Análisis no lineal, $R=1$, según la norma E030, aplicada en el software Seismo Match Y SeismoSignal.)

Recorte de registros sísmicos por el método de intensidad de arias (Registro y Tratamiento de Acelerogramas, 1999, por E. Carreño, B. Bravo, A. Suárez y J. Tordesillas, p. 108. Aplicada al software Seismo Match Y SeismoSignal.)

Ajuste espectral – espectrocompatibilización – Escalamiento del registro (Aplicada en el software Seismo Match Y SeismoSignal)

Figura 51

Escalamiento de registros sísmicos

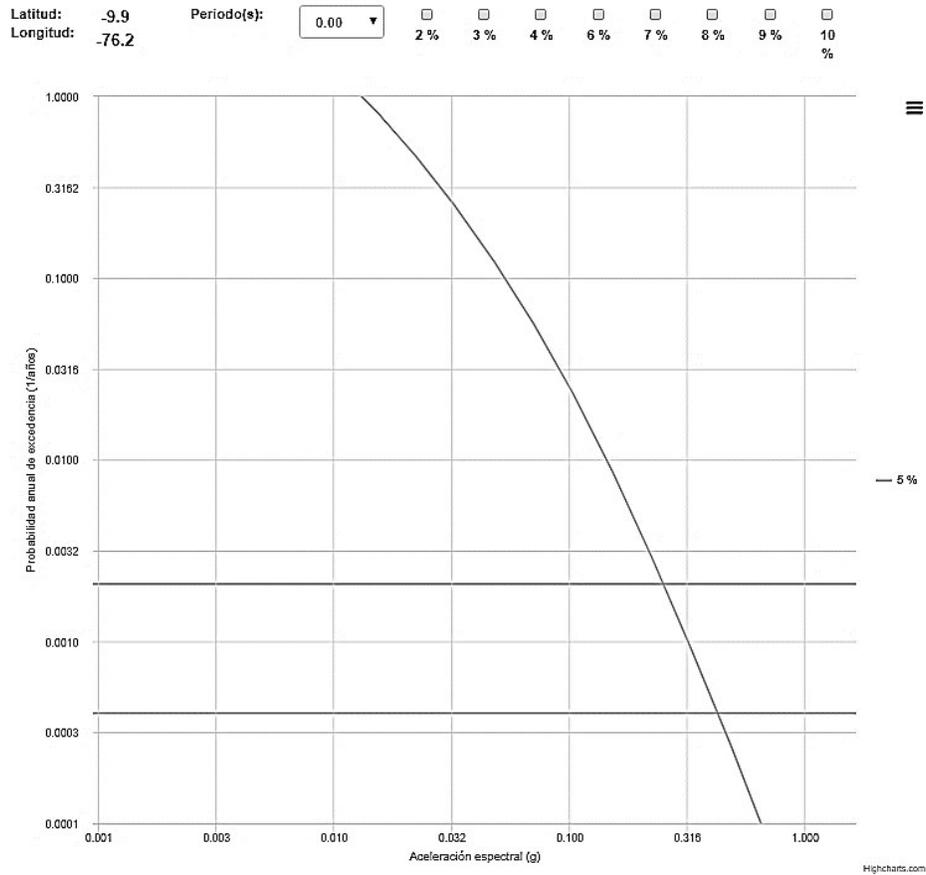


Nota: Software de escalamiento de registros sísmicos. Seismo Match Y SeismoSignal.

Determinación de los niveles de peligro sísmico probabilístico, en función a la curva de peligro sísmico para un periodo estructural y amortiguamiento; mediante la aplicación desarrollado por Sencico.

Figura 52

Curva de peligro sísmico probabilidad de excedencia anual vs. Peligro sísmico

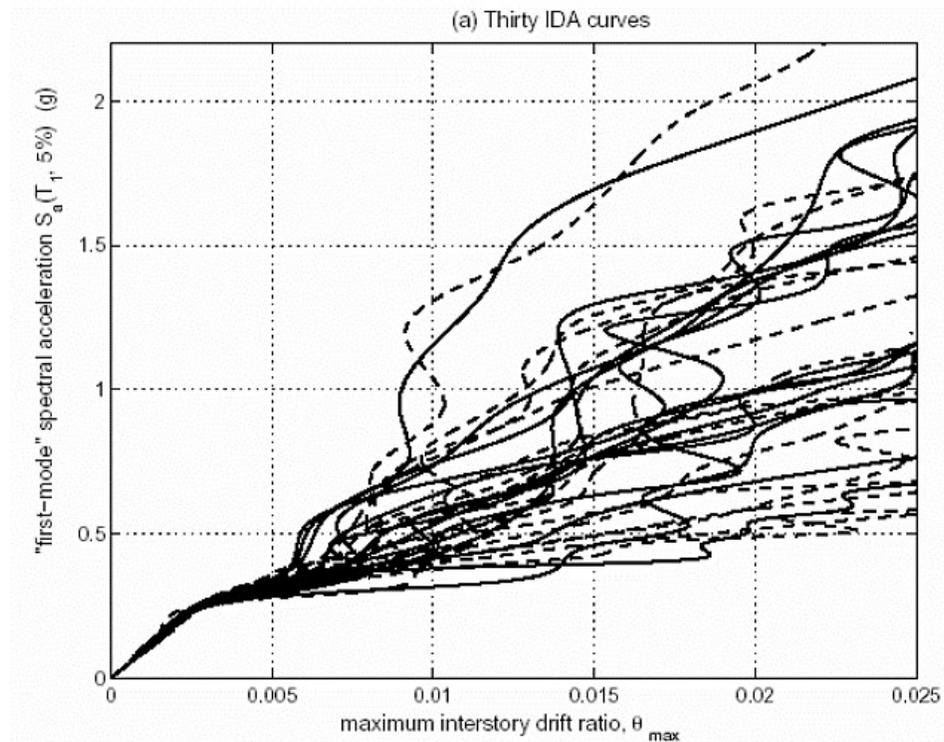


Nota: Servicio web/SENCICO - <http://ppsh.sencico.gob.pe/>

Desarrollo de las curvas del Análisis dinámico incremental (IDA) por cada registro y un conjunto de registros para cada dirección principal, obteniéndose una respuesta estructural en función a la demanda sísmica, probabilística si se cuenta con un número de registros adecuados con un cierto nivel de confiabilidad.

Figura 53

Representación de las curvas IDA, aceleración espectral vs. Distorsión de piso

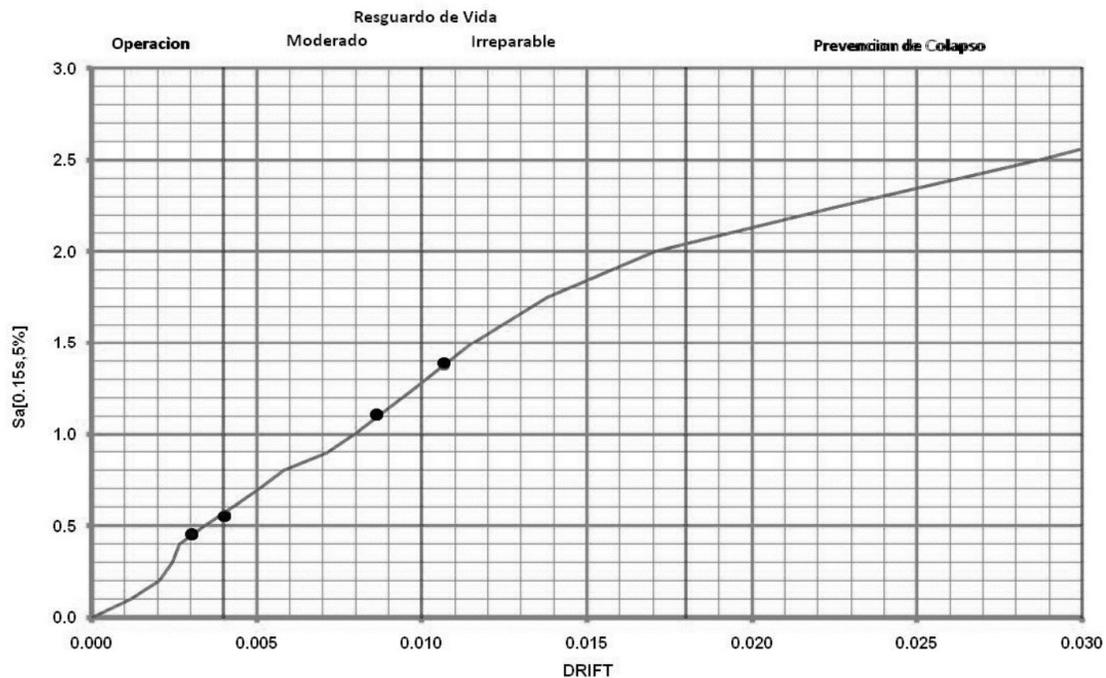


Nota: Tomado de Estudio de análisis dinámico incremental para treinta registros de movimiento del suelo para un marco de arriostramiento de acero de 5 pisos. (cap. 2-7), por la Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA 440), 2005.

Representación del desempeño sísmico estructural en función al nivel de amenaza y niveles de desempeño bajo sus criterios de aceptación.

Figura 54

Representación media de las curvas IDA



Nota: Tomado de Desempeño Estructural del Colegio Analizado. (p. 43), por V. Gálvez, 2011, Pontificia Universidad Católica del Perú

Una vez determinado el punto de desempeño bajo los métodos aplicados asociado a la respuesta máxima de la estructura durante el movimiento sísmico especificado, se podrá decidir en función al nivel de desempeño esperado, la aceptabilidad o necesidad de intervención en una edificación.

Verificación del Objetivo de Desempeño

Los resultados obtenidos son comparados y verificados contra los límites establecidos por el objetivo de desempeño correspondiente, para la **respuesta global** de la estructura se verificará la degradación del sistema resistente (que no haya degradado en más del 20% de su resistencia máxima) y las distorsiones de entrepiso respecto al nivel de desempeño correspondiente, según el ATC 40 (tabla 6)

Para los **componentes** según el ATC 40, FEMA 440 y ASCE 41-17, estos se clasificaran en función a su resistencia como elementos primarios o secundarios y si son controladas por fuerzas (frágiles) o deformaciones (dúctiles).

Según Hernández y Villamizar, Cada componente debe revisarse para determinar si satisface los requerimientos de aceptabilidad en fuerzas y desplazamientos bajo el punto de desempeño obtenido. El primer paso, será clasificar cada elemento en componente primario o secundario, de acuerdo con su rol en el sistema resistente a carga lateral, en o cercano al punto de desempeño. Los elementos y componentes que proporcionen una resistencia lateral significativa en el punto de desempeño, son considerados como primarios. Todos los demás componentes son clasificados como secundarios.

Resistencia de componentes. En el punto de desempeño, no se permite exceder la resistencia por la demanda actuante. Para acciones dúctiles controladas por deformación, la respuesta inelástica es aceptable mientras no se superen los límites de deformación. Además, los resultados analíticos deben revisarse para asegurarse que el endurecimiento por deformación del modelo analítico no resulte en acciones internas ficticias que excedan la resistencia esperada de los componentes. Para acciones frágiles controladas por fuerza, los componentes deben modelarse con resistencia degradable una vez se alcance su resistencia cedente

Capacidad de deformación de componentes. Para los niveles de desempeño establecidos, no está permitido que las deformaciones calculadas de los componentes excedan los límites de deformación. Debe medirse en la relación multilineal carga-deformación definida para cada componente. El criterio de aceptabilidad en términos de deformación, debe establecerse como sigue:

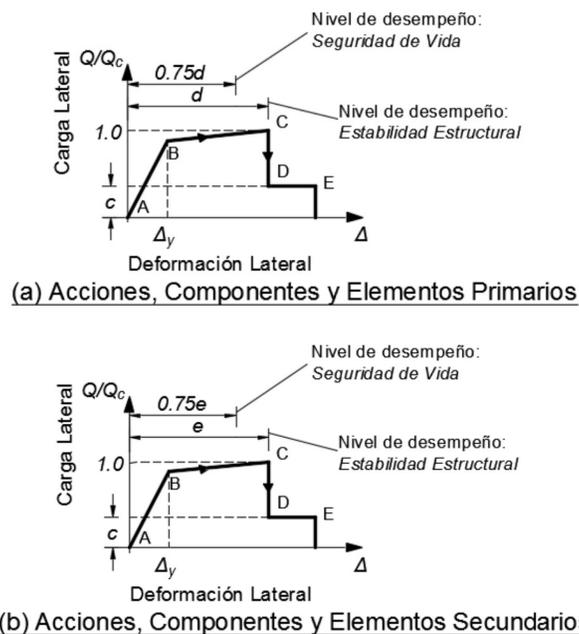
(a) para elementos, componentes y acciones primarias, la capacidad de deformación del componente en el nivel de desempeño Estabilidad Estructural, se define como la deformación en la cual empieza una degradación significativa de la resistencia a carga

lateral. La capacidad de deformación del componente en el nivel Seguridad de Vida, se define como el 75% de la deformación para el nivel de Estabilidad Estructural.

(b) para elementos, componentes y acciones secundarias, la capacidad de deformación del componente en el nivel de desempeño Estabilidad Estructural, se define como la deformación en la cual se pierde la capacidad de soportar carga vertical. La capacidad de deformación del componente en el nivel Seguridad de Vida se define como el 75% de la deformación para el nivel de Estabilidad Estructural. (p. 34 y 35)

Figura 55

Criterios de aceptabilidad de los componentes



Nota: Tomado de Criterios de aceptabilidad expresada en la curva esfuerzo-deformación. (p. 56), ATC 40, como se citó en Hernández y Villamizar, 2018

Se desarrollaron tablas para el cálculo de las capacidades de deformación, y que para aplicarlos deberían haber sido modelados según de acuerdo a los procedimientos que exigen éstas normativas.

Figura 56

Parámetros de modelado no lineal, y criterios de aceptación para la componente viga reforzada

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	c		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						
ρ_{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

Nota: Tabla 10-7 del ASCE 41-17

Figura 57

Parámetros de modelado no lineal, y criterios de aceptación para la componente columna reforzada

Table 10-8. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns								
Conditions		Modeling Parameters*			Acceptance Criteria*			
		Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)			
		a	b		Performance Level			
					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

Nota: Tabla 10-8 del ASCE 41-13

Verificación del Daño Estructural

Figura 58

Tipos de edificación para la evaluación del daño estructural

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame (\leq 5,000 sq. ft.) Wood, Commercial and Industrial ($>$ 5,000 sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
23	C3M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
24	C3H		High-Rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
27	PC2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-Rise	8+	12	120
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
30	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1 - 3	2	20
32	RM2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-Rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
36	MH	Mobile Homes		All	1	10

Nota: Estos tipos de edificios modelo se basan en el sistema de clasificación de FEMA 178, Manual NEHRP para la Evaluación Sísmica de Edificios Existentes [FEMA, 1992].Tabla 5.1 de HAZUZ MR4.

Figura 59

Límites de distorsión para criterios de daños en la respuesta global de la estructura pórtico

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State						Spectral Displacement (inches)						
Type	Height (inches)		Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Complete
	Roof	Modal													
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.50	0.84	1.25	0.86	3.86	0.89	9.45	1.04	
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.86	0.89	2.14	0.95	6.62	0.95	16.20	0.92	
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600	1.30	0.80	2.24	0.75	5.08	0.74	12.96	0.88	
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400	2.16	0.65	3.74	0.68	8.46	0.69	21.60	0.87	
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300	3.37	0.64	5.83	0.64	13.21	0.71	33.70	0.83	
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	1.08	0.93	1.87	0.92	5.04	0.93	12.96	0.93	
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.80	0.70	3.12	0.69	8.40	0.69	21.60	0.89	
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.81	0.66	4.87	0.64	13.10	0.69	33.70	0.80	
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.88	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	0.89	
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.86	0.96	1.50	1.00	4.04	1.03	11.34	0.92	
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.44	0.75	2.50	0.72	6.73	0.72	18.90	0.94	
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262	2.25	0.66	3.90	0.67	10.50	0.70	29.48	0.90	
S5L															
S5M															
S5H															
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.89	
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.50	0.70	2.60	0.70	7.00	0.70	18.00	0.89	
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.16	0.66	3.74	0.66	10.08	0.76	25.92	0.91	
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600	0.72	0.91	1.52	0.97	4.17	1.03	10.80	0.87	
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400	1.20	0.81	2.53	0.77	6.95	0.73	18.00	0.91	
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300	1.73	0.66	3.64	0.68	10.00	0.70	25.92	0.87	
C3L															
C3M															
C3H															
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.89	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	1.04	
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	1.00	3.37	1.03	9.45	0.88	
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.82	2.08	0.79	5.61	0.75	15.75	0.93	
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.68	3.00	0.69	8.08	0.77	22.68	0.89	
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	0.99	3.37	1.05	9.45	0.94	
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.82	5.61	0.80	15.75	0.89	
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.91	1.25	0.96	3.37	1.02	9.45	0.93	
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.80	5.61	0.75	15.75	0.88	
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.67	3.00	0.69	8.08	0.70	22.68	0.86	
URML															
URMM															
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92	

Nota: Tabla 5.9b, Parámetros de la curva de fragilidad estructural - Código Nivel de diseño sísmico moderado, HAZUZ MR4

Figura 60

Límites de distorsión para criterios de daños en la respuesta global de la estructura albañilería

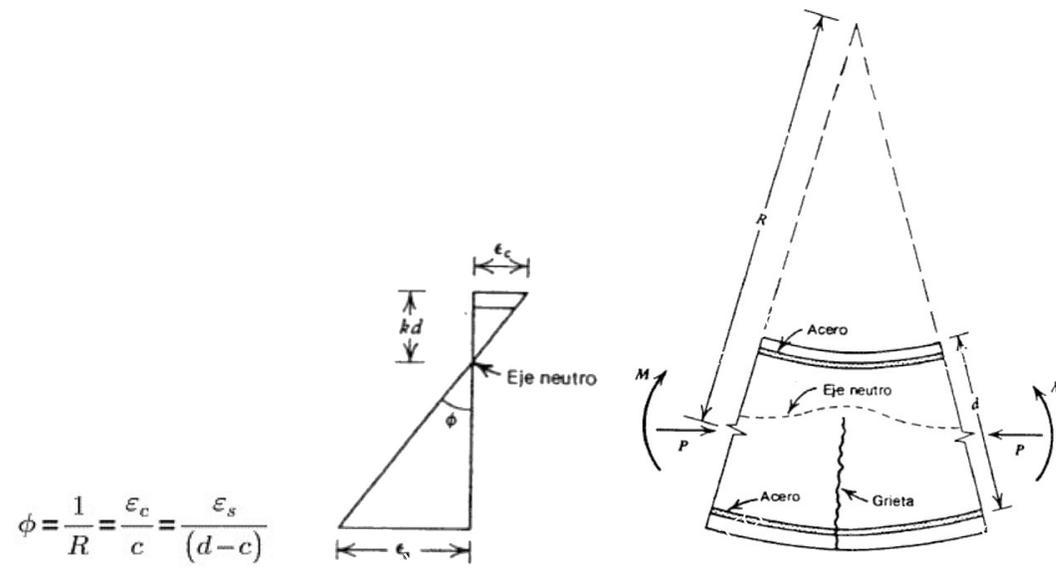
Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State						Spectral Displacement (inches)					
Type	Height (inches)	Roof	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.50	0.93	1.25	0.98	3.86	1.02	9.45	0.99
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.86	0.97	2.14	0.90	6.62	0.89	16.20	0.99
S1L	288	216	0.0060	0.0096	0.0203	0.0500	1.30	0.77	2.07	0.78	4.38	0.78	10.80	0.96
S1M	720	540	0.0040	0.0064	0.0135	0.0333	2.16	0.68	3.44	0.78	7.30	0.85	18.00	0.98
S1H	1872	1123	0.0030	0.0048	0.0101	0.0250	3.37	0.66	5.37	0.70	11.38	0.76	28.08	0.92
S2L	288	216	0.0050	0.0080	0.0200	0.0500	1.08	0.96	1.73	0.89	4.32	0.86	10.80	0.98
S2M	720	540	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333	1.80	0.70	2.88	0.73	7.20	0.85	18.00	0.98
S2H	1872	1123	0.0025	0.0040	0.0100	0.0250	2.81	0.66	4.49	0.67	11.23	0.74	28.08	0.92
S3	180	135	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.54	0.98	0.87	0.99	2.17	1.01	5.91	0.90
S4L	288	216	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.86	1.05	1.38	0.98	3.47	0.89	9.45	0.98
S4M	720	540	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.44	0.76	2.31	0.78	5.78	0.90	15.75	0.99
S4H	1872	1123	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	2.25	0.70	3.60	0.75	9.01	0.90	24.57	0.98
S5L	288	216	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.65	1.11	1.30	1.04	3.24	0.99	7.56	0.95
S5M	720	540	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	1.08	0.77	2.16	0.79	5.40	0.87	12.60	0.98
S5H	1872	1123	0.0015	0.0030	0.0075	0.0175	1.68	0.70	3.37	0.73	8.42	0.89	19.66	0.97
C1L	240	180	0.0050	0.0080	0.0200	0.0500	0.90	0.95	1.44	0.91	3.60	0.85	9.00	0.97
C1M	600	450	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333	1.50	0.70	2.40	0.74	6.00	0.86	15.00	0.98
C1H	1440	864	0.0025	0.0040	0.0100	0.0250	2.16	0.70	3.46	0.81	8.64	0.89	21.60	0.98
C2L	240	180	0.0040	0.0076	0.0197	0.0500	0.72	1.04	1.37	1.02	3.55	0.99	9.00	0.95
C2M	600	450	0.0027	0.0051	0.0132	0.0333	1.20	0.82	2.29	0.81	5.92	0.81	15.00	0.99
C2H	1440	864	0.0020	0.0038	0.0099	0.0250	1.73	0.68	3.30	0.73	8.53	0.84	21.60	0.95
C3L	240	180	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.54	1.09	1.08	1.07	2.70	1.08	6.30	0.91
C3M	600	450	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	0.90	0.85	1.80	0.83	4.50	0.79	10.50	0.98
C3H	1440	864	0.0015	0.0030	0.0075	0.0175	1.30	0.71	2.59	0.74	6.48	0.90	15.12	0.97
PC1	180	135	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.54	1.00	0.87	1.05	2.17	1.12	5.91	0.89
PC2L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.08	1.15	1.03	2.89	0.98	7.88	0.96
PC2M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.81	1.92	0.79	4.81	0.84	13.12	0.99
PC2H	1440	864	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	1.73	0.71	2.77	0.75	6.93	0.89	18.90	0.98
RM1L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.11	1.15	1.10	2.89	1.10	7.88	0.92
RM1M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.87	1.92	0.84	4.81	0.79	13.12	0.96
RM2L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.05	1.15	1.07	2.89	1.09	7.88	0.91
RM2M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.84	1.92	0.81	4.81	0.77	13.12	0.96
RM2H	1440	864	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	1.73	0.69	2.77	0.72	6.93	0.87	18.90	0.96
URML	180	135	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.41	0.99	0.81	1.05	2.03	1.10	4.73	1.08
URMM	420	315	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	0.63	0.91	1.26	0.92	3.15	0.87	7.35	0.91
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92

Nota: Tabla 5.c, Parámetros de la curva de fragilidad estructural - Código Nivel de diseño sísmico bajo, HAZUZ MR4

2.4. Bases Epistemológicas

Cálculo de las deformaciones a partir de las curvaturas

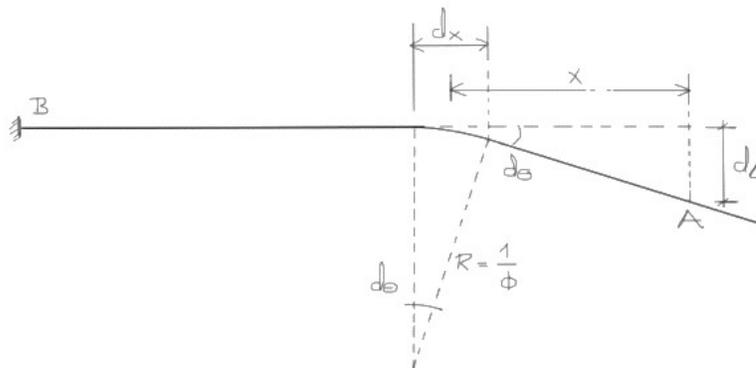
La curvatura de una sección se define como la rotación por longitud unitaria del miembro, la cual se relaciona con las deformaciones en sus fibras extremas y el eje neutro.



Por definición, se puede calcular la rotación de un miembro, integrando las curvaturas a lo largo del mismo.

$$\theta = \int \phi \, dx$$

Al ocurrir una deformación por rotación en un elemento estructural, se tiene lo siguiente:



$$d\theta = \frac{dx}{R} = \phi \cdot dx \quad d\Delta = x \cdot d\theta$$

La rotación entre los puntos A y B del miembro se define de la siguiente manera:

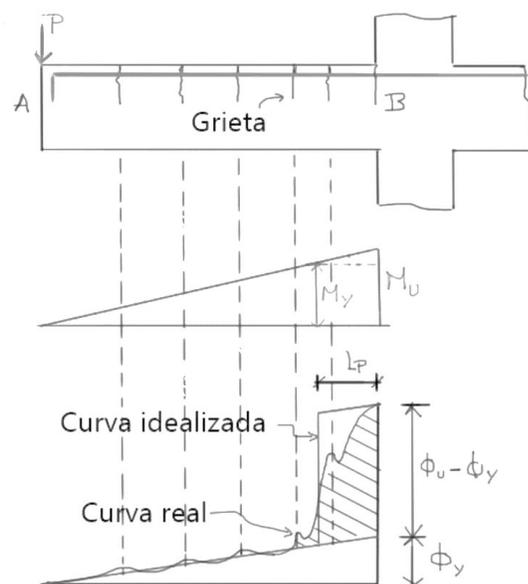
$$\theta_{AB} = \int_A^B \phi \, dx$$

La deflexión del punto A respecto al punto B del miembro se define de la siguiente manera:

$$\Delta_{AB} = \int_A^B x \, d\theta = \int_A^B x \cdot \phi \, dx$$

Deformaciones máximas idealizadas

Para una viga en voladizo, la cual se deforma por flexión bajo una carga puntual en su extremo, la región de curvatura inelástica se extiende sobre una parte de la longitud de la misma, que se idealiza de forma práctica como L_p , donde el momento actuante es superior al cedente de la sección. En las regiones donde se presentan grietas, aumenta la curvatura de la sección debido a la pérdida de rigidez. El área sombreada representa la rotación inelástica que puede ocurrir en la articulación plástica, en la cercanía de la sección crítica. Se puede reemplazar por un rectángulo equivalente, que tenga la misma área que la distribución real de curvatura inelástica.



La rotación plástica:

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p$$

La rotación elástica, donde la distancia x se mide desde A hasta B y L la longitud del elemento.

$$\theta_e = \int_A^B \phi_e dx = \int_A^B \phi_y \cdot \left(\frac{x}{L}\right) dx$$

$$\theta_y = \theta_e$$

La contribución elástica a la rotación en toda la longitud del miembro, se determina integrando la curvatura en condición elástica, que presenta el área no sombreada del diagrama de curvatura. La rotación última se define como:

$$\theta_u = \theta_e + \theta_p = \int_A^B \phi_e dx + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p = \phi_y \cdot \frac{L}{2} + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p$$

Análogamente, para el caso de las deflexiones se tiene:

La deflexión plástica:

$$\Delta_p = \theta_p \cdot x = (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \cdot \left(L - \frac{l_p}{2}\right)$$

La deflexión elástica:

$$\Delta_e = \int_A^B \phi_e \cdot x dx = \int_A^B \phi_y \cdot \left(\frac{x}{L}\right) \cdot x dx$$

La deflexión última:

$$\Delta_u = \Delta_e + \Delta_p = \int_A^B \phi_e \cdot x dx + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \cdot \left(L - \frac{l_p}{2}\right) = \phi_y \cdot \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{2L}{3}\right) + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \cdot \left(L - \frac{l_p}{2}\right)$$

Longitud plástica

Para cada una de las vigas del sistema resistente a sismo, se proponen fórmulas empíricas que permiten estimar la longitud plástica (L_p):

Caso 1: Propuesta Sawyer

$$l_p = 0.25 d + 0.075 z$$

Consideraciones: La zona de cedencia se extiende a $d/4$ más allá de la sección en que el momento flexionante se reduce a M_y y además $M_y/M_u = 0.85$

Caso 2: Propuesta Mattock

$$l_p = 0.5 d + 0.05 z$$

Consideraciones: Se ignoró el desconchamiento del recubrimiento a deformaciones elevadas y se emplearon los parámetros de tensiones de concreto a compresión del ACI.

d: Altura útil de la sección, z: distancia desde la sección crítica al punto de inflexión

Tipos de modelos de Análisis estructural no lineal

Los modelos de componentes estructurales inelásticos se pueden diferenciar por la forma en que la plasticidad se distribuye a través del miembro secciones transversales y a lo largo de su longitud. La figura 62, es una comparación de cinco tipos de modelos idealizados para simular la respuesta inelástica de vigas-columnas y otros elementos.

Los modelos más simples concentran las deformaciones inelásticas al final del elemento, como a través de un rígido-plástico bisagra (Figura 62a) o un resorte inelástico con histéresis propiedades (Figura 62b). Al concentrar la plasticidad en bisagras de longitud cero con parámetros de modelo de momento-rotación, estos elementos se han condensado relativamente numéricamente formulaciones eficientes.

El modelo de bisagra de longitud finita (Figura 62c) es un modelo de eficiente formulación de plasticidad distribuida con bisagra designada en los extremos del

miembro. Las secciones transversales en las zonas de bisagra se caracterizan por ser relaciones no lineales momento-curvatura o sección de fibra explícita, con integraciones que hacen cumplir la suposición de que el plano las secciones permanecen planas. La longitud de la bisagra inelástica puede ser fijo o variable, según se determine a partir de las características de curvatura de momento de la sección junto con la gradiente de momento y fuerza axial concurrentes. La integración de deformaciones a lo largo de la longitud de la bisagra captura la dispersión de ceder de manera más realista que las bisagras concentradas, mientras que la longitud finita de la bisagra facilita el cálculo de rotaciones de la bisagra.

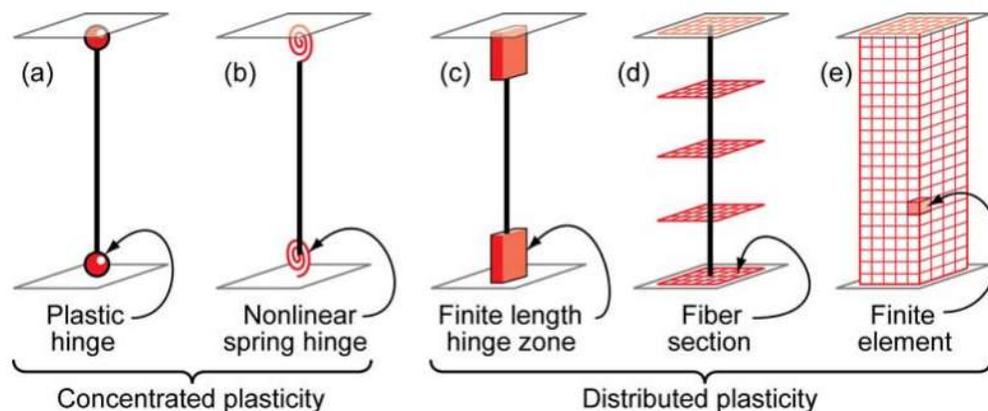
Los modelos de formulación de fibra (Figura 62d) distribuyen plasticidad por integraciones numéricas a través del miembro de secciones transversales y a lo largo de la longitud del miembro. Se definen modelos de materiales para capturar la no linealidad y sus características histeréticas de tensión-deformación axial en las secciones. La suposición de que las secciones del plano permanecen en el plano esforzada, donde las "fibras" de material uniaxial son numéricamente integrado sobre la sección transversal para obtener resultantes de tensión (fuerza axial y momentos) y curvatura de momento incremental y relaciones fuerza-deformación axial. Luego, los parámetros se integran numéricamente en niveles discretos a lo largo de la longitud del miembro, usando desplazamiento o funciones de interpolación de fuerzas (Kunnath et al. 1990, Spacone et al. 1996). Las formulaciones de fibra distribuida generalmente no informan las rotaciones de las bisagras plásticas, pero en su lugar informan las deformaciones en el Fibras de sección transversal de acero y hormigón. La tensión calculada las demandas puede ser bastante sensibles al gradiente de momento, longitud del elemento, método de integración y endurecimiento por deformación parámetros sobre las demandas de deformación calculadas. Por lo tanto, las demandas de tensión y

los criterios de aceptación deben ser comparados con modelos de bisagra concentrada, para los cuales los criterios de aceptación de rotación se informan más ampliamente.

Los modelos más complejos (Figura 62e) discretizan el conjunto a lo largo de la longitud del miembro y a través de las secciones en pequeños (micro) elementos finitos con no lineales propiedades constitutivas histeréticas que tienen numerosas entradas parámetros Este nivel fundamental de modelado ofrece la mayor versatilidad, pero también presenta el mayor desafío en términos de calibración de parámetros del modelo y cálculo recursos. (G. Deierlein, A. Reinhorn, M. Willford, 2018, p. 5)

Figura 61

Modelo de plasticidad concentrada y distribuida

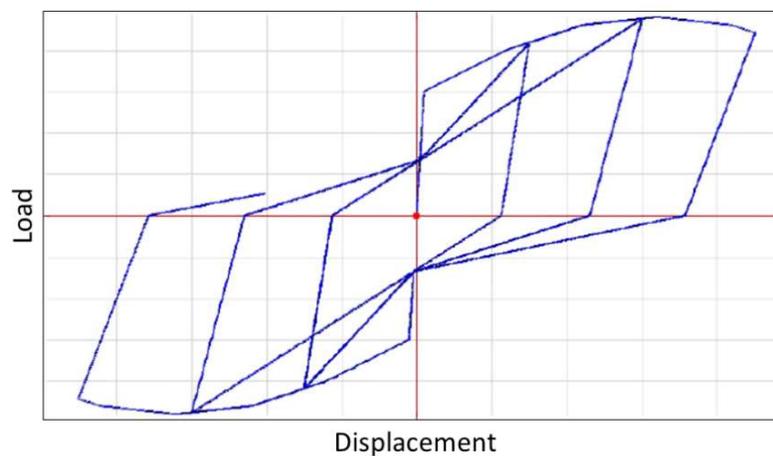


Nota: Tomado de modelos idealizados de elementos viga-columna. (p. 4), por G. Deierlein, A. Reinhorn, M. Willford, 2010, Instituto nacional de estandarización y tecnología (NIST)

Modelo histerético para las componentes estructurales

Figura 62

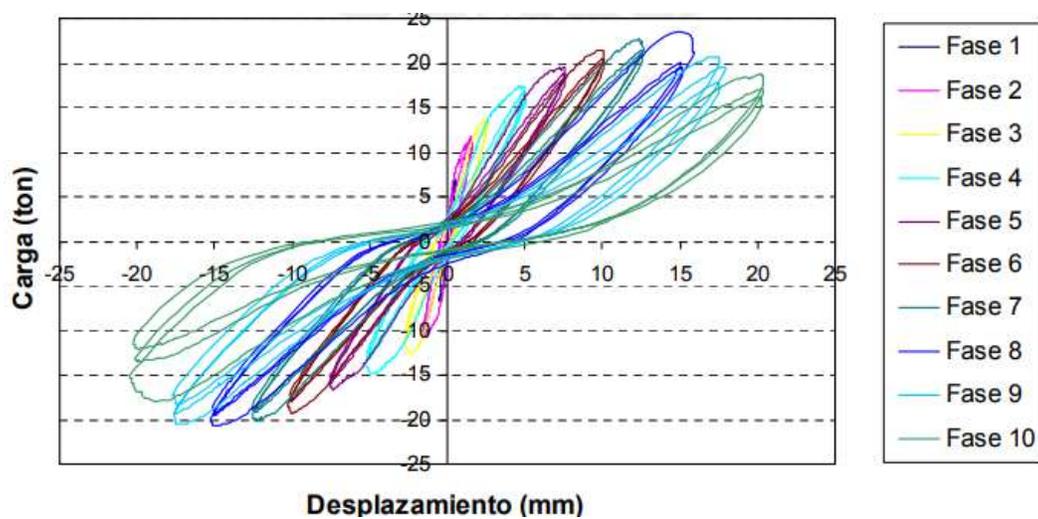
Modelo de Histéresis tipo pivot para los muros de albañilería



Nota: Tomado de Hysteresis Model for the Cyclic Response of Existing Reinforced Concrete Frames, (p.82), por Revista de la Asociación Coreana de Estructuras Espaciales, <http://journal.kasss.or.kr/journal/article.php?code=75871&ckattempt=1>

Figura 63

Lazos histéricos para los muros de albañilería (Angles 2008)

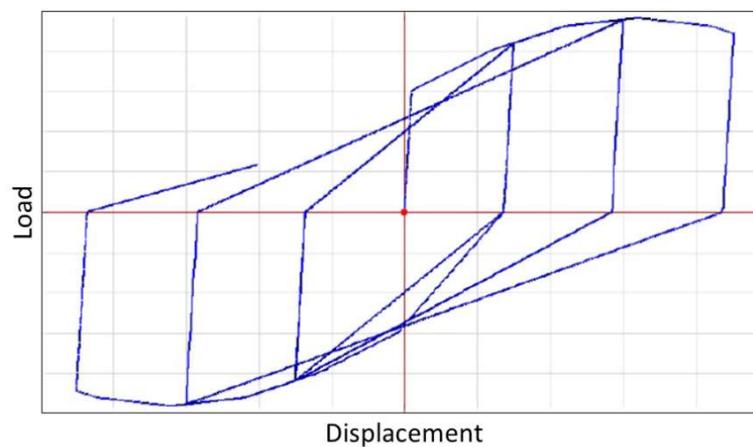


Nota: Tomado de - Lazos histéricos V-D de los muros confinados. (p. 68), por P. Angles, 2008, Pontificia Universidad Católica del Perú

Se presenta el modelo de Histéresis para los muros de albañilería confinada, se asigna a la plasticidad por corte del muro, de referencia se muestra los ensayos a muros de la tesis de ANGLES 2008 (figura 63, modelo de histéresis) y su aplicación del modelo matemático no lineal; un modelo que se ajusta bien a los resultados de los ensayos es el del modelo de Histéresis Pivot, donde existe la pérdida de rigidez inicial y además los lasos se estrangulan de manera que la disipación de energía es mínima y la ductilidad es baja, cayendo a la fragilidad.

Figura 64

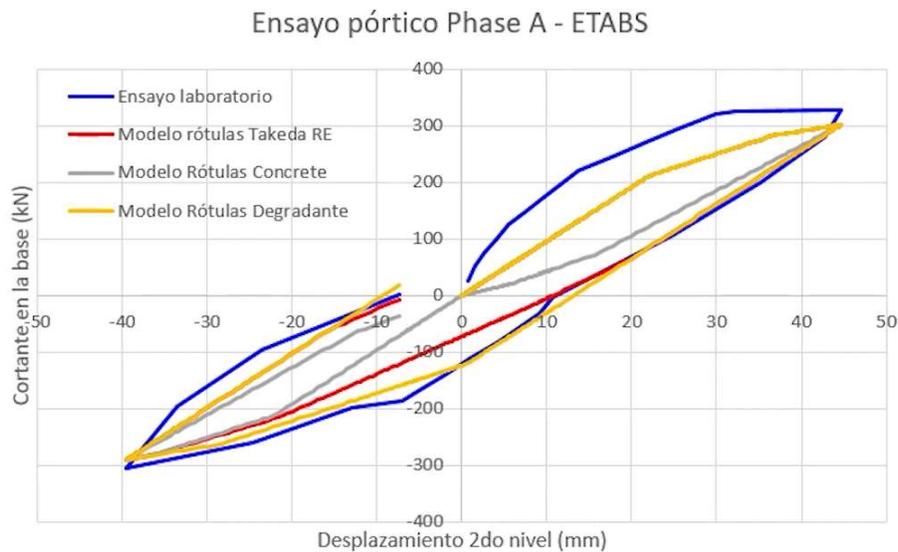
Modelo de Histéresis tipo takeda para elementos de concreto



Nota: Tomado de Hysteresis Model for the Cyclic Response of Existing Reinforced Concrete Frames, (p.82), por Revista de la Asociación Coreana de Estructuras Espaciales, <http://journal.kasss.or.kr/journal/article.php?code=75871&ckattempt=1>

Figura 65

Lazos histéricos para elementos de concreto



Nota: Lazo histórico tipo takeda, calibrada, aplicada a elementos de pórticos, Especialista en Análisis no lineal, C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com,

Se presenta el modelo de Histéresis para los componentes de concreto armado tipo pórtico (vigas, para columnas que es un modelo de fibra se aplica directamente al material del concreto), se asigna a la plasticidad concentradas por flexión, de referencia se muestra los ensayos a pórticos para la calibración C Perez 2022 (figura 65, modelo de histéresis), y su aplicación del modelo matemático no lineal; un modelo que se ajusta bien a los resultados de los ensayos es el del modelo de Histéresis Takeda, donde la pérdida de rigidez inicial es moderada y además los lasos se mantienen uniformes, robustas de manera que la disipación de energía es moderada y estable, presentando un valor de ductilidad adecuada.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Ámbito

Ubicación y localización de la muestra

La Institución educativa N°141 – Héroes de Jactay, se encuentra localizado en el distrito, provincia y región de Huánuco y ubicado entre la Av. 18 de Agosto y la Calle Fausto Meza del AA.HH. Héroes de Jactay – Pueblo joven las Moras, en la parte Sur-Oeste del distrito mencionado; con las coordenadas siguientes: 3620852.4 E 8902252.3 N (proyección cartográfica UTM, 18-Sur), a una altitud de 2,200 m.s.n.m.

Estado Actual de la Edificación a Nivel Estructural

La institución educativa N°141 Héroes de Jactay, construido en el año 2006 con normativas y conceptos sismorresistentes vigentes, que fueron actualizándose, en función a experiencias sísmicas; la edificación corresponde a una estructura clásica de instituciones educativas, con una estructuración de elementos lineales (uniaxiales) y planos (biaxiales) en ambas direcciones y techos livianos o cubiertas a dos aguas (inclinadas) para sus módulos.

Estructurada en la dirección longitudinal con un sistema de pórticos de concreto y un sistema de muros de albañilería confinados (muros de albañilería enmarcada por columnetas y vigas soleras de concreto armado, asegurando el confinamiento) que se alternan una después de otra en función a sus ejes; además contiene losas aligeradas planas (con viguetas prefabricadas y bovedillas de poliestileno) en un primer entrepiso y cubiertas inclinadas en un segundo nivel; como también cuentan con un módulo de escalera de concreto armado. Así mismo forma parte de la estructura un sistema de cimentación con zapatas aislada a profundidad general de 2.70m (profundidad de desplante) para los elementos resistentes a fuerzas laterales como cimentación corrida para elementos muros de albañilería confinados.

La Institución consta de tres módulos o bloques aislados una de otra y conservados: Módulo 01, conformado por el SS.HH general para el alumnado, con un solo nivel, de una

altura desde el piso terminado de 2.70m; Módulo 02, conformado por ambientes para el alumnado en general, docente – administrativo y de usos múltiples y el Módulo 03, conformado por ambientes de escalera, comedor y un aula para niños, éstos últimos módulos cuentan con dos niveles, con una altura desde el piso terminado de 2.70m el primer nivel y 2.75m el segundo, con un área techada y construida para los módulos de 554.26 m².

TABLA 9

Descripción de módulos de la Institución Educativa N°141 – Huánuco

Descripción	Módulo M-1	Módulo M-2	Módulo M-3
Servicios	SS.HH general	Aulas en general	Escalera, Aula y comedor
Estado	Conservado	Conservado	Conservado
Área techada	30.00m ²	434.57m ²	89.69m ²
Sistemas Estructurales	Albañilería conf. y pórtico	Albañilería conf. y pórtico	Albañilería conf. y pórtico

Figura 66

Vista en planta de los módulos de la I.E.I. N°141 – Huánuco



Nota: El módulo delimitado es el módulo en estudio, módulo con mayor masa sísmica (ver anexo planos), donde las secciones transversales enmarcadas  son los muros de albañilería.

3.2 Población

Para el estudio denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022” el universo de estudio e indagación son las edificaciones educativas a nivel nacional, con tipología estructural (Pórtico y albañilería confinado), características del suelo de fundación (clasificación SUCS y perfil de suelo) y zona sísmica (zona 2), similares a la edificación educativa en estudio.

3.3 Muestra

Para el estudio denominado “Evaluación del Desempeño Sísmico estructural de la Institución Educativa N°141 - Huánuco 2022, mediante un Análisis estático y dinámico no lineal” la muestra es el Módulo M-2, de la Institución Educativa N° 141-Héroes de Jactay.

3.4 Nivel y Tipo de Estudio

El tipo de investigación realizada de acuerdo al fin que se persigue corresponde a una investigación **aplicada**, siendo ésta una aplicación inmediata de utilidad práctica (aplicación de los métodos de desempeño) sobre el problema (desempeño de la edificación).

De acuerdo a los tipos de datos analizados corresponde a una investigación **cuantitativa**, pues se plantea un recolección de datos estructurales para su análisis, investigando y mediciones numéricos que determine el desempeño de la estructura.

De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis corresponde a una investigación **no experimental - correlacional**, donde se determinará el comportamiento o desempeño estructural de la edificación (variable) conociendo el comportamiento de una u otras variables seleccionadas (componentes y elementos estructurales).

3.5 Diseño de investigación

Para el estudio denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022” se aborda un diseño de clase no experimental – transversal-correlacional casual (Hernández, Fernández y Baptista, 1997, cap. 7).

Se ha adaptado para la evaluación por desempeño sísmico estructural de la Institución educativa inicial N°141 - Héroes de Jactay, aplicado al módulo 02 (figura 12) de mayor masa sísmica, dos metodologías de análisis: Análisis estático no lineal (espectro de capacidad y de los coeficientes) y Análisis dinámico no lineal – Tiempo historia (tiempo historia-IDA) que tienen en cuenta las características no lineales globales estructurales de las edificaciones a las que evalúa, permitiéndose realizar un diagnóstico del desempeño estructural. Conociendo el comportamiento estructural y en función a sus criterios de evaluación, importancia y funcionalidad de la edificación se generará propuestas de modelado a fin de mejorar el desempeño si éstas la requieran. La investigación se ha realizado en cuatro fases:

Fase I: Recopilación de Información

Antecedentes de estudios por desempeño sísmico estructural.

Información de los temas relacionados.

Fase II: Determinación de la Muestra (edificación a estudiar)

Localización de la fuente (Institución Educativa N°141-Héroes de Jactay-Huánuco)

Recolección de datos estructurales y generales de la fuente y para la fuente.

Fase III: Desarrollo de la Metodología

Aplicación del método del espectro de capacidad mediante una linealización equivalente para un análisis estático no lineal (Normas ATC-40, FEMA 440, ASCE 41-13 y ASCE 41-17)

Aplicación del método de los coeficientes mediante una para un análisis estático no lineal (Normas FEMA 356, FEMA 440, ASCE 41-13 y ASCE 41-17)

Aplicación del método del análisis dinámico incremental, probabilística y general mediante un análisis dinámico no lineal tiempo historia (Normas E.030, FEMA P58, FEMA 356)

Fase IV: Determinación y Representación del Desempeño Sísmico Estructural

Representación de los niveles de desempeño y amenaza sísmica.

Representación de los criterios de aceptación.

Determinación de la respuesta estructural frente a los niveles de amenaza sísmica.

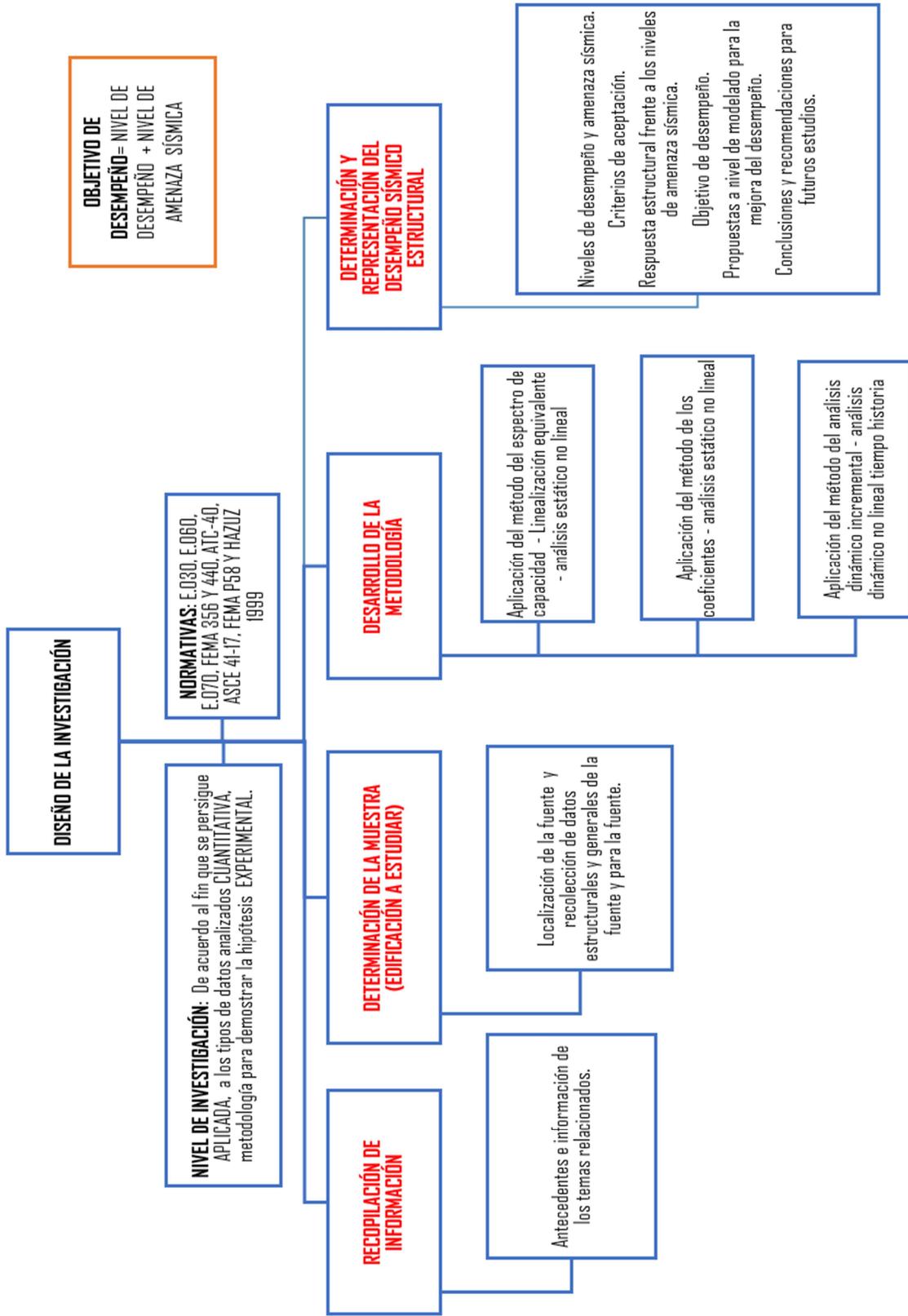
Determinación del objetivo de desempeño.

Determinación de propuestas a nivel de modelado para la mejora del desempeño si ésta la requiere.

Realización de conclusiones y recomendaciones para futuros estudios, basadas en la experiencia estudiada

Figura 67

Mapa conceptual del diseño de la investigación para el estudio denominado “Evaluación del Desempeño Sísmico estructural de la Institución Educativa N°141 - Huánuco 2022, mediante un Análisis estático y dinámico no lineal”



3.6 Métodos, Técnicas e instrumentos

Métodos y técnicas

Dentro del desarrollo del proceso investigativo, se ha usado el **Método Analítico** para la recolección de datos, es decir, se ha revisado detallada y ordenadamente los datos necesarios para extraer la información de interés para la investigación y para ello se han usado las siguientes técnicas para la recolección de datos:

Observación. Para la inspección visual a la Institución educativa en estudio y compatibilizar todo lo observado en campo (características físicas, estructurales y estado de conservación) con los planos estructurales de dicha edificación.

Revisión de Registros. Se ha revisado el expediente técnico denominado “Sustitución de Infraestructura e implementación con mobiliario de la IEI N° 141-Heroes de Jactay-Huánuco” del año 2006 del Gobierno regional Huánuco, se hizo énfasis en la revisión de los planos proyectados para la institución, sobre todo en las especialidades de Estructura y Arquitectura, presentados en los anexos. Así, También se ha revisado las metodologías necesarias para evaluar el desempeño sísmico estructural de una edificación en sus diferentes normativas, y de igual manera se ha revisado y tratado los registros sísmicos necesarios para la investigación (extraídos del IGP – Instituto geofísico del Perú, en sus diferentes estaciones).

Instrumentos

Los instrumentos utilizados para abordar el problema fueron los siguientes:

La Normativa ASCE 41-17, para determinar la curva de capacidad, la curva bilineal y los límites de aceptación de los componentes de la estructura, a través del software Microsoft Excel 2013, PTC Matchcad Prime 5.0.0.0 y ETABS V2018.1.1.

La Normativa FEMA 440, para determinar la curva de aceleración espectral vs. desplazamiento espectral, a través del software Microsoft Excel 2013, PTC Matchcad Prime 5.0.0.0 y ETABS V2018.1.1.

La normativa FEMA 958 y N.T. E 030, para determinar la curva IDA de desplazamiento y la curva de distorsión de entrepiso, a través del software SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft (para el escalamiento de los registros sísmicos), Microsoft Excel 2013, PTC Matchcad Prime 5.0.0.0 y ETABS V2018.1.1.

La normativa E.030, para determinar el comportamiento estructural y sismorresistente, a través del software Microsoft Excel 2013, PTC Matchcad Prime 5.0.0.0 y ETABS V2018.1.1.

La normativa ATC 40, por definir los límites de aceptación de la estructura.

La normativa HAZUZ 99, por definir los daños de la estructura.

3.7 Validación y Confiabilidad del Instrumento

Validación

Esta investigación, se ha desarrollado bajo los lineamientos del ASCE41-17, FEMA 440, FEMA 98 y N.T. E 030, normativas con métodos de evaluación de desempeño estructural validados y de amplio uso a nivel internacional; como también los datos de la muestra fueron obtenidos del expediente técnico correspondiente, aprobados, validados y construidos por el Gobierno Regional de Huánuco; de igual manera, los software utilizados, son los de licencia educativa, proporcionadas por las casas de desarrollo.

Confiabilidad

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto, produce iguales resultados (Hernández, Fernández y Baptista, 1997, cap. 9).

Según esta definición, para la investigación desarrollada, los instrumentos utilizados para su desarrollo y resultados, que son aplicados por única vez a la misma estructura tienen una confiabilidad indeterminada; pero si determinamos que la información recolectada es correcta

y la aplicación de las normas y softwares son desacuerdo a sus lineamientos, la confiabilidad de los instrumentos es 1.

3.8 Procedimiento

Descripción geométrica, de carga, materiales y apoyo para la estructura y suelo de fundación

Geometría

Geometría del sistema de pórticos. Se presenta un pórtico (vigas-columnas) de 2 niveles, en el eje longitudinal X-X (figura 66), con luces promedio de 3.33m de eje a eje transversal y dos pórticos lineales separados a una distancia de 6.30m; y una altura de 3.15m en un primer nivel y de 3.00m en el segundo nivel; además con una profundidad de cimentación de 2.70m, desde el nivel de terreno natural.

Figura 68

Vista en elevación (eje x-x) de la estructura a evaluar, sistema de pórticos

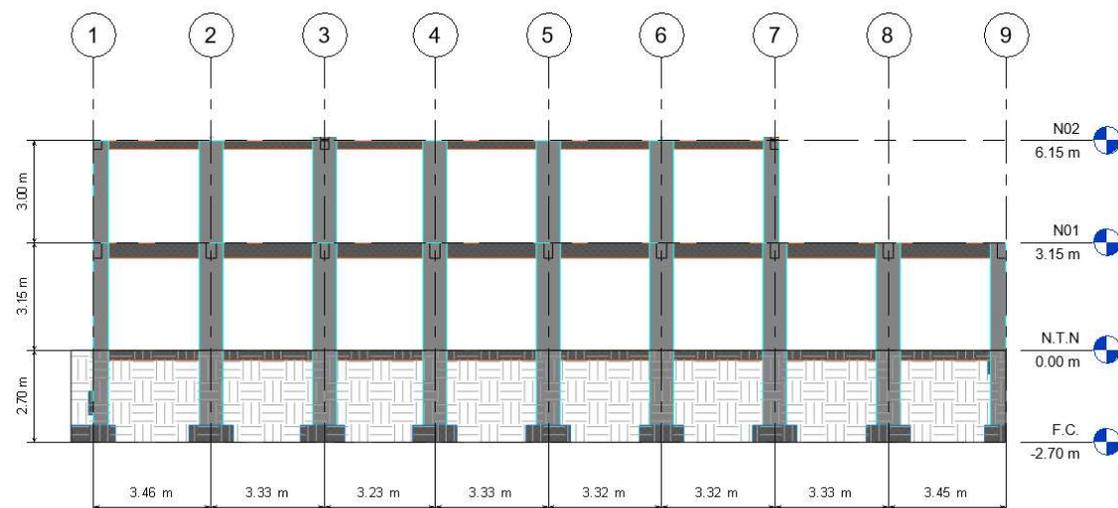


Figura 69

Vista de la estructura a evaluar, visita in situ, sistema de pórticos



Geometría del sistema de albañilería confinada. Se presenta en el eje transversal Y-Y (figura 66), un sistema predominante de albañilería confinada, con luces de paño promedio de 3.15m de eje a eje transversal, conformado alternadamente entre elementos de pórticos y muros de albañilería confinada, con una separación promedio de 3.33m entre ejes de los elementos; y una altura de 3.15m en un primer nivel y de 3.00m en el segundo nivel; además con una profundidad de cimentación de 2.70m, desde el nivel de terreno natural.

Figura 70

Vista del corte transversal (eje y-y) de la estructura a evaluar, sistema de albañilería confinada

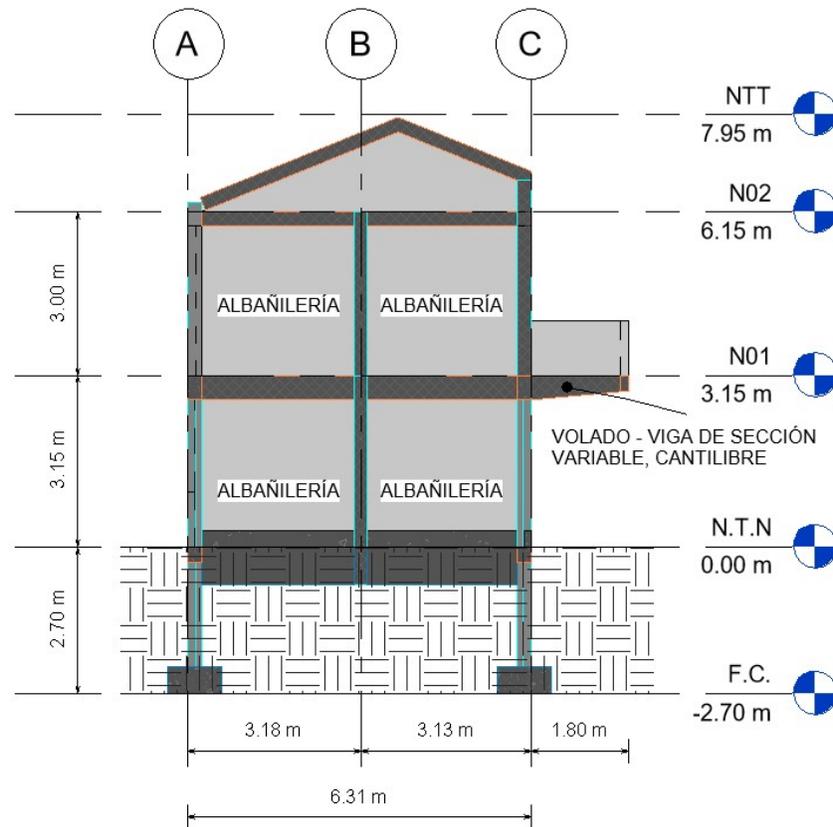


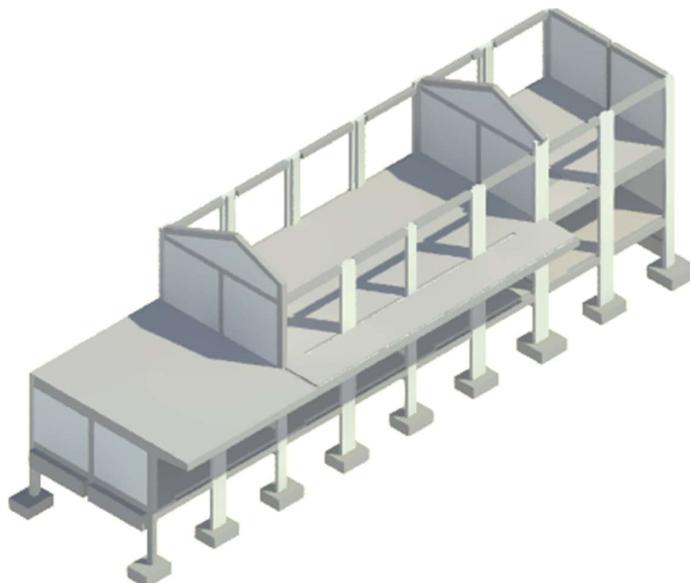
Figura 71

Vista de la estructura a evaluar, visita in situ, sistema de albañilería confinada, nivel 01



Figura 72

Vista 3D del módulo de evaluación de la Institución Educativa N°141, Héroes de Jactay



Nota: Estructura compuesta por una cimentación aislada con zapatas y cimiento corrido, sistema de pórticos de concreto armado en la dirección longitudinal y de albañilería confinada en la dirección transversal, con una losa aligerada de vigas prefabricadas y bovedillas de poliestileno en el primer entrepiso y una cubierta ligera en el último nivel, ver anexo de planos. Software Revit 2021.

Cargas de Gravedad Aplicadas

Tabla 10

Caso de cargas para la losa interior, usos múltiples

Nivel	Cargas en kgf/m ²		
	Peso Propio	S/C Permanente	S/C Viva
Nivel 1	164	100	300
Nivel 2	Cargas puntuales en columnas		

Tabla 11

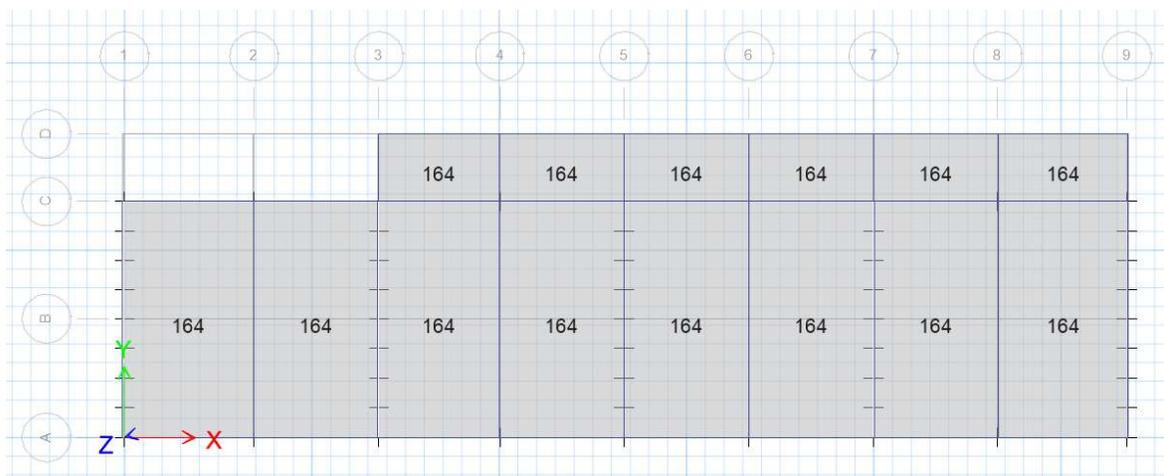
Caso de cargas para el volado, pasadizo

Nivel	Cargas en kgf/m ²
-------	------------------------------

	Peso Propio	S/C Permanente	S/C Viva
Nivel 1	164	100	400
Nivel 2	Cargas puntuales en columnas		

Figura 73

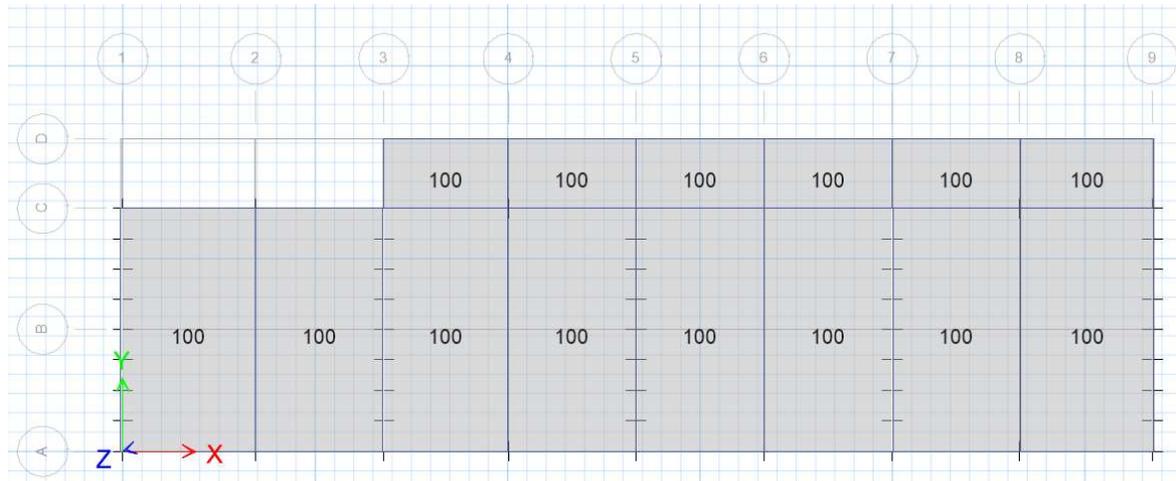
Asignación de cargas de peso propio



Nota: Cargas proveniente de la losa aligerada compuesto por viguetas prefabricadas y bovedillas de poliestileno expandido (ver anexo de planos), en kgf/m². Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 74

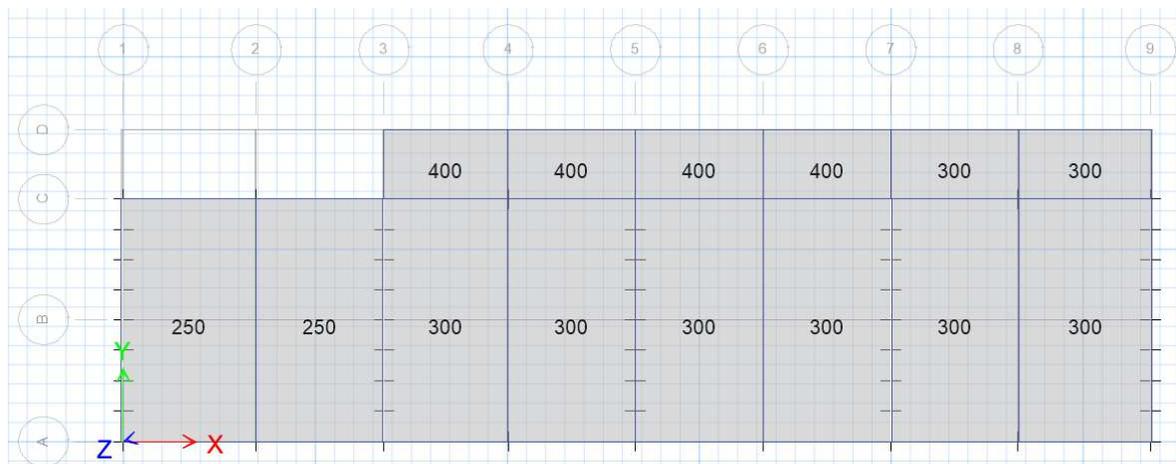
Asignación de sobrecarga permanente



Nota: Cargas proveniente de los acabados de piso permanentes, en kgf/m². Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 75

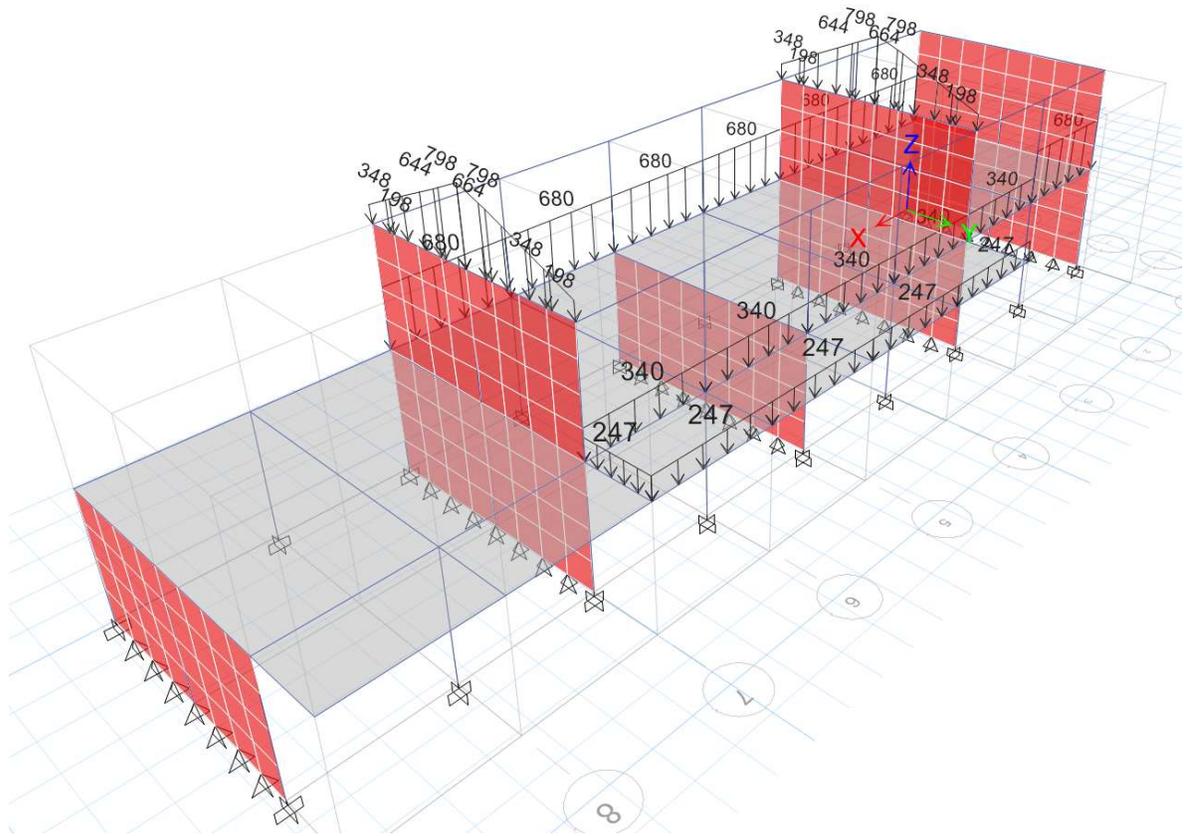
Asignación de sobrecarga viva



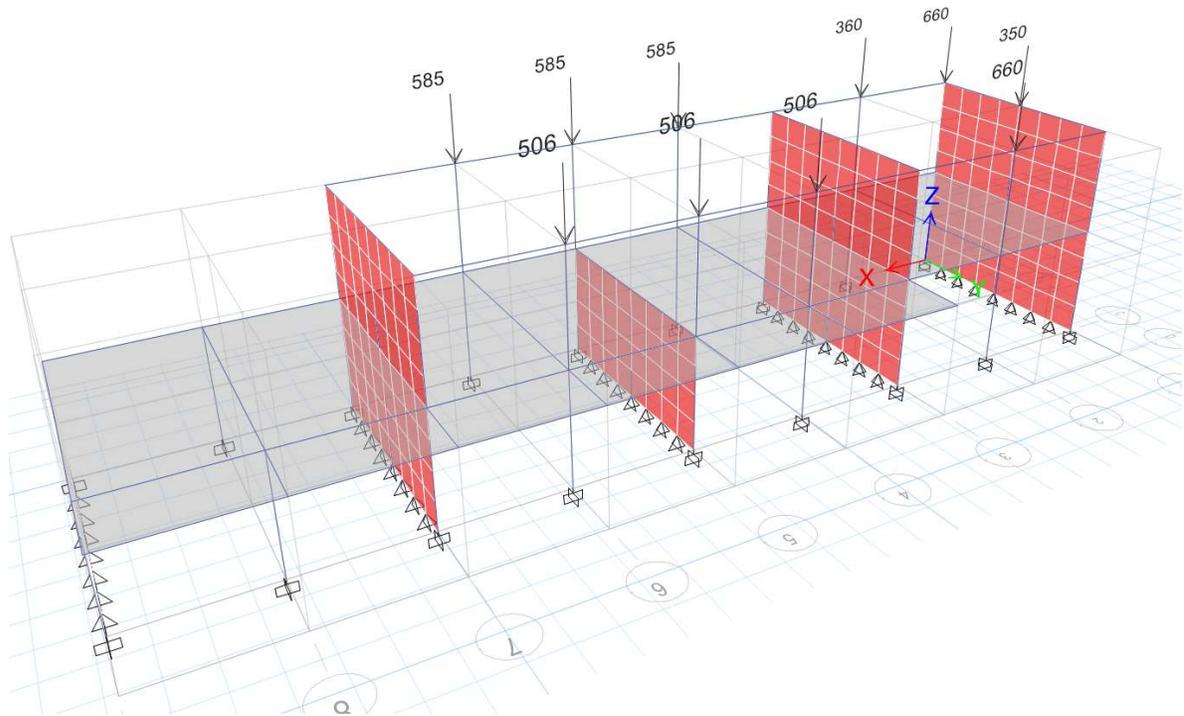
Nota: Cargas móviles o temporales, en kgf/m². Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 76

Asignación de cargas distribuidas



Nota: Cargas proveniente de la cubierta ligera (placas fibrocemento y tijerales de madera) y de los muros aislados, en kgf. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 77*Asignación de cargas puntuales*

Nota: Cargas proveniente de la cubierta ligera (placas fibrocemento y tijerales de madera), hacia las columnas, en kgf. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Descripción del suelo de fundación. La cimentación de la Institución educativa evaluada, consta de cimentaciones superficiales, denominadas zapatas aisladas en todos sus puntos de apoyo (ver anexo de planos), a continuación se muestra sus propiedades del suelo de fundación, basadas en el EMS y sus correlaciones con N.T E.030, tabla 12.

Para el análisis de la estructura se ha considerado las siguientes propiedades:

La velocidad de onda de corte y el número de golpes con una energía de disipación del 60% corregido, en base a la correlación de la capacidad cortante; con el objetivo de clasificar el perfil del suelo según la tabla N°2 de la Norma Técnica E.030 Diseño sísmo resistente, para determinar el espectro de diseño para un análisis lineal y no lineal.

La clasificación de suelo SUCS es usado para seleccionar los registros sísmicos a utilizar, según el tipo de suelo, véase en la tabla 25.

Las otras propiedades no mencionadas son para un análisis dinámico avanzado, considerando la interacción suelo estructura, el cual no es el alcance del presente proyecto; para el proyecto se ha considerado un apoyo infinitamente rígido o empotrado, donde se restringe las rotaciones y desplazamiento en los apoyos de la estructura, idealizada en una zapata aislada de cimentación como se muestra en los anexos de planos.

Condiciones de frontera de apoyo de la estructura

Para un análisis lineal, se ha planteado utilizar restricciones empotradas que idealice los apoyos de las columnas estructurales sobre las zapatas aisladas de concreto armado, y también se ha utilizado restricciones de apoyo fijo que idealice los apoyos de los muros de albañilería confinada sobre los cimientos corridos de concreto simple.

Para un análisis no lineal, se ha planteado utilizar restricciones empotradas que idealice tanto los apoyos de las columnas estructurales sobre las zapatas aisladas de concreto armado, como los apoyos de los muros de albañilería confinada (modelo de columna ancha) sobre los cimientos corridos de concreto simple.

Para el modelo matemático de la estructura se ha considerado el nivel de apoyo o desplante, a nivel del cimiento corrido (Nivel de terreno natural), dado que ha este nivel quedará fijo la estructura por los muros de albañilería, y a profundidades mayores (nivel de relleno compactado), las deformaciones serán mínimas y de poca influencia para los análisis de la estructura, considerando sus desplazamientos desde el nivel de terreno natural (efecto sótano).

Tabla 12

Propiedades del suelo de fundación de la Institución educativa en estudio

Capacidad portante	Velocidad de onda de corte	N60-número de golpes con una energía del 60% corregido	Estándar de Clasificación SUCS	Ensayo de corte directo	Ángulo de fricción	Cohesión
2.10kgf/cm ²	340m/s	32.5	GP (grava mal gradada)		26°	0.01kgf/cm ²

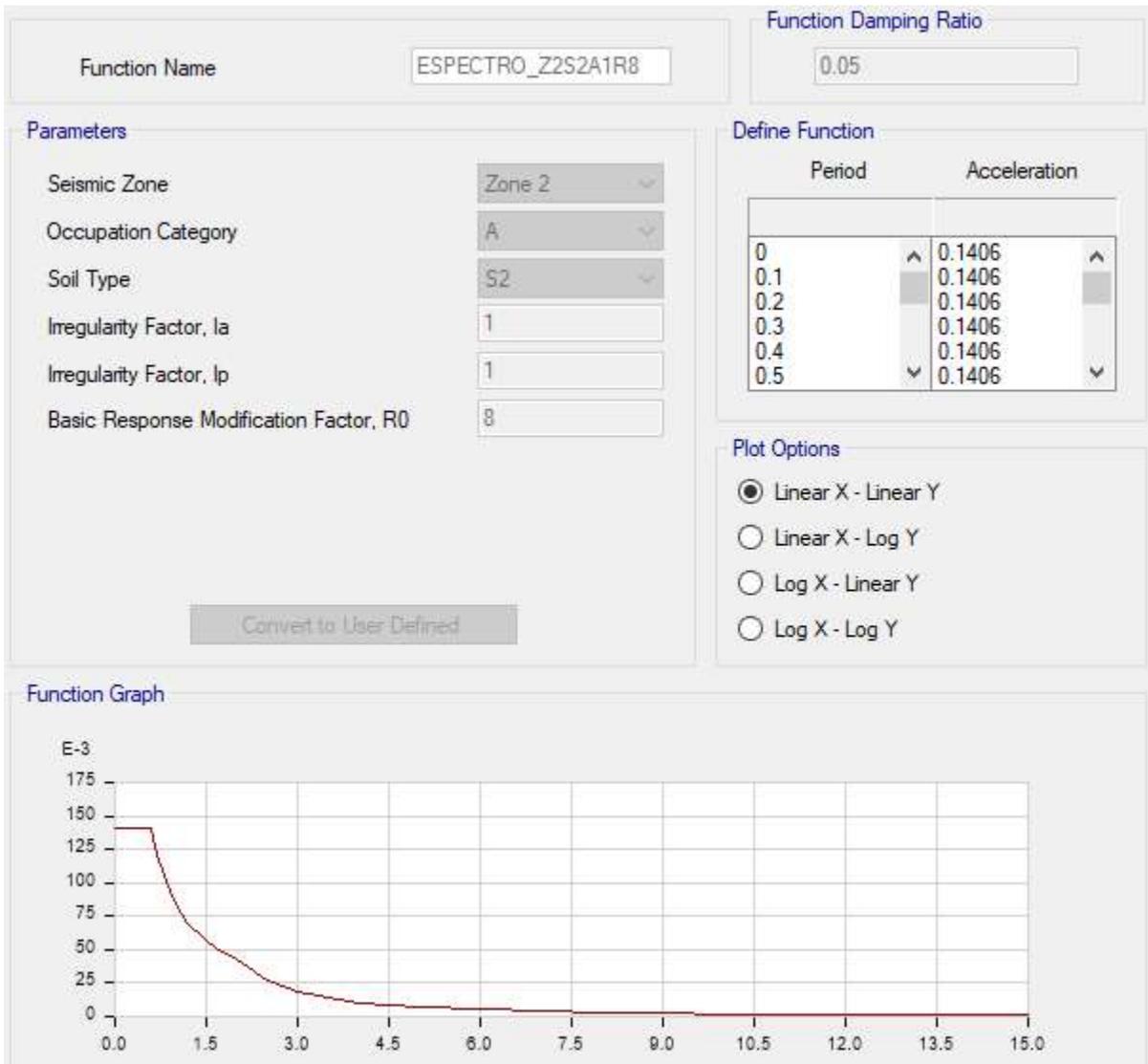
Relación de poisson	Módulo de elasticidad	Módulo de corte máximo	Módulo de corte secante	Condiciones geotécnicas / Perfil de suelo N.T.P. E.030
0.30	7500ton/m ²	16927.77 ton/m ²	2884.62 ton/m ²	Tipo S2, Suelos intermedios

Nota: El proyecto del cual se ha extraído los datos geotécnicos es el del proyecto denominado "AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA DE LA I.E. N° 33074 HEROES DE HJACTAY - AA.HH. HEROES DE JACTAY - MORAS - HUÁNUCO - HUÁNUCO"; proyecto que colinda con el proyecto del cual se elaborará el trabajo de investigación "RESTITUCIÓN DE INFRAESTRUCTURA E IMPLEMENTACIÓN MOBILIARIO DE LA I.E.I 141 HEROES DE JACTAY"; se toma los datos porque las dos infraestructuras son colindantes y la geología regional y conformación del suelo de éstos no varían y son aproximados. Las propiedades de velocidad de onda de corte, N60, módulo de corte máximo y módulo de secante máximo son obtenidas en base a correlaciones

Cargas de Acción Sísmica, Para un Análisis Lineal

Figura 78

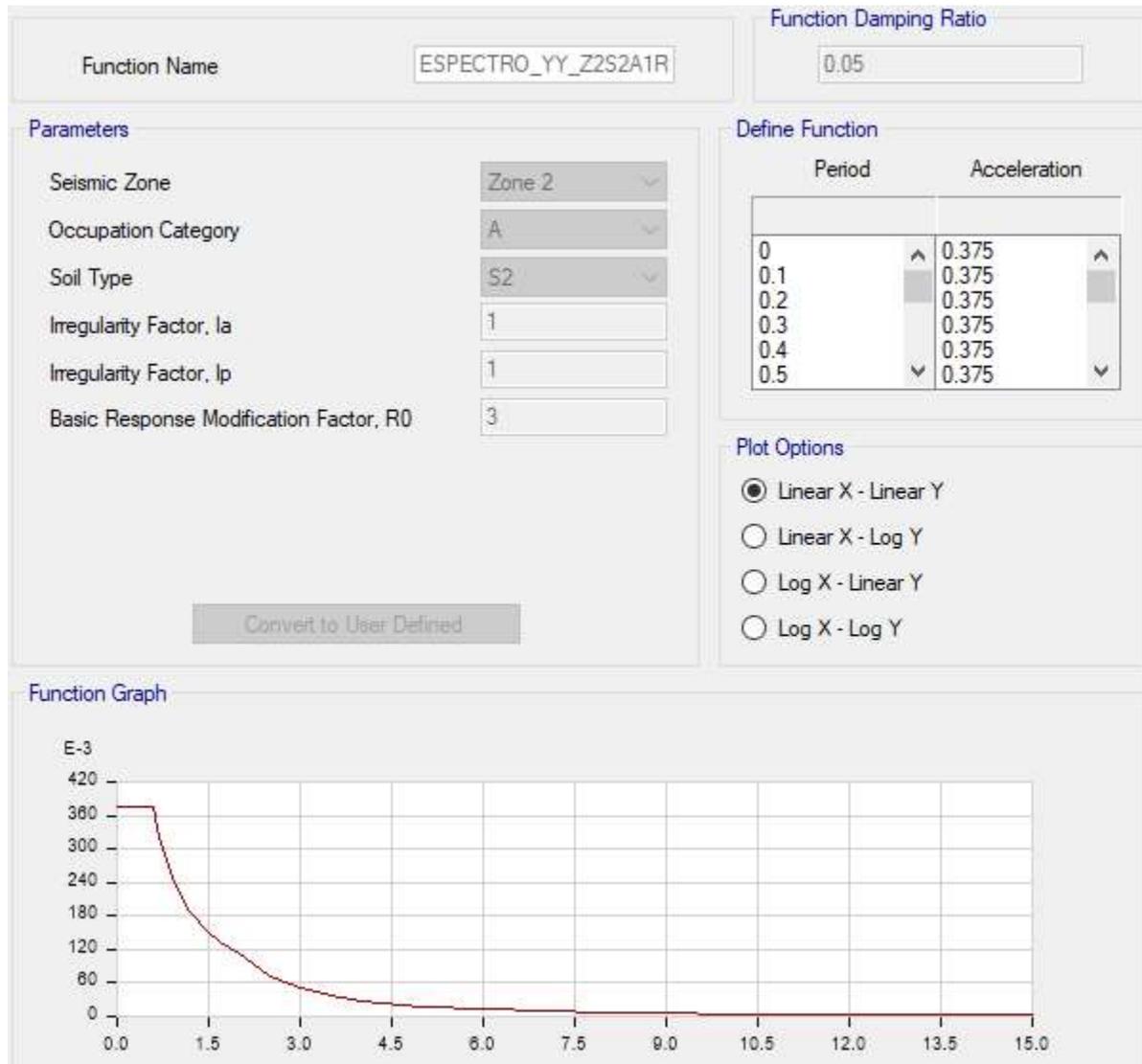
Espectro de diseño para un análisis lineal y un sistema estructural de pórticos, dirección XX



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 79

Espectro de diseño para un análisis lineal y un sistema estructural de Albañilería confinada, dirección YY



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 80

Definición del caso sísmico espectral para el sistema de pórticos

General

Load Case Name: SHXXR8 Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (Masa)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO_Z2S2A1R8	9.8067

Info Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

Nota: Combinaciones modales - N.T E030, donde la gravedad está en unidades de m/s².

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 81

Definición del caso sísmico espectral para el sistema de Albañilería confinada

General

Load Case Name: SHYYR3 Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (Masa)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO_YY_Z2S2A1R3	9.8067

Info Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

Nota: Combinaciones modales - N.T E030, donde la gravedad está en unidades de m/s².

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Combinación de Carga para un Análisis Lineal, según la N.T.P. E.060

$CBU1=1.4PP+1.7CV$, Combinación de cargas por gravedad

$CBU2=1.25 (PP+CV)+1CS$, Combinación de cargas por gravedad y sísmica 01

$CBU3=1.25 (PP+CV)-1CS$, Combinación de cargas por gravedad y sísmica 02

$CBU4=0.9PP+1CS$, Combinación de cargas por gravedad y sísmica 03

$CBU5=0.9PP-1CS$, Combinación de cargas por gravedad y sísmica 04

Donde:

PP: Peso propio o carga muerta y sobrecarga permanente

CV: Sobrecarga viva

CS: Carga sísmica para los espectros definidos en cada dirección de análisis.

Cargas de Acción Sísmica, Para un Análisis No Lineal**Figura 82**

Espectro de diseño para un análisis no lineal

Function Name:

Function Damping Ratio:

Parameters

Seismic Zone:

Occupation Category:

Soil Type:

Irregularity Factor, I_a:

Irregularity Factor, I_p:

Basic Response Modification Factor, R₀:

Define Function

Period		Acceleration	
0		1.125	▲
0.1	▲	1.125	
0.2	■	1.125	■
0.3	▼	1.125	
0.4		1.125	▼
0.5		1.125	

Plot Options

Linear X - Linear Y

Linear X - Log Y

Log X - Linear Y

Log X - Log Y

Function Graph

Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Definición del caso sísmico para un análisis estático no lineal, con $R=1$. Se inicial un AENL con una carga gravitacional (crítica) no lineal como un solo paso, sin considerar la no linealidad geométrica o el efecto P-delta, debido al caso de estudio; para luego definir los casos de cargas incrementales no lineales o pushover, con un patrón de carga de análisis equivalente al modal, en los primeros modos donde la masa se mueve mayor al 90%, para la dirección XX e YY.

Figura 83

Definición del caso de carga gravitacional no lineal

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Nonlinear Static ▾ Notes...

Mass Source: Masa ▾

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	Dead	1.1
Load Pattern	Super dead	1.1
Load Pattern	Live	0.5

Info 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...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

Nota: Incremento a la masa sísmica del peso propio y s/c permanente del 10%, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 84

Definición del caso de carga no lineal o pushover, en la dirección xx

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Mass Source: Masa

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: Gravedad NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1

Info Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Displacement Control Modify/Show...

Results Saved: Multiple States Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

Nota: Basado en un patrón de carga modal, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 85

Definición del caso de carga no lineal o pushover, en la dirección yy

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

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
Mode	2	1

1 Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case:

Geometric Nonlinearity Option:

Load Application: Modify/Show...

Results Saved: Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Modify/Show...

Nota: Basado en un patrón de carga modal, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Descripción de los Materiales

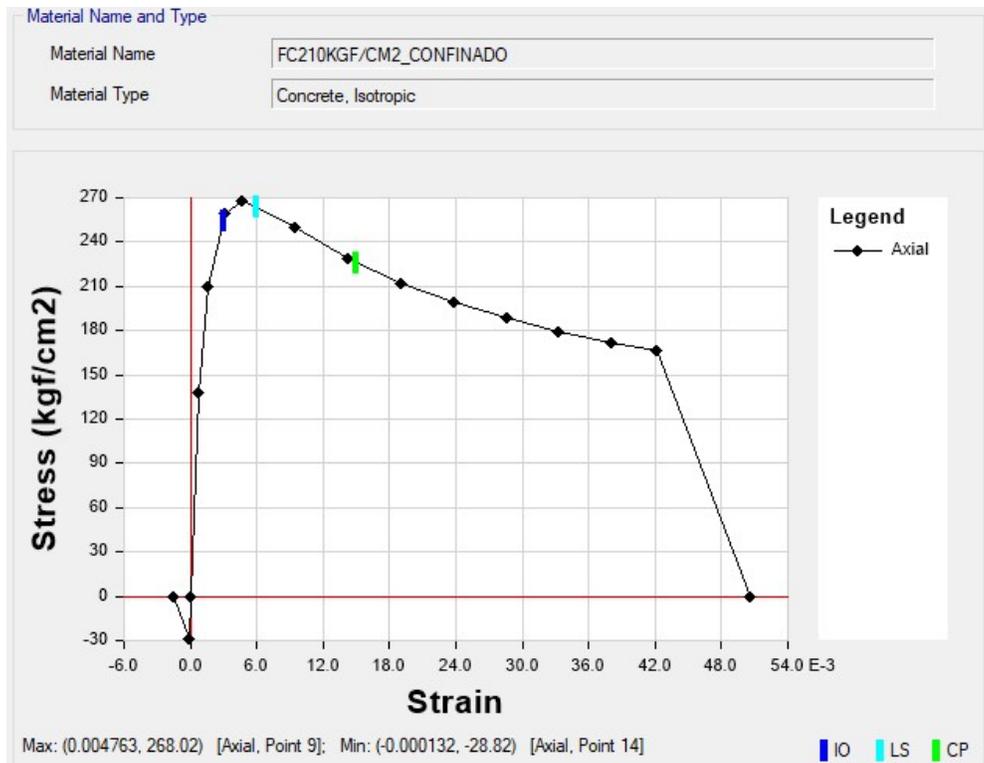
Tabla 13*Propiedades de los materiales de la estructura en estudio*

Propiedades físicos, mecánico y elásticos de los materiales						
	Peso específico (kgf/m³)	Módulo de elasticidad Es (kgf/cm²)	Módulo de Posson U	Módulo de corte G (kgf/cm²)	Resistencia a compresión (kgf/cm²)	Resistencia a compresión esperado (kgf/cm²)
C.A. confinado	2500	218819.79	0.2	91174.9125	210	210
C.A. no confinado	2500	218819.79	0.2	91174.9125	210	210
Acero de refuerzo	7850	2100000	xxx	xxx	xxx	xxx
Albañilería	1900	32500	0.25	13000	65	xxx

Propiedades físicos, mecánico y elásticos de los materiales							
	Esfuerzo de fluencia (kgf/cm²)	Esfuerzo de fluencia esperado (kgf/cm²)	Esfuerzo de tensión último (kgf/cm²)	Esfuerzo de tensión último esperado (kgf/cm²)	Deformación máximo	Esfuerzo máximo (kgf/cm²)	Componente aplicado
C.A. confinado	xxx	xxx	xxx	xxx	0.0048	268	Columnas
C.A no confinado	xxx	xxx	xxx	xxx	0.002	210	Vigas
Acero de refuerzo	4200	4200	6300	6300	0.09	6300	Vigas y columnas
Albañilería	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	Muros albañilería

Figura 86

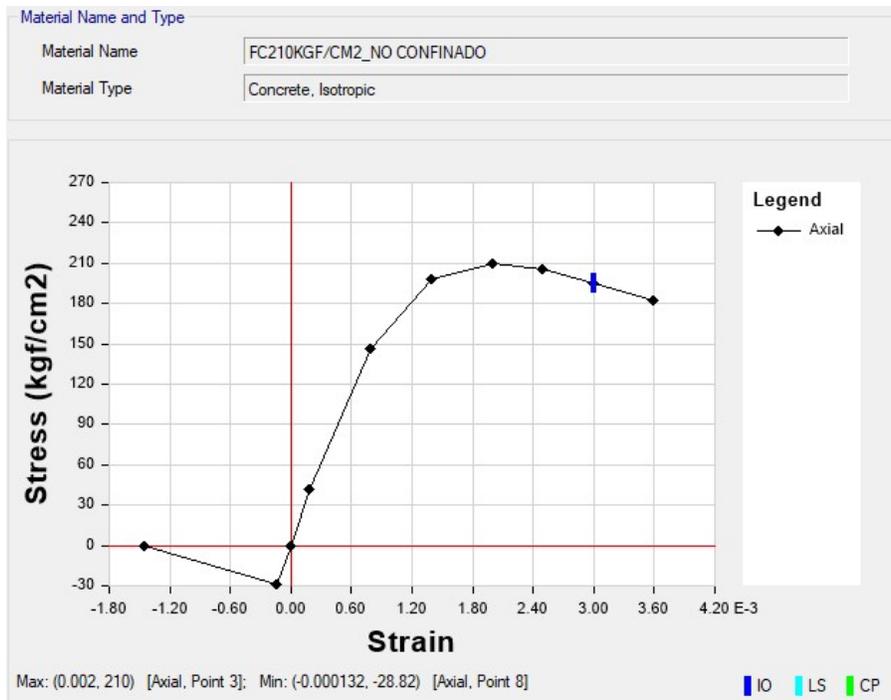
Propiedades para el concreto confinado aplicado a componentes columnas



Nota: Curva esfuerzo-deformación, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 87

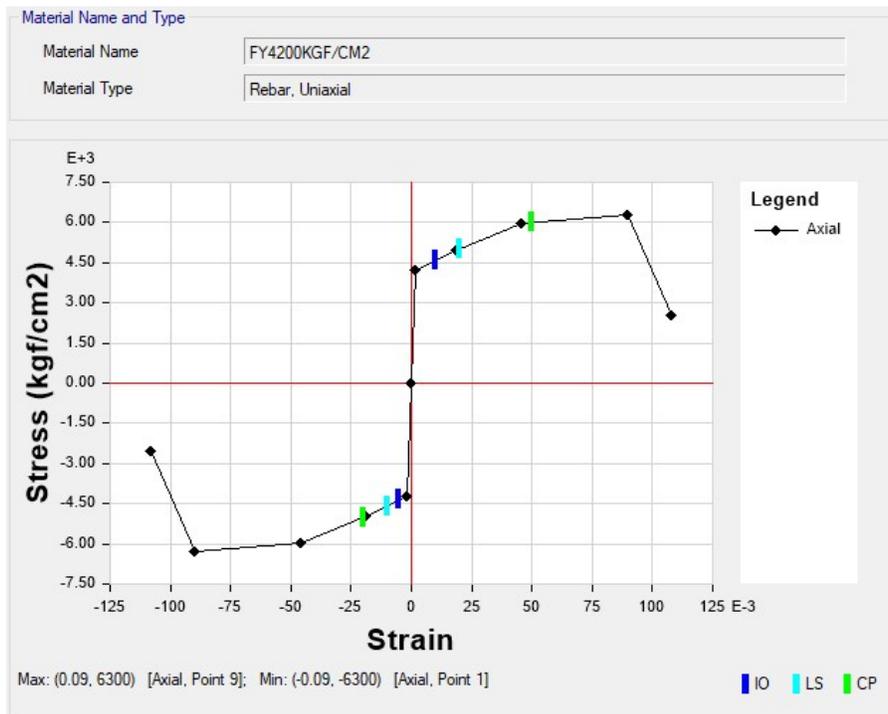
Propiedades para el concreto no confinado aplicado a componentes vigas



Nota: Curva esfuerzo-deformación, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 88

Propiedades para la barra de refuerzo aplicado a todo componente de concreto armado

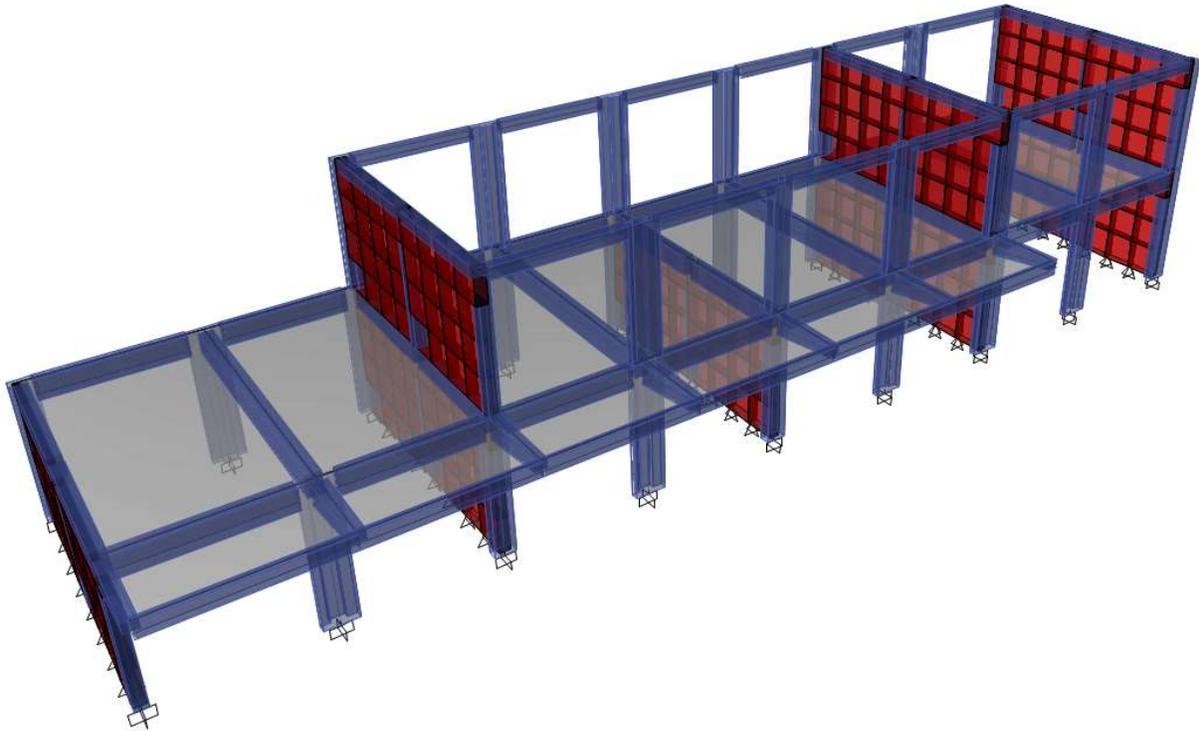


Nota: Curva esfuerzo-deformación, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Modelado de la Estructura para un Análisis lineal

Figura 89

Vista del modelo analítico de la estructura, para un análisis lineal



Nota: Modelado de la estructura con condiciones de frontera empotrado para los elementos tipo frame (zapatas aisladas) y apoyos fijos o articulados para los elementos tipo sheel-thin (muros de albañilería, discretizados en una malla de 4x4). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 90

Definición de la sección columna – Modelo tipo frame

General Data

Property Name: C2 25x70cm_SD

Base Material: FC210KGF/CM2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Design Type

No Check/Design General Steel Section

Concrete Column Composite Column

Concrete Column Check/Design

Reinforcement to be Checked

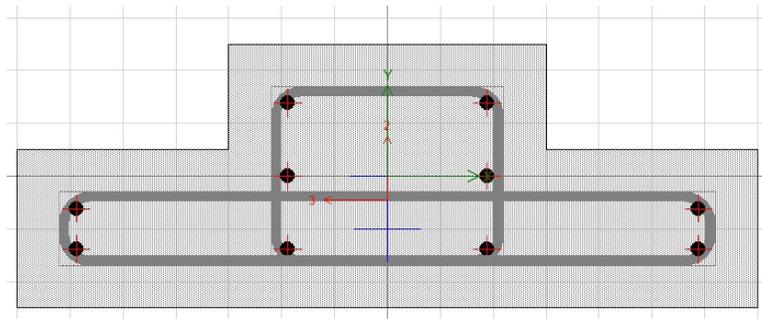
Reinforcement to be Designed

Define/Edit/Show Section

Section Designer...

Section Properties **Property Modifiers**

Properties... Set Modifiers...

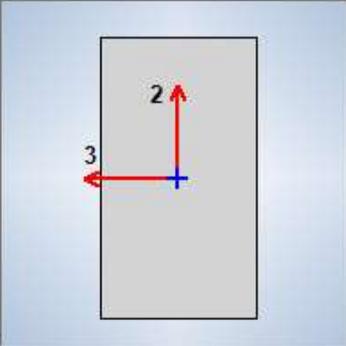


Nota: La forma de definir esta sección columna, se aplica para el resto de columnas-frame de la estructura. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 91

Definición de la sección viga de sección uniforme – Modelo tipo frame

General Data	
Property Name	V25x45cm PA,C
Material	FC210KGF/CM2
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Display Color	Change...
Notes	Modify/Show Notes...
Shape	
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	
Source:	User Defined
Section Dimensions	
Depth	45 cm
Width	25 cm

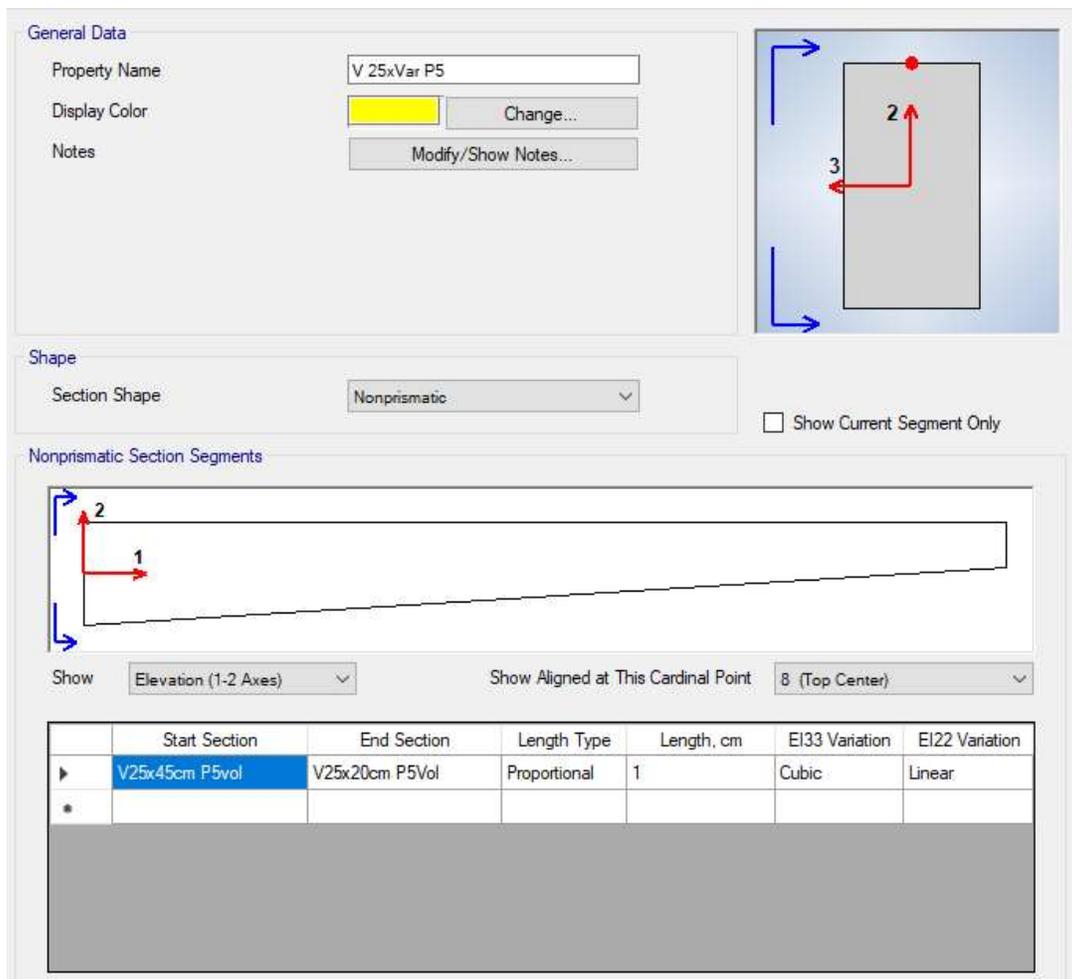


Property Modifiers	
Modify/Show Modifiers...	
Currently Default	
Reinforcement	
Modify/Show Rebar...	

Nota: La forma de definir esta sección viga, se aplica para el resto de vigas-frame de la estructura. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 92

Definición de la sección viga de sección variable en cantilibre – Modelo tipo frame



Nota: La forma de definir esta sección viga en cantilibre, se aplica para el resto de vigas de sección variable-frame de la estructura. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 93

Definición de la sección muro de albañilería – Modelo tipo Shell-Thin

The image shows a software interface for defining a wall property. It is divided into two main sections: 'General Data' and 'Property Data'.

General Data:

- Property Name: e23cm
- Property Type: Specified
- Wall Material: $f_m=65\text{kgf/cm}^2$
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thin
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: (Blue color swatch) Change...
- Property Notes: Modify/Show...

Property Data:

- Thickness: 23 cm
- Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

Nota: Muro de albañilería de $f_m=65\text{kgf/cm}^2$, con un espesor de 23cm, discretizado en una malla de 4x4 y modelado como un elemento Shell-thin (fórmula de placa delgada -Kirchhoff, que desprecia la deformación por cortante transversal – Manual ETABS, pag. 192). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 94

Definición de la sección de losa – Modelo tipo membrana con un espesor mínimo

General Data

Property Name: Losa membrana

Slab Material: FC210KGF/CM2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

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

Display Color:  Change...

Property Notes: Modify/Show...

Use Special One-Way Load Distribution

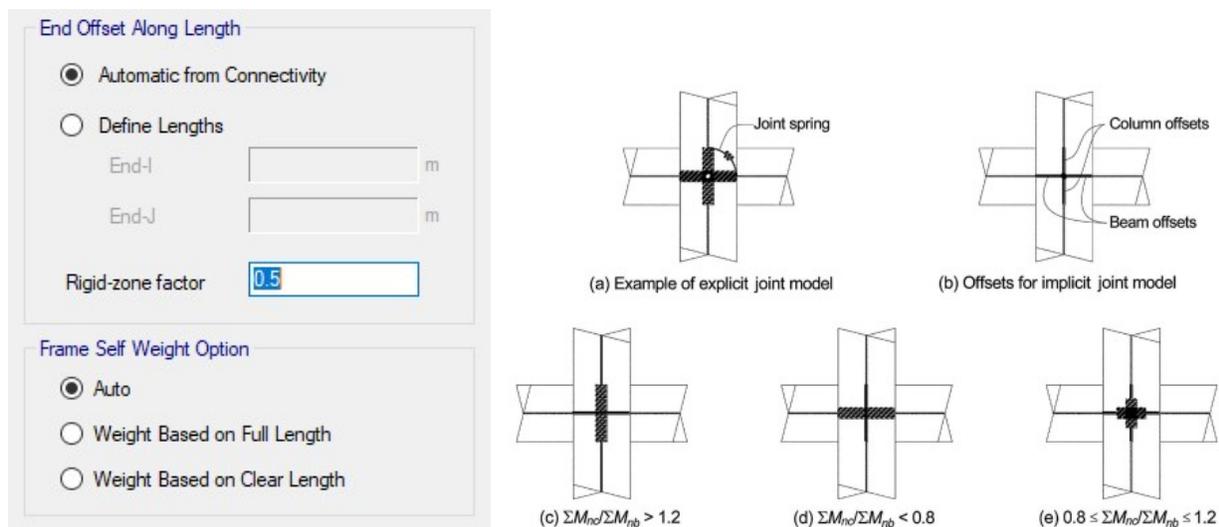
Property Data

Type: Slab

Thickness: 1E-06 m

Figura 95

Recomendaciones para el modelado de nodos



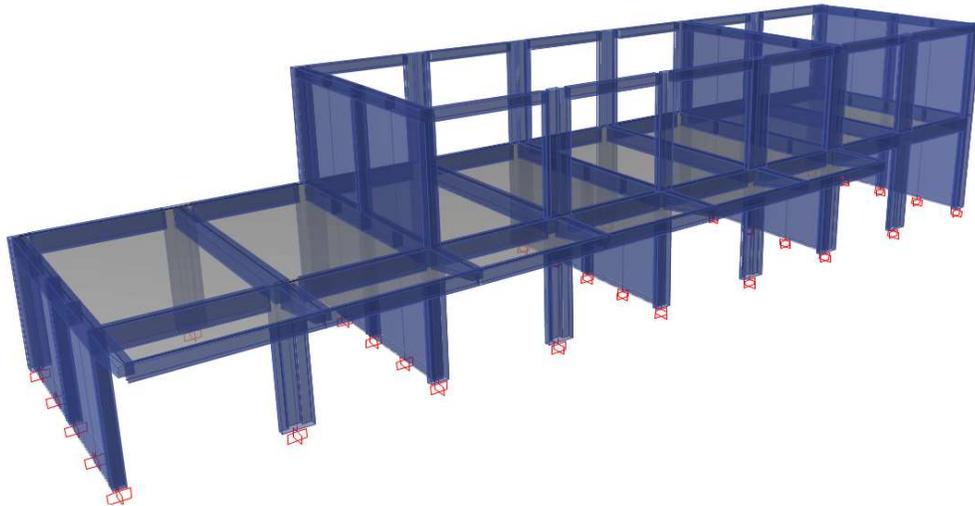
Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1. y normativa ASCE 41-17

Se considera la sección como inercia gruesa y un factor de rigidez de la junta o nodo viga-columna de 0.50, para elementos primarios y secundarios que forman un sistema de pórtico (ASCE 41-17, p. 154)

Modelado de la Estructura para un Análisis No lineal

Figura 96

Vista del modelo analítico de la estructura, para un análisis no lineal



Nota: Modelado de la estructura con condiciones de frontera empotrado para los elementos tipo frame (columnas y columnas anchas-muros). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 14

Secciones y refuerzos reales en los componentes estructurales, para el modelado

SECCIONES Y REFUERZOS DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES									
Dimensiones	Pórtico/Ejes	Área gruesa (cm ²)	Refuerzo sup. (cm ²)	Refuerzo inf. (cm ²)	Refuerzo (cm ²)	Cuantía (%)	Dirección de Análisis	Criterio de Modelado	
NIVEL 01									
VIGAS									
V25X45	PA-A/PC-C	1125	4	4			XX	Viga - frame	
V25X45	P1-1/3-3/5-5/7-7/9-9	1125					YY		
V30X45	P2-2/4-4/6-6/8-8	1350					YY		
COLUMNAS									
C25X25	P9-9/7-7/5-5/3-3/1-1	625			5.16	0.8%	XX e YY	Columna - frame	
CL25X45	P9-9/7-7/5-5/1-1	925			10.32	1.1%	XX e YY		
CT25X70	P2-2 AL 9-9	1350			12.9	1.0%	XX e YY		
MUROS									
M23	P1-1/3-3/5-5/7-7/9-9		Muro de albañilería confinada, e=23cm					YY	Columna ancha - frame
NIVEL 02									
VIGAS									
V25X25	PA-A/PC-C	625	2.58	2.58			XX	Viga - frame	
V25X25	P1-1/3-3/7-7	625					YY		
COLUMNAS									
C25X25	7-7/3-3/1-1	625			5.16	0.8%	XX e YY	Columna - frame	
CL25X45	7-7/5-5/1-1	925			10.32	1.1%	XX e YY		
CT25X70	P2-2 AL 6-6	1350			12.9	1.0%	XX e YY		
MUROS									
M23	P1-1/3-3/7-7		Muro de albañilería confinada, e=23cm					YY	Columna ancha - frame

Nota: El modelado de las secciones para un análisis no lineal en el software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.; es similar a lo descrito para un análisis lineal, al cual se le adiciona el área de refuerzo y los muros de albañilería se modela como una columna ancha tipo frame; revisar el detalle de los refuerzos por pórticos, en los planos anexos.

Asignación de rótulas plásticas concentradas para las componentes vigas

Figura 97

Disposición de las rótulas plásticas para los componentes vigas

Disposición de rótulas plásticas en vigas								
Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud (m)	3.46	3.33	3.23	3.32	3.33	3.32	3.32	3.45
Col izq (m)	0.45	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Col der (m)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.45
L-Libre (m)	2.885	2.63	2.53	2.62	2.63	2.62	2.62	2.875
Li-rótula %	6.5%	10.5%	10.8%	10.5%	10.5%	10.5%	10.5%	10.1%
Li-rótula % (Análisis)	7%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
Li-rótula relativa % (Análisis)	0.07	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Lj-rótula %	10.1%	10.5%	10.8%	10.5%	10.5%	10.5%	10.5%	6.5%
Li-rótula % (Análisis)	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	7%
Li-rótula relativa % (Análisis)	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.93

Nota: Las rótulas se asignan en porcentaje de longitud, i-inicio de elemento, j-fin de elemento

Para la asignación de rótulas a las vigas de forma automatizada, se ha revisado el estado del refuerzo transversal para la sección viga modelo de 25x45cm, según la ASCE 41-17. Se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0, idioma español con una licencia para uso doméstico, en base a rutinas cortas de programación, para determinar las condiciones de modelado.

$$V_c := 0.53 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \cdot b \cdot d = 7.68 \text{ tonnef}$$

$$V_s := \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S_{estribo}} = 23.942 \text{ tonnef}$$

$$R_V := V_s + V_c = 31.622 \text{ tonnef}$$

$$V_{s_{demanda}} := 2.925 \text{ tonnef}$$

$$C := \begin{cases} \text{if } S_{estribo} < \frac{d}{3} \wedge V_s > \frac{3}{4} \cdot V_{s_{demanda}} & = \text{“conforme”} \\ \parallel C \leftarrow \text{“conforme”} \\ \text{else} \\ \parallel C \leftarrow \text{“no conforme”} \end{cases}$$

Fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada).

Donde:

V_c : Resistencia a corte del concreto

V_s : Resistencia a corte de los estribos, según su distribución

R_V : Resistencia a corte de las vigas reforzadas

C : Estado del refuerzo transversal - conforme

$V_{s_{demanda}}$: Corte máximo en la viga más esforzada

f'_c : Resistencia a compresión del concreto

b : Base de la sección de la viga

d : Peralte efectivo de la viga

f_y : Resistencia a cedencia del acero

A_v : Área transversal de los estribos

$S_{estribo}$: Separación de estribos

Figura 98

Parámetros de modelado no lineal, y criterios de aceptación para la componente viga reforzada.

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	c		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						
ρ_{total}								
≤ 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

Nota: Tabla 10-7 del ASCE 41-17

Figura 99

Aplicación de rótulas concentradas en vigas

The screenshot shows the following configuration for a concentrated plastic hinge:

- Auto Hinge Type:** From Tables In ASCE 41-17
- Select a Hinge Table:** Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i
- Degree of Freedom:**
 - M2
 - M3
- V Value From:**
 - Case/Combo: Pushover XX+
 - User Value: V2 [] tonf
- Transverse Reinforcing:**
 - Transverse Reinforcing is Conforming
- Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced:**
 - From Current Design
 - User Value (for positive bending) []
- Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:**
 - Drops Load After Point E
 - Is Extrapolated After Point E

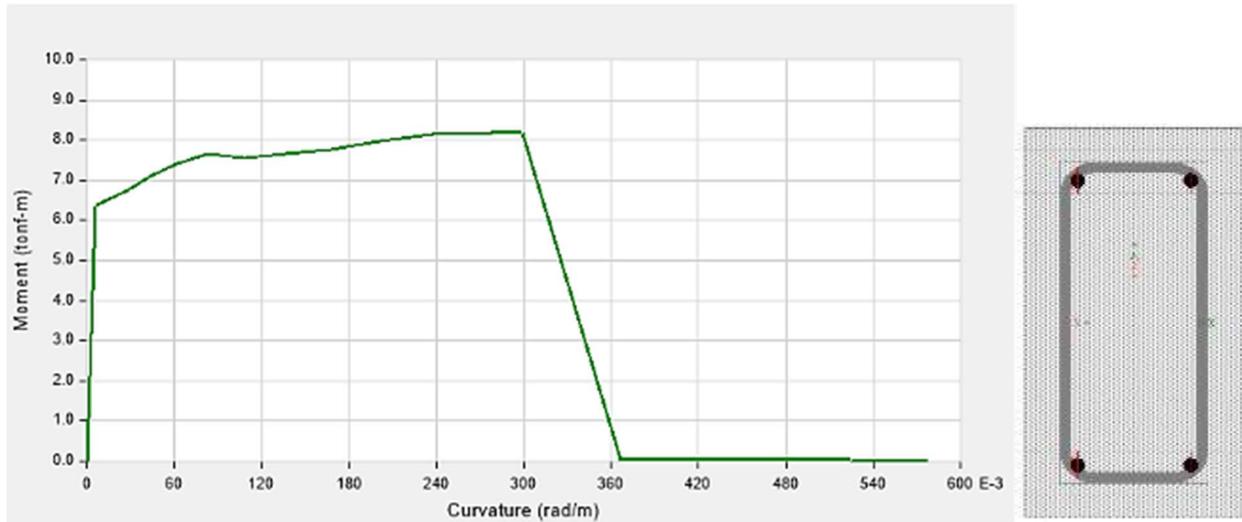
Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1, tabla 10-7 del ASCE 41-17

Se muestra la asignación modelos de plasticidad como rótulas concentradas en las vigas de 25x45 cm y de 25x25cm, de los ejes longitudinales de la estructura, primer y segundo nivel respectivamente, en base a las tablas propias de software normadas bajo el código ASCE 41-17, rótulas aplicadas en las caras de las columnas (según la figura 36 y 37), rótulas a flexión, falla controlada por flexión.

Corrección de rótulas plásticas concentradas para las componentes vigas

Figura 100

Diagrama Momento-Curvatura de la sección viga 25x45cm



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra el diagrama, momento curvatura y revisión de la sección viga 25x45cm, conformado por dos barras superiores e inferiores de 5/8" de diámetro, mediante la opción de sección de diseño. Para el cálculo manual de corrección, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

$$\phi_{u_{1a}} := 0.083 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\phi_{y_{1a}} := 0.006 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$M_{u_{1a}} := 7.64 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_{y_{1a}} := 6.38 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$l_p := 0.5 \cdot d + 0.05 \cdot z = 0.283 \text{ m}$$

$$\phi_{p_{1a}} := \phi_{u_{1a}} - \phi_{y_{1a}} = 0.077 \frac{1}{m}$$

$$\theta_{p_{1a}} := \phi_{p_{1a}} \cdot l_p = 0.022$$

Donde:

$M_{u_{1a}}$: Momento último, en la primera caída

$M_{y_{1a}}$: Momento cedente

$\theta_{p_{1a}}$: Rotación plástica

$\phi_{u_{1a}}$: Curvatura última

$\phi_{y_{1a}}$: Curvatura cedente

$\phi_{p_{1a}}$: Curvatura plástica

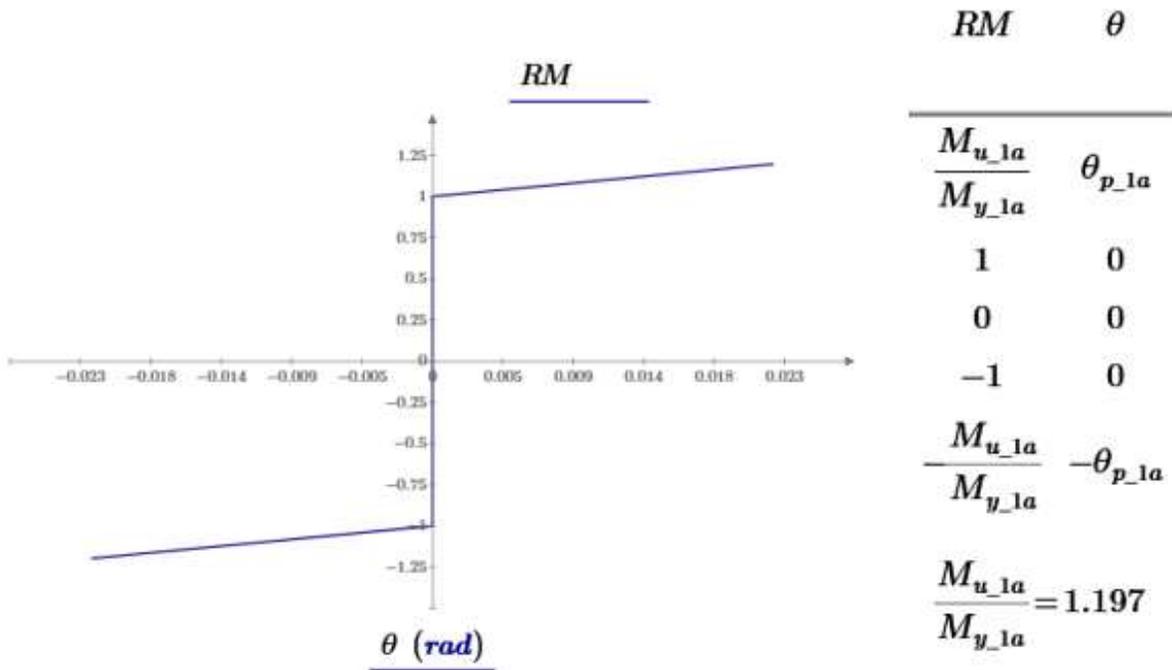
d: Altura efectiva de la viga

z: Distancia al punto de inflexión

l_p : Longitud plástica

Figura 101

Gráfica Normalizada Momento-Rotación, caso viga 25x45cm (M - θ)



Nota: Para la gráfica normalizada, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

Figura 102

Modelo matemático no lineal, diagrama Momento-Rotación para la componente viga 25x45cm

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.05
D-	-0.2	-0.02525
C-	-1.2	-0.025
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.2	0.025
D	0.2	0.02525
E	0.2	0.05

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

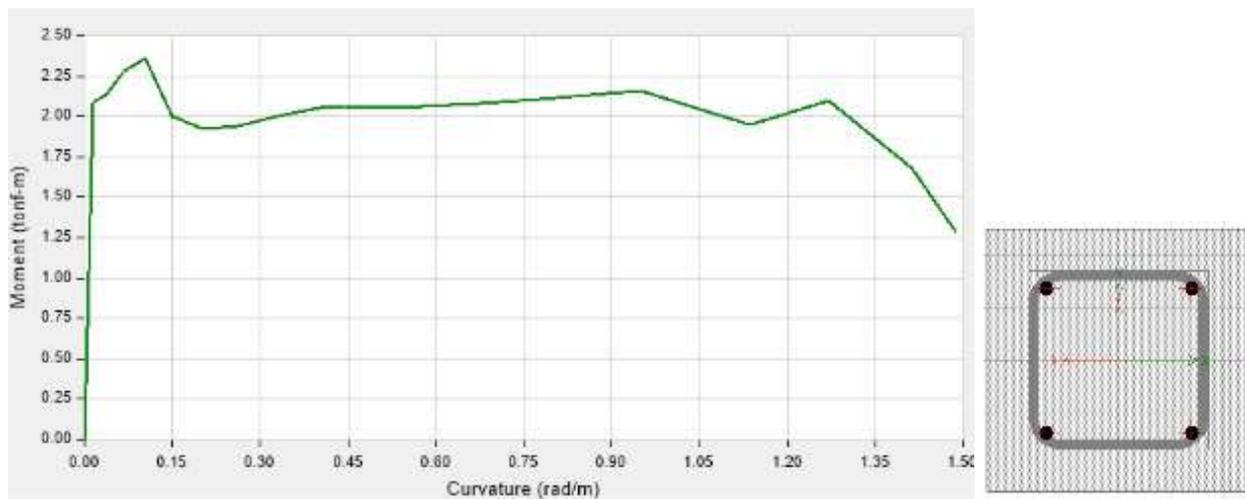
Moment SF Positive Negative tonf-m

Rotation SF Positive Negative

Nota: Aplicación de la rótula corregida, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 103

Diagrama Momento-Curvatura de la sección viga 25x25cm



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra el diagrama, momento curvatura y revisión de la sección viga 25x25cm, conformado por dos barras superiores e inferiores de 1/2" de diámetro, mediante la opción de sección de diseño.

$$M_{u_{1a}} := 2.36 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$M_{y_{1a}} := 2.09 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$\theta_{p_{1a}} := \phi_{p_{1a}} \cdot l_p = 0.016$$

Donde:

$M_{u_{1a}}$: Momento último, en la primera caída

$M_{y_{1a}}$: Momento cedente

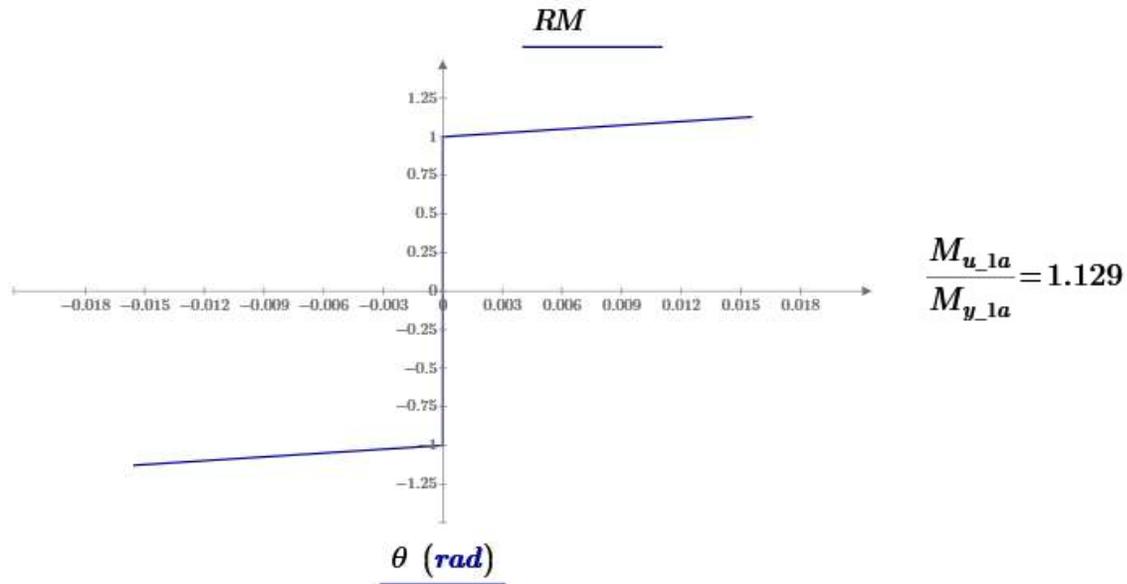
$M_{y_{1a}}$: Rotación plástica

$\phi_{p_{1a}}$: Curvatura plástica

l_p : Longitud plástica

Figura 104

Gráfica Normalizada Momento-Rotación, caso viga 25x25cm (M - θ)



Nota: Para la gráfica normalizada, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

Figura 105

Modelo matemático no lineal, diagrama Momento-Rotación para la componente viga 25x25cm

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.03
D-	-0.2	-0.0202
C-	-1.13	-0.02
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.13	0.02
D	0.2	0.0202
E	0.2	0.03

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Moment SF: Positive Negative tonF-m

Rotation SF: Positive Negative

Nota: Aplicación de la rótula corregida, Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Asignación de rótulas distribuidas en las columnas, Modelo de fibra

Figura 106

Disposición de las rótulas distribuidas para los componentes columnas

Disposición de rótulas plásticas en columnas		
Nivel	1	Resto
Longitud (m)	3.15	3
h viga Nivel i (m)	0	0
h viga Nivel j (m)	0.45	0.25
L-Libre (m)	2.7	2.75
Li-rótula %	0.0%	0.0%
Li-rótula % (Análisis)	2.5%	2.5%
Li-rótula relativa % (Análisis)	0.025	0.025
Lj-rótula %	14.3%	8.3%
Li-rótula % (Análisis)	15%	9%
Li-rótula relativa % (Análisis)	0.850	0.910

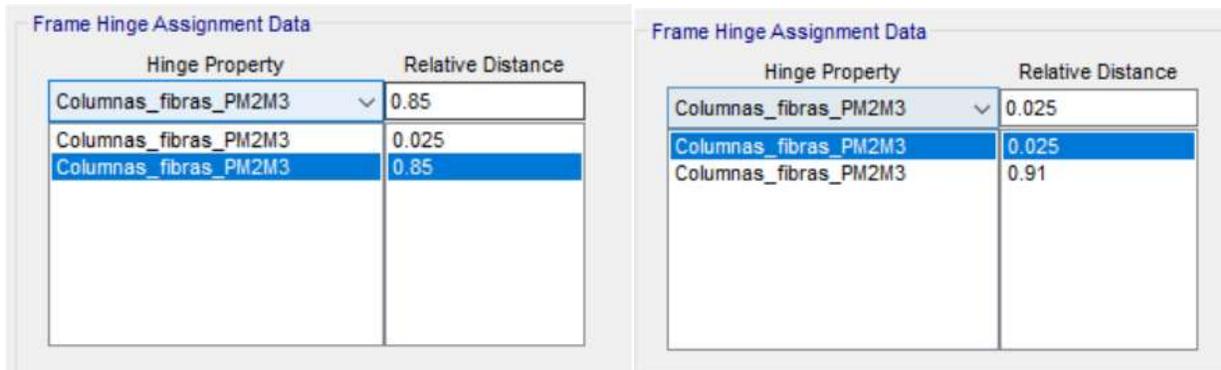
Nota: Las rótulas se asignan en porcentaje de longitud, i-inicio de elemento, j-fin de elemento

Figura 107

Asignación de rótulas distribuidas en las columnas

The image shows a software interface for defining plastic hinge properties. It is divided into several sections:

- Hinge Property Name:** A text box containing "Columnas_fibras_PM2M3".
- Hinge Type:** Two radio buttons: "Force Controlled (Brittle)" (unselected) and "Deformation Controlled (Ductile)" (selected). Below them is a dropdown menu showing "Fiber P-M2-M3".
- Fiber Definition Options:** Two radio buttons: "Default From Frame Section" (selected) and "User Defined" (unselected).
- Hinge Length:** A text box containing "0.1" and a checked checkbox labeled "Relative Length".



Nota: Rótulas de fibra, definida para las columnas del nivel 01 y 02. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se ha definido y asignado la plasticidad - rótulas distribuidas en las columnas, método de fibras bilineal P-M2-M3, aplicado en los dos niveles, la longitud de la rótula o longitud plástica es del 10% de la longitud del elemento en base a calibración experimental.

Aplicación de la rigidez efectiva en las vigas con rótulas concentradas, sección agrietada

Figura 108

Valores de rigidez efectiva, en consideración a secciones agrietadas

Table 10-5. Effective Stiffness Values

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed ^a	$0.3E_cE'I_g$	$0.4E_cE'A_w$	—
Beams—prestressed ^a	$E_cE'I_g$	$0.4E_cE'A_w$	—
Columns with compression caused by design gravity loads $\geq 0.5A_gf'_{cE}$ ^b	$0.7E_cE'I_g$	$0.4E_cE'A_w$	$E_cE'A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads $\leq 0.1A_gf'_{cE}$ or with tension ^b	$0.3E_cE'I_g$	$0.4E_cE'A_w$	$E_cE'A_g$ (compression) $E_sE'A_s$ (tension)
Beam-column joints	Refer to Section 10.4.2.2.1		$E_cE'A_g$
Flat slabs—nonprestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_cE'A_g$	—
Flat slabs—prestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_cE'A_g$	—
Walls—cracked ^c	$0.35E_cE'A_g$	$0.4E_cE'A_w$	$E_cE'A_g$ (compression) $E_sE'A_s$ (tension)

Nota: Tabla 10-5 del ASCE 41-17

Figura 109

Asignación de rigidez efectiva a flexión para la sección de las vigas

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	0.3
Mass	1
Weight	1

Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Asignación de una reducción de rigidez (rigidez efectiva) para la sección de las vigas en el componente a flexión, dirección XX, en función a la tabla 10-5 del ASCE 41-17 y A.8.4 de la norma ACI 318-19, éstas reducción simula a un agrietamiento de la sección y aplica a elementos conformados por rótulas concentradas.

Modelado de rótulas plásticas concentradas para las componentes muros de albañilería

Las rótulas concentradas para los muros de albañilería, son rótulas por corte, bajo el modelo de columna ancha, los muros descritos por ejes y niveles se muestran en los planos anexos.

Tabla 15

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 1-1, nivel 01

**Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería
confinada- I.E.1./EJE1/N1**

	L(cm)	317.00	H(cm)	315.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	30.93	Pg(tonf)	6.69
	Force SF	30.93	Disp SD	0.315
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Nota: L (longitud del muro), H (altura de muro), f'm (resistencia a compresión de la pila), t (espesor de muro), α (coeficiente de corte), v'm (Resistencia a corte del murete), Vm (corte en el muro), Pg (pesos del muro).

$$SF := 30.93 \text{ tonnef}$$

$$SD := 3.15 \text{ mm}$$

$$F_B := 0.77 \cdot SF = 23.816 \text{ tonnef}$$

$$D_C := 5.5 \cdot SD = 17.325 \text{ mm}$$

$$F_C := 1.15 \cdot SF = 35.57 \text{ tonnef}$$

$$D_C := 5.5 \cdot SD = 17.325 \text{ mm}$$

$$F_E := 0.40 \cdot SF = 12.372 \text{ tonnef}$$

$$D_E := 13 \cdot SD = 40.95 \text{ mm}$$

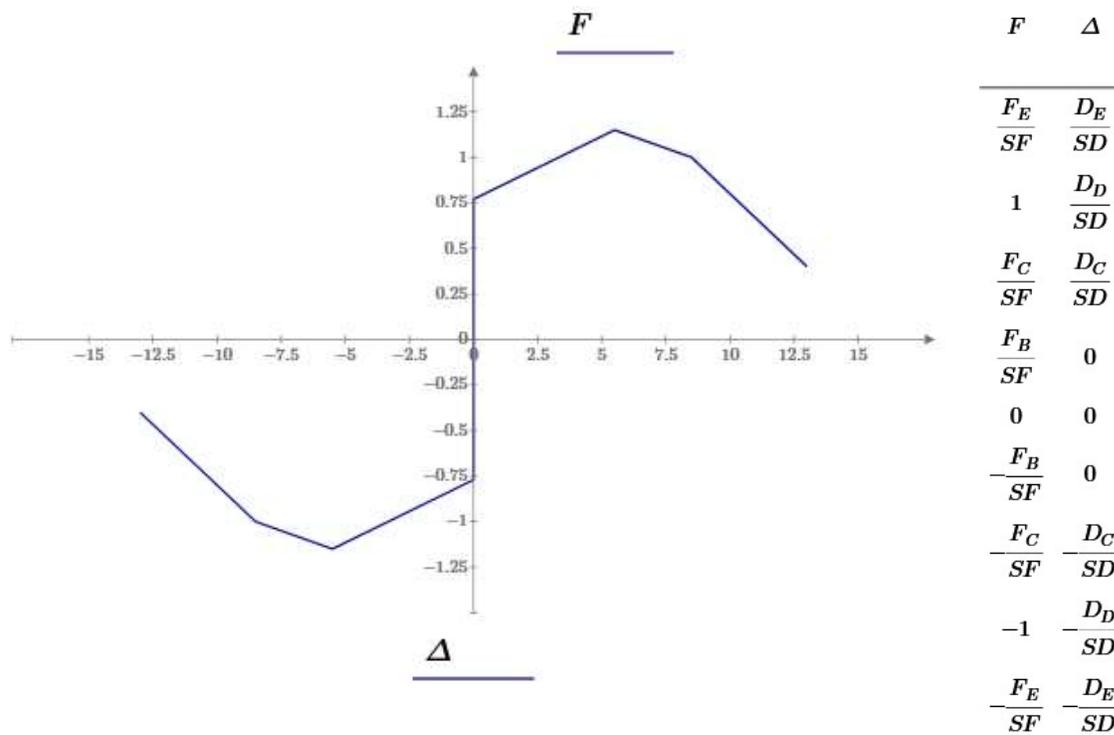
Donde:

SF: fuerza lineal

SD: desplazamiento lineal

Figura 110

Grafica normalizada (F- Δ) de la rótula por corte para el análisis no lineal de los muros de albañilería, del eje 1-1, nivel 01



Nota: Para la gráfica normalizada, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

Tabla 16

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 1-1, nivel 02

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE1/N2			
L(cm)	317.00	H(cm)	300.00
f'm	65	t(cm)	23
α	1	v'm	8.06
Vm(tonf)	29.85	Pg(tonf)	2
Force SF	29.85	Disp SD	0.3
B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00
Desplazamiento	-	5.5	8.5

Tabla 17

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 3-3, nivel 01

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE3/N1				
	L(cm)	317.00	H(cm)	315.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	31.30	Pg(tonf)	8.29
	Force SF	31.30	Disp SD	0.315
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Nota: L (longitud del muro), H (altura de muro), f'm (resistencia a compresión de la pila), t (espesor de muro), α (coeficiente de corte), v'm (Resistencia a corte del murete), Vm (corte en el muro), Pg (pesos del muro).

Tabla 18

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 3-3, nivel 02

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE3/N2				
	L(cm)	317.00	H(cm)	300.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	29.98	Pg(tonf)	2.58
	Force SF	29.98	Disp SD	0.3
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Tabla 19

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 5-5, nivel 01

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE5/N1				
	L(cm)	317.00	H(cm)	315.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	30.92	Pg(tonf)	6.66
	Force SF	30.92	Disp SD	0.315
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Nota: L (longitud del muro), H (altura de muro), f'm (resistencia a compresión de la pila), t (espesor de muro), α (coeficiente de corte), v'm (Resistencia a corte del murete), Vm (corte en el muro), Pg (pesos del muro).

Tabla 20

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 7-7, nivel 01

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE7/N1				
	L(cm)	317.00	H(cm)	315.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	31.41	Pg(tonf)	8.8
	Force SF	31.41	Disp SD	0.315
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Tabla 21

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 7-7, nivel 02

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE7/N2				
	L(cm)	317.00	H(cm)	300.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	30.11	Pg(tonf)	3.13
	Force SF	30.11	Disp SD	0.3
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Nota: L (longitud del muro), H (altura de muro), f'm (resistencia a compresión de la pila), t (espesor de muro), α (coeficiente de corte), v'm (Resistencia a corte del murete), Vm (corte en el muro), Pg (pesos del muro).

Tabla 22

Modelo numérico de la rótula por corte para el muro del eje 9-9, nivel 01

Modelo Numérico para el AENL del Muro de albañilería confinada- I.E.I./EJE9/N1				
	L(cm)	317.00	H(cm)	315.00
	f'm	65	t(cm)	23
	α	1	v'm	8.06
	Vm(tonf)	30.48	Pg(tonf)	4.75
	Force SF	30.48	Disp SD	0.315
	B	C	D	E
Fuerza	0.77	1.15	1.00	0.40
Desplazamiento	-	5.5	8.5	13.0

Nota: L (longitud del muro), H (altura de muro), f'_m (resistencia a compresión de la pila), t (espesor de muro), α (coeficiente de corte), v'_m (Resistencia a corte del murete), V_m (corte en el muro), P_g (pesos del muro).

Asignación de rótula por corte bajo el modelo de columna ancha para los muros de albañilería

Figura 111

Modelo numérico aplicada en el software ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 1-1, nivel 01

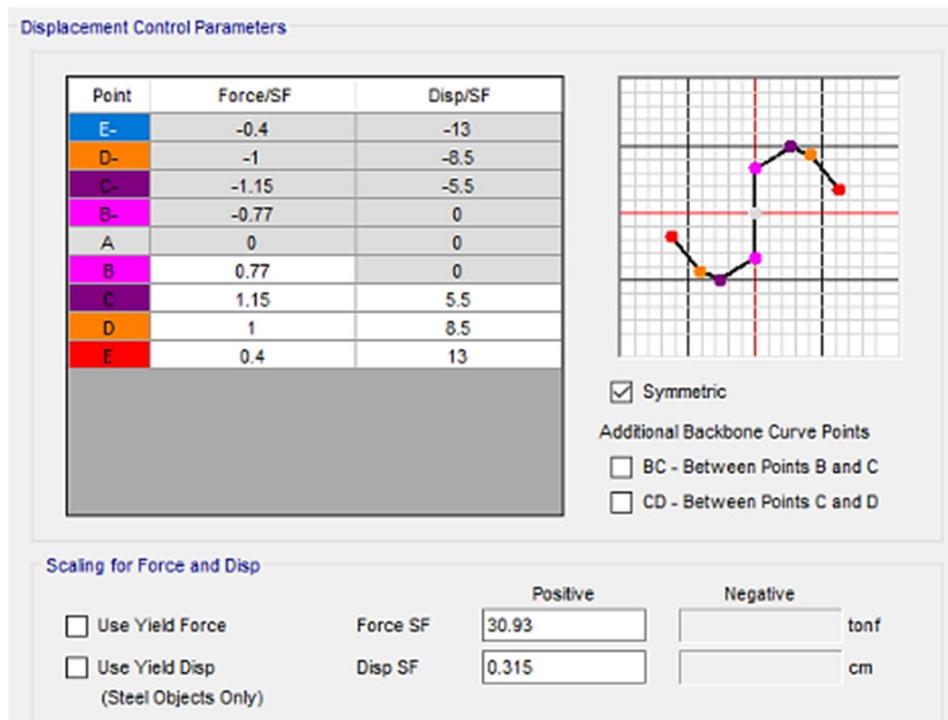
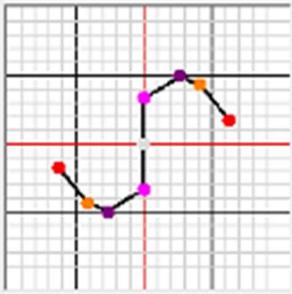


Figura 112

Modelo numérico aplicada en el software ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 1-1, nivel 02

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.4	-13
D-	-1	-8.5
C-	-1.15	-5.5
B-	-0.77	0
A	0	0
B	0.77	0
C	1.15	5.5
D	1	8.5
E	0.4	13



Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF Positive: 29.85 Negative: tonf

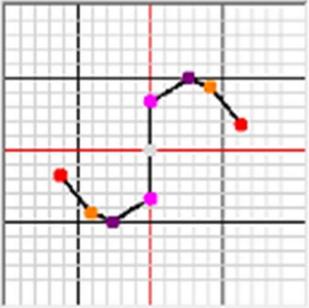
Use Yield Disp Disp SF Positive: 0.3 Negative: cm

(Steel Objects Only)

Figura 113

Modelo numérico aplicada en el software ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 3-3, nivel 01

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.4	-13
D-	-1	-8.5
C-	-1.15	-5.5
B-	-0.77	0
A	0	0
B	0.77	0
C	1.15	5.5
D	1	8.5
E	0.4	13



Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

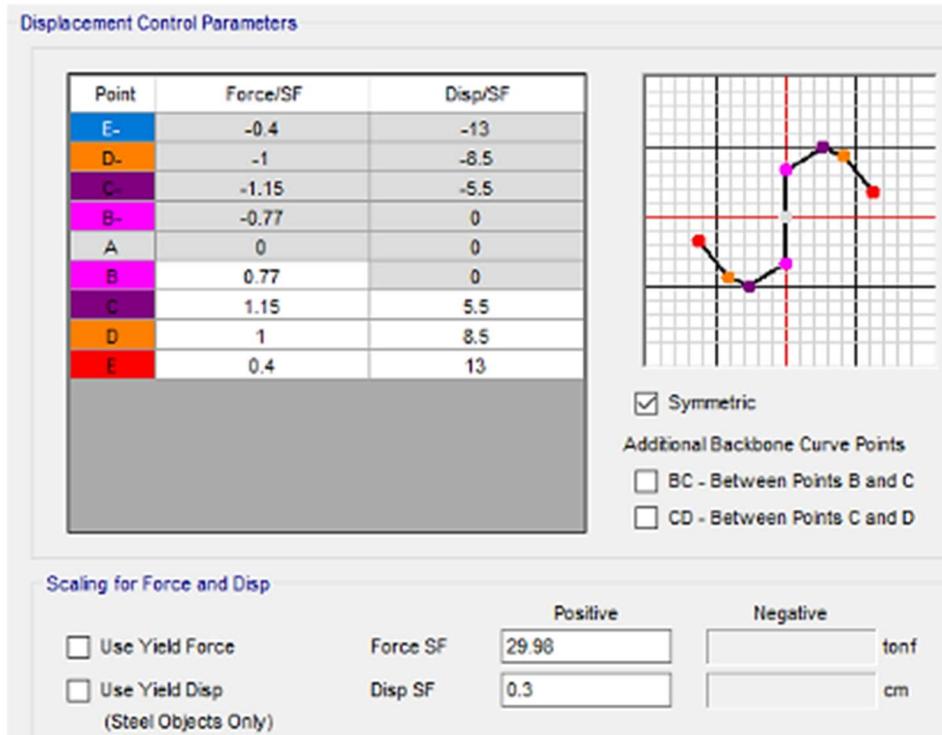
Use Yield Force Force SF Positive: 31.3 Negative: tonf

Use Yield Disp Disp SF Positive: 0.315 Negative: cm

(Steel Objects Only)

Figura 114

Modelo numérico aplicada en el software ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 3-3, nivel 02

**Figura 115**

Modelo numérico aplicada en el software, ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 5-5, nivel 01

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.4	-13
D-	-1	-8.5
C-	-1.15	-5.5
B-	-0.77	0
A	0	0
B	0.77	0
C	1.15	5.5
D	1	8.5
E	0.4	13

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force

Use Yield Disp
(Steel Objects Only)

Force SF: Positive Negative tonf

Disp SF: cm

Figura 116

Modelo numérico aplicada en el software, ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 7-7, nivel 01

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.4	-13
D-	-1	-8.5
C-	-1.15	-5.5
B-	-0.77	0
A	0	0
B	0.77	0
C	1.15	5.5
D	1	8.5
E	0.4	13

Symmetric

Additional Backbone Curve Points

BC - Between Points B and C

CD - Between Points C and D

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force

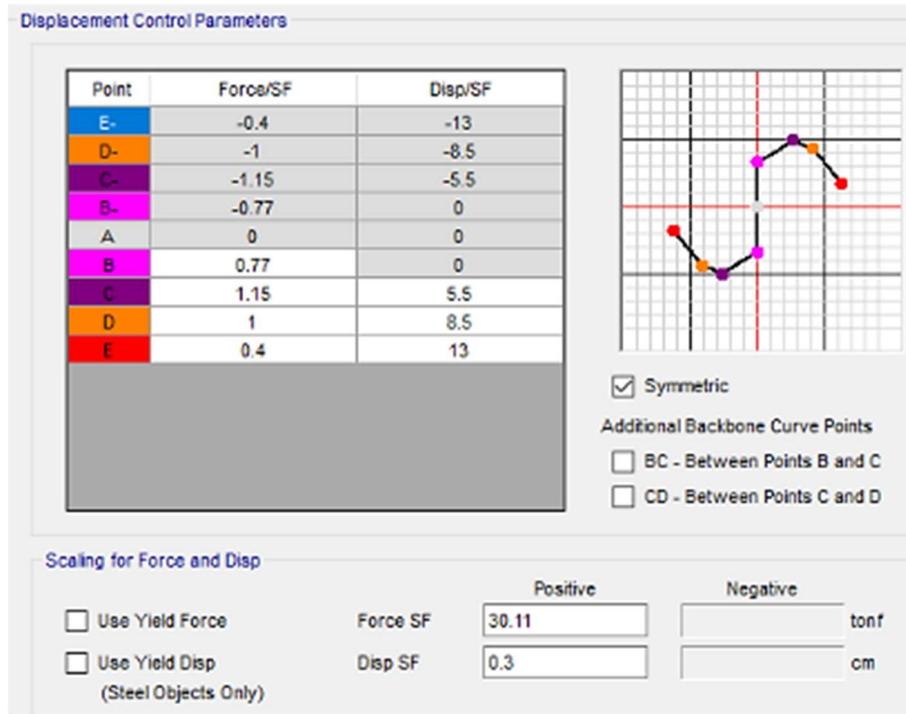
Use Yield Disp
(Steel Objects Only)

Force SF: Positive Negative tonf

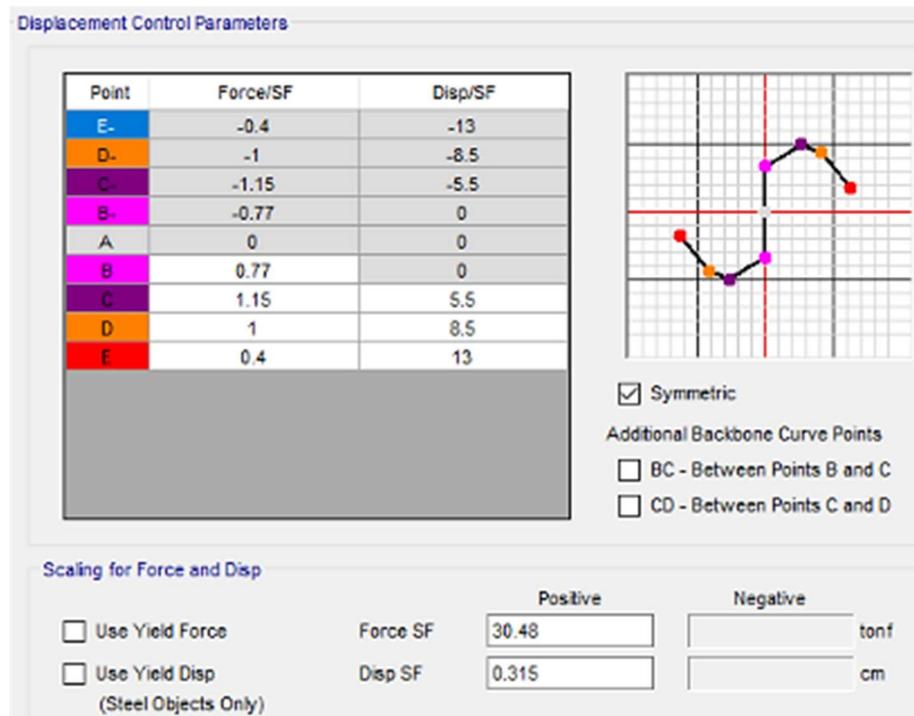
Disp SF: cm

Figura 117

Modelo numérico aplicada en el software, ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 7-7, nivel 02

**Figura 118**

Modelo numérico aplicada en el software, ETABS V2018.1.1, para el muro del eje 9-9, nivel 01



Análisis lineal y análisis estático no lineal (pushover)

Análisis Lineal de la Estructura

Para el análisis lineal estructural, se determinó la participación modal de las masas de la estructura y su comportamiento traslacional en los primeros modos de vibración (considerando la rigidez y distribución de masas de la estructura); según la N.T. E030, menciona que en cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sean por lo menos 90% de la masa total (Art. 29.1.2), es decir, la estructura debe mover por lo menos el 90% de su masa en un evento sísmico en sus direcciones predominantes.

Figura 119

Masa sísmica de la estructura, en ambas direcciones de estudio

TABLE: Centers Of Mass And Rigidity									
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cum Mass X	Cum Mass Y	XCCM	YCCM
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	m	m	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	m	m
Nivel 02	DR1	2.02191	2.02191	10.1542	3.0267	2.02191	2.02191	10.1542	3.0267
Nivel 01	DR1	18.1771	18.1771	12.9577	3.6295	20.19901	20.19901	12.6771	3.5691

Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Con la masa de la estructura, y los parámetros propios de zona sísmica, uso estructural, factor del suelo y coeficiente de amplificación sísmica, realizamos la revisión de la irregularidad y el cálculo de las fuerzas de corte estático en la base, para compararlo con el corte dinámico luego del análisis sísmico espectral, con el fin de realizar alguna corrección por corte a la estructura, concepción básica para una análisis lineal; mostrándose que no es necesario la corrección por corte.

Figura 120

Revisión de irregularidad crítica - torsión

TABLE: Story Max Over Avg Displacements							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Maximum	Average	Ratio
					m	m	
Nivel 02	SHXXR8	LinRespSpec	Max	X	0.003065	0.003053	1.004
Nivel 01	SHXXR8	LinRespSpec	Max	X	0.001206	0.001201	1.005

TABLE: Story Max Over Avg Displacements						
Story	Output Case	Case Type	Direction	Maximum	Average	Ratio
				m	m	
Nivel 02	SHYYR3	LinRespSpec	Y	0.003949	0.003127	1.263
Nivel 01	SHYYR3	LinRespSpec	Y	0.001661	0.001216	1.366

Nota: La estructura presenta una irregularidad torsional en la dirección YY, donde el límite de irregularidad torsional es de 1.3, según la N.T E0.30, Art. 20.3. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 121

Fuerzas en la base de la estructura corregida, en ambas direcciones de estudio

TABLE: Story Forces										
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
					tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Nivel 01	SHXXR8	LinRespSpec	Max	Bottom	0	27.3004	0.7251	105.8546	2.7769	111.3619
Nivel 01	SHYYR3	LinRespSpec	Max	Bottom	0	2.5782	82.2934	974.8038	347.3016	2.7984

Nota: La fuerza cortante dinámico en la dirección XX de 27.30 tonf. y en la dirección YY es de 82.29 tonf. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 23

Corrección por corte de la estructura en su dirección XX e YY

Análisis - Sistema albañilería			Análisis - Sistema de pórtico		
Peso total de la edificación:	198.15	tonf	Peso total de la edificación:	198.15	tonf
Altura total de la edificación:	6.15	m	Altura total de la edificación:	6.15	m
Coef. De periodo fundam. Ct:	60		Coef. De periodo fundam. Ct:	35	
Periodo fundamental T:	0.10	seg	Periodo fundamental T:	0.18	seg
Factor zona:	0.25		Factor zona:	0.25	
Factor importancia:	1.50		Factor importancia:	1.50	
Factor suelo:	1.20		Factor suelo:	1.20	
Coeficiente de amplif. Sism.	2.50		Coeficiente de amplif. Sism.	2.50	
Coeficiente de reducción S.	3		Coeficiente de reducción S.	8	
corte estático y-y:	74.31	tonf	corte estático x-x:	27.87	tonf
corte dinámico y-y:	82.29	tonf	corte dinámico x-x:	27.30	tonf
Factor de escala:	0.81		Factor de escala:	0.82	

Nota: No es necesario el escalamiento por fuerzas cortante.

Análisis No Lineal de la Estructura

Para éste análisis se ha definido y asignado las rótulas plásticas por flexión en vigas y flexocompresión en columnas y con rótulas plásticas por corte en los muros de albañilería; considerando inercias agrietadas; aplicación del ATC-40, FEMA 440 Y ASCI 41-17; siendo el

módulo de estudio M-2, de la I.E.I. N°141, conformado por los sistemas de pórtico resistente a momento en el eje x-x de concreto reforzado; muros a corte en el eje y-y de albañilería confinada.

Formación de rótulas plásticas para un sistema estructural de pórticos

Figura 122

Formación de rótulas plásticas, en la dirección XX, para el sistema estructural de pórticos

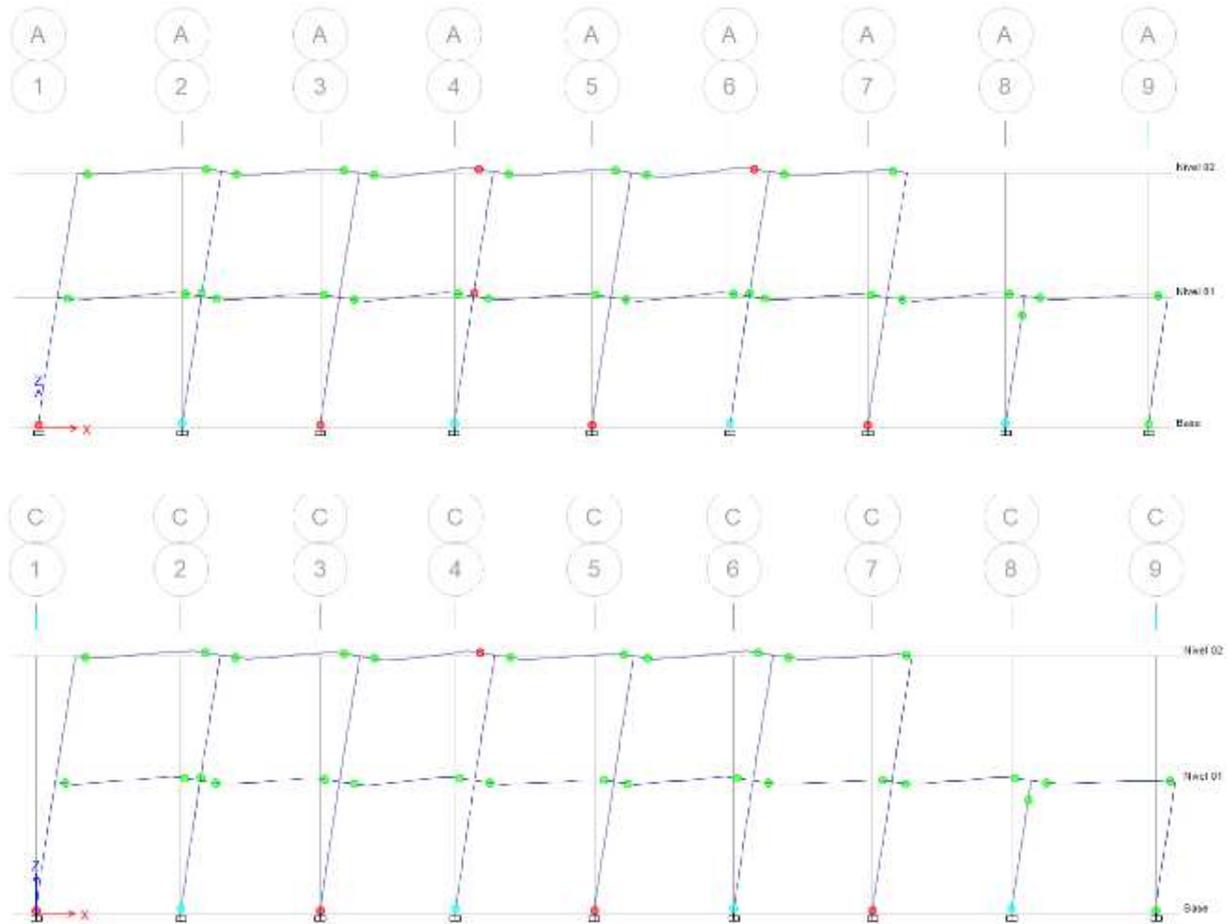
Paso	Desplazamiento	Fuerza de corte en la	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	TOTAL
0	0	0	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
1	-0.001	9.5272	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
2	-0.002	19.0543	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
3	-0.003	28.5814	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
4	-0.004	38.1014	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
5	-0.005	47.538	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
6	-0.006	56.4196	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
7	-0.007	64.0313	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
8	-0.008	71.4873	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
9	-0.009	79.0313	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
10	-0.01	86.6349	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
11	-0.011	94.1395	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
12	-0.012	101.3079	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
13	-0.013	107.3629	120	0	0	0	0	120	0	0	0	120
14	-0.014	112.8898	119	1	0	0	0	120	0	0	0	120
15	-0.015	118.3042	117	3	0	0	0	120	0	0	0	120
16	-0.016	125.1236	113	7	0	0	0	120	0	0	0	120
17	-0.017	130.9783	110	10	0	0	0	120	0	0	0	120
18	-0.018	136.3571	108	12	0	0	0	120	0	0	0	120
19	-0.018582	139.5325	103	17	0	0	0	120	0	0	0	120
20	-0.019747	144.6029	98	22	0	0	0	120	0	0	0	120
21	-0.020914	149.038	92	28	0	0	0	120	0	0	0	120
22	-0.022076	152.6744	89	31	0	0	0	120	0	0	0	120
23	-0.023119	155.2063	84	36	0	0	0	120	0	0	0	120
24	-0.024119	157.4611	84	36	0	0	0	120	0	0	0	120
25	-0.025461	160.8747	77	43	0	0	0	120	0	0	0	120
26	-0.027272	164.9245	75	45	0	0	0	120	0	0	0	120
27	-0.028272	167.0091	72	48	0	0	0	120	0	0	0	120
28	-0.029443	169.1055	65	55	0	0	0	120	0	0	0	120
29	-0.030621	170.9199	56	64	0	0	0	120	0	0	0	120
30	-0.031989	172.6886	52	68	0	0	0	120	0	0	0	120
31	-0.032989	173.9281	52	68	0	0	0	120	0	0	0	120
32	-0.034285	175.4986	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
33	-0.035285	176.6442	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
34	-0.036285	177.7588	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
35	-0.037285	178.8865	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
36	-0.038285	179.9651	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
37	-0.039285	181.006	48	72	0	0	0	120	0	0	0	120
38	-0.041046	182.7579	46	74	0	0	0	120	0	0	0	120
39	-0.042046	183.7338	46	74	0	0	0	119	1	0	0	120
40	-0.043046	184.713	46	74	0	0	0	118	2	0	0	120
41	-0.044046	185.6873	46	74	0	0	0	118	2	0	0	120
42	-0.045046	186.5842	46	74	0	0	0	116	4	0	0	120
43	-0.046046	187.5138	46	74	0	0	0	116	4	0	0	120
44	-0.047046	188.3096	46	74	0	0	0	112	8	0	0	120
45	-0.048046	189.0466	46	74	0	0	0	105	15	0	0	120
46	-0.049046	189.7117	46	74	0	0	0	99	21	0	0	120
47	-0.050046	190.3938	46	74	0	0	0	95	25	0	0	120
48	-0.051046	191.0571	46	74	0	0	0	95	25	0	0	120

Paso	Desplazamiento	Fuerza de corte en la	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	TOTAL
49	-0.052046	191.7121	45	75	0	0	0	94	26	0	0	120
50	-0.053046	192.3638	44	76	0	0	0	93	27	0	0	120
51	-0.054046	192.9678	44	76	0	0	0	91	29	0	0	120
52	-0.055046	193.5757	44	76	0	0	0	89	31	0	0	120
53	-0.056046	194.1216	44	76	0	0	0	84	36	0	0	120
54	-0.057046	194.6727	44	76	0	0	0	79	41	0	0	120
55	-0.058046	195.1901	44	76	0	0	0	78	42	0	0	120
56	-0.059046	195.7142	44	76	0	0	0	76	44	0	0	120
57	-0.060046	196.2074	44	75	0	0	1	73	47	0	0	120
58	-0.061046	196.7137	44	74	0	0	2	72	48	0	0	120
59	-0.062046	197.2217	44	73	0	0	3	71	49	0	0	120
60	-0.063046	197.7329	44	72	0	0	4	69	51	0	0	120
61	-0.064046	198.25	44	72	0	0	4	67	53	0	0	120
62	-0.065046	198.7581	44	72	0	0	4	66	54	0	0	120
63	-0.066046	199.2576	44	72	0	0	4	65	55	0	0	120
64	-0.067046	199.7553	44	72	0	0	4	62	58	0	0	120
65	-0.068046	200.2498	44	72	0	0	4	62	58	0	0	120
66	-0.069046	200.7336	44	72	0	0	4	61	59	0	0	120
67	-0.070046	201.2028	44	72	0	0	4	59	61	0	0	120
68	-0.071046	201.6693	44	72	0	0	4	57	63	0	0	120
69	-0.072046	202.1347	44	72	0	0	4	56	64	0	0	120
70	-0.073046	202.5986	44	72	0	0	4	55	65	0	0	120
71	-0.074046	203.0597	44	72	0	0	4	55	64	1	0	120
72	-0.075046	203.5151	44	70	2	0	4	54	63	3	0	120
73	-0.076046	203.9613	44	70	2	0	4	54	62	4	0	120
74	-0.077046	204.4047	44	70	2	0	4	53	63	4	0	120
75	-0.078046	204.8475	44	69	2	0	5	53	63	4	0	120
76	-0.079046	205.2687	44	69	2	0	5	53	61	6	0	120
77	-0.080046	205.6633	44	68	3	0	5	53	61	6	0	120
78	-0.081546	206.1478	44	64	7	0	5	51	63	6	0	120
79	-0.082546	206.4609	44	63	8	0	5	51	63	6	0	120
80	-0.084284	206.9123	44	63	8	0	5	51	62	7	0	120
81	-0.085284	207.1856	44	63	8	0	5	51	59	10	0	120
82	-0.086284	207.4592	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
83	-0.087284	207.7334	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
84	-0.088284	208.0073	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
85	-0.089284	208.276	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
86	-0.090284	208.5399	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
87	-0.091284	208.7942	44	63	8	0	5	51	57	12	0	120
88	-0.092284	209.0451	44	63	8	0	5	50	58	12	0	120
89	-0.09371	209.4013	44	63	8	0	5	49	59	12	0	120
90	-0.09471	209.6454	44	63	8	0	5	49	59	12	0	120
91	-0.09571	209.873	44	63	8	0	5	49	59	12	0	120
92	-0.09671	210.0847	44	63	8	0	5	48	59	13	0	120
93	-0.09771	210.2884	44	63	8	0	5	47	60	13	0	120
94	-0.09871	210.4941	43	64	8	0	5	47	60	13	0	120
95	-0.09971	210.7019	43	61	11	0	5	47	60	13	0	120
96	-0.091943	174.4825	43	61	11	0	5	47	57	16	0	120

Nota: A mayor desplazamiento (en metros) sometido a la estructura, mayor formación de rótulas plásticas cercano al colapso (CP). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 123

Vista de la formación de rótulas plásticas, para el sistema estructural de pórticos



Nota: Rótulas cercanas al colapso (rojas), vigas del segundo nivel entre los ejes 3A-4A, 5A-6A y 3C-4C y columnas del primer nivel de los ejes 1,3,5,7-A y 1,3,5,7-C y del segundo nivel 4A; revisar los planos anexos. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra la generación de rótulas plásticas, en los ejes correspondientes, en la dirección XX, para el sistema estructural de pórticos, con un el patrón de cargas en base al primer modo de vibración, con un desplazamiento máximo, hasta el colapso.

Formación de rótulas plásticas para un sistema estructural de muros de albañilería

Figura 124

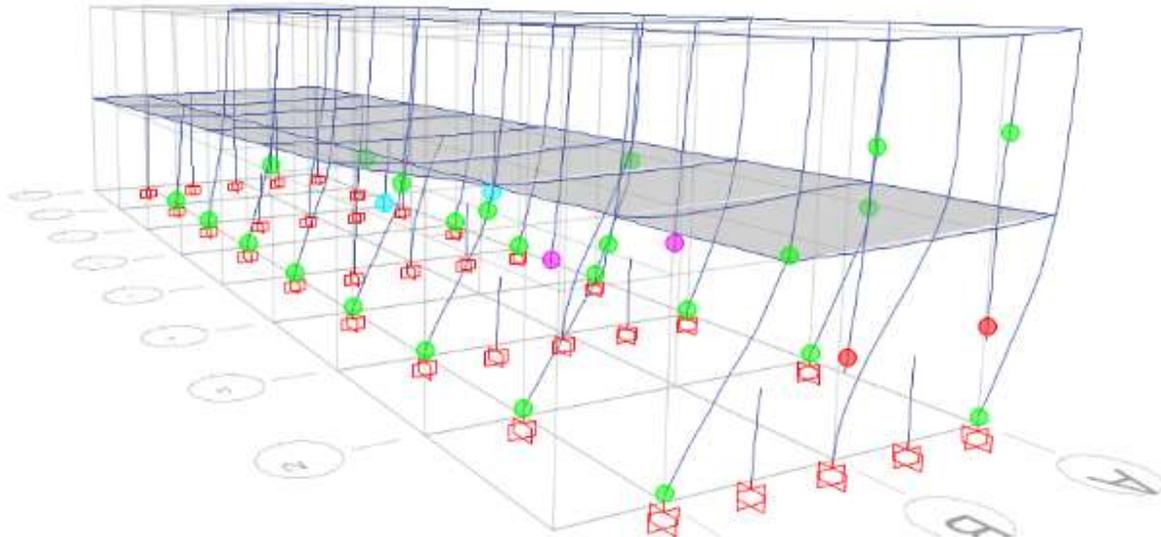
Formación de rótulas plásticas, en la dirección YY, para el sistema de Albañilería confinada

Paso	Desplazamiento	Fuerza de corte en la	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	TOTAL
0	0	0	136	0	0	0	0	136	0	0	0	136
1	0.1	30.228	136	0	0	0	0	136	0	0	0	136
2	0.2	60.4557	136	0	0	0	0	136	0	0	0	136
3	0.3	90.6433	136	0	0	0	0	136	0	0	0	136
4	0.4	120.8469	136	0	0	0	0	136	0	0	0	136
5	0.4996	150.8694	135	1	0	0	0	136	0	0	0	136
6	0.6032	176.9564	131	5	0	0	0	133	1	0	2	136
7	0.7169	189.3731	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
8	0.8169	199.7505	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
9	0.9169	209.6718	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
10	1.0169	219.2736	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
11	1.1169	228.6298	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
12	1.2169	237.8078	130	6	0	0	0	130	0	0	6	136
13	1.3579	248.925	128	8	0	0	0	128	0	0	8	136
14	1.4579	256.6266	126	10	0	0	0	128	0	0	8	136
15	1.5579	263.6668	126	10	0	0	0	128	0	0	8	136
16	1.6579	270.7113	126	10	0	0	0	128	0	0	8	136
17	1.7579	277.8468	125	11	0	0	0	128	0	0	8	136
18	1.8579	284.9463	124	12	0	0	0	128	0	0	8	136
19	1.9579	292.0358	122	14	0	0	0	128	0	0	8	136
20	2.0291	296.958	120	14	2	0	0	128	0	0	8	136
21	2.1291	299.571	120	14	2	0	0	128	0	0	8	136
22	2.2997	303.7413	118	16	2	0	0	127	0	0	9	136
23	2.4753	307.8438	116	18	2	0	0	126	0	0	10	136
24	2.5189	308.7552	115	17	4	0	0	126	0	0	10	136
25	2.6189	308.1471	113	19	4	0	0	126	0	0	10	136
26	2.6317	308.0378	113	19	2	2	0	126	0	0	10	136
27	2.7317	301.5852	112	20	2	2	0	126	0	0	10	136
28	2.8317	294.6874	112	20	2	2	0	126	0	0	10	136
29	2.9317	287.8625	110	22	2	2	0	126	0	0	10	136
30	3.0317	280.9349	109	23	2	2	0	126	0	0	10	136
31	3.159	272.0201	109	21	4	2	0	126	0	0	10	136
32	3.27	258.119	107	23	2	2	2	126	0	0	10	136

Nota: A mayor desplazamiento (en centímetros) sometido a la estructura, mayor formación de rótulas plásticas cercano al colapso (CP). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 125

Vista de la formación de rótulas plásticas, para el sistema estructural de albañilería confinada



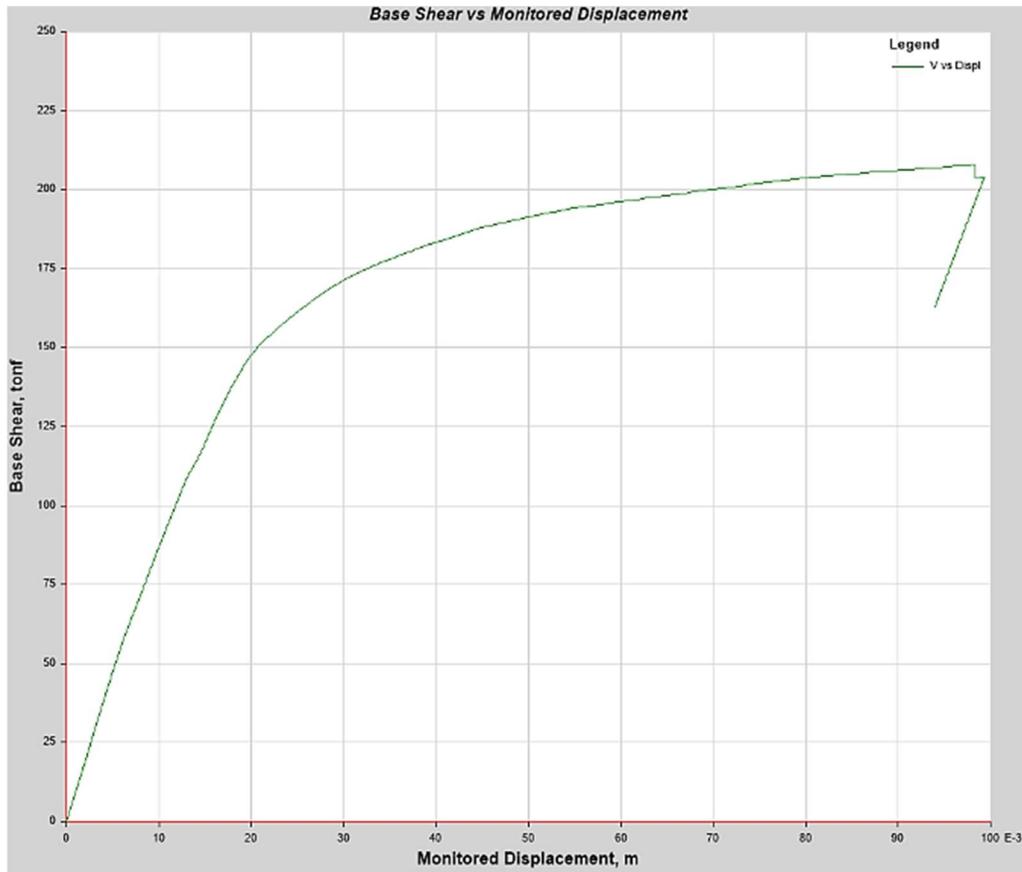
Nota: Rótulas cercanas al colapso (rojas), muros de albañilería del primer nivel entre los ejes 1A-1B y 1B-1C; revisar los planos anexos. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra la generación de rótulas plásticas, en la dirección YY, para el sistema estructural de albañilería confinada, con un el patrón de cargas en base al segundo modo de vibración, con un desplazamiento máximo, hasta el colapso.

Curvas de capacidad y ductilidad

Figura 126

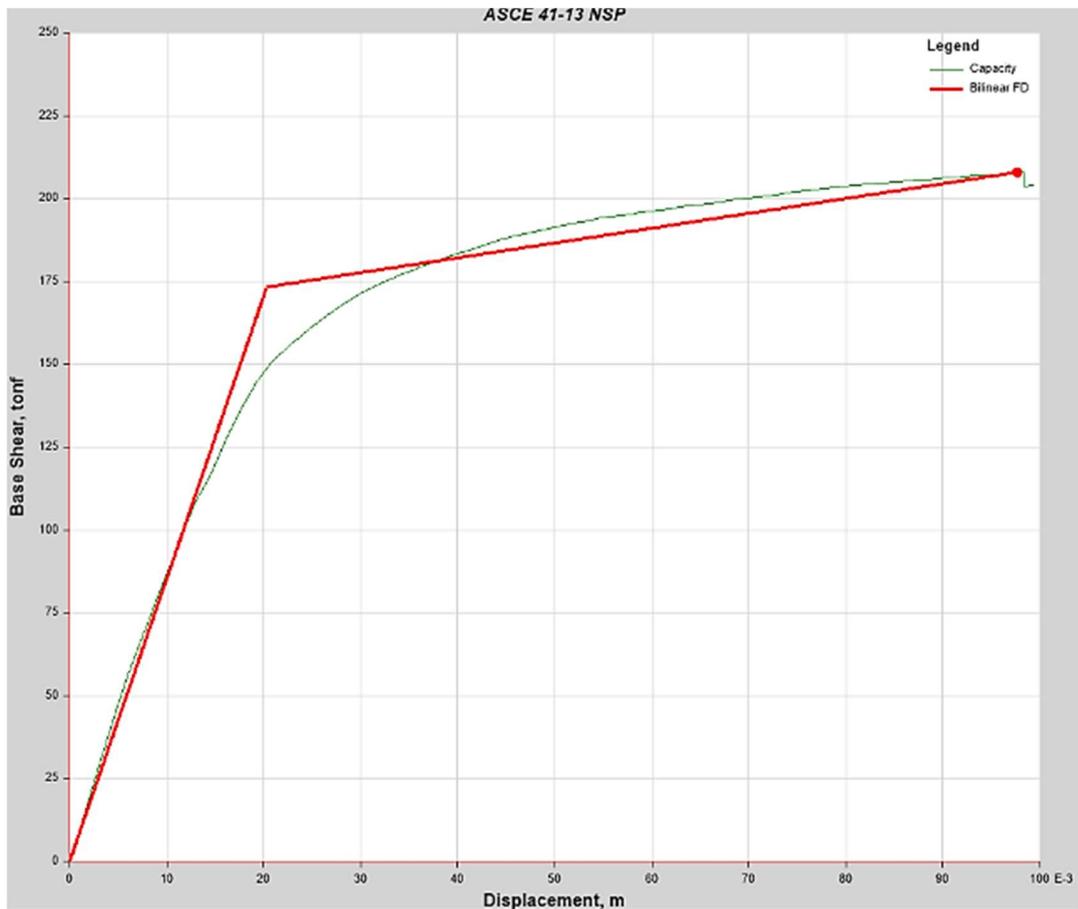
Curva de capacidad de la estructura, para el sistema estructural de pórticos



Nota: Formación de la curva de capacidad de la estructura en la dirección longitudinal XX, bajo un patrón de carga del primer modo de vibración, la capacidad de desplazamiento máximo del punto de control es de 9.8cm y la capacidad de corte es de 208 toneladas. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 127

Curva de capacidad de la estructura, para el cálculo de ductilidad del sistema estructural de pórticos



Nota: Curva bilineal (rojo) equivalente a la curva de capacidad, con una ductilidad de 4.8.

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Para el cálculo manual de la ductilidad se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

$$\text{Desplazamiento}_{cedente} := 2.04 \text{ cm} \quad \text{Desplazamiento}_{\text{último}} := 9.8 \text{ cm}$$

$$\text{Ductilidad}_{\text{daño}_{\text{máximo}}} := \frac{\text{Desplazamiento}_{\text{último}}}{\text{Desplazamiento}_{cedente}} = 4.8$$

Figura 128

Curva de capacidad de la estructura, para el sistema estructural de albañilería confinada



Nota: Formación de la curva de capacidad de la estructura en la dirección transversal YY en función al patrón de carga del segundo modo de vibración, la capacidad de desplazamiento máximo del punto de control es de 2.51cm y la capacidad de corte es de 308.75 toneladas.

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Definición de sismos de servicio, diseño y máximo

Tabla 24

Niveles sísmicos aplicados al AENL

Sismos según los Niveles Sísmicos			
Sismo	Factor	Aceleración Espectral	
Servicio	0.5	4.9035	Ao
Diseño	1	9.807	Ao
Máximo	1.3	12.7491	Ao
		Gravedad (m/s ²)	9.807

Análisis Dinámico No Lineal Tiempo-Historia

Con plasticidad de rótulas concentradas en los elementos tipo viga y plasticidad de fibras en las columnas y con plasticidad de rótulas concentradas por corte en los muros de albañilería; considerando inercias agrietadas y aplicación del ATC-40, FEMA 440 Y ASCI 41-17, y tratamiento de registros sísmicos en consideración a la N.T E0.30, se ha realizado el Análisis dinámico no lineal Tiempo – Historia, para el módulo 2 de la I.E.I. N°141, conformado por los sistemas de pórtico resistente a momento en el eje x-x de concreto reforzado; muros a corte en el eje y-y de albañilería confinada,

Tratamiento de registros sísmico

Selección de registros sísmicos

Para la evaluación de la estructura educativa que se encuentra en la zona sísmica 2 y suelo tipo 2, según la norma sísmica peruana E.030, se detalla las consideraciones para la selección de registros sísmicos a utilizar; fueron seleccionados 3 pares registros sísmicos, por lo cual se cumple con la norma E.030, donde menciona la cantidad mínima de registros sísmicos a considerar; también se ha considerado algunos criterios como el tipo de suelo donde se encuentra estacionado los acelerógrafos, el cual registra los eventos sísmicos ocurridos, donde se recomienda que se asimile al tipo de suelo donde se encuentra fundada la estructura (GP: Grava mal gradada); a ello también consideramos que la magnitud sísmica de los registros seleccionados sean similares dentro de un rango y que esta magnitud tienda a ser como lo ocurrido históricamente en la localidad donde se encuentra la estructura a ser evaluada (Sismo con ML 6.0, en el año 1956 Y DE ML 7.0 en el año 1970), donde el PGA o máxima aceleración en cada dirección es mayor a 100gals.

Tabla 25

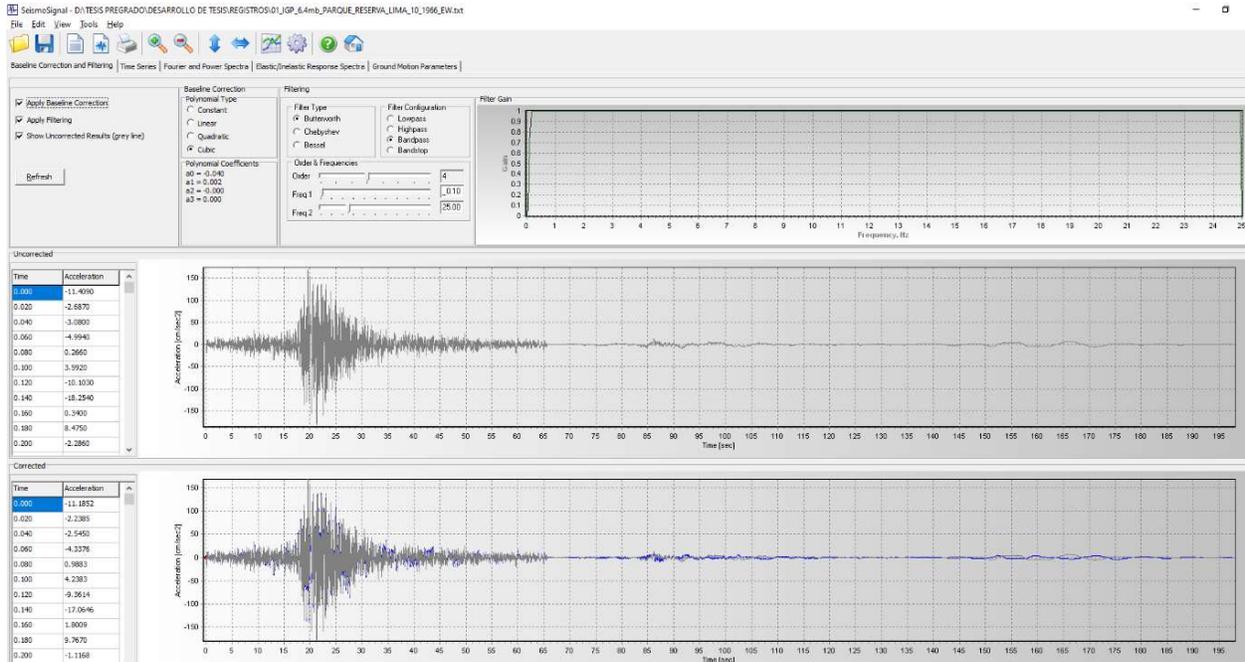
Registros sísmicos seleccionados y extraídos de la base de datos del INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

COORDENADAS DEL EPICENTRO										PGA
N° REGISTRO	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	FECHA	HORA	INSTITUTO RESPONSABLE	ESTACIÓN	MAGNITUD	TIPO DE SUELO	ORIENTACIÓN	gal (cm/s ²)
1	-10.83	-78.64	17/10/1966	16:41:57	Instituto Geofísico del Perú	Parque de la Reserva-Lima	6.4 Mb	Grava gruesa	E-W	180.59
								densa y canto rodado	N-S	269.34
2	-9.36	-78.87	31/05/1970	15:23:00	Instituto Geofísico del Perú	Parque de la Reserva-Lima	6.6 Mb	Grava gruesa	E-W	105.05
									N-S	97.81
3	-12.5	-77.98	03/10/1974	09:21:00	Instituto Geofísico del Perú	Parque de la Reserva-Lima	6.6 Mb	Grava gruesa	E-W	194.21
									N-S	180.09

Corrección de registros sísmicos por línea base y filtrado de frecuencia

Figura 129

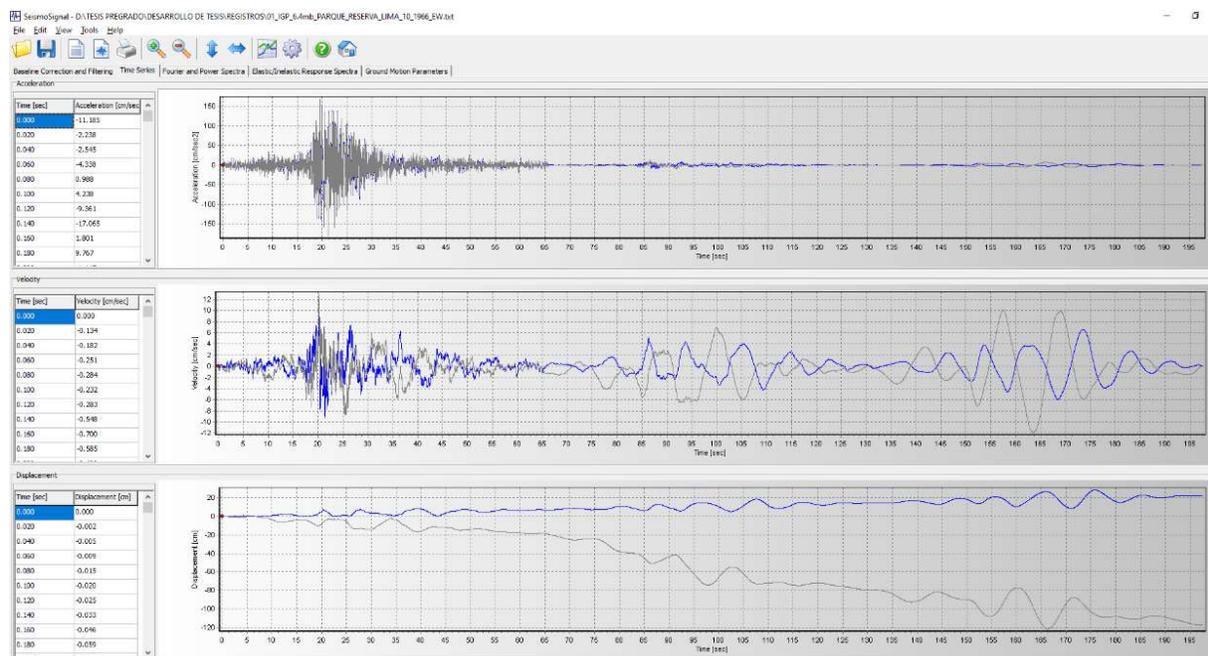
Corrección de los registros sísmicos



Nota: Para la corrección de los registros sísmicos, se ha considerado una corrección de base o corrección de ceros polinomial tipo cúbico y un filtrado de frecuencia tipo Butterworth con un rango de frecuencia de 0.1 a 25 Hz. Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

Figura 130

Vista de los registros sísmicos corregidos y originales



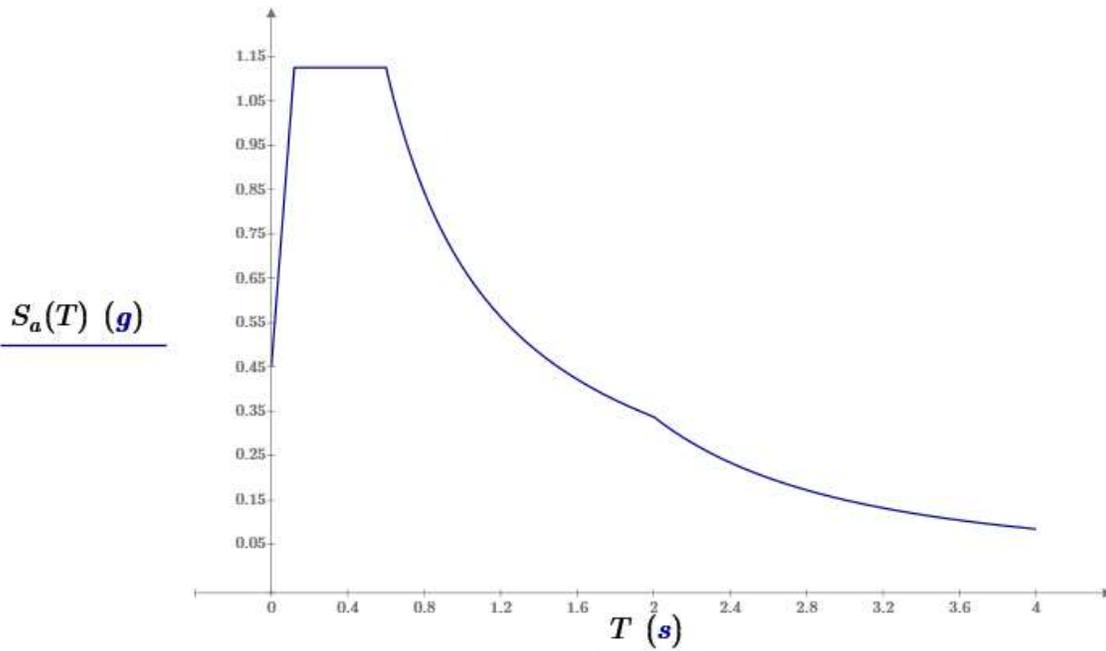
Nota: Registro de color azul (corregido) y registro de color gris (original). Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

Se realiza la inspección de los registros sísmicos de la aceleración, velocidad y desplazamiento respecto del tiempo; donde el registro de color azul es el corregido y el de color gris es el registro original o base, el cual es evidente su error en los desplazamientos de tal registro. Estas correcciones se aplicaran para los 3 juegos de registros según su orientación.

Acción sísmica de diseño para el análisis no lineal

Figura 131

Espectro de diseño, para un sismo de diseño y un ADNL

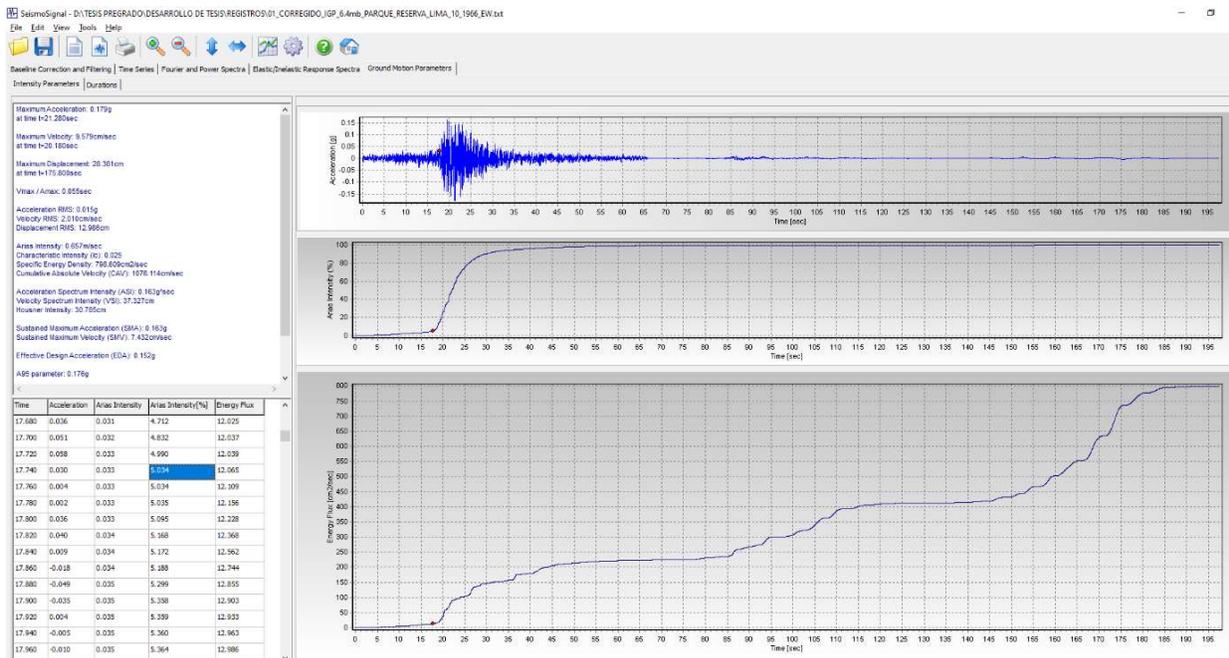


Nota: Para la gráfica del espectro de diseño, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

Recorte de registros sísmicos por el método de intensidad de arias. La propuesta se basa en el recorte de los registros donde se genera mayor intensidad sísmica, mayor disipación de energía y daño de la estructura, donde el recorte es desde el 5% al 95% de la energía acumulada, el cual perderá datos de 10% de energía donde el daño es bajo.

Figura 132

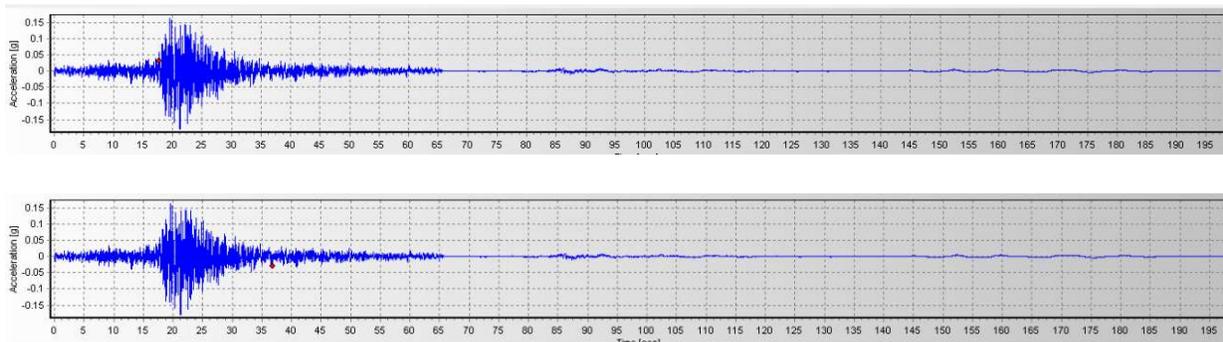
Recorte de registro sísmico por la energía acumulada, método de intensidad de Arias



Nota: Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

Figura 133

Registros sísmicos a recortar



Nota: Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

En los registros se muestra el inicio y fin del sismo registrado (Punto de color rojo) considerado desde un 5% al 95% de intensidad acumulada, donde se genera mayor daño a la estructura. Esta forma de extraer la intensidad sísmica se aplicara a los 3 pares de registros en cada orientación.

Ajuste espectral – Espectrocompatibilidad. Con el factor de participación de masa modal de la estructura, es sus modos de vibración, acumulando más del 90% de la masa modal en cada dirección de análisis de la estructura y para el análisis no lineal y el ajuste espectral, extraeremos los periodos de los modos de vibración. Para el cálculo manual del rango de periodos, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0.

$$t_{min} := 0.113 \text{ s}$$

Periodo fundamental mínimo de ambas direcciones

$$t_{max} := 0.217 \text{ s}$$

Periodo fundamental máximo de ambas direcciones

$$0.2 \cdot t_{min} = 0.023 \text{ s}$$

Rango de periodo fundamental mínimo de ambas direcciones

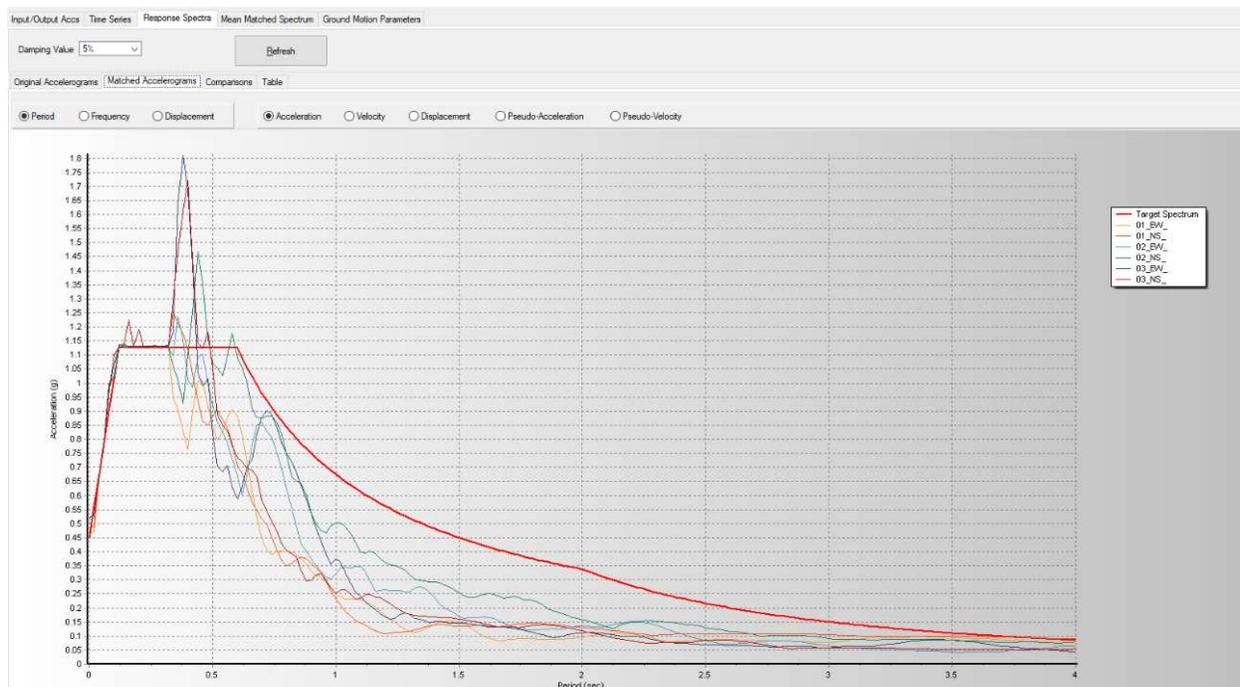
$$1.5 \cdot t_{max} = 0.326 \text{ s}$$

Rango de periodo fundamental máximo de ambas direcciones

Según la normativa N.T. E.030, los registros serán escalados en el rango de periodos $0.2T$ y $1.5T$, donde T es el periodo fundamental; pero la norma ASCE 41-17, deja claro que el rango de periodos se considera entre $0.2T_{min}$ y $1.5T_{max}$ entre los periodos fundamentales en ambas direcciones, para ser escalados.

Figura 134

Registros espectrocompatibles con el espectro de diseño

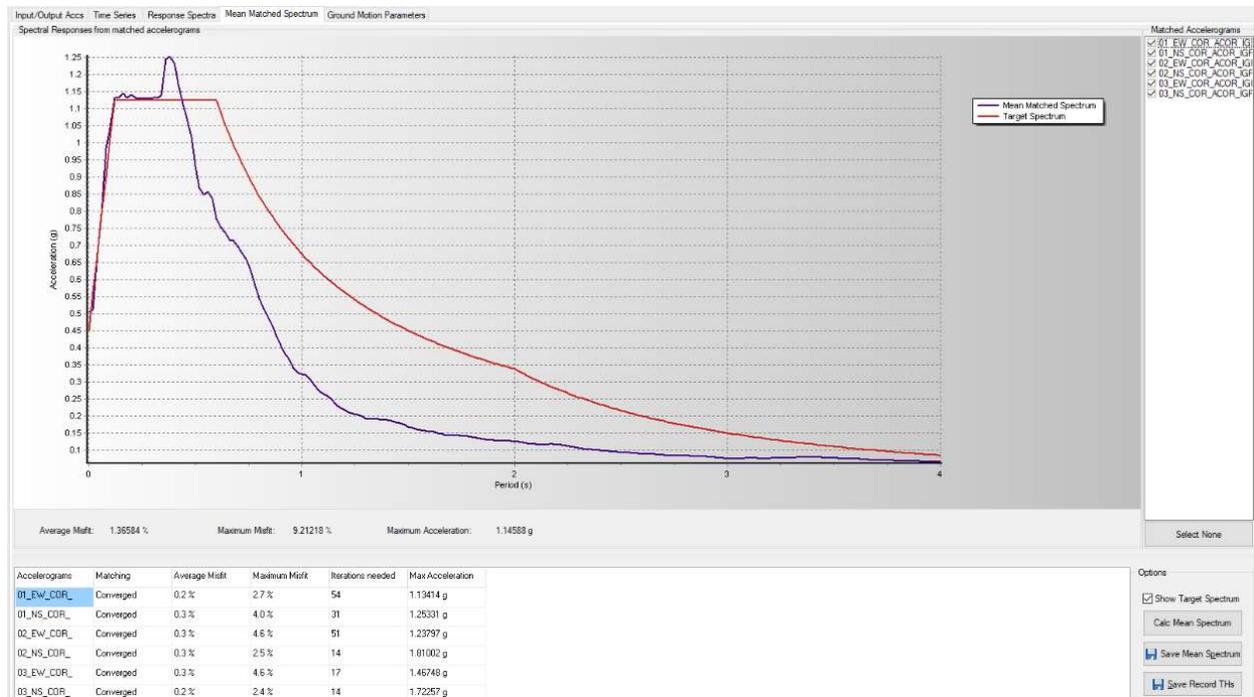


Nota: Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

Revisión del ajuste espectral de los registros (tres pares de registros), espectrocompatible con un 5% de amortiguamiento, en el rango del periodo máximo y mínimo, es decir en el rango de (0.023seg, 0.326seg); es evidente que para éste rango, los registros se ajustan al espectro objetivo (sismo de diseño).

Figura 135

Media de los registros sísmicos espectrocompatibles con el espectro de diseño

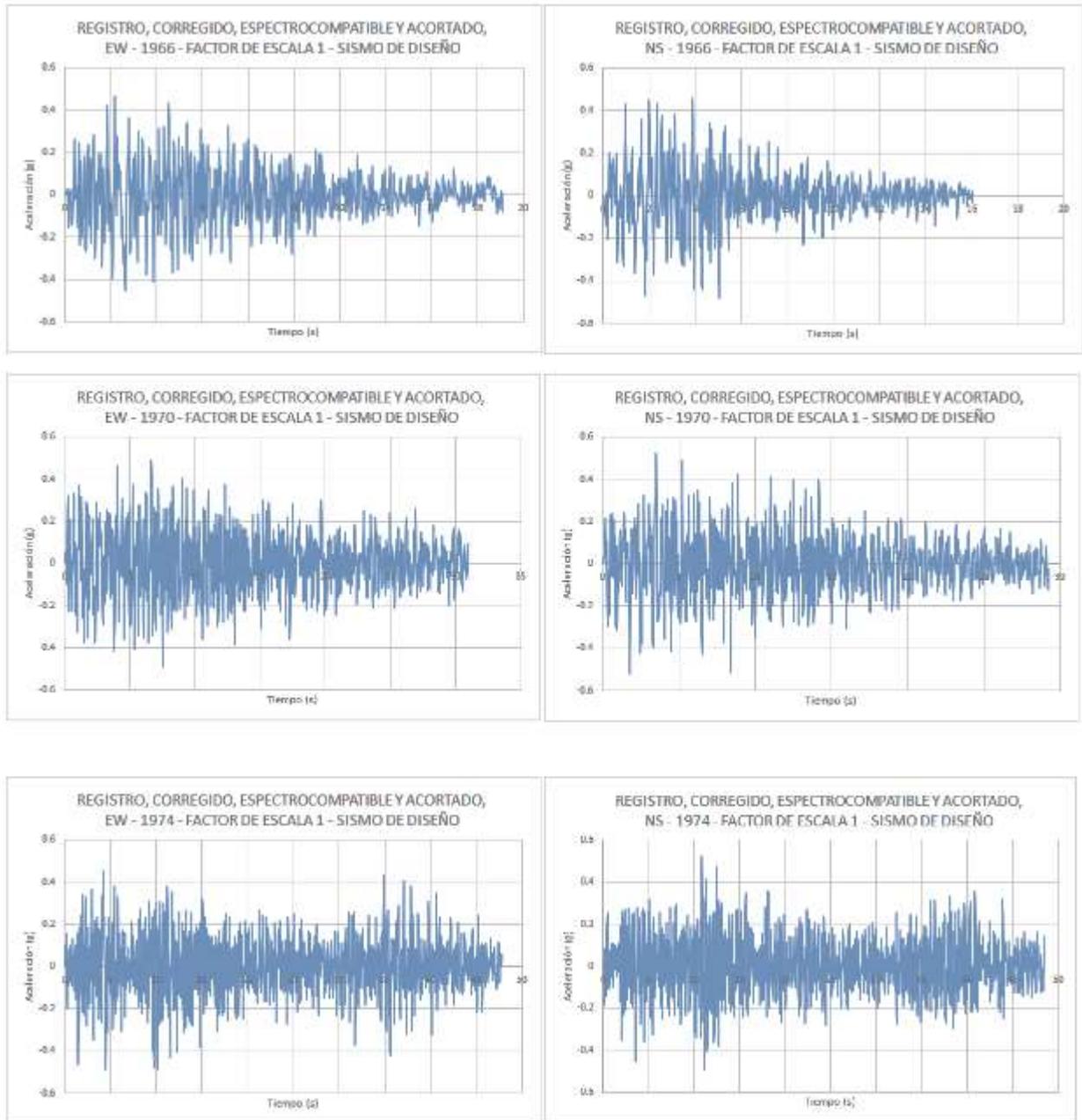


Nota: Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

Revisión de la media de los registros para ese rango de periodos, propias de la estructura, donde converge con una tolerancia adecuada de 0.05, además las aceleraciones máximas tienden a ser similares y mayores a 1.1g.

Figura 136

Juego de registro en cada dirección, escaladas al sismo de diseño



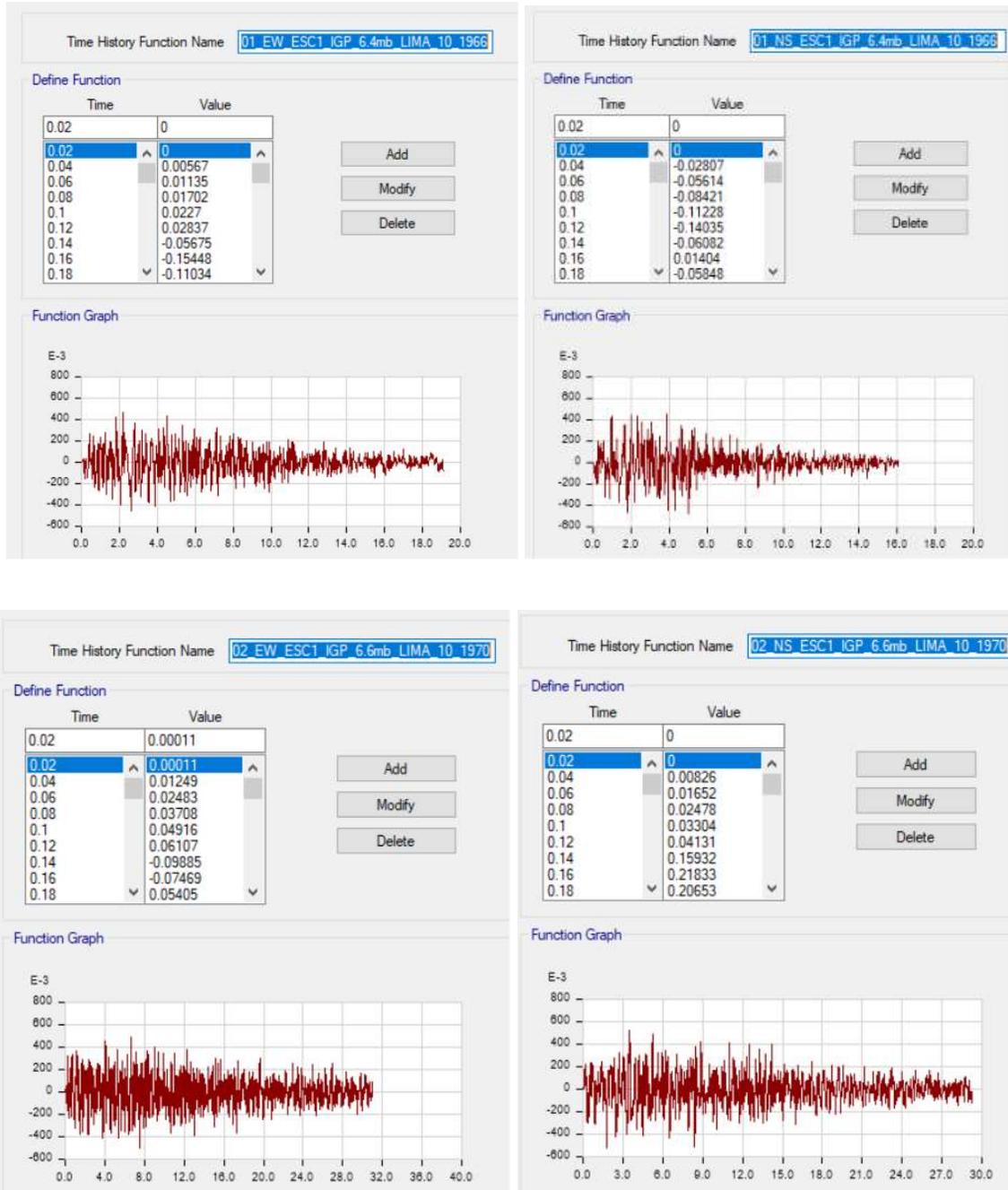
Nota: Registros, corregidos por línea base y filtro de ruido, espectrocompatible y recortado por el método de intensidad de Arias. Software de tratamiento de registros sísmicos, SeismoSignal V4.3.0 de SeismoSoft.

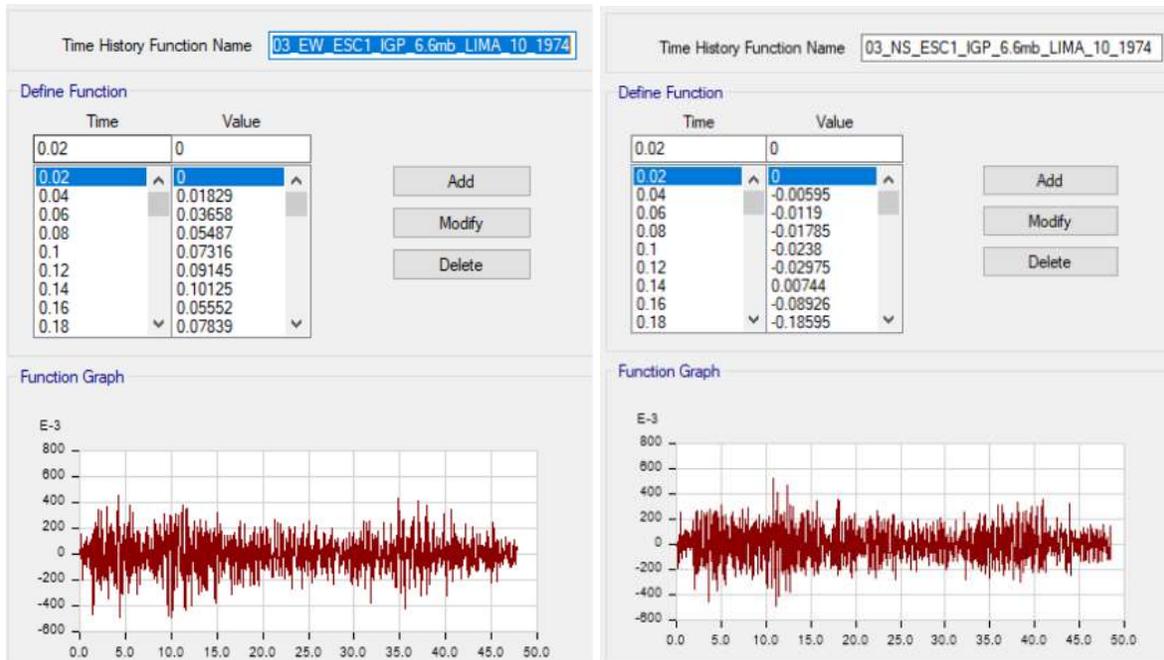
Modelado de la Estructura para un ADNL Tiempo - Historia

Inserción del juego de registros sísmicos corregidos

Figura 137

Juego de registro escalados en cada dirección e insertados al software de análisis





Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Propiedades de los Materiales para un ADNL TH

Figura 138

Propiedades para el concreto confinado, modelo de Histéresis de Takeda

Material Name and Type

Material Name: FC210KGF/CM2_CONFINADO
Material Type: Concrete, isotropic

Miscellaneous Parameters

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters
Friction Angle: 0 deg
Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	cm/cm
IO	0.01	-0.003	cm/cm
LS	0.02	-0.006	cm/cm
CP	0.05	-0.015	cm/cm

Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options

Parametric
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data

Number of Points in Stress-Strain Curve: 16

Point Number	Strain	Stress (kgf/cm ²)	Point ID
1	-0.050653	0	
2	-0.042211	-166.53	-E
3	-0.038103	-172.02	
4	-0.033341	-179.43	
5	-0.028578	-188.2	
6	-0.023815	-198.8	
7	-0.019052	-211.93	
8	-0.014289	-228.63	
9	-0.009526	-249.92	

16



Add Row
Delete Rows
Order Rows
Show Plot...

Nota: Curva esfuerzo-deformación, modelo de Histéresis de Takeda (Para pórticos de concreto armado) aplicado a componentes columnas. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 139

Propiedades para el concreto no confinado, modelo de Histéresis de Takeda

Material Name and Type

Material Name: FC210KGF/CM2_NO CONFINADO
Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters
Friction Angle: 0 deg
Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	cm/cm
LS	0.02	-0.006	cm/cm
CP	0.05	-0.015	cm/cm

Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options

Parametric
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data

Number of Points in Stress-Strain Curve: 10

Point Number	Strain	Stress (kgf/cm ²)	Point ID
1	-0.0036	-182.04	
2	-0.003	-195.17	-E
3	-0.0025	-205.29	
4	-0.002	-210	-B
5	-0.001397	-198.03	
6	-0.000795	-146.88	
7	-0.000192	-42	
8	0	0	A
9	0.000132	28.82	

Figure 140 shows a screenshot of the ETABS V2018.1.1 software interface for defining material properties. The interface is divided into several sections: 'Material Name and Type' (FC210KGF/CM2_NO CONFINADO, Concrete, Isotropic), 'Miscellaneous Parameters' (Hysteresis Type: Takeda, Friction Angle: 0 deg, Dilatational Angle: 0 deg), 'Acceptance Criteria Strains' (IO: 0.01 Tension / -0.003 Compression, LS: 0.02 Tension / -0.006 Compression, CP: 0.05 Tension / -0.015 Compression, Ignore Tension Acceptance Criteria checked), 'Stress Strain Curve Definition Options' (User Defined selected), and 'User Stress-Strain Curve Data' (Number of Points: 10, table with 9 points, and a plot showing a hysteretic stress-strain curve).

Nota: Curva esfuerzo-deformación, modelo de Histéresis de Takeda (Para pórticos de concreto armado) aplicado a componentes vigas. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 140

Propiedades para la barra de refuerzo, modelo de Histéresis kinematic

Material Name and Type Material Name: FY4200KGF/CM2 Material Type: Rebar, Uniaxial		Miscellaneous Parameters Hysteresis Type: Kinematic	
Acceptance Criteria Strains		Stress Strain Curve Definition Options	
	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.005	cm/cm
LS	0.02	-0.01	cm/cm
CP	0.05	-0.02	cm/cm
		<input checked="" type="radio"/> Parametric: Park <input type="radio"/> User Defined	
Parametric Strain Data			
Strain at Onset of Strain Hardening		0.01	
Ultimate Strain Capacity		0.09	
Final Slope (Multiplier on E)		-0.1	
<input type="button" value="Show Stress-Strain Plot..."/>			

Nota: Curva esfuerzo-deformación, modelo de Histéresis Kinematic aplicado a las barras de refuerzo de las vigas y columnas. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Configuración del análisis dinámico no lineal, Tiempo-Historia, caso de carga, mediante el método de Integración Directa no lineal

Figura 141

Casos de carga Tiempo-Historia, para un sismo de diseño

General

Load Case Name: TH_LIMA_1966_XX [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration [Notes...]

Mass Source: Masa

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: Gravedad NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	01_EW_ESC1_I GP_...	9.81

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 955

Output Time Step Size: 0.02 sec

Damping: Mass: 1.8003; Stiff: 3.419E-04; Modal: No [Modify/Show...]

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

General

Load Case Name: TH_LIMA_1966_XX_SM [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration [Notes...]

Mass Source: Masa

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: Gravedad NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	01_EW_ESC1.3_I G...	9.81

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 955

Output Time Step Size: 0.02 sec

Damping: Mass: 1.8003; Stiff: 3.419E-04; Modal: No [Modify/Show...]

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

Nota: Casos de cargas modelo, aplicada para cada registro sísmico de diseño. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 142

Casos de carga Tiempo-Historia, para un sismo máximo

General

Load Case Name: TH_LIMA_1966_XX Design...

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration Notes...

Mass Source: Masa

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: Gravedad NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	01_EW_ESC1_JGP_...	12.753

Add
Delete
 Advanced

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 955

Output Time Step Size: 0.02 sec

Damping: Mass: 1.8003; Stiff: 3.419E-04; Modal: No Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

General

Load Case Name: TH_LIMA_1966_YY Design...

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration Notes...

Mass Source: Masa

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: Gravedad NL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	01_NS_ESC1_JGP_...	12.753

Add
Delete
 Advanced

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 803

Output Time Step Size: 0.02 sec

Damping: Mass: 1.8003; Stiff: 3.419E-04; Modal: No Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

Nota: Casos de cargas modelo, aplicada para cada registro sísmico máximo. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se definen los casos de carga Tiempo-Historia en el Software de análisis, en base al tipo de carga de aceleración, definiendo la orientación, el registro sísmico correspondiente, el factor de escala para un sismo de diseño y un sismo máximo considerado (Tabla 24); éste caso es la continuación del caso de gravedad no lineal; estos casos se aplica para todos los pares de registros sísmicos considerados.

Análisis Dinámico Incremental - IDA

Se ha realizado un estudio incremental para sus 8 niveles de intensidad sísmica en cada registro sísmico, para un modelo con plasticidad de rótulas concentradas en los elementos tipo viga y muros; y con plasticidad de fibras en las columnas, con la aplicación de la código americano FEMA P58 y la N.T.P. E.030, aplicadas al módulo 2 de la I.E.I. N°141, conformado por los sistemas de pórtico resistente a momento en el eje x-x de concreto reforzado; muros a corte en el eje y-y de albañilería confinada.

Tratamiento para los niveles de Intensidad Sísmica

Periodo promedio, aceleración espectral y probabilidad de excedencia anual

En base al factor de participación de masa modal de la estructura, en sus modos de vibración, acumulando más del 90% de la masa modal en cada dirección de análisis de la estructura, para el análisis dinámico incremental extraeremos los periodos de los modos de vibración.

Para el registro de datos, tratamiento y cálculos que determinan la probabilidad anual de excedencia, periodo de retorno y PGA (Aceleración pico en el suelo), se ha utilizado el software

PTC Matchcad, versión 5.0.0.0, idioma español con una licencia para uso doméstico, en base a rutinas cortas de programación.

$$T_{xx} := 0.217 \text{ s}$$

Periodo fundamental en la dirección XX

$$T_{yy} := 0.113 \text{ s}$$

Periodo fundamental en la dirección YY

$$T_{prom} := \frac{T_{xx} + T_{yy}}{2} = 0.165 \text{ s}$$

Periodo promedio

$$S_{a_min} := \begin{cases} \text{if } T_{prom} \leq 1 \cdot s \\ \parallel S_{a_min} \leftarrow 0.05 \cdot g \\ \text{else} \\ \parallel S_{a_min} \leftarrow \frac{0.05}{T_{prom}} \cdot g \end{cases} = 0.05 \text{ g}$$

Aceleración espectral mínima FEMA P58, fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada)

$$P_{exc_min} := 0.4106$$

Probabilidad anual de excedencia, para la aceleración espectral mínima

$$P_{exc_max} := 0.0002$$

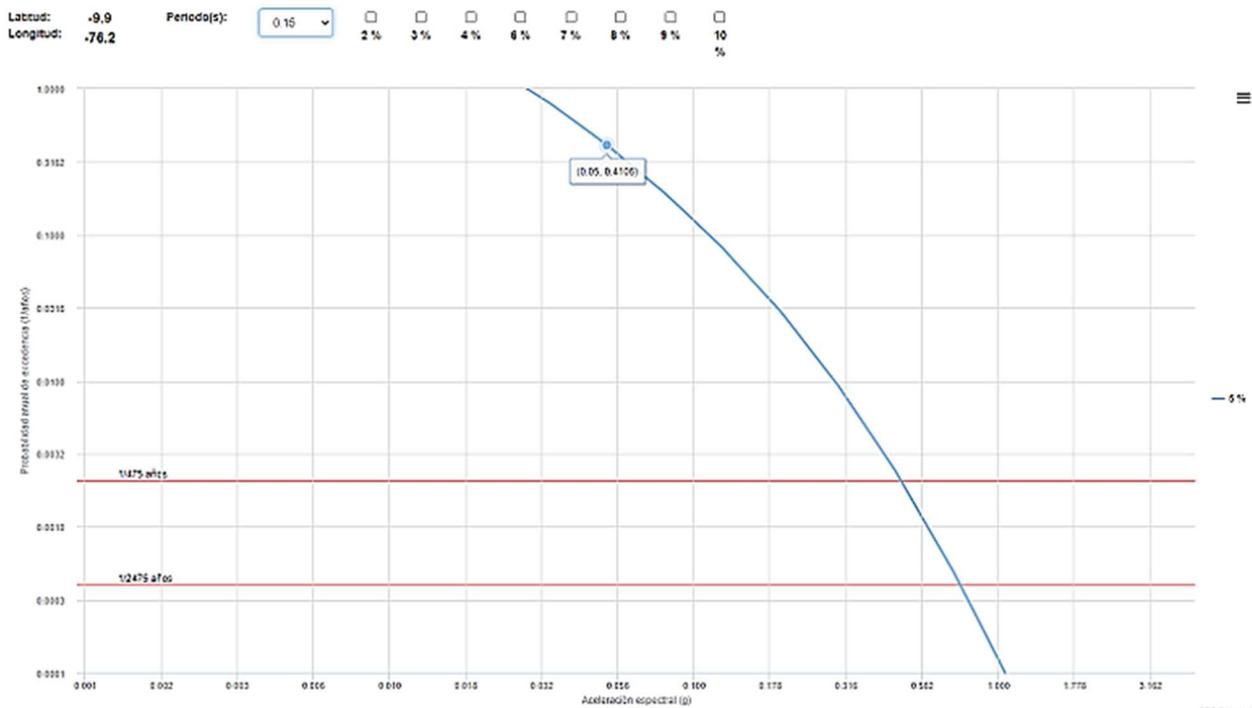
Frecuencia anual de excedencia, para un sismo máximo, FEMA P58

$$S_{a_max} = 0.91 g$$

Aceleración espectral máxima para una frecuencia anual de excedencia máxima

Figura 143

Curva de probabilidad anual de excedencia vs. Aceleración espectral, aplicada al proyecto



Nota: Probabilidad anual de excedencia de 0.4106, con un amortiguamiento del 5% y un periodo cercano al promedio de 15seg., para la aceleración espectral mínima. Servicio web/SENCICO - <http://ppsh.sencico.gob.pe/>

$$\Delta := \frac{S_{a_max} - S_{a_min}}{8} = 0.108 g$$

Intervalo de intensidad sísmica, aceleración espectral

$$I_1 := S_{a_min} + \frac{\Delta}{2} = 0.104 g$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 1

$$I_2 := I_1 + \Delta = 0.211 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 2

$$I_3 := I_2 + \Delta = 0.319 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 3

$$I_4 := I_3 + \Delta = 0.426 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 4

$$I_5 := I_4 + \Delta = 0.534 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 5

$$I_6 := I_5 + \Delta = 0.641 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 6

$$I_7 := I_6 + \Delta = 0.749 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 7

$$I_8 := I_7 + \Delta = 0.856 \text{ g}$$

Aceleración espectral, intensidad sísmica 8

$$PI := \begin{bmatrix} 0.121 \\ 0.024 \\ 0.008 \\ 0.003 \\ 0.0015 \\ 0.00077 \\ 0.00042 \\ 0.00026 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\text{años}}$$

Vector de probabilidad anual de excedencia por cada nivel de intensidad sísmica en función a la
Curva de probabilidad anual de excedencia vs. Aceleración espectral

$$T_R := \frac{1}{PI} = \begin{bmatrix} 8 \\ 42 \\ 125 \\ 333 \\ 667 \\ 1299 \\ 2381 \\ 3846 \end{bmatrix} \text{ años}$$

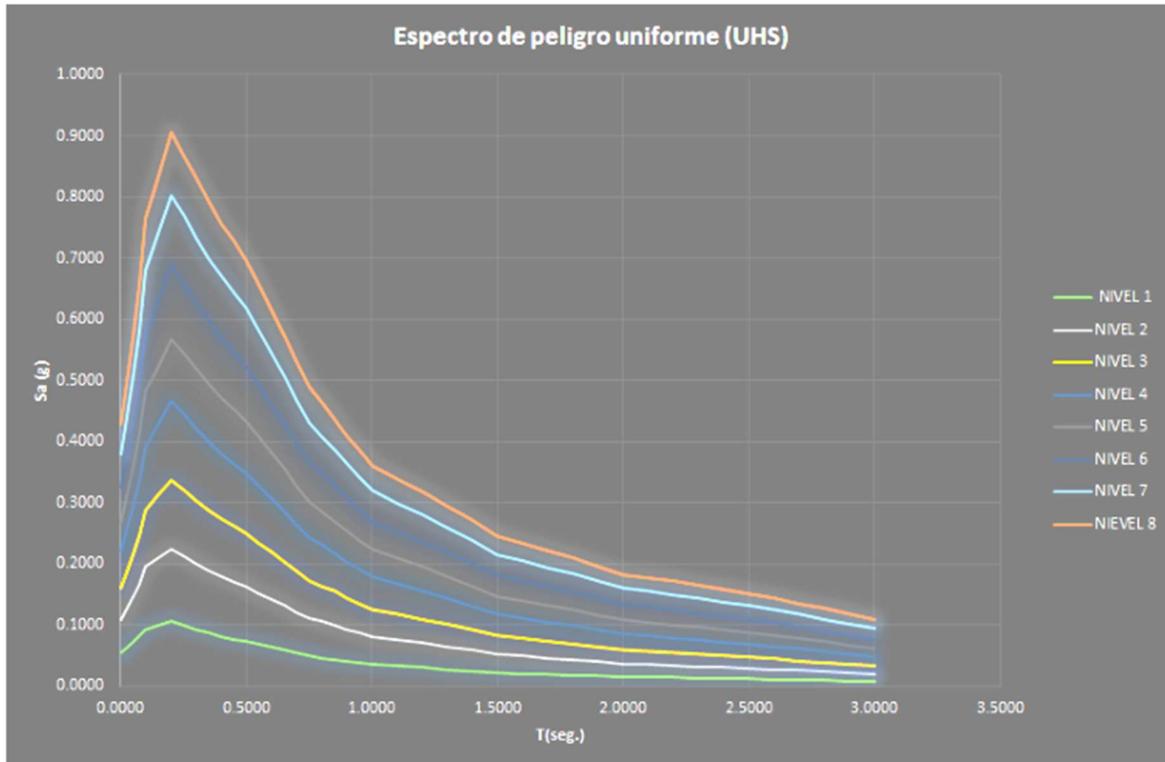
Vector de los periodos de retorno por cada nivel de intensidad sísmica

$$PGA := \begin{bmatrix} 0.0539 \\ 0.1099 \\ 0.1618 \\ 0.2211 \\ 0.2692 \\ 0.3249 \\ 0.3790 \\ 0.4278 \end{bmatrix} \cdot g$$

Vector de las aceleraciones en el suelo o PGA, por cada nivel de intensidad sísmica

Figura 144

Espectro de peligro uniforme (UHS), para un amortiguamiento del 5%, para cada nivel de intensidad sísmica



Se ha determinado los espectros objetivos, por cada nivel de intensidad sísmica, para que los registros o señales sísmicas sean compatibles a estos espectros, proceso denominado "espectrocompatible".

Tabla 26

Registros sísmicos seleccionados, corregidos y acortados para su espectro compatibilización

Registro Sísmico	Pga (g.)	Duración (Seg.)	Fuente
EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.18	197.64	CISMID
NS_6.4mb_LIMA_10_1966	0.27	197.64	CISMID
EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.11	45.08	CISMID
NS_6.6mb_LIMA_05_1970	0.1	45.08	CISMID
EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.19	97.96	CISMID
NS_6.6mb_LIMA_10_1974	0.18	97.96	CISMID

TABLA 27

Niveles de intensidad sísmica

Nivel Int. Sism.	Sa (g)	PGA (g)	P(X>Z)	TR (años)
I1	0.104	0.054	0.12100	8
I2	0.211	0.11	0.02400	42
I3	0.319	0.162	0.00800	125
I4	0.426	0.221	0.00300	333
I5	0.534	0.269	0.00150	667
I6	0.641	0.325	0.00077	1299
I7	0.749	0.379	0.00042	2381
I8	0.856	0.428	0.00026	3846

Nota: Aceleración espectral, PGA, probabilidad anual de excedencia y periodo de retorno para los niveles de peligros sísmico.

3.9 Consideraciones Éticas

El presente estudio es de impacto social positivo, debido a que el estudio se ha realizado con una misión y visión con propósito, generando confianza a las personas que concurren a la institución en estudio, de que la estructura es segura ante un evento sísmico considerable.

De igual manera, el estudio cuenta con el aporte y validez científica, debido a que para el estudio fue utilizado métodos y normativas estandarizadas y validadas, generando credibilidad.

Como también, el estudio tiene un impacto económico positivo, pues al determinar la estabilidad y buen comportamiento de la estructura de la edificación, no será necesario un presupuesto económico adicional para una intervención ni reforzamiento, hasta el cumplimiento de su vida útil tras una nueva reevaluación.

El estudio aporta al conocimiento científico de la ingeniería civil, debido a que el estudio cuenta con el modelo y la forma de aplicación de un análisis estructural profundo, sometida a todos los niveles de análisis a la que una estructura tipo como el del estudio, se le puede realizar; aportando como base y guía en caso de que este estudio se replique en otro universo y muestra con características similares al estudio.

Para la presente investigación se ha tenido en cuenta los principios fundamentales de honestidad, responsabilidad, respeto, justicia (Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú, cap. III art. 15) y los principios éticos de Responsabilidad, rigor científico y veracidad, honestidad, justicia, privacidad y confidencialidad (código de ética para la investigación, Universidad Nacional Hermilio Valdizan, cap. II, art 6)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Resultados de la Investigación y Validación de la Hipótesis

Resultados del análisis lineal estructural y sismo resistente

Figura 145

Factor de participación modal de las masas

TABLE: Modal Participating Mass Ratios										
Case	Mode	Period	UX	UX	UY	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
		sec		%		%				
Modal	1	0.217	0.8314	83.14	1.227E-06	0.0001227	0	0.8314	1.227E-06	0
Modal	2	0.113	0.0001	0.01	0.6971	69.71	0	0.8315	0.6971	0
Modal	3	0.091	0.0046	0.46	0.1172	11.72	0	0.8361	0.8143	0
Modal	4	0.083	0.1635	16.35	0.0013	0.13	0	0.9996	0.8157	0
Modal	5	0.046	0.00004473	0.004473	0.1447	14.47	0	0.9996	0.9604	0
Modal	6	0.036	0.00003352	0.003352	0.0393	3.93	0	0.9996	0.9997	0

Nota: UX, y UY direcciones de análisis. La estructura tiene una participación de la masa de más del 90% en las direcciones de análisis (según la N.T.P.E.030), en el modo de vibración 5. El movimiento en sus direcciones principales de análisis son traslacionales, con un 83% en la dirección UX y 70% en la dirección UY.

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 28

Derivas de la estructura en sus direcciones principales XX e YY

Nivel	Deriva	Deriva	Deriva	Deriva	Deriva	Deriva
	Elástico YY	inelástico YY	admisible YY	Elástico XX	inelástico XX	admisible XX
	Albañilería	Albañilería	Albañilería	Concreto Armado	Concreto Armado	Concreto Armado
Nivel 2	0.001	0.002	0.005	0.001	0.004	0.007
Nivel 1	0.001	0.001	0.005	0.000	0.002	0.007

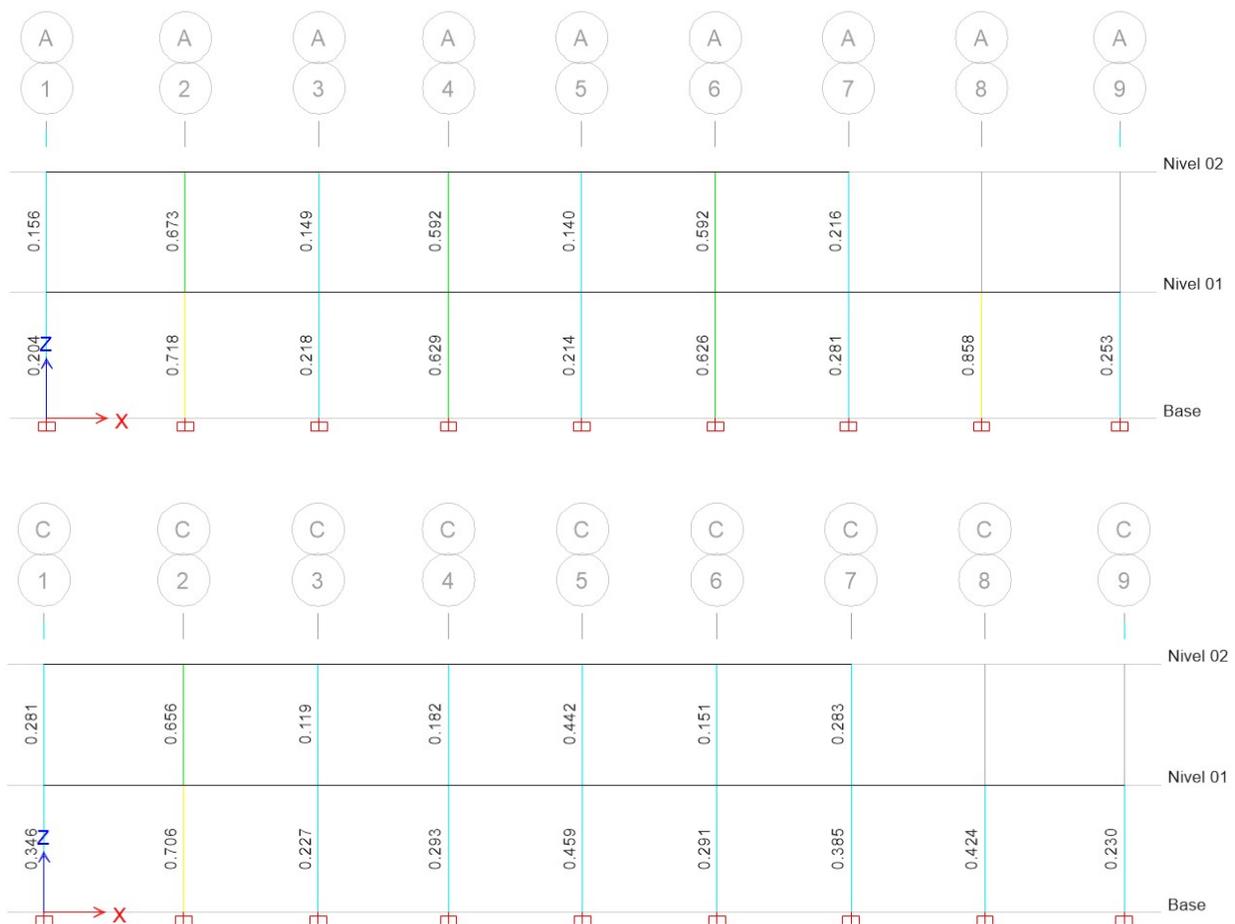
Los desplazamientos relativos o derivas de la estructura frente a una aceleración espectral correspondiente (sismo), se encuentran aceptables y dentro de los límites admisibles para la estructura, según la Norma Técnica Peruana E.030.

Revisión del Modelo para un sistema de Pórticos y de Albañilería Confinada

Revisión de las columnas a flexocompresión según la norma e060, SMF

Figura 146

Relación demanda/capacidad de las columnas



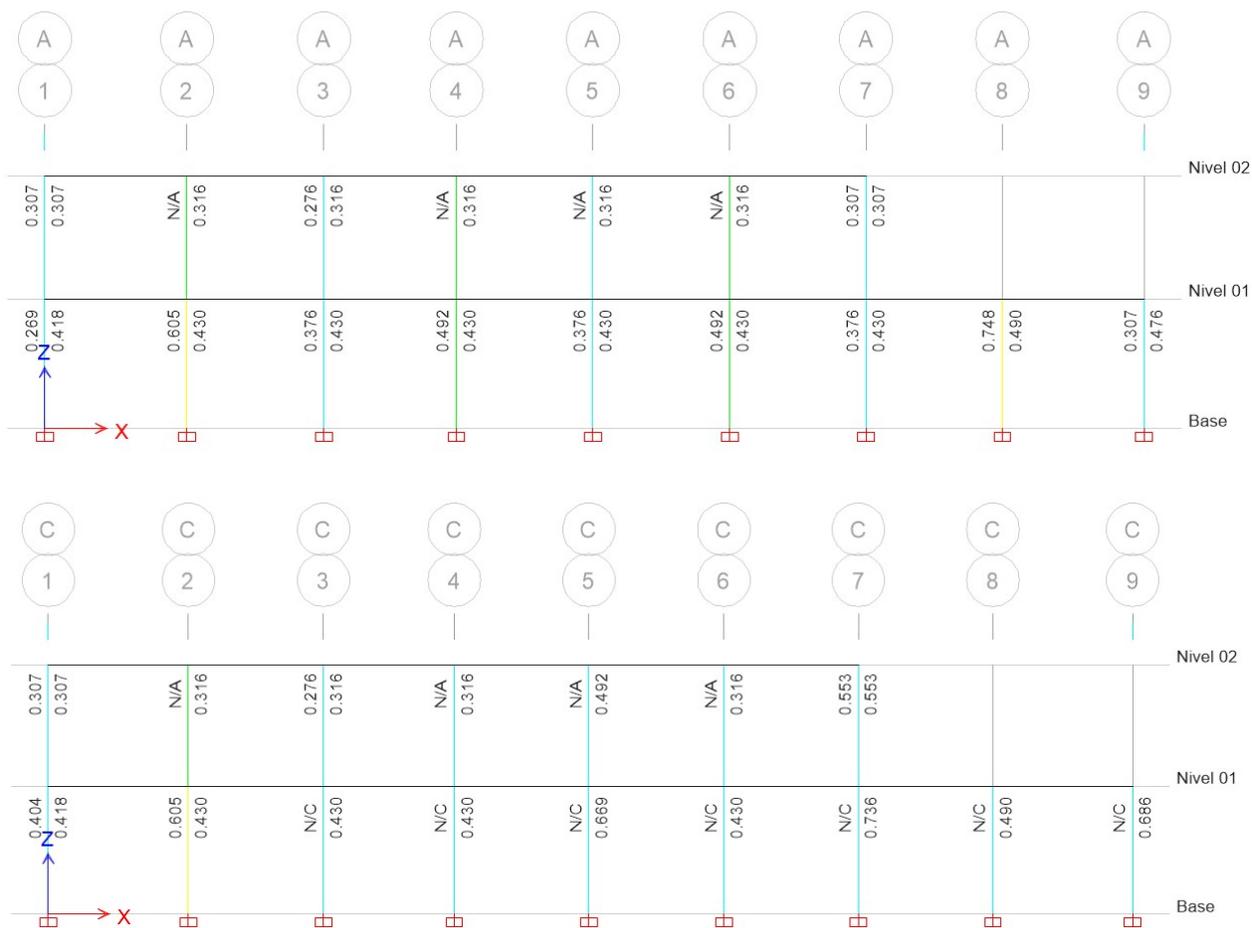
Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Para la relación demanda/capacidad de las columnas, la columna más crítica (eje A8) trabaja un 86%, conforme a las combinaciones descritas en la norma E060.

Capacidad del nodo Viga - Columna, SMF

Figura 147

Relación demanda/capacidad de los nodos viga-columna



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

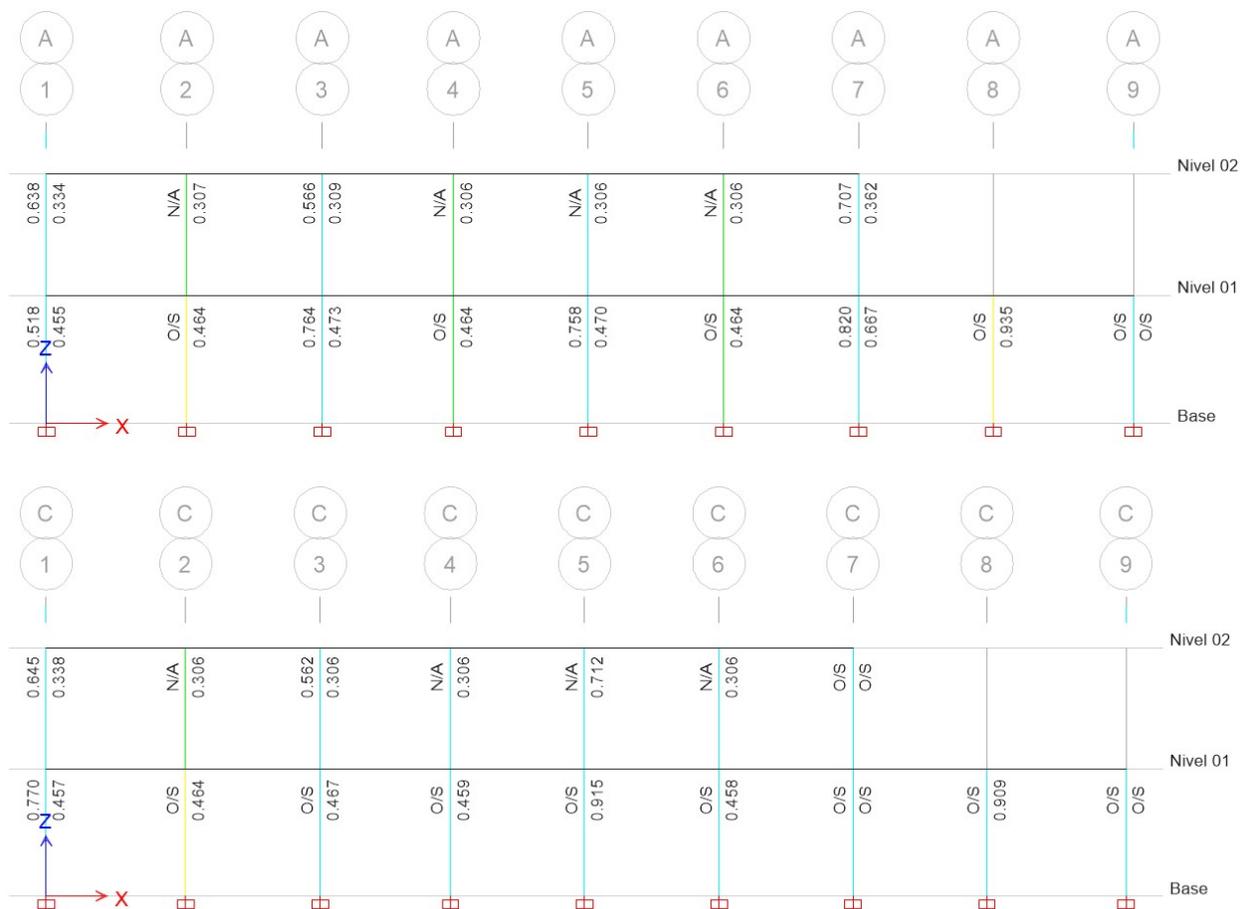
Para la revisión de la relación demanda/capacidad de los nodos de la estructura, se evidencia la falla de algunos nodos en el eje transversal (donde prevalece el sistema estructura de albañilería confinada), donde la demanda por corte en la junta es mayor a su capacidad, debido a

una poca área de corte en el sentido transversal, el cual se desfasa de la norma E060, en sus disposiciones especiales para el diseño sísmico, sin embargo, como en aquella dirección prevalece el sistema estructural de albañilería confinada, estos pórticos se consideran elementos secundarios; y para el sistema longitudinal, el nodo más crítico (eje A8 y C7) trabajan en un 74% de su capacidad, conforme a las combinaciones descritos en la norma E060.

Formación del mecanismo columna fuerte - viga débil, SMF

Figura 148

Relación de la capacidad viga/columna



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Para el sistema estructural correspondiente de análisis, se evidencia la formación de mecanismo columna débil y viga fuerte en algunos pórticos paralelos al eje transversal, la relación es mayor a 1.20, donde la viga es más resistente y primero fallará las columnas, mecanismo no deseable y no concuerda con la norma E060, en sus disposiciones especiales para el diseño sísmico, sin embargo en aquella dirección, prevalece el sistema estructural de albañilería confinada, y estos pórticos se consideran elementos secundarios, con participación sísmica reducida; de igual manera la formación de éste mecanismo (columna débil y viga fuerte) se evidencia en algunas componentes en la dirección de análisis longitudinal (sistema de pórticos), sin embargo, ello lo validaremos con los análisis no lineales.

Revisión por corte del sistema de albañilería confinada

Tabla 29

Revisión a corte de los muros de albañilería confinada

Tabla de revisión de muros de albañilería						
Muro de albañilería	Corte			Corte capacidad sismo severo	Corte demanda sismo severo	condición
	Corte capacidad sismo moderado	Corte demanda sismo moderado	condición			
Unidades	kgf	kgf		kgf	kgf	
Muro pórtico 1-1	33401.63	14451.17	no fisurado	60730.24	28902.33	resistente
Muro pórtico 3-3	33794.50	11540.50	no fisurado	61444.55	23081.00	resistente
Muro pórtico 5-5	33035.97	8998.76	no fisurado	60065.40	17997.53	resistente
Muro pórtico 7-7	33850.33	7874.50	no fisurado	61546.05	15749.01	resistente
Muro pórtico 9-9	32649.59	8371.48	no fisurado	59362.89	16742.96	resistente

Se muestra el comportamiento de los componentes de albañilerías, se evidencia que los muros para un sismo moderado y de diseño, correspondiente a un análisis lineal, no se fisuran y tienen una condición resistente, cuyos cálculos lineales se realizaron en base a la N.T.P. E.070.

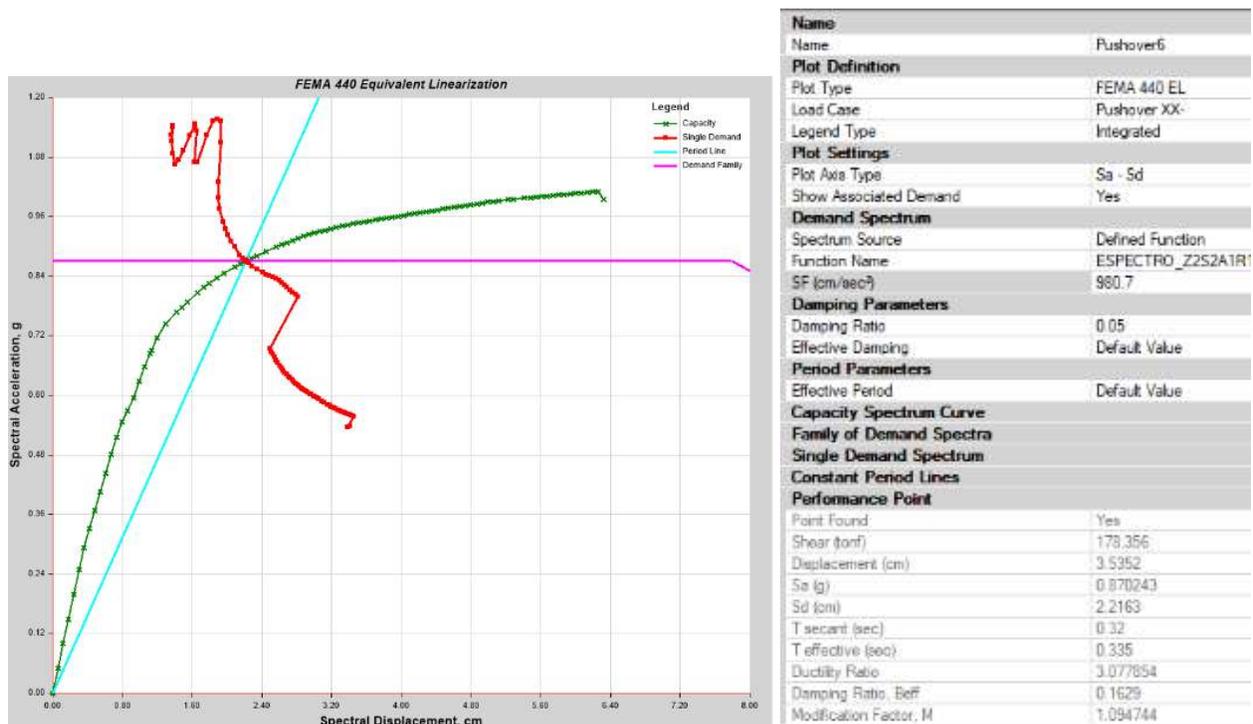
Resultados del análisis Estático No Lineal – Pushover

Evaluación del desempeño de la estructura

Punto de desempeño por el método espectro de capacidad, FEMA 440

Figura 149

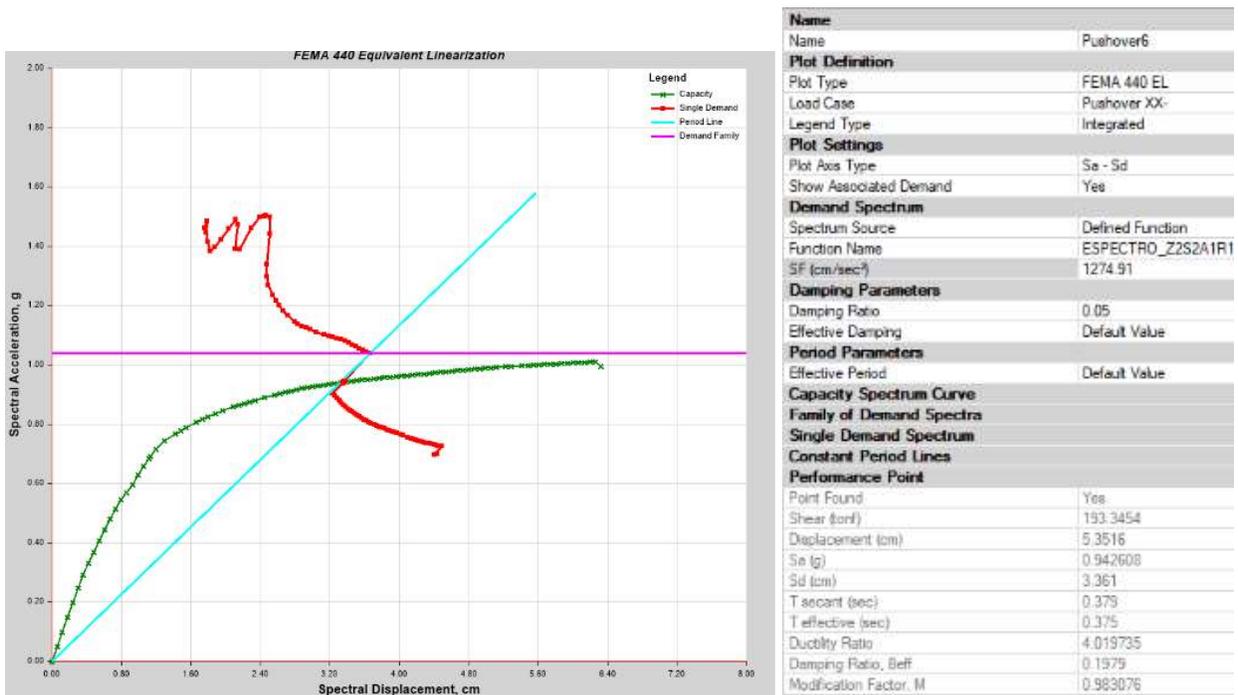
Punto de desempeño, mediante el método de espectro de capacidad FEMA 440, para el sistema estructural de pórtico y un sismo de diseño



Nota: El desplazamiento de la estructura es de 3.54cm. Curva de capacidad (verde), curva de periodo secante (celeste), curva de posible soluciones MADRS (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 150

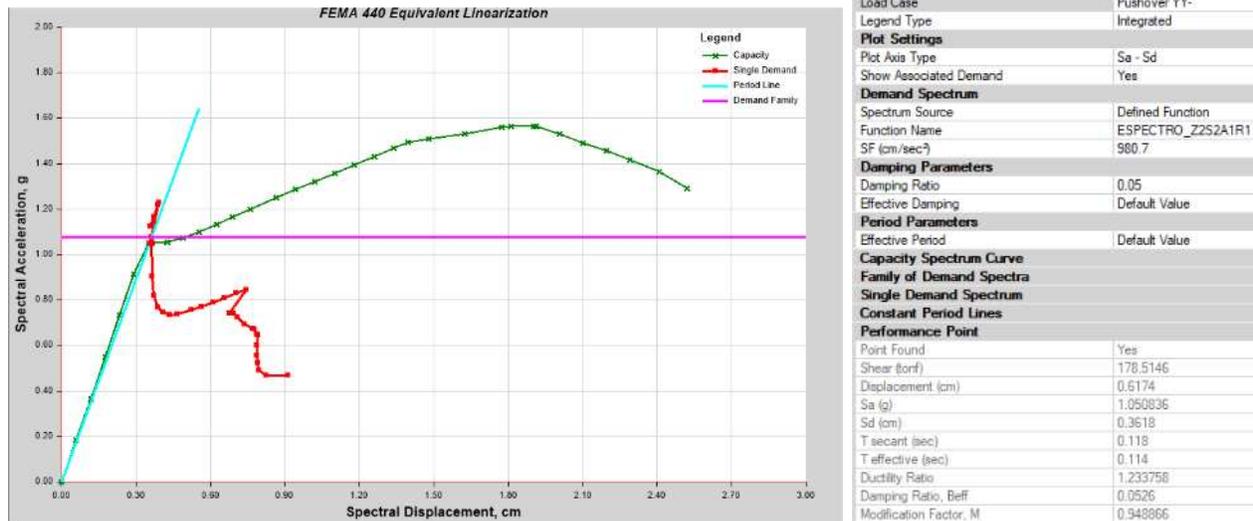
Punto de desempeño, mediante el método de espectro de capacidad FEMA 440, para el sistema estructural de pórtico y un sismo máximo



Nota: El desplazamiento de la estructura es de 5.35cm. Curva de capacidad (verde), curva de periodo secante (celeste), curva de posible soluciones MADRS (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 151

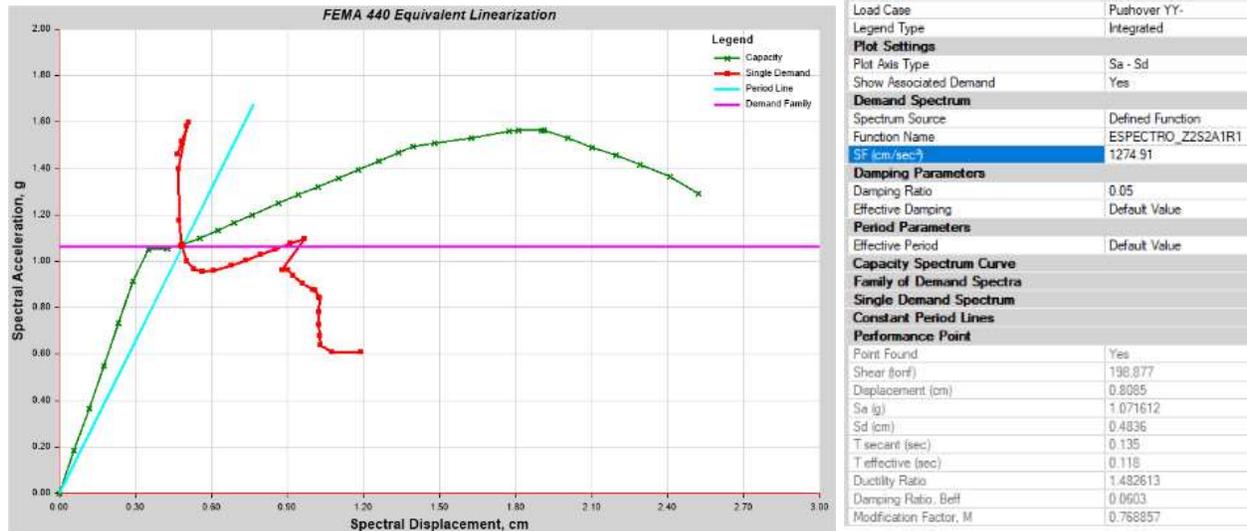
Punto de desempeño, mediante el método de espectro de capacidad FEMA 440, para el sistema estructural de albañilería confinada y un sismo de diseño



Nota: El desplazamiento de la estructura es de 0.62cm. Curva de capacidad (verde), curva de periodo secante (celeste), curva de posible soluciones MADRS (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 152

Punto de desempeño, mediante el método de espectro de capacidad FEMA 440, para el sistema estructural de albañilería confinada y un sismo máximo

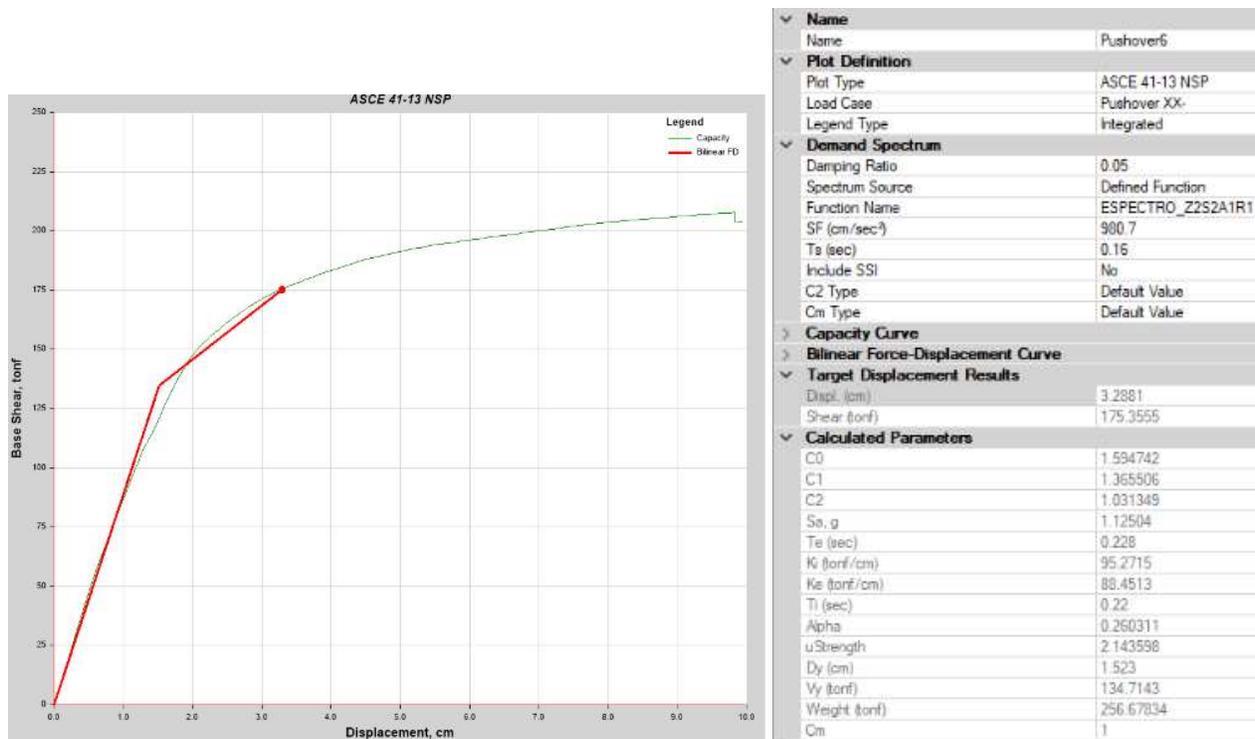


Nota: El desplazamiento de la estructura es de 0.81cm. Curva de capacidad (verde), curva de periodo secante (celeste), curva de posible soluciones MADRS (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Punto de desempeño por el método de los coeficientes, ASCE 41-17

Figura 153

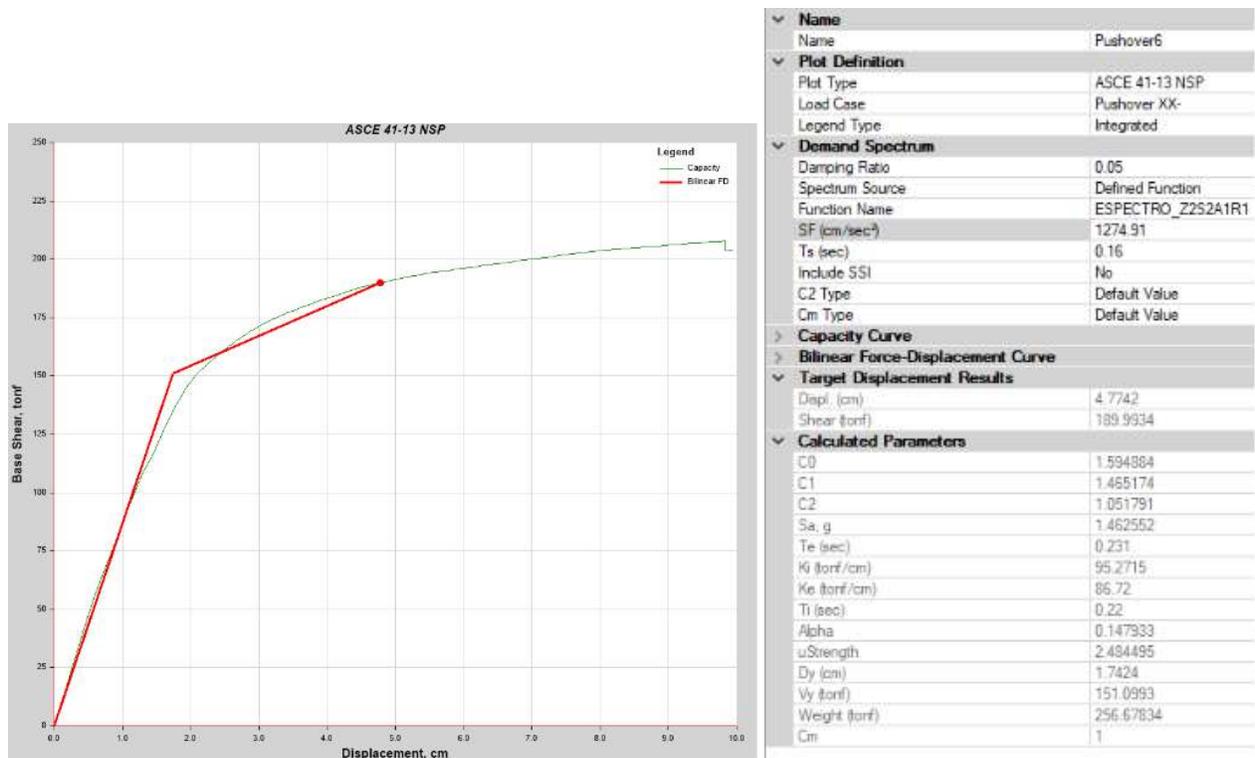
Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de pórtico y un sismo de diseño



Nota: El desplazamiento de la estructura es de 3.29cm. Curva de capacidad (verde), curva bilineal equivalente (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 154

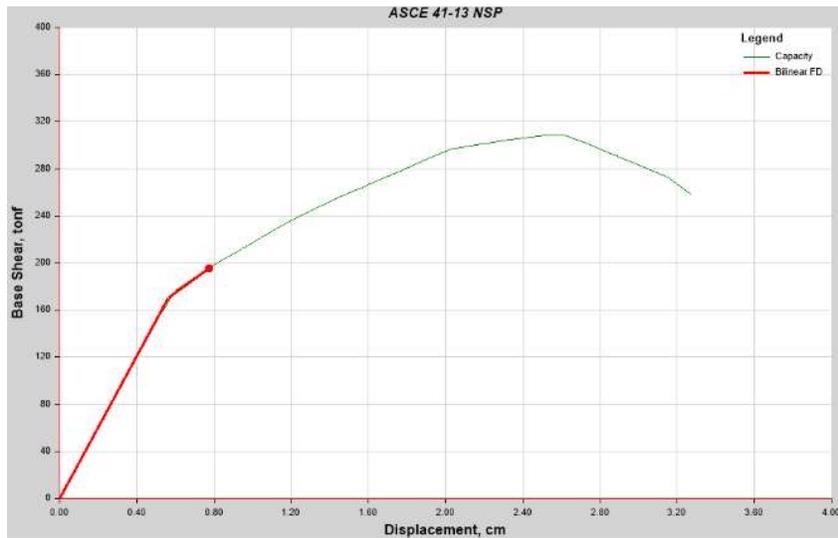
Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de pórtico y un sismo máximo



Nota: El desplazamiento de la estructura es de 4.77cm. Curva de capacidad (verde), curva bilineal equivalente (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 155

Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de albañilería confinada y un sismo de diseño

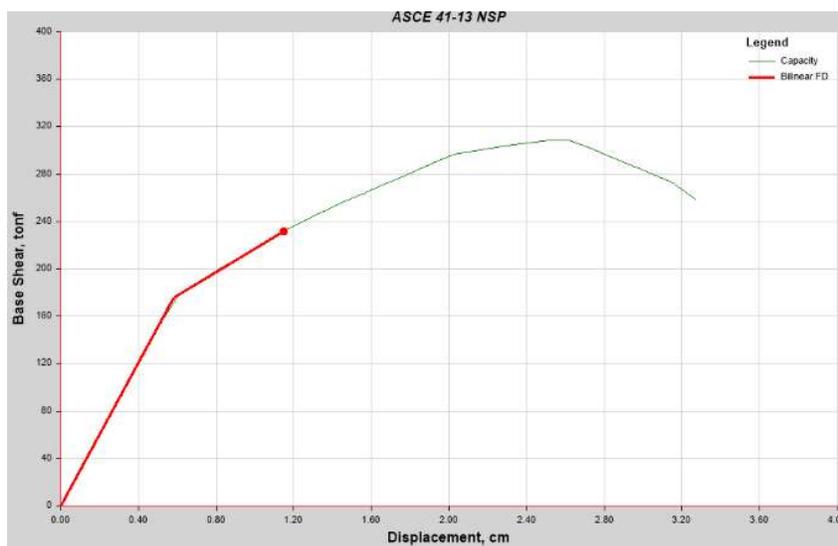


Name	
Name	Pushover1
Plot Definition	
Plot Type	ASCE 41-13 NSP
Load Case	Pushover YY-
Legend Type	Integrated
Demand Spectrum	
Damping Ratio	0.05
Spectrum Source	Defined Function
Function Name	ESPECTRO_Z2S2A1R1
SF (cm/sec ²)	980.7
Ts (sec)	0.16
Include SSI	No
C2 Type	Default Value
Cm Type	Default Value
Capacity Curve	
Bilinear Force-Displacement Curve	
Target Displacement Results	
Displ. (cm)	0.7739
Shear (tonf)	195.284
Calculated Parameters	
C0	1.678116
C1	1.23756
C2	1.031656
Sa, g	1.12504
Te (sec)	0.113
Ki (tonf/cm)	302.28
Ke (tonf/cm)	302.28
Ti (sec)	0.113
Alpha	0.389268
uStrength	1.570144
Dy (cm)	0.5646
Vy (tonf)	170.6584
Weight (tonf)	238.17657
Cm	1

Nota: El desplazamiento de la estructura es de 0.77cm. Curva de capacidad (verde), curva bilineal equivalente (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 156

Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de albañilería confinada y un sismo máximo



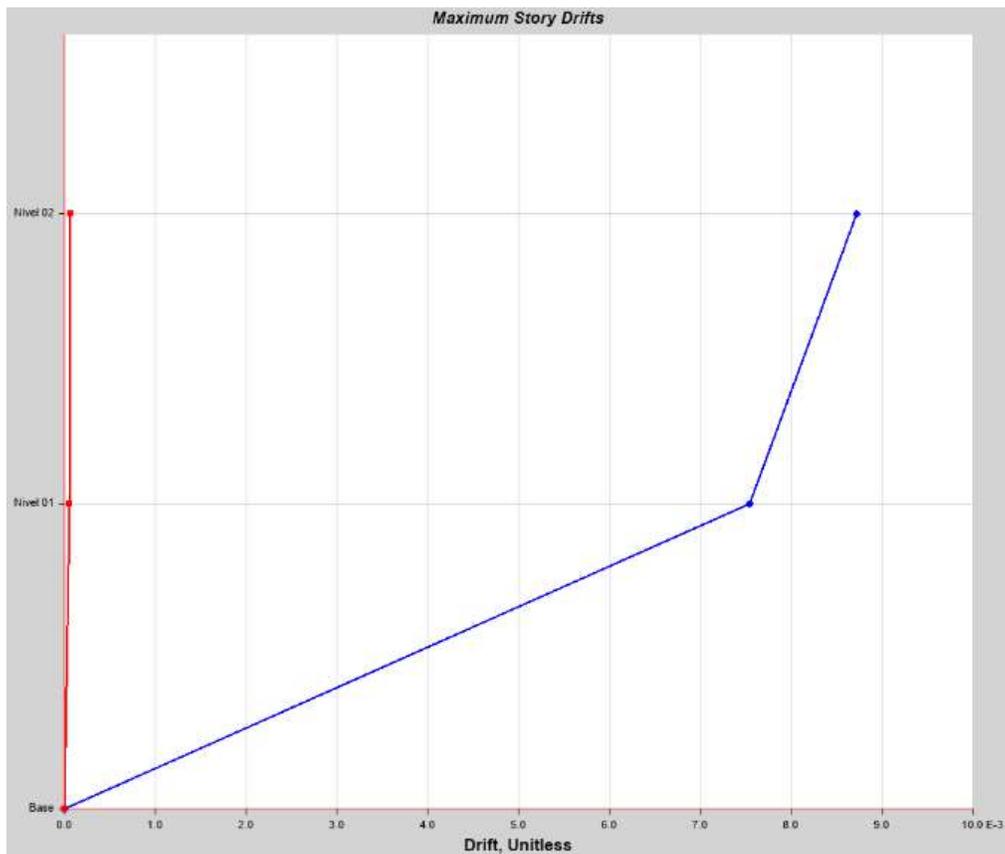
Name	
Name	Pushover1
Plot Definition	
Plot Type	ASCE 41-13 NSP
Load Case	Pushover YY-
Legend Type	Integrated
Demand Spectrum	
Damping Ratio	0.05
Spectrum Source	Defined Function
Function Name	ESPECTRO_Z2S2A1R1
SF (cm/sec ²)	1274.91
Ts (sec)	0.16
Include SSI	No
C2 Type	Default Value
Cm Type	Default Value
Capacity Curve	
Bilinear Force-Displacement Curve	
Target Displacement Results	
Displ. (cm)	1.1486
Shear (tonf)	231.5389
Calculated Parameters	
C0	1.613025
C1	1.409661
C2	1.094136
Sa, g	1.462552
Te (sec)	0.113
Ki (tonf/cm)	302.28
Ke (tonf/cm)	302.28
Ti (sec)	0.113
Alpha	0.325799
uStrength	1.983186
Dy (cm)	0.5811
Vy (tonf)	175.6495
Weight (tonf)	238.17657
Cm	1

Nota: El desplazamiento de la estructura es de 1.15cm. Curva de capacidad (verde), curva bilineal equivalente (rojo). Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Determinación de la distorsión de piso en el objetivo de desempeño, para un sismo de amenaza máxima

Figura 157

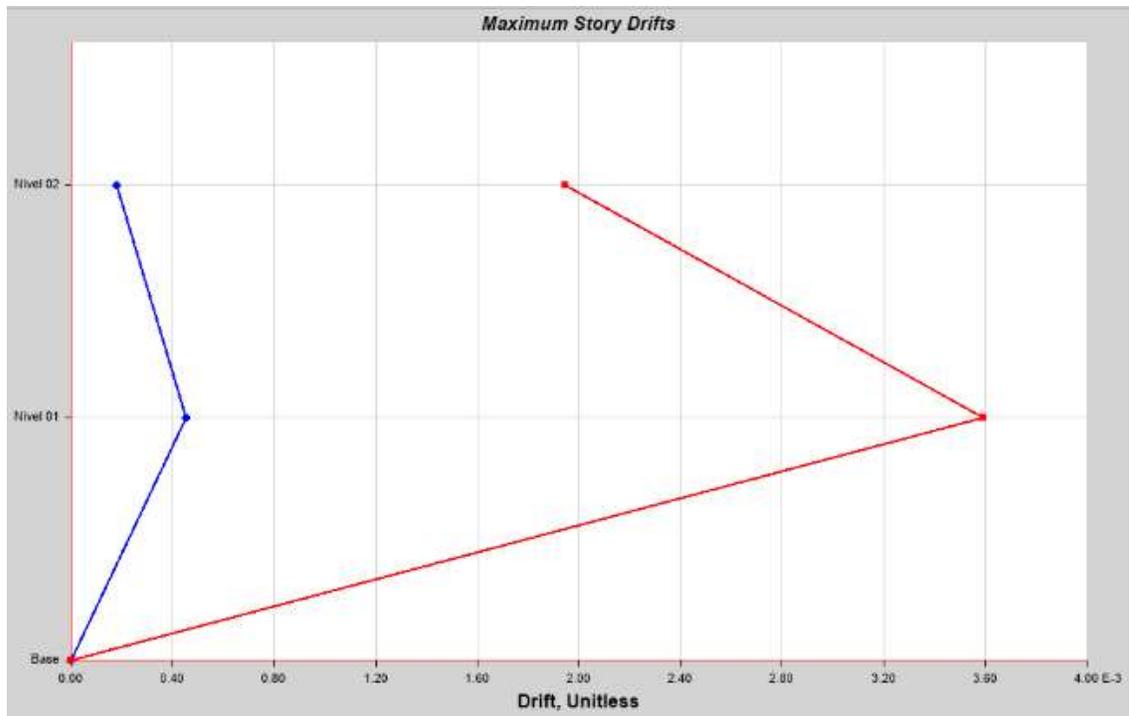
Distorsión de entrepiso, sistema estructural de pórtico, para un sismo máximo



Nota: La deriva de entrepiso analizado es para el paso 45 donde se alcanza un desplazamiento de 4.80cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 158

Distorsión de entrepiso, sistema estructural de albañilería confinada, para un sismo máximo



Nota: La deriva de entrepiso analizado es para el paso 12 donde se alcanza un desplazamiento de 1.15cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Verificación del desempeño mediante las normativas ATC 40 y FEMA 440, para un sismo máximo

Tabla 30

Desempeño sísmico estructural en función a la máxima deriva total

Sistema estructural	Pórtico	Albañilería confinada
Desplazamiento Total (cm)	4.77	1.15
Altura del punto de control (cm)	615.00	615.00
Deriva total	0.008	0.0019
Nivel de desempeño	Inmediata Ocupación	Inmediata Ocupación

Nota: Deriva= Desplazamiento Total/ Altura del punto de control

Tabla 31

Desempeño sísmico estructural en función a la máxima deriva inelástica

Sistema estructural	Pórtico	Albañilería confinada
Desplazamiento Total (cm)	4.77	1.15
Altura del punto de control (cm)	615.00	615.00
Desplazamiento Elástico (cm)	1.74	0.58
Desplazamiento Inelástico (cm)	3.03	0.57
Deriva inelástica	0.0049	0.0009
Nivel de desempeño	Inmediata Ocupación	Inmediata Ocupación

Nota: Deriva= Desplazamiento Total/ Altura del punto de control, Desplazamiento Inelástico=

Desplazamiento Total - Desplazamiento Elástico

Tabla 32

Degradación de la rigidez de la estructura para el sistema de pórtico

Rigidez inicial (kgf/cm)	Rigidez efectiva (kgf/cm)	Tasa de degradación
95271.5	86720.0	8.976%
Sistema lateral resistente		

Nota: Tasa de degradación= 1-(Rigidez efectiva/ Rigidez inicial), Degradación permisible=20%

Estimación del daño de la estructura bajo el manual técnico, HAZUZ 1999, para un sismo máximo

Tabla 33

Daño global de la estructura, según HAZUZ 99, para un nivel sísmico moderado

Tipo de estructura según HAZUZ	Deriva de entrecaposo	Altura de punto de control (pulgadas)	Daño estructural
CIL – Pórtico	0.0076	242	Seguridad de vida
URML – Albañilería confinada	0.0036	242	Seguridad de vida

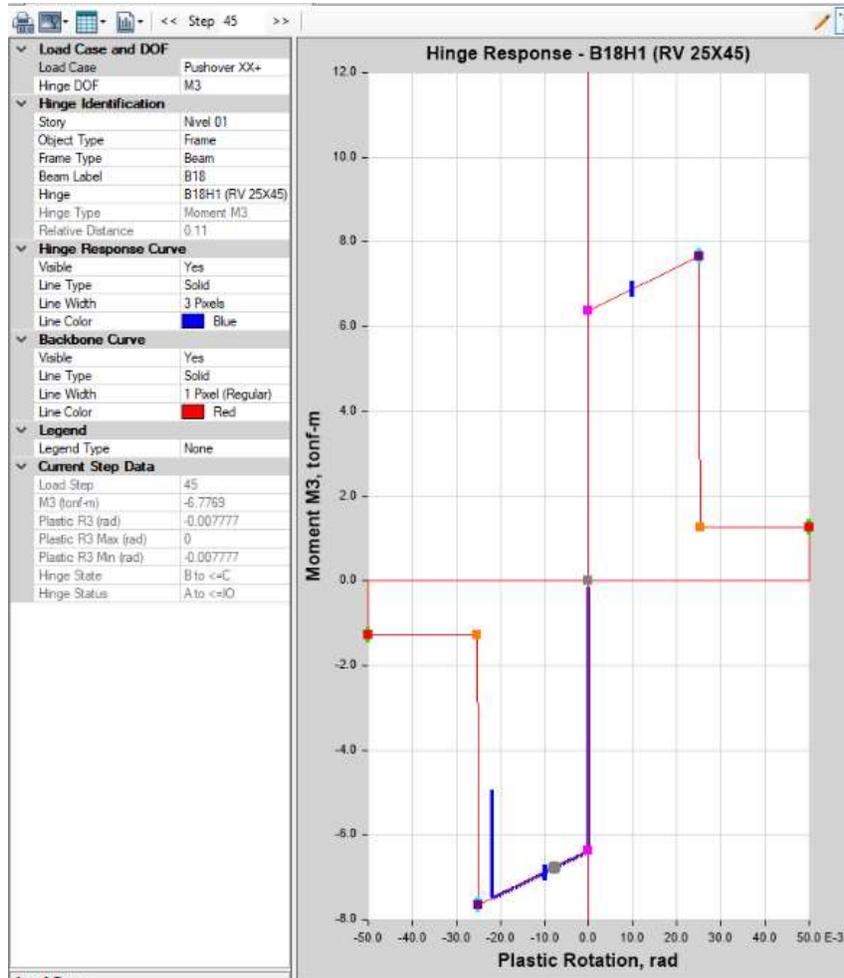
Nota: Las derivas consideradas son las de entrecaposos para un sismo de diseño máximo (fig.157-158)

Evaluación del desempeño de los componentes críticos estructurales

Formación de rótulas plásticas y Evaluación del desempeño para vigas

Figura 159

Formación de rótula plástica, del componente primario viga (25x45 cm) crítica del primer nivel

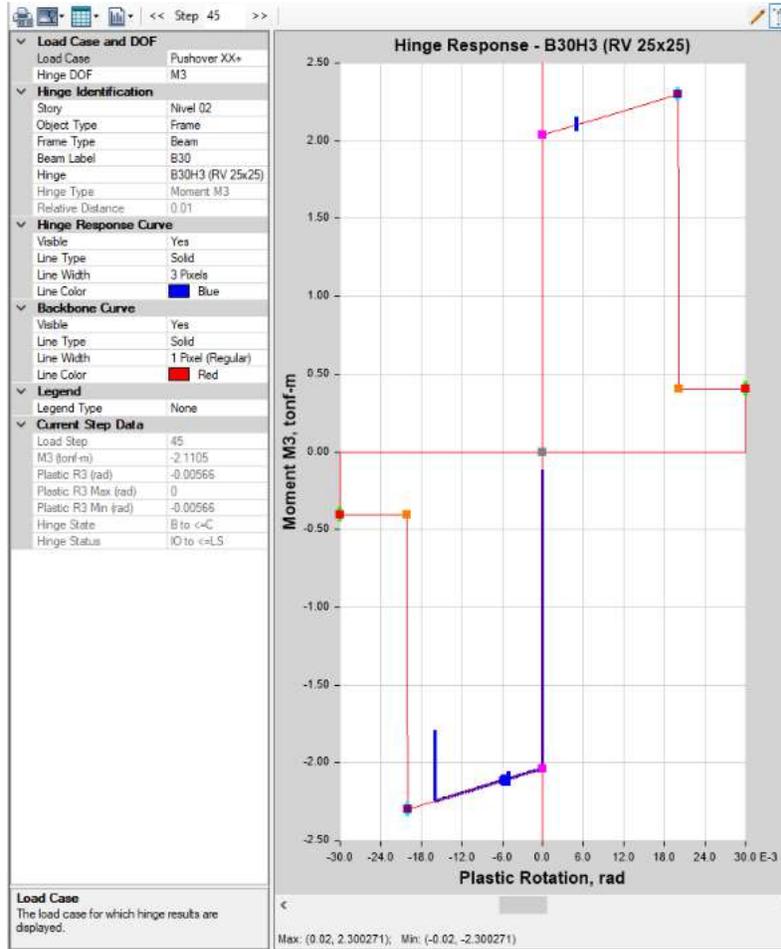


Nota: La rotación plástica del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de

$\theta_p = 0.0078 \text{ rad}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 160

Formación de rótula plástica, del componente primario viga (25x25cm) crítica del segundo nivel



Nota: La rotación plástica del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $\theta_p=0.0057\text{rad}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 34*Evaluación del desempeño para la componente viga*

Componente primario	Criterio de Aceptación				Rotación plástica (rad)	Nivel de desempeño
	$\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}$ condición por cuantía	Condición por reforzamiento transversal	V-Corte AENL en el paso de desempeño	$\frac{v}{b*d*\sqrt{f'c}}$ condición por corte		
Viga 25x45cm N1	0	C	8.01ton	2.085	0.0078	IO
Viga 25x25cm N2	0	C	1.85ton	0.963	0.0057	IO

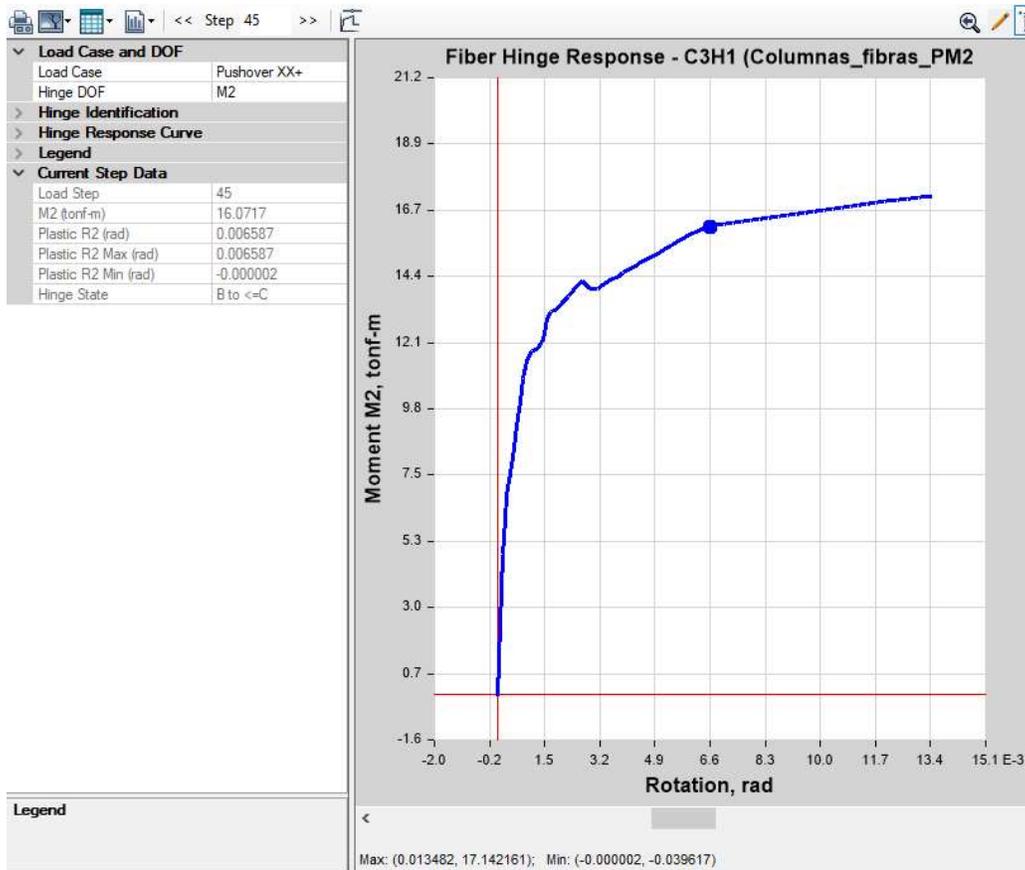
Nota: ρ (cuantía tracción), ρ' (cuantía compresión), ρ_b (cuantía balanceada), b (base de la sección), d (altura efectiva de la sección), $f'c$ (resistencia a compresión del elemento), IO (ocupación inmediata)

El componente viga se conserva para tal amenaza en un nivel de desempeño de seguridad de vida y ocupación inmediata, según la norma ASCE 41-17 para las vigas (figura 56), evidenciándose un daño leve porque supera la zona elástica.

Formación de rótulas distribuidas (fibras) y Evaluación del desempeño para columnas

Figura 161

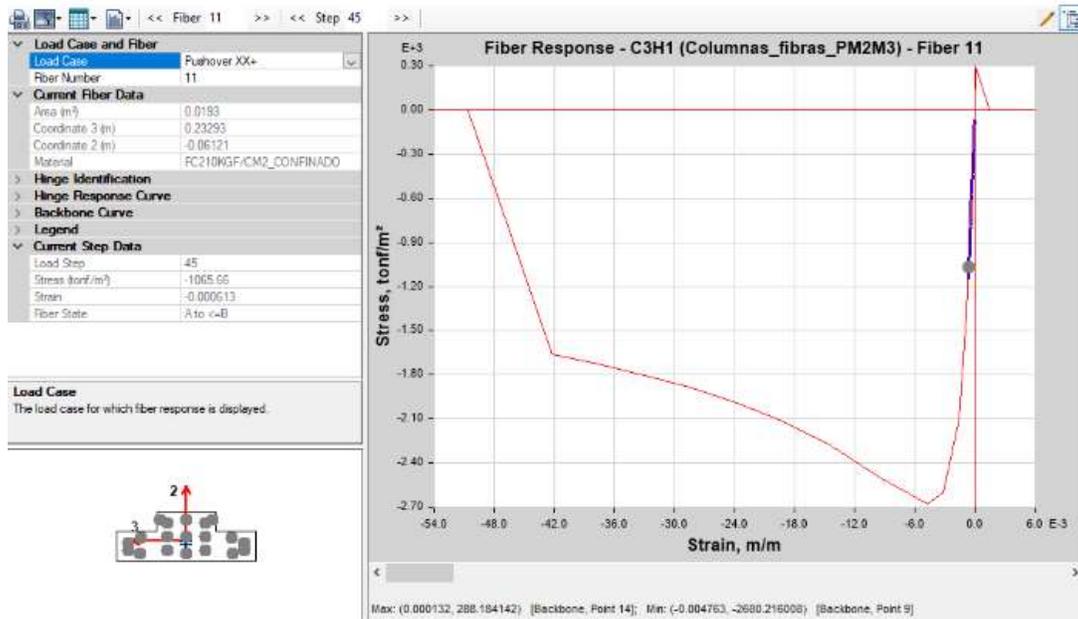
Curva Momento – Rotación, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del primer nivel



Nota: La rotación plástica del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $\theta_p=0.0066\text{rad}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 162

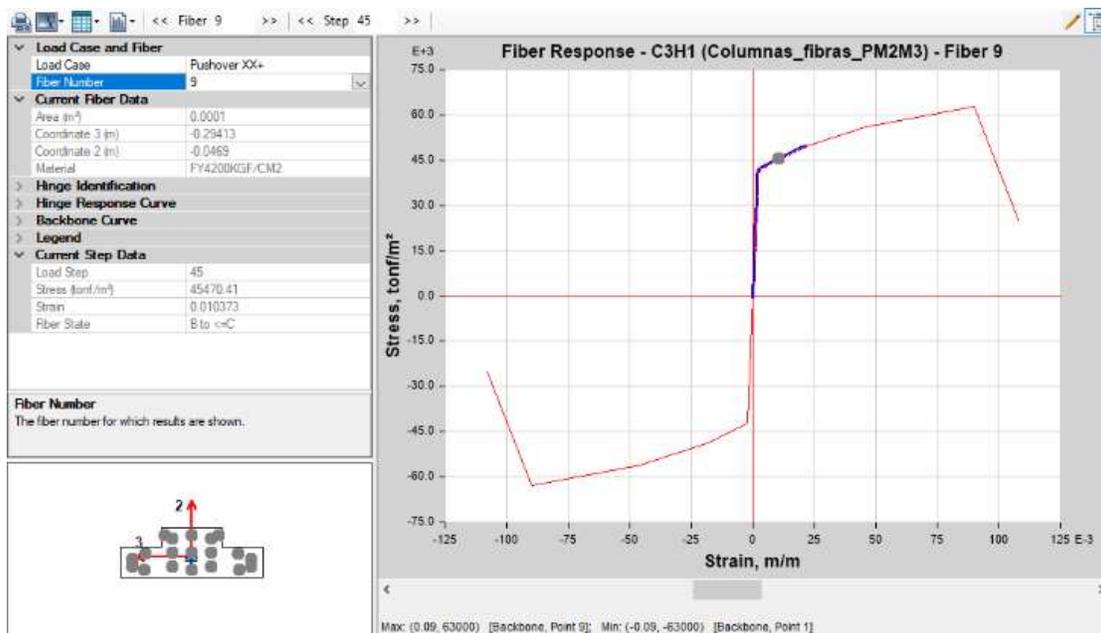
Curva esfuerzo - deformación, de la sección de concreto, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del primer nivel



Nota: Esfuerzo a compresión de $f'c = 106.56 \text{ kgf/cm}^2$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 163

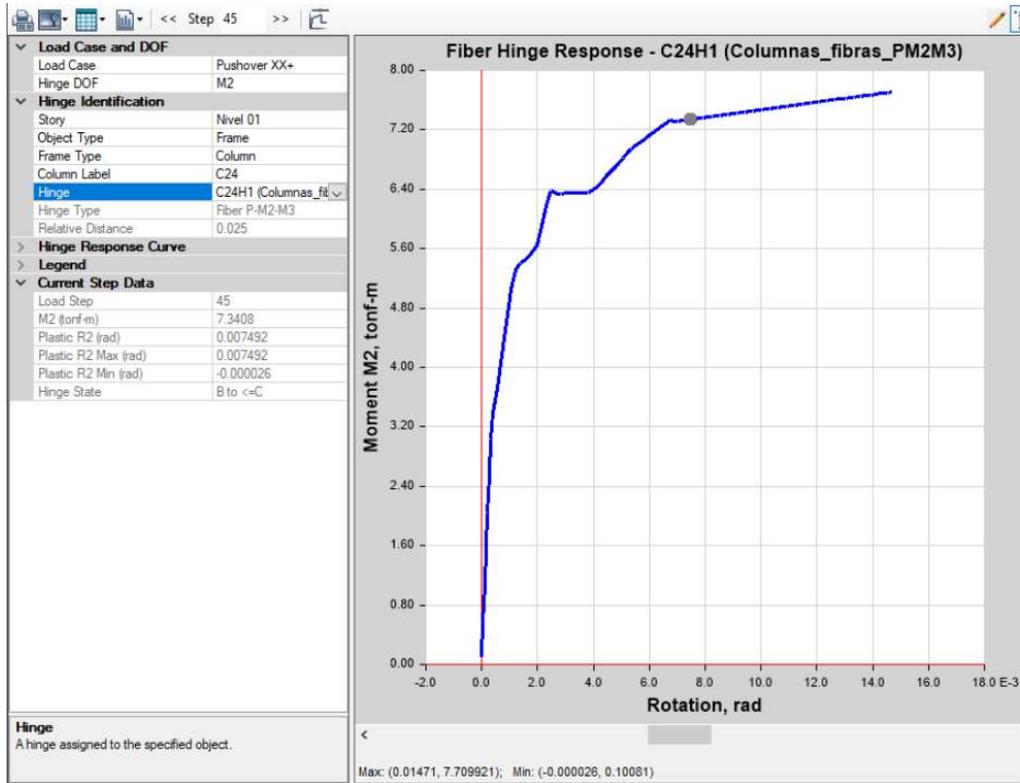
Curva esfuerzo - deformación, del acero de refuerzo, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del primer nivel



Nota: Esfuerzo a tracción de $f_t = 4547.04 \text{ kgf/cm}^2$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 164

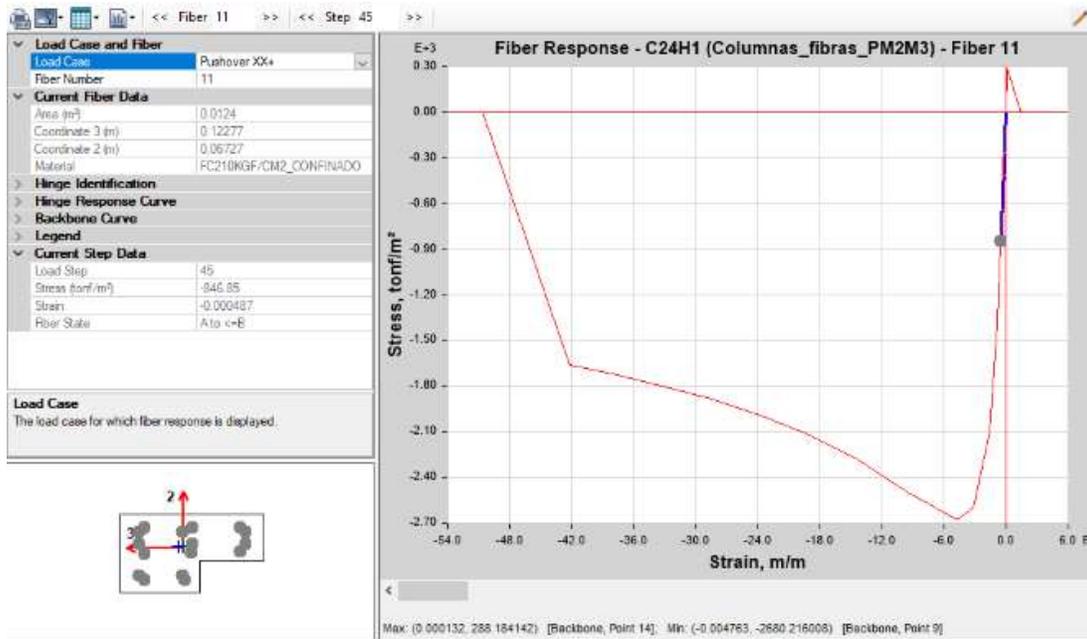
Curva Momento – Rotación, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del segundo nivel



Nota: La rotación plástica del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $\theta_p = 0.0075 \text{ rad}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 165

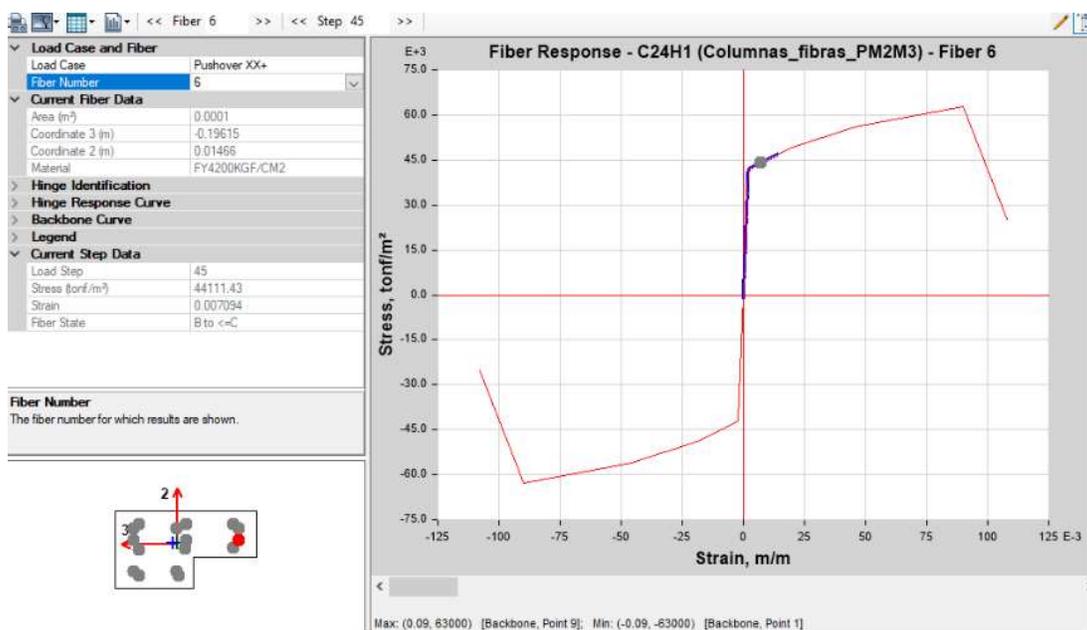
Curva esfuerzo - deformación, de la sección de concreto, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del segundo nivel



Nota: Esfuerzo a compresión de $f'c = 84.68 \text{ kgf/cm}^2$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 166

Curva esfuerzo - deformación, del acero de refuerzo, para la columna más crítica (CT 25x70cm) del segundo nivel



Nota: Esfuerzo a tracción de $f_t = 4411.43 \text{ kgf/cm}^2$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 35

Evaluación del desempeño para la componente columnas

Componente primario	Criterio de Aceptación				Rotación plástica (rad)	Nivel de desempeño
	$\frac{P}{A_g * f'c}$ condición por carga axial	$\frac{A_v}{b_w * S_{estribo}}$ Condición por cuantía	V-Corte AENL en el paso de desempeño	$\frac{v}{b_w * d * \sqrt{f'c}}$ condición por corte		
CT 25x70cm N1	-0.055	0.019	3.84ton	1.025	0.0066	LS
CT 25x70cm N2	-0.008	0.019	0.2ton	0.053	0.0075	LS

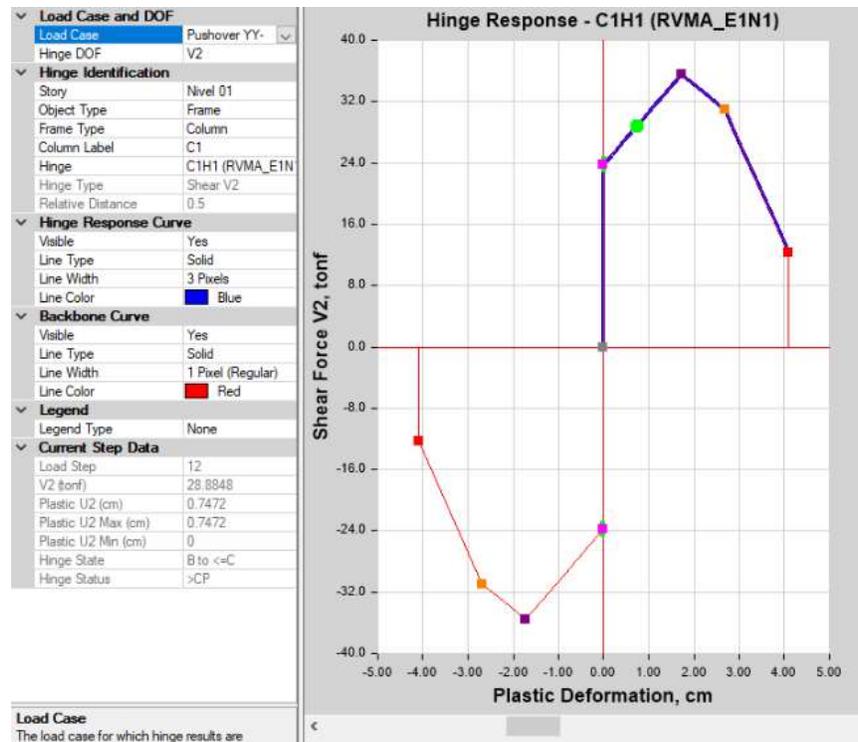
Nota: P (carga de gravedad), A_g (Área gruesa), A_v (Área transversal de estribo), $S_{estribo}$ (separación de estribos), b (base de la sección), d (altura efectiva de la sección), $f'c$ (resistencia a compresión del elemento), LS (seguridad de vida)

El componente columna se conserva para tal amenaza en un nivel de desempeño de seguridad de vida y ocupación inmediata, según la norma ASCE 41-13 para las columnas (figura 57), donde se muestra que para el nivel de amenaza sísmica y el desempeño de la estructura, éste elemento está holgado hacia una falla, el comportamiento es adecuado. Se muestra el comportamiento de la columna en el extremo más comprimido donde el concreto tiene una capacidad adecuada muy lejos de la capacidad máxima y última y el comportamiento del acero más traccionado, donde pasa la cedenca sin fallar.

Formación de rótulas plásticas y Evaluación del desempeño para los muros de albañilería confinada

Figura 167

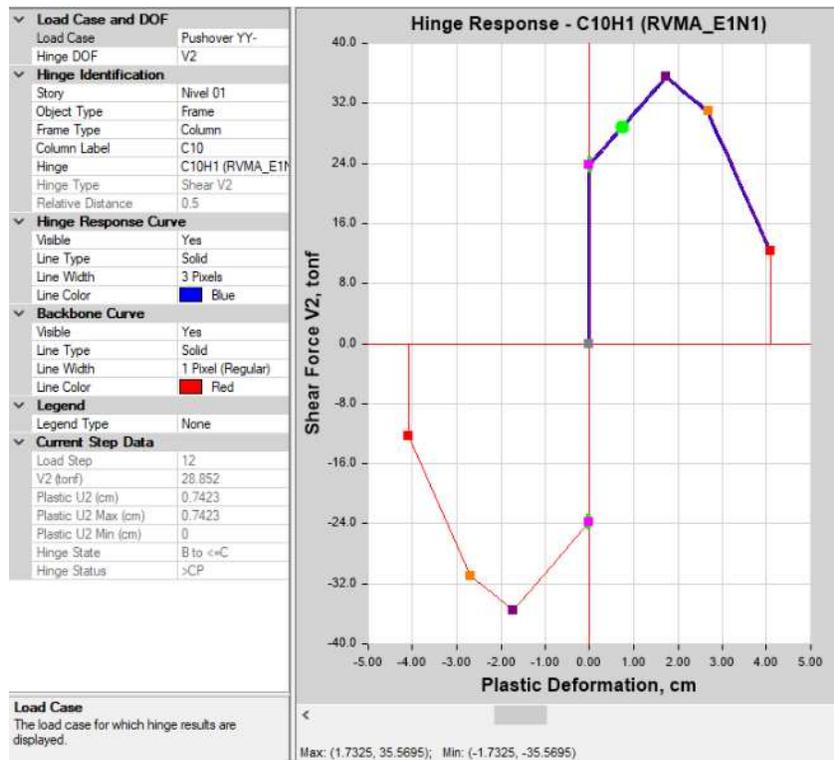
Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 1-1, A-B, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $U_2=0.7472\text{cm}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 168

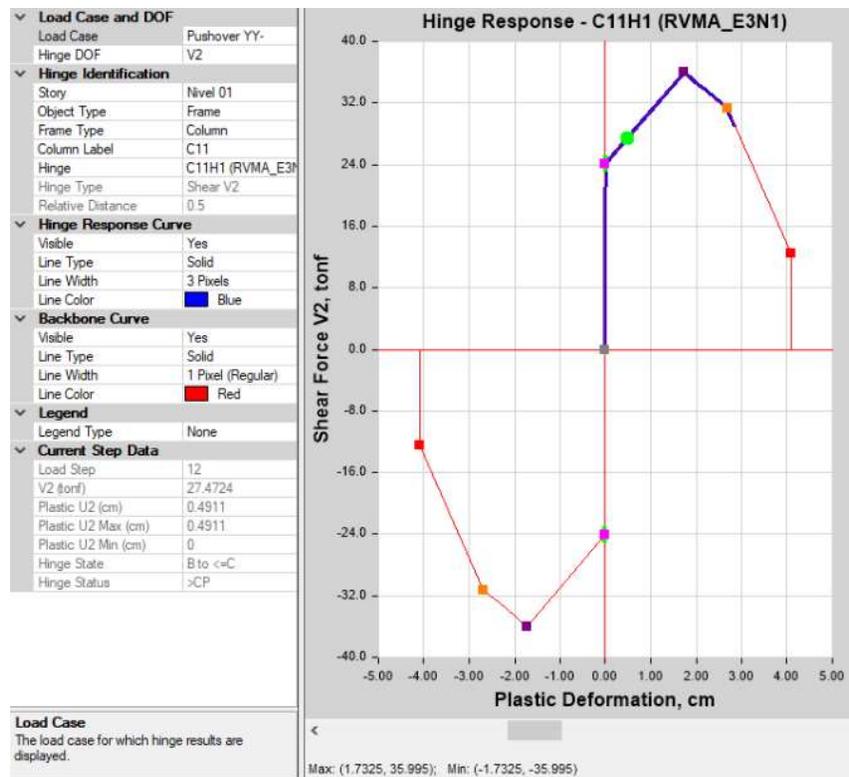
Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 1-1, B-C, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $U_2=0.7423\text{cm}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 169

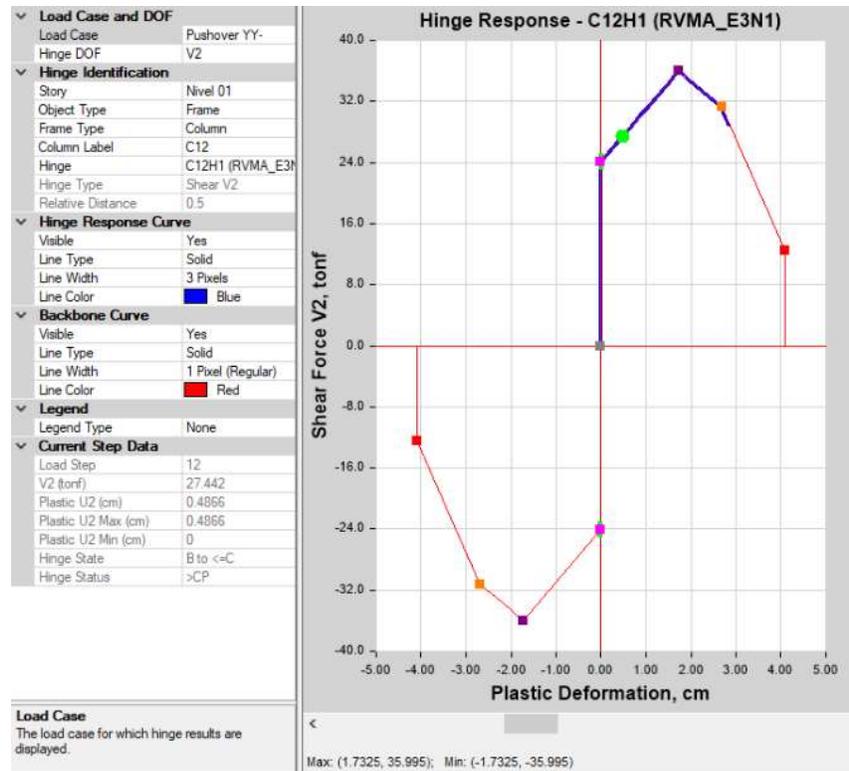
Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 3-3, A-B, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $U_2=0.4911$ cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 170

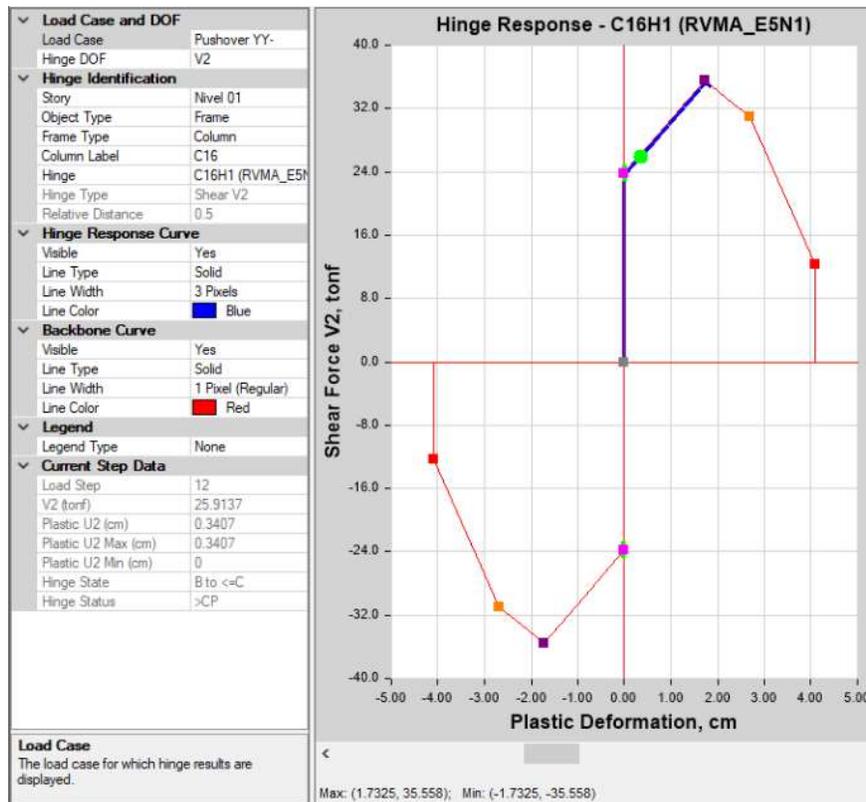
Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 3-3, B-C, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $U_2=0.4866\text{cm}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 171

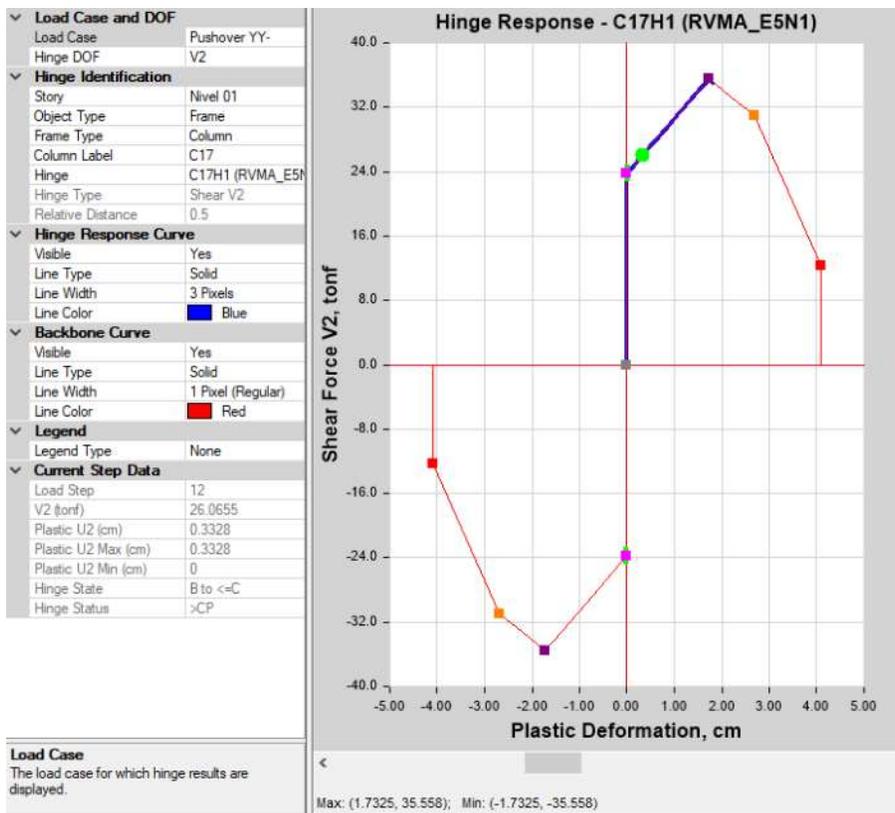
Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 5-5, A-B, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de $U_2=0.3407\text{cm}$. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 172

Rótulas plástica del componente muro de albañilería, eje 5-5, B-C, del primer nivel



Nota: El desplazamiento del elemento para el nivel de desempeño y un sismo máximo es de U2=0.3328cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 36

Evaluación del desempeño para la componente muro de albañilería confinada

Componente Muro primario	Altura de entrepiso (cm)	Desplazamiento a nivel de amenaza sísmica (cm)	Deriva de entrepiso	Nivel de desempeño
MA, eje 1-1, A-B N1	315	0.7472	0.0024	IO
MA, eje 1-1, B-C N1	315	0.7423	0.0024	IO
MA, eje 3-3, A-B N1	315	0.4911	0.0016	IO
MA, eje 3-3, B-C N1	315	0.4866	0.0015	IO
MA, eje 5-5, A-B N1	315	0.3407	0.0011	IO
MA, eje 5-5, B-C N1	315	0.3328	0.0011	IO

Nota: Desempeño para un nivel de amenaza sísmica máxima. IO-Ocupación inmediata

El componente se conserva para tal amenaza en un nivel de desempeño de ocupación inmediata (figura 27 - 28), evidenciándose un daño leve porque supera la zona elástica.

Validación del Análisis Estático No Lineal

Para la validación del análisis estático no lineal, se ha utilizado el software PTC Matchcad, versión 5.0.0.0, idioma español con una licencia para uso doméstico, en base a rutinas cortas de programación.

Validación de AENL para el sistema estructural de pórtico, por participación modal de la masa sísmica

Respecto a la figura 135, del factor de participación modal de las masas de la estructura y la figura 87, de la masa sísmica de la estructura, se extrae los valores de periodos sísmicos y de masa sísmica respectivamente.

$$Masa := 20.20 \text{ tonnef} \cdot \frac{s^2}{m}$$

Masa de la estructura

$$Peso := Masa \cdot g = 198.094 \text{ tonnef}$$

Peso de la estructura

$$Ux := \begin{bmatrix} 0.8314 \\ 0.0001 \\ 0.0046 \\ 0.1635 \end{bmatrix}$$

Vector de participación modal en la dirección XX, hasta una participación del 90% de masa acumulada (extraído de la figura 145)

$$T := \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.217 \\ 0.113 \\ 0.091 \\ 0.083 \end{bmatrix} s$$

Vector de periodos de la estructura, para los primeros cuatro casos de modos de vibración (extraído de la figura 145)

$$C := \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \end{bmatrix}$$

Vector de coeficiente de amplificación sísmica, en función al periodo de cada caso modal para un suelo tipo S2 (Según la N.T.P. E.030 - 2018, art. 14)

$$S_a := Z \cdot U \cdot C \cdot S = \begin{bmatrix} 1.125 \\ 1.125 \\ 1.125 \\ 1.125 \end{bmatrix}$$

Vector de coeficiente sísmico (Zona sísmica $Z=0.25$, importancia de la edificación $U=1.5$, coeficiente sísmico $C=2.5$ y factor de suelo $S=1.20$)

$$V := \overrightarrow{Peso \cdot Ux \cdot S_a} = \begin{bmatrix} 185.283 \\ 0.022 \\ 1.025 \\ 36.437 \end{bmatrix} tonnef$$

Vector de corte, para los primeros cuatro casos de modos de vibración.

$$V_c := \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2} = 188.834 tonnef$$

Módulo de corte de los cuatro primeros casos de modos de vibración, donde V_i es el corte para el caso de modo de vibración $i = 1, 2, 3$ y 4

$$r_{modal} := \frac{V_c}{Peso \cdot Ux_1 \cdot Sa_1} = 1.019$$

Ratio de corte total de la estructura respecto al corte del primer modo de vibración, donde Ux_i y Sa_i , es la participación modal y coeficiente del espectro de respuesta, para el caso de modo de vibración $i = 1$, respectivamente.

$$Caso_análisis := \begin{cases} \text{if } r_{modal} > 1.3 & = \text{"AENL"} \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"ADNL"} \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"AENL"} \end{cases}$$

Se valida el análisis estático no lineal, fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada), donde ADNL es un análisis dinámico no lineal y AENL es un análisis estático no lineal.

Validación de AENL para el sistema estructural de pórtico, por ratio de desplazamiento máximo cedente

Respecto a la figura 144, Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de pórtico y un sismo máximo, se determina los siguientes parámetros.

$$\Delta_d := 4.7742 \text{ cm}$$

Desplazamiento último (extraída de la figura 154)

$$\Delta_y := 1.7424 \text{ cm}$$

Desplazamiento cedente (extraída de la figura 154)

$$\alpha_e := 0$$

Tasa de rigidez negativa efectiva pos cedente (definida en la norma ASCE 41-17), existe cuando hay una pendiente negativa luego del punto de corte máximo para un modelo bilineal en la curva de capacidad fuerza-desplazamiento, para el caso de aplicación es cero.

$$u_{max} := \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{\frac{h}{m}}}{4} = 2.74$$

Relación de resistencia máximo

$$\mu_{strength} = 2.484$$

Relación entre la demanda elástica de resistencia y el coeficiente de resistencia a la cedencia (extraída de la figura 154)

$$r_d := \frac{u_{max}}{\mu_{strength}} = 1.103$$

Ratio de evaluación

$$\text{Caso_análisis} := \begin{cases} \text{if } r_d < 1 \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"ADNL"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"AENL"} \end{cases} = \text{"AENL"}$$

Se valida el análisis estático no lineal, fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada), donde ADNL es un análisis dinámico no lineal y AENL es un análisis estático no lineal.

Validación de AENL para el sistema estructural de albañilería confinada, por participación modal de la masa sísmica

Respecto a la figura 135, del factor de participación modal de las masas de la estructura y la figura 87, de la masa sísmica de la estructura, se extrae los valores de periodos sísmicos y de masa sísmica respectivamente.

$$Masa := 20.20 \text{ tonnef} \cdot \frac{s^2}{m}$$

Masa de la estructura

$$Peso := Masa \cdot g = 198.094 \text{ tonnef}$$

Peso de la estructura

$$Uy := \begin{bmatrix} 0.000012 \\ 0.6971 \\ 0.1172 \\ 0.0013 \\ 0.1447 \end{bmatrix}$$

Vector de participación modal en la dirección YY, hasta una participación del 90% de masa acumulada (extraído de la figura 145)

$$T := \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.217 \\ 0.113 \\ 0.091 \\ 0.083 \\ 0.046 \end{bmatrix} s$$

Vector de periodos de la estructura, para los primeros cinco casos de modos de vibración (extraído de la figura 145)

$$C := \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2.5 \end{bmatrix}$$

Vector de coeficiente de amplificación sísmica, en función al periodo de cada caso modal para un suelo tipo S2 (Según la N.T.P. E.030 - 2018, art. 14)

$$S_a := Z \cdot U \cdot C \cdot S = \begin{bmatrix} 1.125 \\ 1.125 \\ 1.125 \\ 1.125 \\ 1.125 \end{bmatrix}$$

Vector de coeficiente sísmico (Zona sísmica $Z=0.25$, importancia de la edificación $U=1.5$, coeficiente sísmico $C=2.5$ y factor de suelo $S=1.20$)

$$V := \overrightarrow{Peso \cdot Uy \cdot S_a} = \begin{bmatrix} 2.674 \cdot 10^{-4} \\ 155.353 \\ 26.119 \\ 0.29 \\ 32.247 \end{bmatrix} \text{ tonnef}$$

Vector de corte, para los primeros cinco casos de modos de vibración.

$$V_c := \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2} = 160.8 \text{ tonnef}$$

Módulo de corte de los cinco primeros casos de modos de vibración, donde V_i es el corte para el caso de modo de vibración $i = 1, 2, 3, 4$ y 5

$$r_{modal} := \frac{V_c}{Peso \cdot Uy_2 \cdot S_{a_2}} = 1.035$$

Ratio de corte total de la estructura respecto al corte del segundo modo de vibración, donde Uy_i y Sa_i , es la participación modal y coeficiente del espectro de respuesta, para el caso de modo de vibración $i = 2$, respectivamente.

$$\text{Caso_análisis} := \begin{cases} \text{if } r_{\text{modal}} > 1.3 \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"ADNL"} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"AENL"} \end{cases} = \text{"AENL"}$$

Se valida el análisis estático no lineal, fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada), donde ADNL es un análisis dinámico no lineal y AENL es un análisis estático no lineal.

Validación de AENL para el sistema estructural de albañilería confinada, por ratio de desplazamiento máximo cedente

Respecto a la figura 146, Punto de desempeño, mediante el método de los coeficientes ASCE 41-17, sistema estructural de albañilería confinada y un sismo máximo, se determina los siguientes parámetros.

$$\Delta_d := 1.1486 \text{ cm}$$

Desplazamiento último (extraída de la figura 156)

$$\Delta_y := 0.5811 \text{ cm}$$

Desplazamiento cedente (extraída de la figura 156)

$$\alpha_e := 0$$

Tasa de rigidez negativa efectiva pos cedente (definida en la norma ASCE 41-17), existe cuando hay una pendiente negativa luego del punto de corte máximo para un modelo bilineal en la curva de capacidad fuerza-desplazamiento, para el caso de aplicación es cero.

$$u_{max} := \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{\frac{h}{m}}}{4} = 1.977$$

Relación de resistencia máximo

$$\mu_{strength} := 1.9831$$

Relación entre la demanda elástica de resistencia y el coeficiente de resistencia a la cedencia (extraída de la figura 156)

$$r_d := \frac{u_{max}}{\mu_{strength}} = 0.997$$

Ratio de evaluación

$$\text{Caso_análisis} := \begin{cases} \text{if } r_d < 1 & \text{= "ADNL"} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"ADNL"} \\ \text{else} \\ \text{Caso_análisis} \leftarrow \text{"AENL"} \end{array} \right. & \end{cases}$$

Se hace necesario incurrir a un análisis dinámico no lineal, fue aplicado la condicional o sentencia IF (si se cumple la condición) y la sentencia ELSE (en caso de no cumplir la condición indicada), donde ADNL es un análisis dinámico no lineal y AENL es un análisis estático no lineal.

Para la validación del análisis estático no lineal, también es evaluada la disposición de la estructura a torsión; para el caso de estudio la edificación escolar, según sus modos de participación, tal estructura incursiona en torsión para el segundo modo de vibración, en la

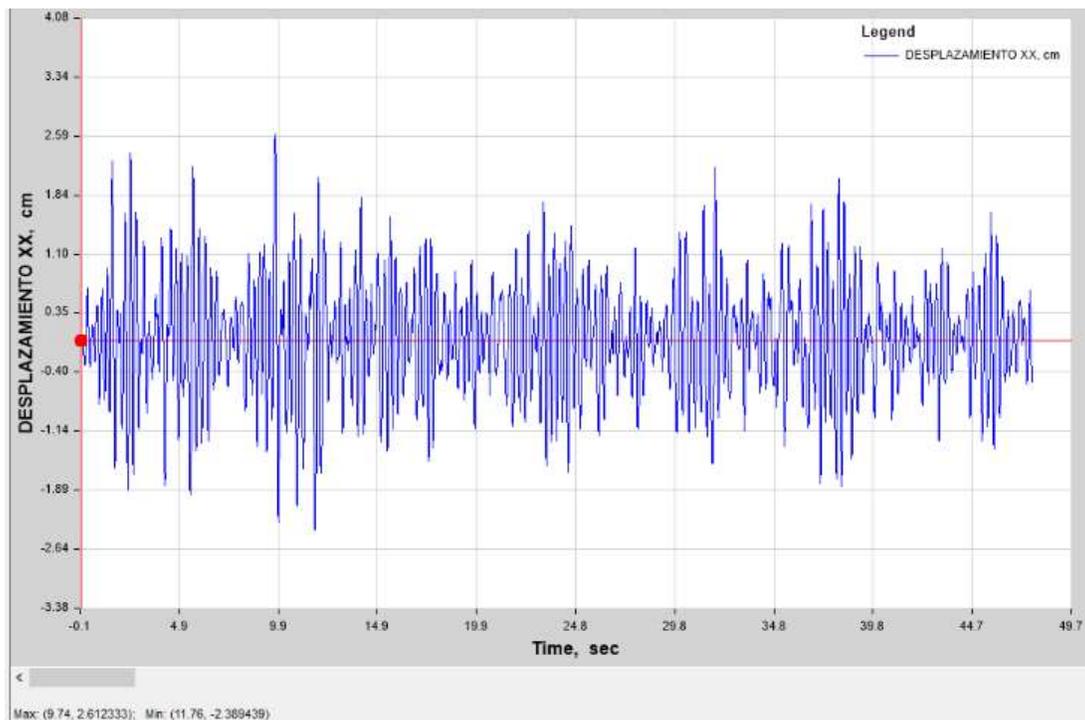
dirección del eje transversal Y; por consecuente los análisis de la estructura pasaran a la fase de análisis dinámico no lineal, Tiempo historia.

Resultados del análisis Dinámico No Lineal – Tiempo Historia

Desplazamiento máximo en función al tiempo y desempeño de la estructura, para un sismo de diseño y máximo

Figura 173

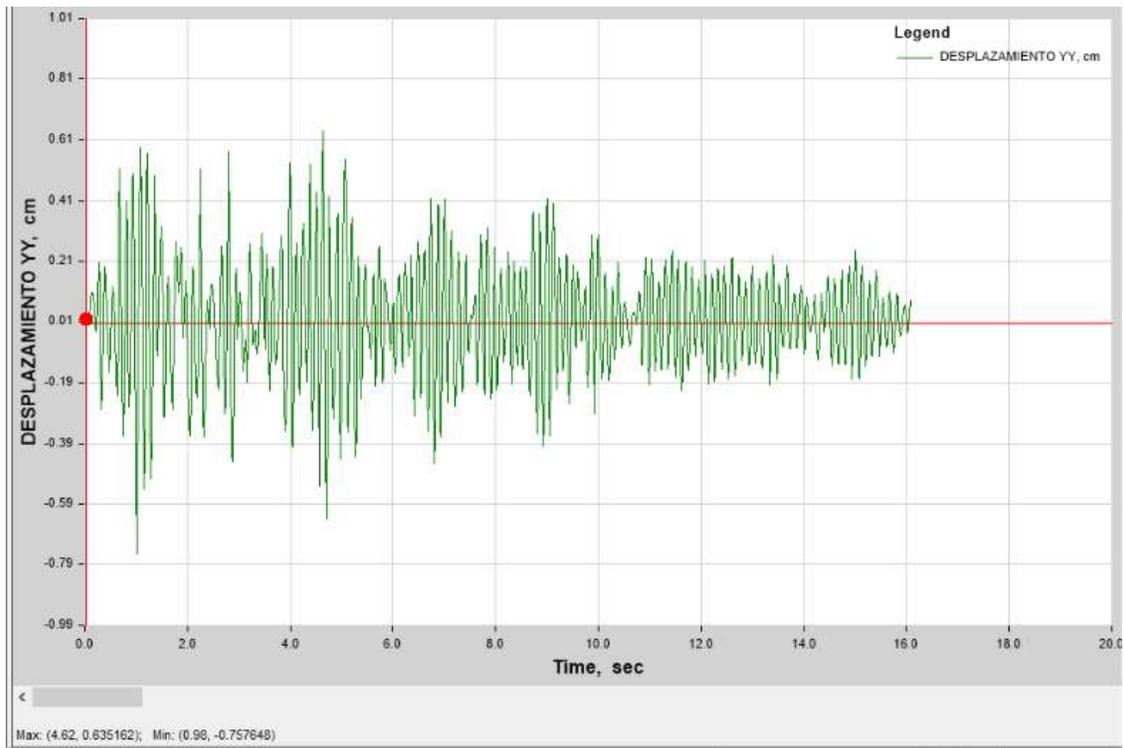
Registro de desplazamiento vs. Tiempo, escalados a un sismo de diseño Lima 1974 XX



Nota: El desplazamiento máximo de la estructura, para el sistema estructural de pórtico, es de 2.61cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 174

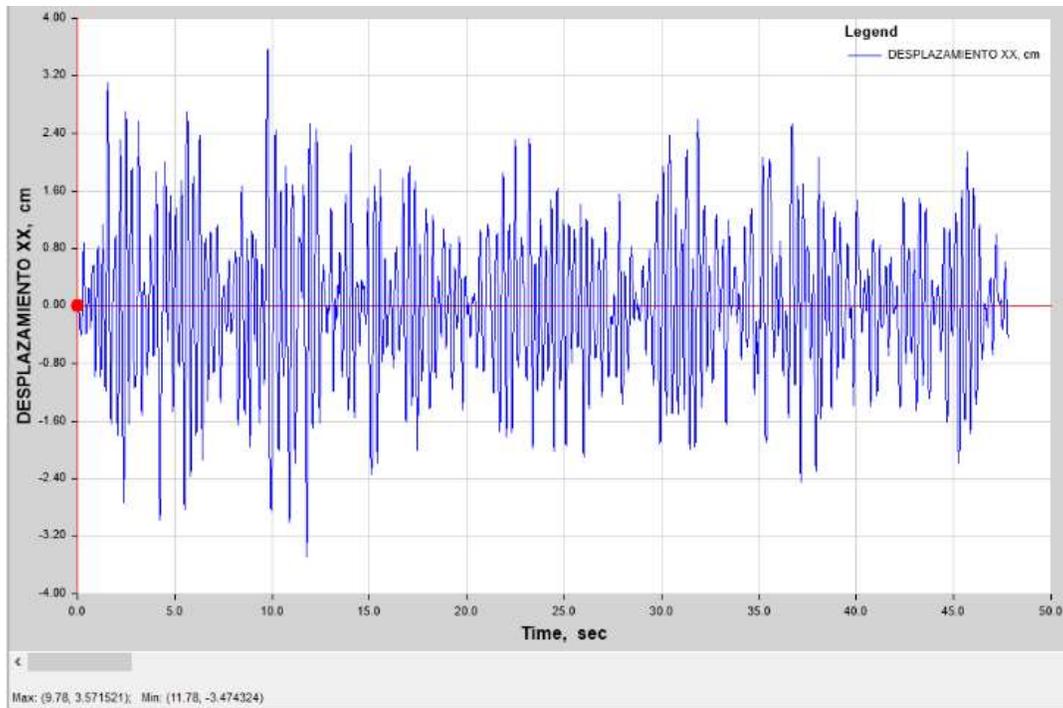
Registro de desplazamiento vs. Tiempo, escalado a un sismo de diseño Lima 1966 YY



Nota: El desplazamiento máximo de la estructura, para el sistema estructural de albañilería confinada, es de 0.75cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 175

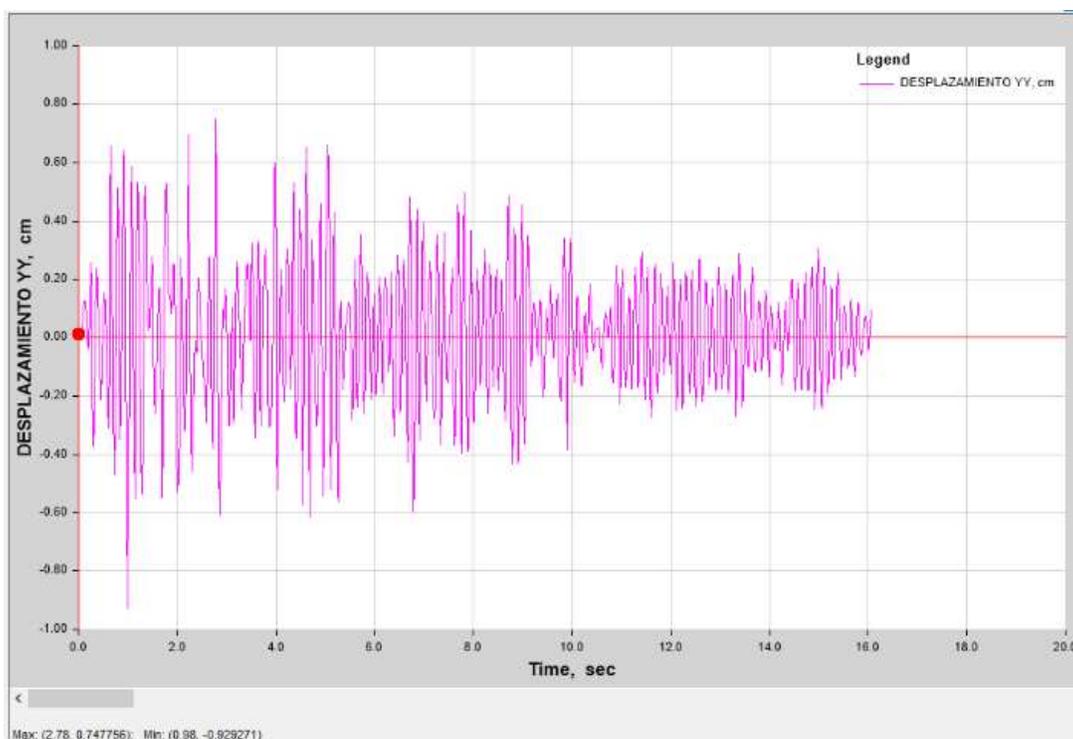
Registro de desplazamiento vs. Tiempo, escalado a un sismo máximo Lima 1974 XX



Nota: El desplazamiento máximo de la estructura, para el sistema estructural de pórtico, es de 3.57cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 176

Registro de desplazamiento vs. Tiempo, escalado a un sismo máximo Lima 1966 YY



Nota: El desplazamiento máximo de la estructura, para el sistema estructural de albañilería confinada, es de 0.93cm. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Tabla 37

Corte basal y desplazamientos para un AENLTH, escalados a un sismo de diseño y máximo

Análisis Sísmico	Max. Corte basal XX (ton)	Max. Desplazamiento XX (cm)	Max. Corte basal YY (ton)	Max. Desplazamiento YY (cm)
ANLTH Lima 1966 - SD	169.4	2.44	222.76	0.75
ANLTH Lima 1970 - SD	172.7	2.6	235.62	0.71
ANLTH Lima 1974 - SD	198.52	2.61	213.7	0.74
ANLTH Sismo Máximo	221.62	3.57	256.67	0.93

Nota: SD (sismo de diseño), ANLTH (análisis no lineal tiempo historia), se representa los esfuerzos y desplazamientos, de los 3 pares de registros escalado a un sismo de diseño y del registro máximo escalado a un sismo máximo.

Respecto con los Límites de deformación, criterios de aceptabilidad en la respuesta global de la estructura del ATC 40; se determinan los parámetros para el cálculo y determinación del desempeño estructural

TABLA 38

Evaluación del desempeño estructural para un AENLTH, escalados a un sismo de diseño y máximo para el sistema estructural de pórtico

Análisis Sísmico	Max. Desplazamiento XX (cm)	Altura del punto control (cm)	Deriva total	Nivel de desempeño ATC 40 y FEMA 440
ANLTH Lima 1966 - SD	2.44	615	0.0040	IO
ANLTH Lima 1970 - SD	2.6	615	0.0042	IO
ANLTH Lima 1974 - SD	2.61	615	0.0042	IO
ANLTH Sismo Máximo	3.57	615	0.0058	IO

Nota: IO (ocupación inmediata), LS (seguridad de vida), ANLTH (análisis no lineal tiempo historia)

TABLA 39

Evaluación del desempeño estructural para un AENLTH, escalados a un sismo de diseño y máximo para el sistema estructural de albañilería confinada

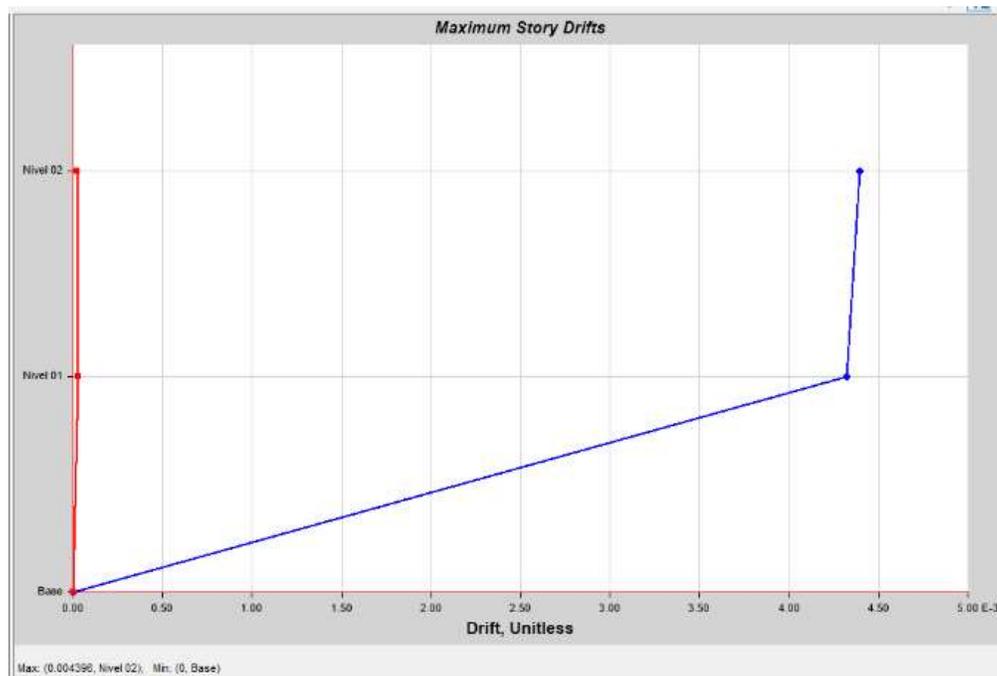
Análisis Sísmico	Max. Desplazamiento YY (cm)	Altura del punto control (cm)	Deriva total	Nivel de desempeño ATC 40 y FEMA 440
ANLTH Lima 1966 - SD	0.75	615	0.0012	IO
ANLTH Lima 1970 - SD	0.71	615	0.0011	IO
ANLTH Lima 1974 - SD	0.74	615	0.0012	IO
ANLTH Sismo Máximo	0.93	615	0.0015	IO

Nota: IO (ocupación inmediata), LS (seguridad de vida), ANLTH (análisis no lineal tiempo historia)

Revisión de las derivas de la estructura para el sismo de diseño y máximo

Figura 177

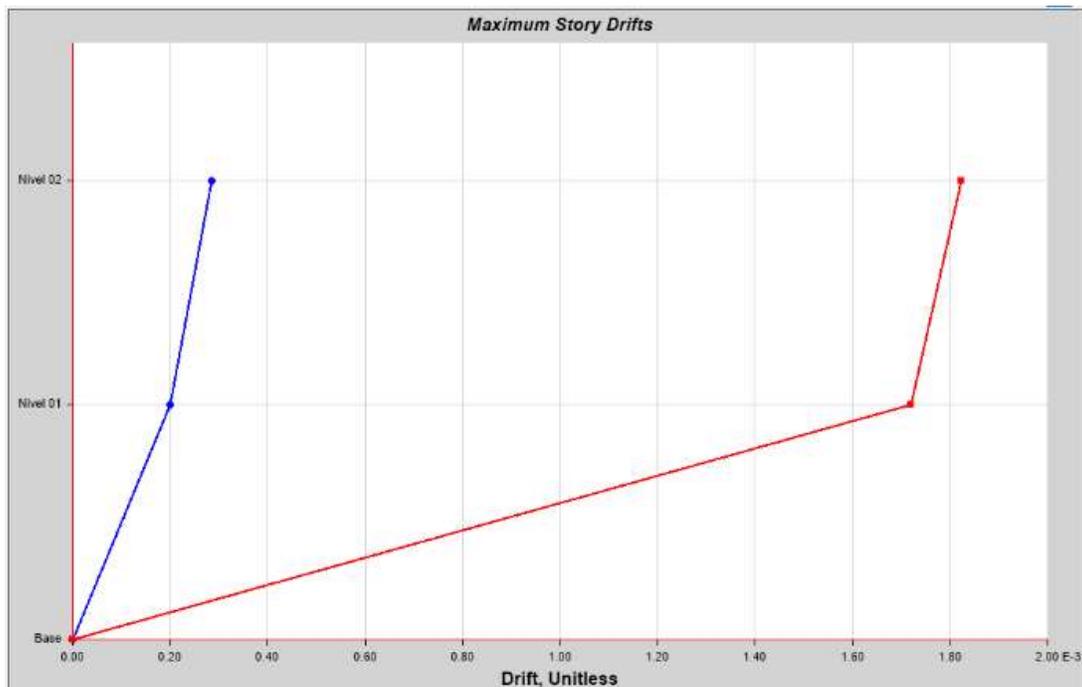
Deriva máxima, escalada a un sismo de diseño, Lima 1974 XX



Nota: La deriva máxima de la estructura, para el sistema estructural de pórtico, es de 0.004, menor que el normado para estos tipos de elemento, según la norma E.030 de 0.007. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 178

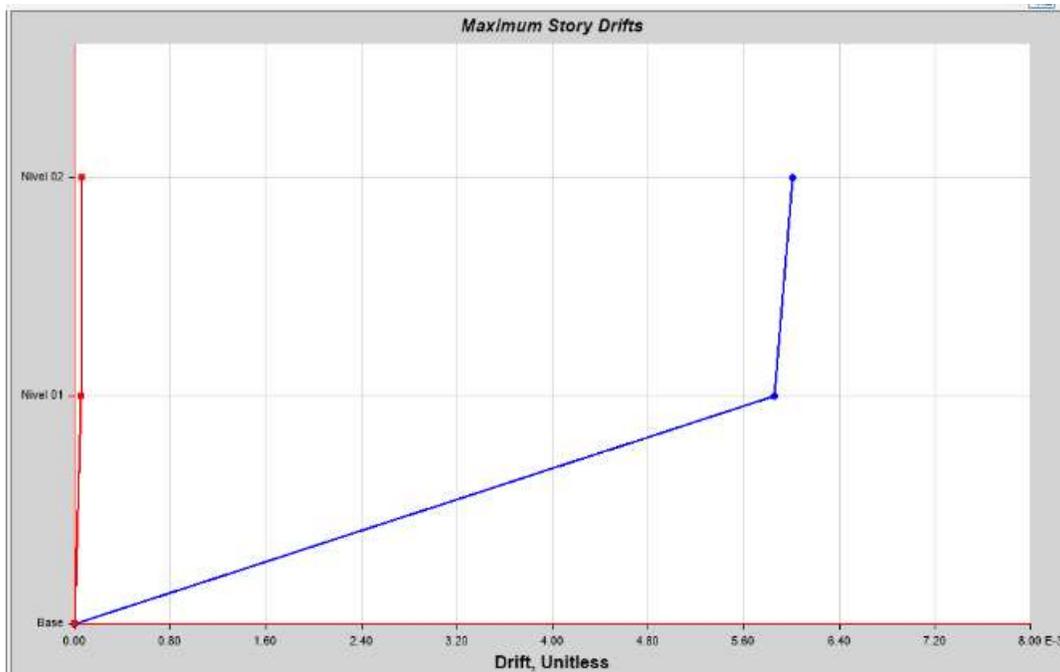
Deriva máxima, escalada a un sismo de diseño, Lima 1966 YY



Nota: La deriva máxima de la estructura, para el sistema estructural de albañilería confinada, es de 0.0018, menor que el normado para estos tipos de elemento, según la norma E.030 de 0.005. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 179

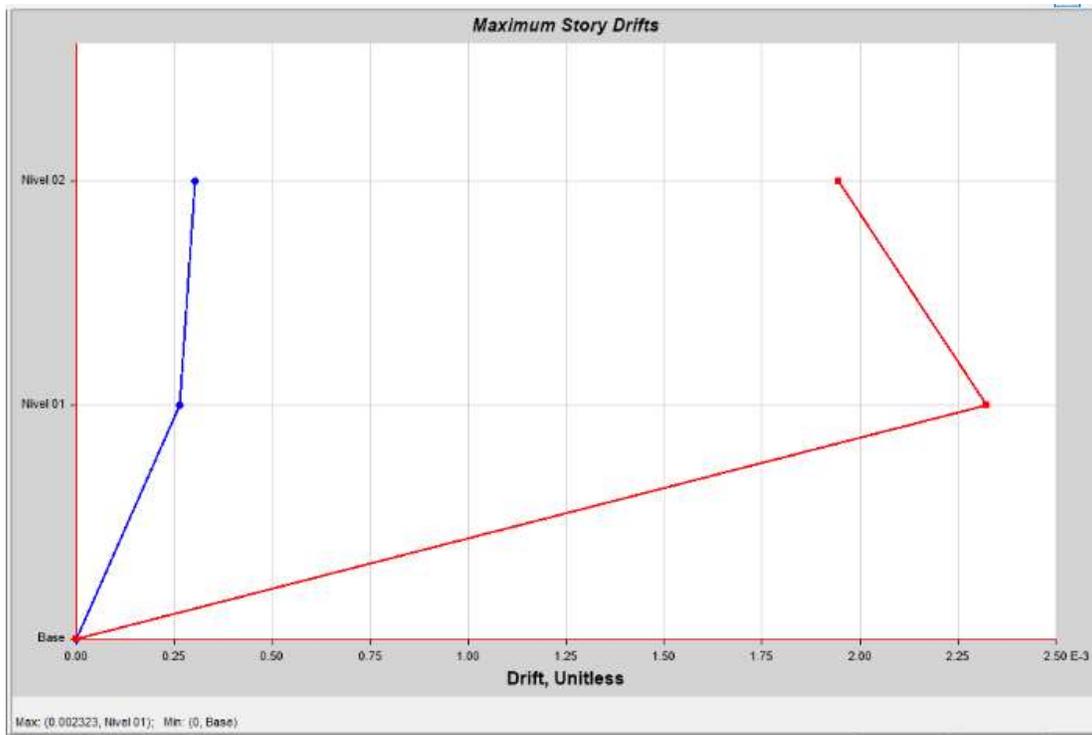
Deriva máxima, escalada a un sismo máximo, Lima 1974 XX



Nota: La deriva máxima de la estructura, para el sistema estructural de pórtico, es de 0.006, menor que el normado para estos tipos de elemento, según la norma E.030 de 0.007. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Figura 180

Deriva máxima, escalada a un sismo máximo, Lima 1966 YY



Nota: La deriva máxima de la estructura, para el sistema estructural de albañilería confinada, es de 0.0023, menor que el normado para estos tipos de elemento, según la norma E.030 de 0.005. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Estimación del daño de la estructura bajo el manual técnico, HAZUZ 1999

De acuerdo con los tipos de edificaciones y límites de distorsión para criterios de daños en la respuesta global de la estructura de HAZUZ 99; se determinan los parámetros para el cálculo y determinación del daño estructural.

TABLA 40

Daño estructural para un AENLTH, escalados a un sismo de máximo para el sistema estructural de pórtico y albañilería confinada

Tipo de edificación	Deriva total	Daño estructural HAZUZ 99
CIL - Pórtico	0.006	LS
URML-Albañilería	0.0023	IO

Nota: IO (ocupación inmediata), LS (seguridad de vida), derivas en función a la figura 179 - 180

Para el sistema estructural de pórticos, en la mayoría de las vigas y columnas se exhiben pueden exhibir grietas finas. En los pórticos dúctiles, algunos de los elementos del pórtico han alcanzado la capacidad de cedencia indicada por grietas de flexión más grandes y algo de desprendimiento del concreto; los pórticos no dúctiles pueden exhibir mayores grietas de corte y desprendimiento.

Para los componentes muros de albañilería, se pueden presentar grietas finas diagonales en forma de escalera en algunos muros de albañilería; grietas más grandes alrededor de las aberturas de puertas y ventanas en las muros con una gran proporción de aberturas; movimientos de dinteles; grietas en la base de los parapetos.

Comparación entre un Análisis Estático No Lineal y un Análisis Dinámico No Lineal

Tabla 41

Máximos desplazamientos y cortante basal par aun AENL y ADNL, bajo un sismo de diseño

Análisis Sismo de diseño	Max. Corte basal XX (ton)	Max. Desplazamiento XX (cm)	Max. Corte basal YY (ton)	Max. Desplazamiento YY (cm)
ANLTH Lima 1966	169.4	2.44	222.76	0.75
ANLTH Lima 1970	172.7	2.6	235.62	0.71
ANLTH Lima 1974	198.52	2.61	213.7	0.74
AENL	175.35	3.28	195.29	0.77

Nota: Para el sistema de pórtico, la tasa de diferencia de desplazamiento de un AENL es de un 20% mayor al ANLTH; mientras que en corte es un 12% menor al AENLTH; para el sistema de albañilería confinada, la tasa de diferencia de desplazamiento de un AENL es de un 3% mayor al ANLTH; mientras que en corte es un 17% menor al AENLTH.

Tabla 42

Máximos desplazamientos y cortante basal par aun AENL y ADNL, bajo un sismo máximo

Análisis Sismo de diseño	Max. Corte basal XX (ton)	Max. Desplazamiento XX (cm)	Max. Corte basal YY (ton)	Max. Desplazamiento YY (cm)
ADNL TH Máximo	221.62	3.57	256.67	0.93
AENL	189.99	4.77	231.53	1.15

Nota: Para el sistema de pórtico, la tasa de diferencia de desplazamiento de un AENL es de un 25% mayor al ANLTH; mientras que en corte es un 14% menor al AENLTH; para el sistema de albañilería confinada, la tasa de diferencia de desplazamiento de un AENL es de un 19% mayor al ANLTH; mientras que en corte es un 10% menor al AENLTH.

Figura 181

Desplazamientos máximos de un ADNL TH y AENL, para un sismo máximo y un sistema de pórtico

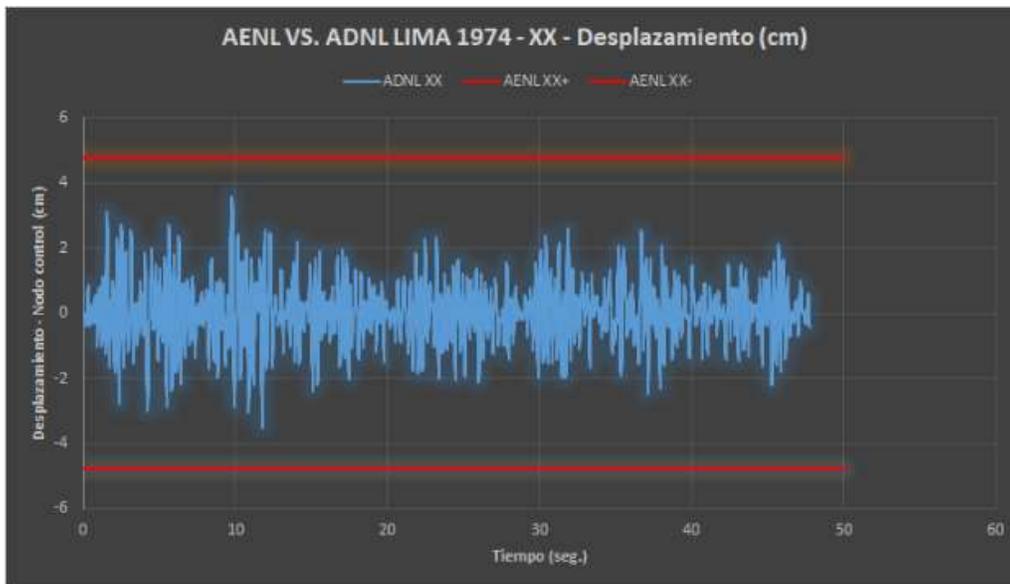


Figura 182

Desplazamientos máximos de un ADNL TH y AENL, para un sismo máximo y un sistema de albañilería

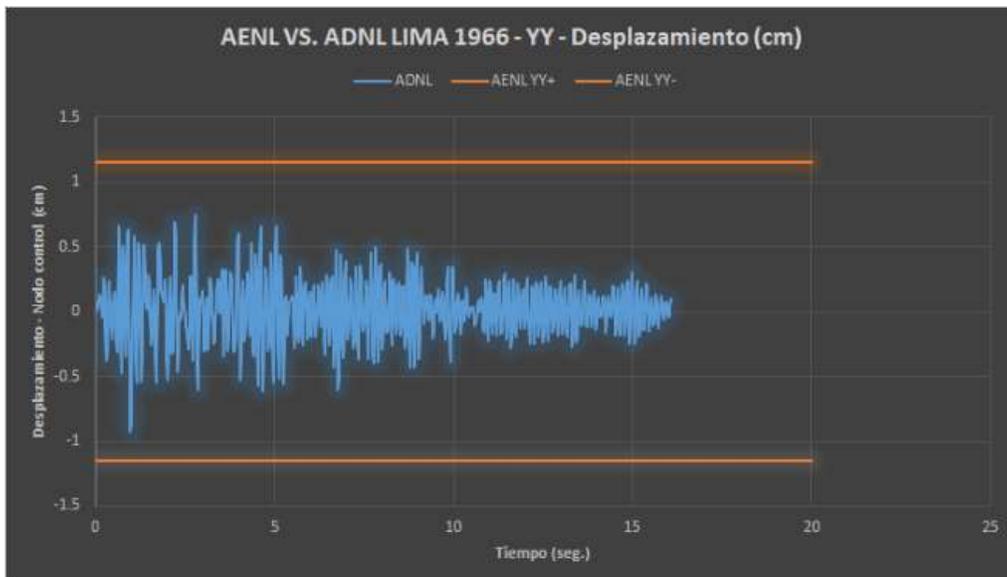
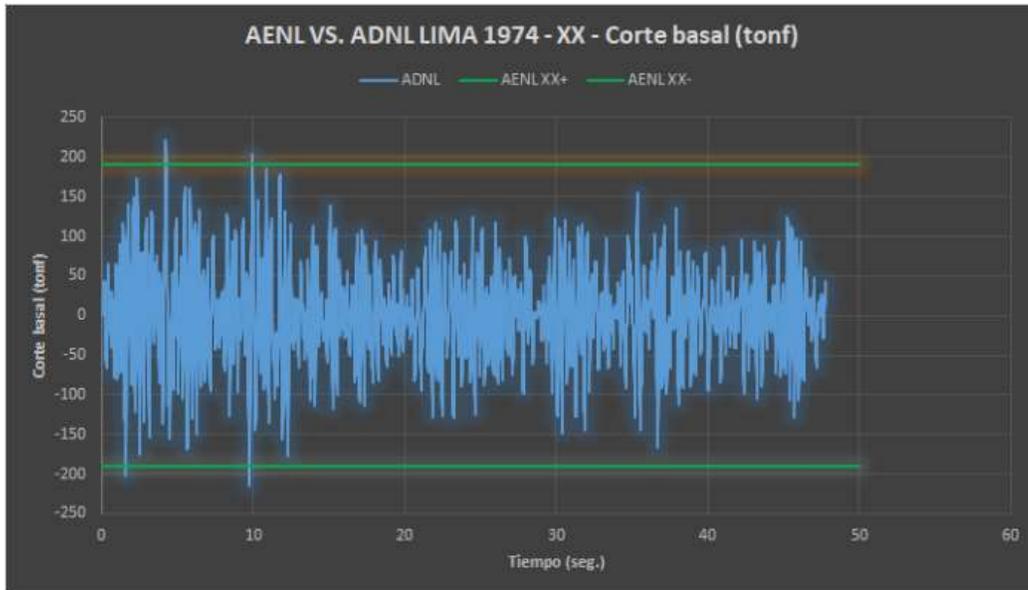
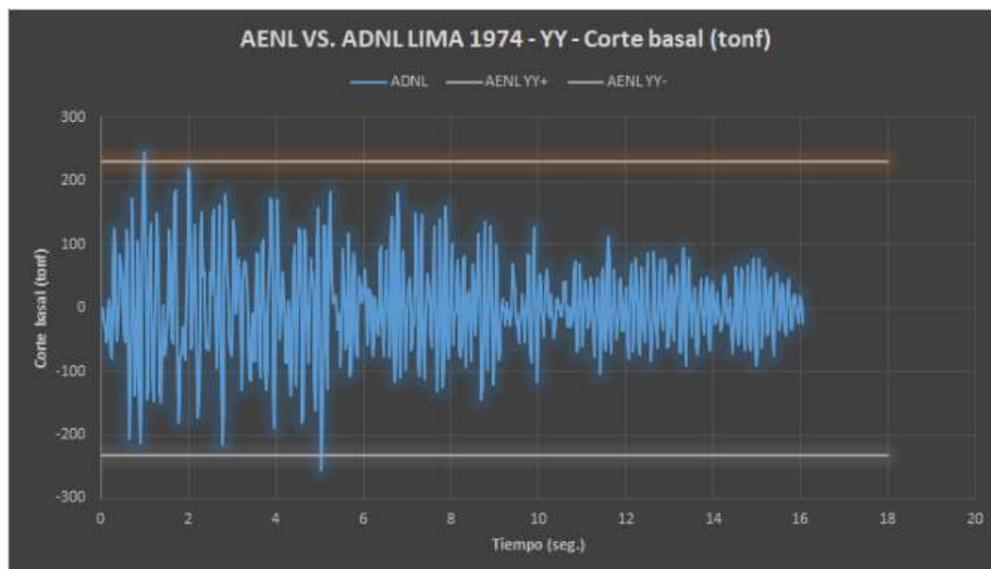


Figura 183

Corte basal para desplazamientos máximos de un ADNL TH y AENL, para un sismo máximo y un sistema de pórtico

**Figura 184**

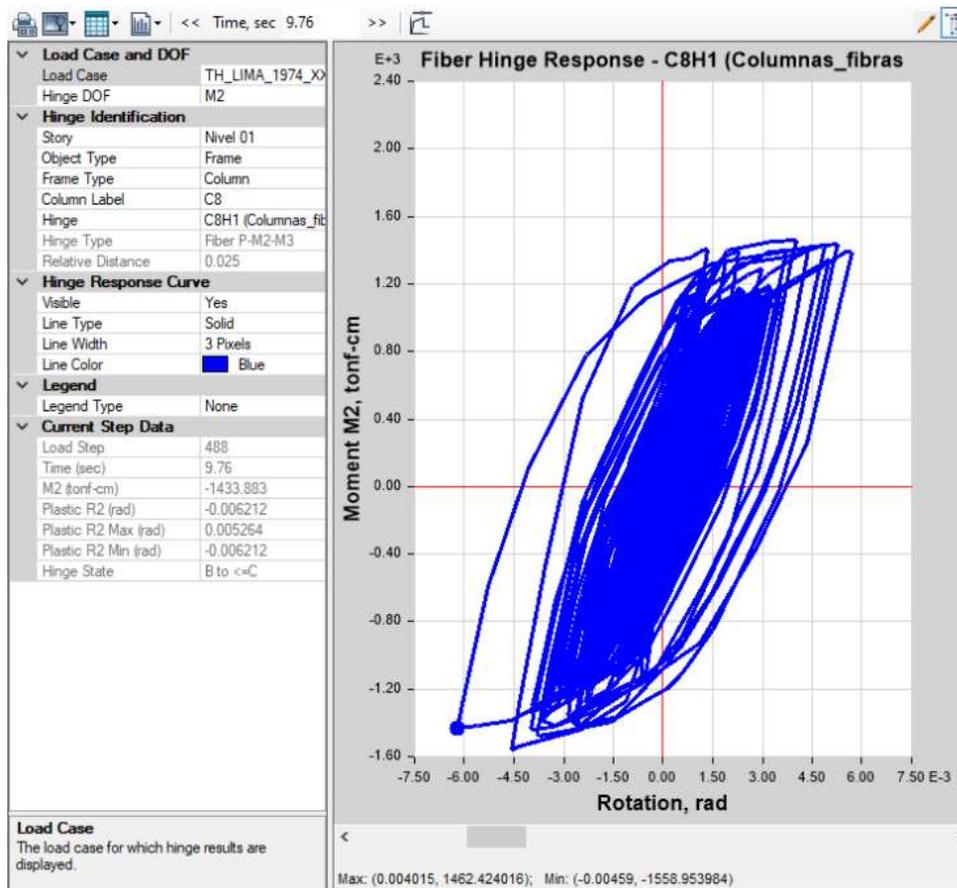
Corte basal para desplazamientos máximos de un ADNL TH y AENL, para un sismo máximo y un sistema de albañilería



Revisión de los componentes estructurales críticos para el sismo máximo

Figura 185

Histéresis de la columna crítica, para un sistema estructural tipo pórtico



Nota: La rotación plástica es de 0.0062 rad. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

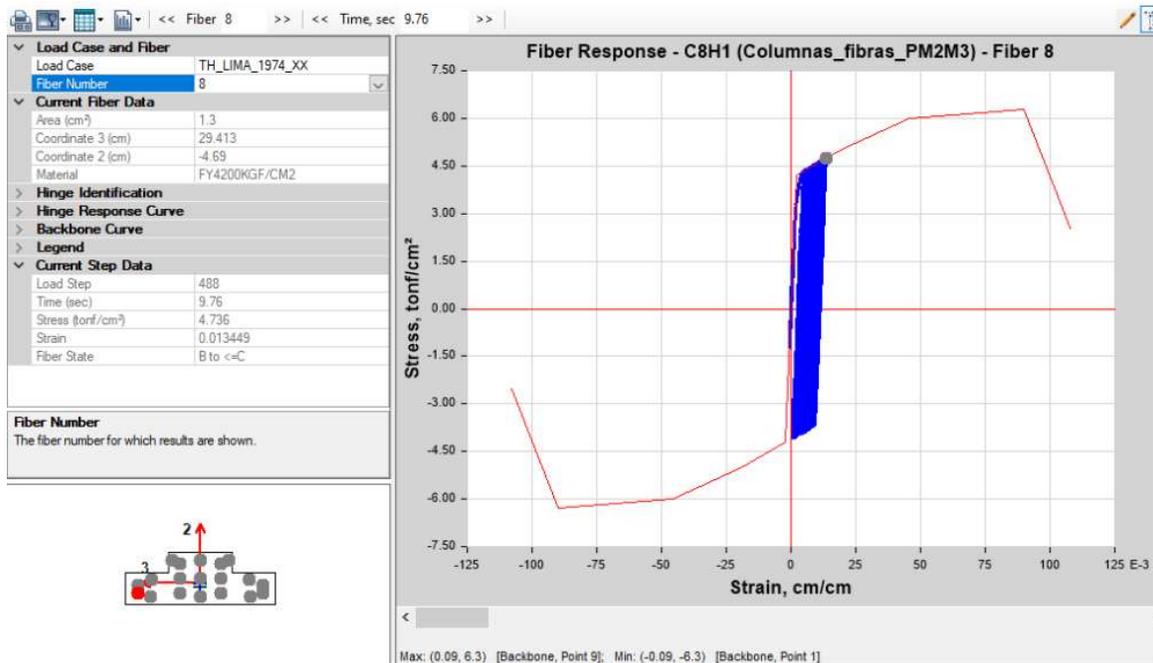
Se muestra la Histéresis del componente estructural columna, modelado con una plasticidad tipo fibra y una histéresis tipo takeda; evidenciándose para un sismo máximo, unos lazos robustos con poca estrangulación y energía estable, con un comportamiento dúctil del propio componente que pertenece a un elemento tipo pórtico, en la dirección XX de análisis.

De acuerdo a los parámetros de modelado no lineal, y criterios de aceptación para la componente columnas reforzadas de la tabla 10-8 del ASCE 41-17; se determinan los parámetros

para la revisión del desempeño del componente, determinándose un nivel de desempeño de **Seguridad de vida.**

Figura 186

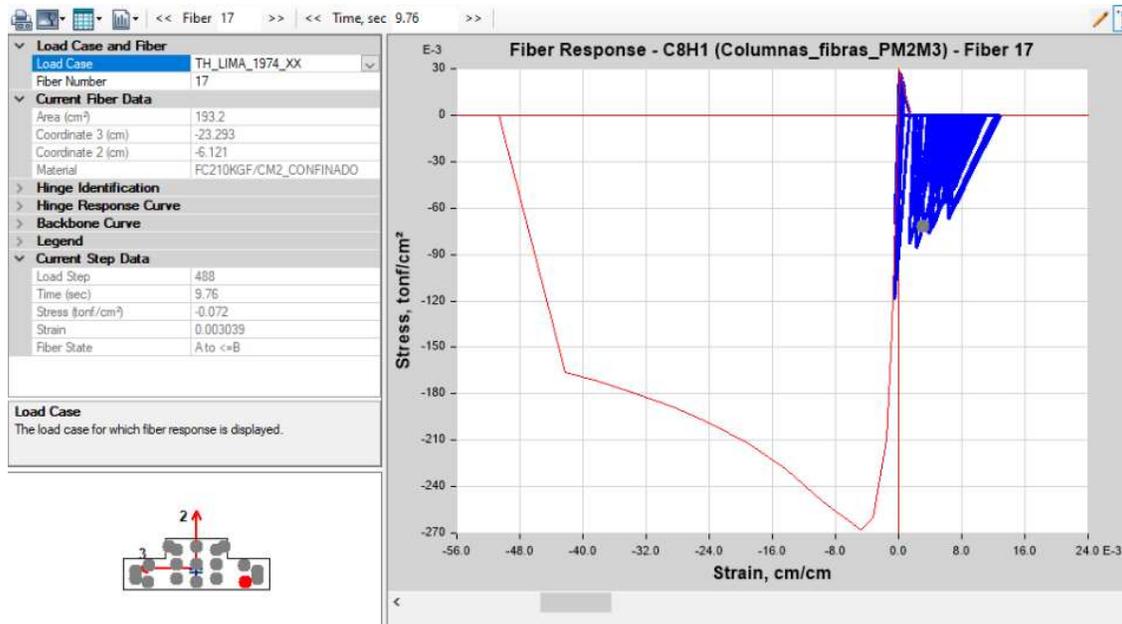
Histéresis del acero de refuerzo para la columna crítica de un sistema estructural tipo pórtico



Nota: Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1

Figura 187

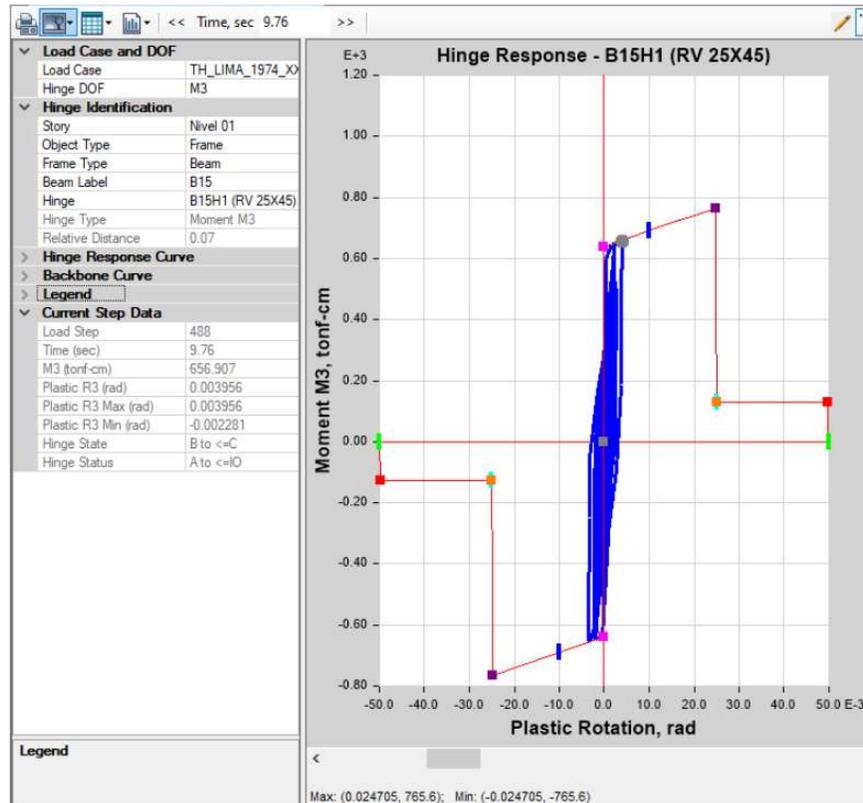
Histéresis del concreto confinado para la columna crítica de un sistema estructural tipo pórtico



Las fibras de acero de refuerzo y concreto confinado, para un sismo máximo, tienen una demanda menor respecto a su capacidad última del acero y de compresión para el concreto, con un 75% y 34% respectivamente.

Figura 188

Histéresis de la viga crítica, para un sistema estructural tipo pórtico

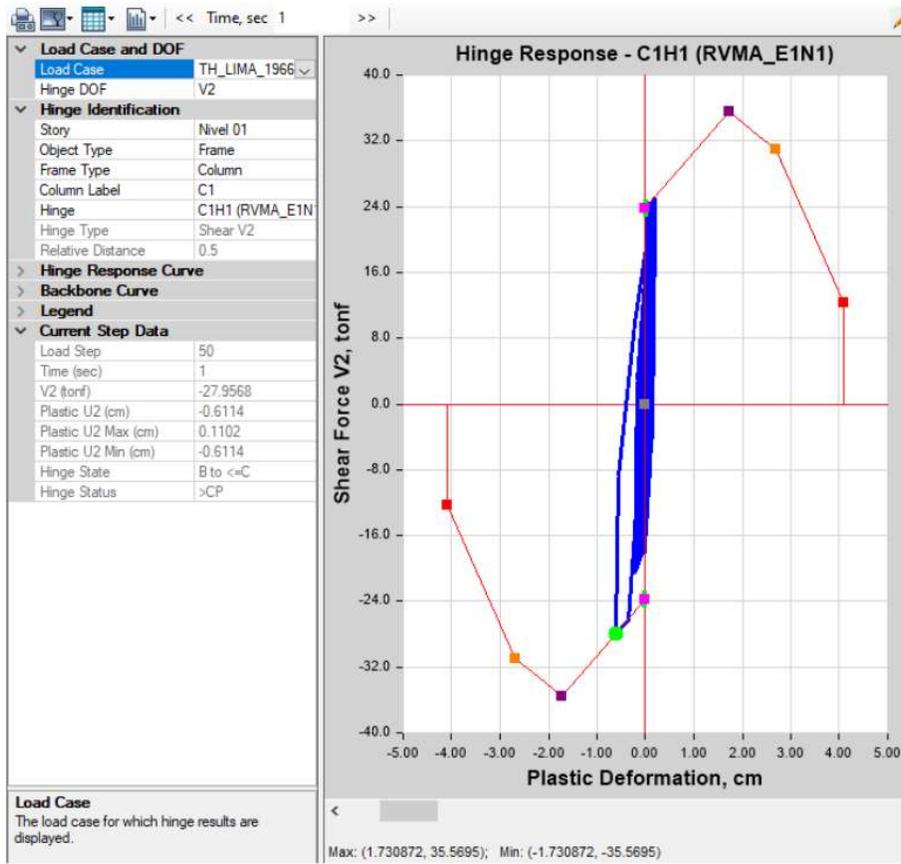


Nota: La rotación plástica es de 0.004 rad. Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra la Histéresis del componente viga estructural, modelado con una plasticidad de rótula concentrada y una histéresis tipo takeda; evidenciándose para un sismo máximo, que el desempeño del componente se encuentra dentro de la **inmediata ocupación**, según los parámetros de modelado no lineal, y criterios de aceptación para la componente vigas de concreto reforzado de la tabla 10-7 del ASCE 41-17 con un comportamiento dúctil del propio componente que pertenece a un elemento tipo pórtico, en la dirección XX de análisis.

Figura 189

Histéresis del componente muro de albañilería, para un sistema estructural de albañilería confinada



Nota: El desplazamiento para el nivel de amenaza sísmica es de 0.61cm y una deriva de 0.0019.

Software de análisis y modelado, ETABS V2018.1.1.

Se muestra la Histéresis del componente muro de albañilería, modelado con una plasticidad de rótula concentrada para muros de albañilería equivalente a una columna ancha y una histéresis tipo pivot; evidenciándose para un sismo máximo, que el desempeño del componente se encuentra dentro de la **inmediata ocupación**, según los criterios de aceptación para los componentes muros de albañilería (figura 27 – 28), con un comportamiento frágil del propio componente que pertenece a un elemento de albañilería, en la dirección YY de análisis.

Tabla 43

Evaluación del desempeño de las componentes columnas, vigas y muros de confinamiento para un ADNL -TH

Componente primario crítico	Criterio de Aceptación	Rotación plástica y deriva	Nivel de desempeño
Columna	Tabla 10-8 de la Norma ASCE 41-13 (figura 57)	0.006 rad	IO
Viga	Tabla 10-7 de la Norma ASCE 41-17 (figura 56)	0.004 rad	IO
Muro de albañilería	Modelos calibrados (figura 27 y 28)	0.0019	IO

Nota: El criterio de aceptación de los muros de albañilería se toma en bases a los modelos calibrados por C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com, IO (Ocupación inmediata)

Resultados del Análisis Dinámico Incremental –IDA

Con aplicación del código americano FEMA P58 y N.T.P. E.030; para el módulo 02 de la I.E.I. N°141, conformado por los sistemas de pórtico resistente a momento en el eje x-x de concreto reforzado; muros a corte en el eje y-y de albañilería confinada.

Análisis de curvas IDA

Figura 190

Registro de la deriva sísmica de la estructura, IDA

DERIVA SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA , PARA CADA NIVEL ESTRUCTURAL E INTENSIDAD SÍSMICA									
NIVEL	REGISTRO SISMICO	PERIODO DE RETORNO							
		8 AÑOS	42 AÑOS	125 AÑOS	333 AÑOS	667 AÑOS	1299 AÑOS	2381 AÑOS	3846 AÑOS
1	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.0003	0.0006	0.001	0.0013	0.0016	0.0021	0.0025	0.0025
	NS_6.4mb_LIMA_10_1966	0.00002	0.0003	0.0005	0.0006	0.0007	0.0009	0.0011	0.0012
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.0003	0.0007	0.001	0.0015	0.0018	0.0021	0.0026	0.0031
	NS_6.6mb_LIMA_05_1970	0.00002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0009	0.001
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.0004	0.0007	0.0011	0.0014	0.0016	0.002	0.0025	0.003
	NS_6.6mb_LIMA_10_1974	0.00002	0.0004	0.0006	0.0008	0.001	0.0013	0.0013	0.0015
2	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.0005	0.0013	0.0017	0.0025	0.0027	0.0031	0.0031	0.0035
	NS_6.4mb_LIMA_10_1966	0.00006	0.0005	0.0007	0.0009	0.0011	0.0012	0.0014	0.0015
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.0005	0.0012	0.0016	0.0021	0.0026	0.003	0.0034	0.0038
	NS_6.6mb_LIMA_05_1970	0.00006	0.0005	0.0005	0.0007	0.0009	0.0011	0.0013	0.0014
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.0006	0.0014	0.0019	0.0025	0.0027	0.0032	0.0036	0.004
	NS_6.6mb_LIMA_10_1974	0.00005	0.0006	0.0009	0.0012	0.0014	0.0016	0.0016	0.0017
MÁXIMO EW		0.0006	0.0014	0.0019	0.0025	0.0027	0.0032	0.0036	0.004
MÁXIMO NS		0.00006	0.0006	0.0009	0.0012	0.0014	0.0016	0.0016	0.0017

Figura 191

Registro del desplazamiento sísmico de la estructura, IDA

DESPLAZAMIENTO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA (cm) , PARA CADA NIVEL ESTRUCTURAL E INTENSIDAD SÍSMICA									
NIVEL	REGISTRO SISMICO	PERIODO DE RETORNO							
		8 AÑOS	42 AÑOS	125 AÑOS	333 AÑOS	667 AÑOS	1299 AÑOS	2381 AÑOS	3846 AÑOS
1	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.1	0.2	0.33	0.42	0.51	0.65	0.8	0.8
	NS_6.4mb_LIMA_10_1966	0.04	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.24	0.25
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.1	0.22	0.33	0.46	0.56	0.65	0.83	0.98
	NS_6.6mb_LIMA_05_1970	0.03	0.07	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.21
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.11	0.23	0.33	0.43	0.52	0.63	0.79	0.93
	NS_6.6mb_LIMA_10_1974	0.05	0.09	0.14	0.18	0.22	0.28	0.28	0.3
2	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.24	0.53	0.74	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8
	NS_6.4mb_LIMA_10_1966	0.09	0.18	0.27	0.35	0.41	0.45	0.6	0.6
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.24	0.55	0.74	1	1.21	1.48	1.69	1.94
	NS_6.6mb_LIMA_05_1970	0.08	0.18	0.21	0.27	0.33	0.41	0.48	0.53
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.26	0.58	0.83	1.03	1.23	1.46	1.7	1.9
	NS_6.6mb_LIMA_10_1974	0.12	0.23	0.33	0.45	0.54	0.64	0.64	0.69
MÁXIMO EW		0.26	0.58	0.83	1.1	1.3	1.5	1.7	1.94
MÁXIMO NS		0.12	0.23	0.33	0.45	0.54	0.64	0.64	0.69

Figura 192

Registro de la cortante basal sísmico de la estructura, IDA

CORTANTE BASAL (tonf) , PARA CADA NIVEL DE INTENSIDAD SÍSMICA									
NIVEL	REGISTRO SISMICO	PERIODO DE RETORNO							
		8 AÑOS	42 AÑOS	125 AÑOS	333 AÑOS	667 AÑOS	1299 AÑOS	2381 AÑOS	3846 AÑOS
BASE	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	24.21	49.37	74.72	90.03	105.04	121.54	135.3	133
	NS_6.4mb_LIMA_10_1966	25.71	58.31	91.5	115.68	138.26	155.35	198	198.1
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	23.22	51.8	75.98	98.51	114.62	123.03	143.02	158.92
	NS_6.6mb_LIMA_05_1970	21.8	58.71	61.74	91.03	113.92	132.4	156.65	176.7
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	24.67	52.36	72.03	88.83	105.66	121.84	141.51	157.87
	NS_6.6mb_LIMA_10_1974	32.83	68.66	102.4	138.63	166.97	187	187	194.35
MÁXIMO EW		24.67	52.36	75.98	98.51	114.62	123.03	143.02	158.92
MÁXIMO NS		32.83	68.66	102.4	138.63	166.97	187	198	198.1

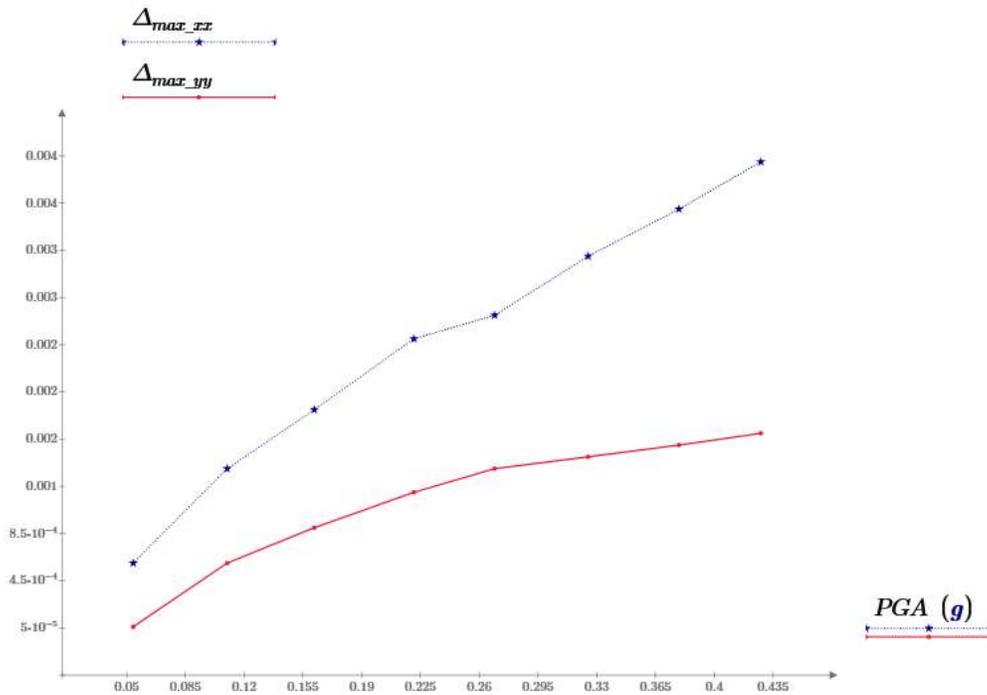
Figura 193

Registro de la rotación de las vigas para el sistema de pórtico, IDA

ROTACIÓN EN EL COMPONENTE VIGA CRÍTICA (rad) , PARA CADA NIVEL ESTRUCTURAL E INTENSIDAD SÍSMICA									
NIVEL	REGISTRO SISMICO	PERIODO DE RETORNO							
		8 AÑOS	42 AÑOS	125 AÑOS	333 AÑOS	667 AÑOS	1299 AÑOS	2381 AÑOS	3846 AÑOS
1	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.00005	0.00008	0.00012	0.00016	0.00018	0.00021	0.00024	0.00024
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.00005	0.00008	0.00011	0.00015	0.00017	0.00021	0.00022	0.00026
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.00004	0.00008	0.00011	0.00013	0.00016	0.00019	0.00022	0.00026
2	EW_6.4mb_LIMA_10_1966	0.00008	0.00015	0.0002	0.00028	0.0003	0.00034	0.00038	0.00038
	EW_6.6mb_LIMA_05_1970	0.00008	0.00014	0.00018	0.00023	0.00027	0.00033	0.00034	0.00038
	EW_6.6mb_LIMA_10_1974	0.00008	0.00013	0.00018	0.00022	0.00024	0.00029	0.00034	0.00037
MÁXIMO NIVEL 1		0.00005	0.00008	0.000120	0.000160	0.000180	0.000210	0.000240	0.000260
MÁXIMO NIVEL 2		0.00008	0.00015	0.000200	0.000280	0.000300	0.000340	0.000380	0.000380

Figura 194

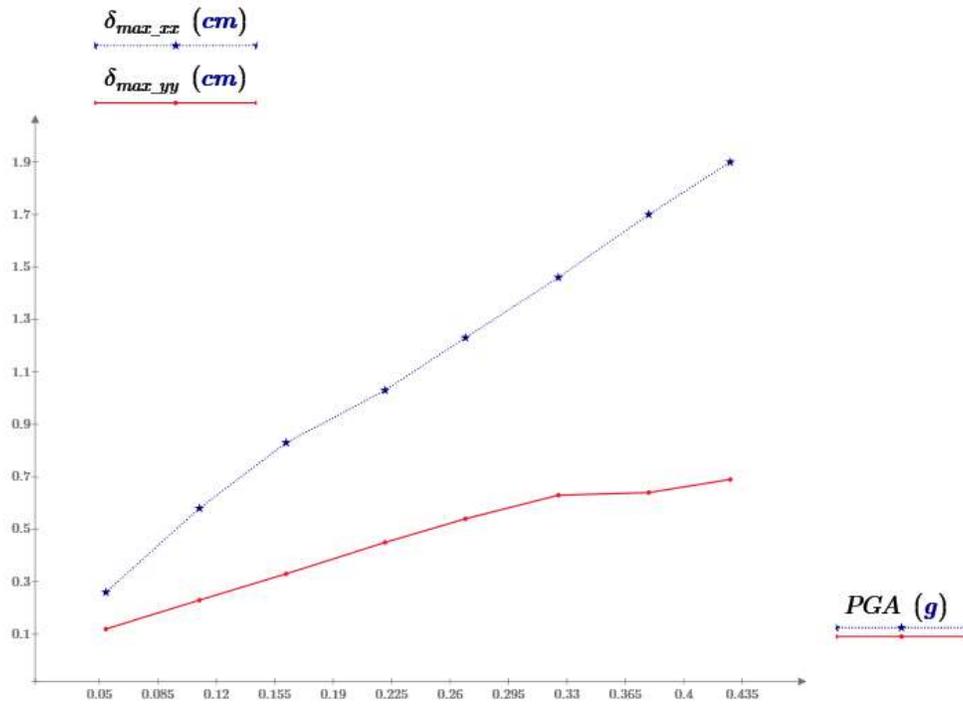
Derivas de entrepisos, curva Intensidad sísmica vs. deriva, IDA máximos



Nota: Para la curva IDA máximos - derivas de entrepisos en la dirección XX e YY; los valores de estas derivas son menores que las derivas permisibles de 0.007 y 0.005, respectivamente, según el sistema estructural basado en la norma E.030.

Figura 195

Desplazamientos de entrepisos, curva Intensidad sísmica vs. Desplazamiento, IDA máximos



Nota: Para la curva IDA máximos - desplazamientos de entresijos en la dirección XX e YY, los desplazamientos máximos de la estructura se encuentra en un desempeño estructural y daño estructural de ocupación inmediata.

Figura 196

Corte en la base de la estructura, curva Intensidad sísmica vs corte, IDA máximos

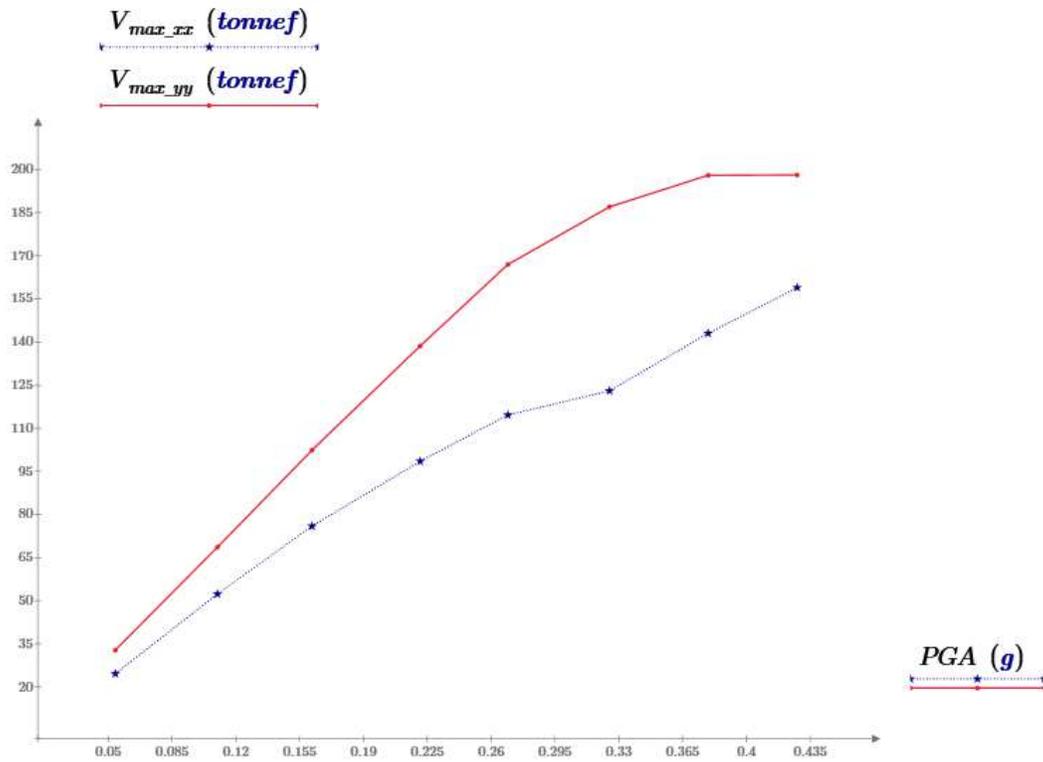
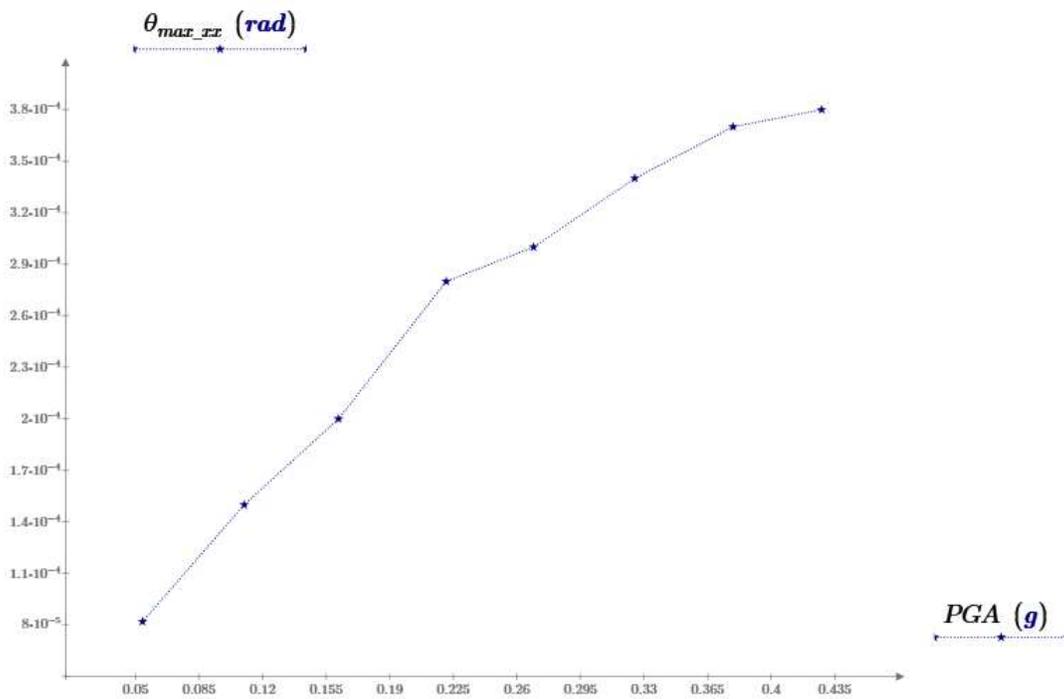


Figura 197

Rotación en la viga crítica de la estructura, curva Intensidad sísmica vs rotación, IDA máximos



Nota: Para la curva IDA máximos- rotación en la viga crítica con dirección XX e YY; las rotaciones máximas de los componentes vigas se encuentra en un desempeño estructural y daño estructural de ocupación inmediata.

Tabla 44

Evaluación del desempeño de la estructura para un IDA, en la dirección de pórtico

PGA (g)	Periodo de retorno (años)	Cortante basal (ton)	Desplazamiento (cm)	Deriva	Nivel de desempeño
0.054	8	24.67	0.26	0.0006	IO
0.11	42	52.36	0.58	0.0014	IO
0.162	125	75.98	0.83	0.0019	IO
0.221	333	98.51	1.1	0.0025	IO
0.269	667	114.62	1.3	0.0027	IO
0.325	1299	123.03	1.5	0.0032	IO
0.379	2381	143.02	1.7	0.0036	IO
0.428	3846	158.92	1.94	0.004	IO

Nota: Nivel de desempeño propuesto por el ATC 40, IO (Ocupación inmediata)

Tabla 45

Evaluación del desempeño de la estructura para un IDA, en la dirección de albañilería confinada

PGA (g)	Periodo de retorno (años)	Cortante basal (ton)	Desplazamiento (cm)	Deriva	Nivel de desempeño
0.054	8	32.83	0.12	0.00006	IO
0.11	42	68.66	0.23	0.0006	IO
0.162	125	102.4	0.33	0.0009	IO
0.221	333	138.63	0.45	0.0012	IO
0.269	667	166.97	0.54	0.0014	IO
0.325	1299	187	0.63	0.0015	IO
0.379	2381	198	0.64	0.0016	IO
0.428	3846	198.1	0.69	0.0017	IO

Nota: Nivel de desempeño propuesto en base a los modelos calibrados por C. Perez, 2022, www.estructuranolineal.com, IO (Ocupación inmediata)

CONCLUSIONES

Para los resultados obtenidos, se concluye que:

CONCLUSIONES GENERALES

1.- La Institución Educativa N°141, está conformado por 3 módulos (ver figura 66), en la cual, se ha realizado el análisis no lineal y estudio del módulo 2 del edificio, por ser el más representativo, a razón de tener mayor masa sísmica.

2.- La estructura, módulo 2, está conformado por un sistema mixto. En su **dirección longitudinal** de análisis, definido por un sistema de pórticos, el cual, tiene un desempeño sísmico de **seguridad de vida** (ver tabla 6 y 40) para un sismo máximo (ver tabla 8, ATC 40), experimentando un daño sísmico moderado (ver figura 59 y tabla 40). En su **dirección transversal** de análisis, definido por un sistema de albañilería confinada, tiene un desempeño sísmico de **inmediata ocupación** (ver tabla 6 y 40) para un sismo máximo (ver tabla 8, ATC 40), experimentando un daño sísmico **ligero** (ver figura 60 y tabla 40).

3.- Debido a que el módulo 02 del edificio es el más representativo y ésta se encuentra en un nivel de desempeño de inmediata ocupación y seguridad de vida, funcional luego de un sismo de diseño y máximo; se infiere que los **módulos 01 y 03** tendrán un desempeño de **inmediata ocupación y de seguridad de vida**.

4.- La **hipótesis general** planteado para el proyecto de investigación denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022”, **se cumple** en ambas direcciones de análisis.

5.- Las conclusiones de los antecedentes registrados, como el estudio relacionado, denominados “**Desempeño sísmico por el método push-over de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10**” son similares a las conclusiones planteadas

para el proyecto de investigación denominado “**Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022**”.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Conclusión Específica 01

1.- La estructura evidencia un **comportamiento estructural adecuado**, con un periodo estructural de 0.217 seg., dentro del ratio de 0.1s por piso, para un sistema de pórticos; además, las formas modales en las direcciones principales de análisis son traslacionales a un 83% en la dirección del sistema de pórtico y de 70% en la dirección del sistema de albañilería, de la masa acumulada (ver figura 145).

2.- La **participación de masa modal de la estructura**, considerando sus propiedades de rigidez y distribución de masa, es conforme a los requisitos de la norma sismorresistente E.030, para el análisis dinámico modal espectral, **acumulando el 90% de la masa efectiva** en los primeros 5 modos de vibración (ver figura 145).

3.- Se concluye que **la hipótesis específica 01** planteado para el proyecto de investigación denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022”, **se cumple** en ambas direcciones de análisis.

Conclusión Específica 02

1.- La estructura muestra un **comportamiento sismorresistente adecuado**, contemplando la distribución de rigidez, resistencia y ductilidad necesaria para que los desplazamientos laterales relativos o **distorsiones de la estructura frente a las fuerzas sísmicas máximas que son de 0.006 y 0.023** (ver tabla 40), para un sistema de pórticos y de albañilería según corresponde,

estén dentro de los límites para cada sistema estructural, según la tabla N°11 de la norma sismorresistente E.030.

2.- Las componentes estructurales bajo un análisis dinámico espectral, tiene un comportamiento adecuado, manteniéndose siempre el mecanismo columna fuerte y viga débil, de igual manera las columnas como los nodos de uniones con las vigas son resistentes, trabajando en un 86% y 74% correspondientemente (ver figura 147)

3.- Se concluye que **la hipótesis específica 02** planteado para el proyecto de investigación denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héroes de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022”, **se cumple** en ambas direcciones de análisis.

Conclusión Específica 03

1.- La componente columna y viga de concreto reforzado más críticas de la estructura, para un **sistema de pórticos**, tiene un desempeño sísmico estructural de **seguridad de vida** con un daño leve para un sismo máximo (ver tabla 34 y 35). La componente muro de albañilería más crítica de la estructura, para un sistema de **albañilería confinada**, tiene un desempeño sísmico estructural de **ocupación inmediata** con un daño leve para un sismo máximo (ver tabla 36).

2.- Para un sismo máximo (ver tabla 8, ATC 40), **las vigas y columnas** exhibirán grietas finas. En los pórticos dúctiles, algunos de los elementos del pórtico alcanzaran la capacidad de cedencia, indicada por grietas de flexión más grandes y algo de desprendimiento del concreto; los pórticos no dúctiles pueden exhibir mayores grietas de corte y desprendimiento. Los componentes **muros** pueden presentar grietas finas diagonales en forma de escalera en algunos muros de albañilería; grietas más grandes alrededor de las aberturas de puertas y ventanas en las

muros con una gran proporción de aberturas; movimientos de dinteles; grietas en la base de los parapetos (**HAZUZ MR4**)

3.- La estructura y componentes estructurales en general se encuentran en un nivel de desempeño de ocupación inmediata y seguridad de vida, adecuada para su funcionalidad, **sin requerir proyectos de intervención estructural**, hasta la modificación o actualización de las normativas, previa revisión.

4.- Se concluye que **la hipótesis específica 03** planteado para el proyecto de investigación denominado “Evaluación del desempeño sísmico estructural de la Institución Educativa N°141-Huánuco 2022, Mediante un análisis no lineal”, **se cumple** en ambas direcciones de análisis.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

RECOMENDACIONES GENERALES

1.- Aplicar el estudio de evaluación del desempeño sísmico estructural a otros centros educativos, con similares características, bajo la guía de este trabajo de investigación.

2.- Revisar el comportamiento de la estructura, por desempeño sísmico estructural, en caso las normativas se actualicen y se evidencie una variación considerable en los valores del desempeño o parámetros de control.

3.- Realizar el **análisis por desempeño sísmico no estructural** para los elementos no resistentes a sismos; como parapetos, instalaciones, tabiquerías móviles, cubiertas y otros, que puedan afectar la funcionalidad del edificio.

4.- Realizar un análisis y evaluación del desempeño estructural aplicado a edificaciones educativas similares al proyecto investigado, incluyendo el **análisis de Interacción Suelo-Estructura**, y la **utilización de otros softwares de análisis y cálculo estructural**, de manera que se verifique la sensibilidad de la estructura respecto al sistema de cimentación y la respuesta analítica de la estructura frente a otros softwares del mercado.

5.- Implementar en los cursos de pregrado; el análisis, diseño y evaluación por desempeño sísmico de estructuras, con el fin de concebir estructuras más eficientes.

RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

Recomendación Específica 01

Iniciar una evaluación estructural similar al estudio, revisando el comportamiento estructural (estructuración, formas modales, masa participativa) de los centros educativos, con

similares características a lo evaluado en esta investigación, y con otros softwares de análisis, debido a que la respuesta influirá en su desempeño sísmico estructural.

Recomendación Específica 02

Aplicar para proyectos similares, un análisis dinámico (sísmico) no lineal tiempo historia, debido a que los resultados en corte y desplazamiento son sensibles y diferentes a que solo se realice un análisis estático no lineal.

Recomendación específica 03

Realizar un plan de mantenimiento estructural específico, en caso de presentarse fisuras, desprendimiento de concreto no estructural, daños leves en los componentes estructurales, que no admite una intervención estructural, para un sismo máximo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zapata, D. (2019). Influencia De Las Normas E.030-2003 Y E.030-2018 en El Diseño Sísmico De Edificaciones De Concreto Armado De Diferentes Alturas. Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2771>.

Gerencia de Infraestructura (2006). Sustitución de Infraestructura e implementación con mobiliario de la IEI N° 141-Heroes de Jactay-Huánuco. Gobierno regional Huánuco.

Resolución Ministerial, N° 355-2018-Vivienda, por el cual se aprueba la modificación de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Resolución Ministerial, N° 079-2003-Vivienda, por el cual se aprueba la actualización de la Norma Técnica de Edificación E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de edificaciones.

Hernández, S. (2016). ¿Cómo se mide la vida útil de los edificios?, Revista ciencias. <https://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/674/PDF/VidaUtilEdificios.pdf>.

Orellana, G. & Parra, J. (2017). Evaluación de desempeño sísmico de un edificio esencial porticado de hormigón armado según la norma ecuatoriana de construcción (NEC-SE-RE, 2015). Universidad de Cuenca-Ecuador.

Salcedo, Y. (2017). Desempeño sísmico por el método push-over de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10. Universidad de la costa – Colombia.

Gálvez, V. (2011). Evaluación del Desempeño Sismorresistente Usando Análisis No Lineal en el Tiempo. Pontificia Universidad católica del Perú.

Amoros, C. (2015). Análisis sísmico usando sap2000 para evaluar la efectividad del comportamiento sismorresistente de la infraestructura de la I.E 82109, San Antonio Plan Tual – centro poblado -Huambocancha alta, provincia y región de Cajamarca. Universidad Cesar Vallejo.

Chacón, R. & Paz I. (2016). Análisis de desempeño sísmico de los edificios escolares típicos 780 post 97 de la costa peruana. Pontificia Universidad católica del Perú.

Paredes, C. (2018). Evaluación estructural de la Institución Educativa Emblemática Nuestra Señora de las Mercedes, usando el método del espectro de capacidad. Universidad Alas Peruanas.

Marín, F. (2012). Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad de Huánuco, Universidad Nacional de Ingeniería.

Hernández & Villamizar. (2018). Diseño por desempeño sísmico de edificaciones. Inesa Tech.

ATC 40. (1996). Seismic Evaluation And Retrofit Of Concrete Buildings - Volume 1. Consejo de tecnología aplicada.

FEMA 440. (2005). Improvement Of Nolinear Static Seismic Analysis Procedures. Agencia federal para el manejo de emergencias.

ASCE 41-17. (2017). Seismic Evaluation And Retrofit Of Existing Buildings. Sociedad americana de Ingenieros civiles.

Coral, M. (2017). Ensayos Cíclicos En Muros De Albañilería Confinada Construidos Con Ladrillos King Kong de Fabricación Industrial. Pontificia Universidad católica del Perú.

Perez, C. (2022). Especialista en Análisis no lineal www.estructuranolineal.com

Gonzales, G. Aguilar, A. & Huaco, G. (2020). Análisis Dinámico Incremental de un Hospital de 60 Años de Antigüedad con Muros de Albañilería Artesanal. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.

Bernardo, J. & y Peña, M. (2009). Efectos Del Peralte De Las Columnas En El Comportamiento Sísmico De Los Muros De Albañilería Confinada. Pontificia Universidad católica del Perú.

Angles, P. (2008). Comparación Del Comportamiento A Carga Lateral Cíclica De Un Muro Confinado Con Ladrillos De Concreto Y Otro Con Ladrillos De Arcilla. Pontificia Universidad católica del Perú.

FEMA 356. (2005). Improvement Of Nolinear Static Seismic Analysis Procedures. Agencia federal para el manejo de emergencias.

Centro de observación para la ingeniería sísmica. CISMID/FIC/UNI.

<http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

SENCICO. (2016). Servicio Web De Consultas Para La Determinación Del Peligro Sísmico En El Territorio Nacional.

URLHTTP://PAGE.SENCICO.GOB.PE/PUBLICACIONES.PHP?ID=331.

HAZUS MR4. (2003). Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model. Agencia federal para el manejo de emergencias.

Deierlein, G. Reinhorn, A. & Willford, M. (2010). Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design. NIST GCR 10-917-5.

Joo, S. & Chang, L. (2020). Hysteresis Model for the Cyclic Response of Existing Reinforced Concrete Frames. Revista de la Asociación Coreana de Estructuras Espaciales. <http://journal.kasss.or.kr/journal/article.php?code=75871&ckattempt=1>

FEMA P-58-1. (2018). Seismic Performance Assessment of Buildings. Agencia federal para el manejo de emergencias.

Resolución de Consejo universitario N° 3840-2017-UNHEVAL, por el cual se aprueba el Código De Ética Para La Investigación-Vicerrectoría de Investigación. Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

ANEXO 01

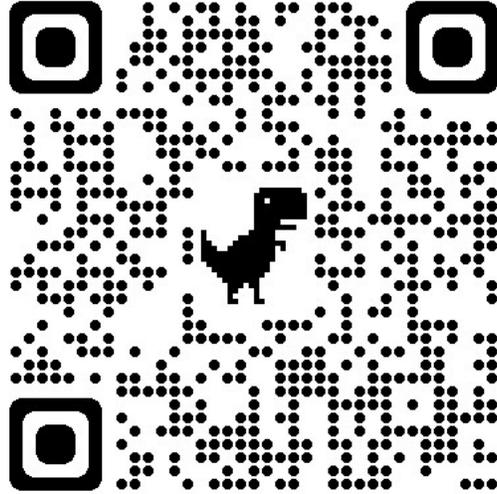
Matriz de consistencia del trabajo de investigación: Evaluación del desempeño sísmico estructural de la I.E. N°141 – Héros de Jactay - Huánuco, mediante un análisis no lineal - 2022, mediante un análisis estático y dinámico no lineal.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable	Espectro de	Investigación
Empleando las metodologías de evaluación por desempeño sísmico para edificaciones existentes, ¿cuál será el desempeño sísmico estructural de la institución educativa N°140 - Héros de Jactay?	Determinar el desempeño sísmico estructural de la institución educativa N° 141-Héros de Jactay, aplicando las metodologías existentes para su evaluación.	La estructura educativa tendrá un desempeño sísmico estructural en el rango de seguridad de vida y de ocupación inmediata , permaneciendo en condiciones operativas luego de un sismo severo.	General VI: Punto de desempeño sísmico de la estructura. VD: Desempeño sísmico de la estructura.	capacidad del FEMA 440, Coeficientes del ASCE41-17, índice de desplazamiento incremental (IDA) del FEMA P58 y E030 y niveles de movimiento sísmico del ATC 40.	aplicada. Investigación cuantitativa. Investigación experimental.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Específicas	Objetivo de	
¿Cuál es el comportamiento estructural de la institución educativa N°140 - Héros de Jactay.	Determinar el comportamiento estructural de la institución educativa N°140 - Héros de Jactay.	La estructura tiene un comportamiento estructural adecuado (con una participación modal de masa acumulada mayor al 90% de la masa total y un	VI₁: Estructuración de la institución educativa	desempeño y los criterios de aceptación de los componentes y	

<p>N°140 - Héroes de Jactay</p> <p>¿Cuál es el comportamiento sismorresistente de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay?</p> <p>Si la institución educativa reúne las condiciones para un desempeño estructural deficiente, ¿cuáles son las componentes y elementos estructurales vulnerables que necesitan una intervención estructural para lograr un nivel de desempeño objetivo?</p>	<p>Determinar el comportamiento sismorresistente de la institución educativa N°140 - Héroes de Jactay.</p> <p>Determinar aquellos componentes y elementos estructurales vulnerables, que necesiten una adecuación o intervención estructural para generar un nivel de desempeño objetivo.</p>	<p>desplazamiento traslacional en sus principales direcciones de análisis)</p> <p>La estructura tiene un comportamiento sismorresistente adecuado (con una deriva inelástica de la estructura bajo una aceleración espectral o sísmica, dentro del límite admisible normado, para sus principales direcciones de análisis)</p> <p>La estructura y componentes estructurales de la edificación educativa se encuentran en un nivel de desempeño entre seguridad de vida y ocupación inmediata, sin requerir un mejoramiento ni intervención estructural hasta que cumpla su vida útil.</p>	<p>N°141-Héroes de Jactay.</p> <p>VD1: Respuesta modal de la estructura.</p> <p>VI2: Fuerza sísmica.</p> <p>VD2: Respuesta sísmica de la estructura.</p> <p>VI3: Parámetros no lineales de los componentes y elementos estructurales.</p> <p>VD3: Desempeño de los componentes y elementos estructurales.</p>	<p>respuesta global y daño de la estructura del ATC 40, ASCE41-17 y HAZUZ 99</p> <p>Procedimiento para la toma de datos del modelo físico y traducirlo en un modelo virtual.</p> <p>Modos de vibración del E030.</p> <p>Aceleración espectral del E030.</p> <p>Desplazamientos laterales relativos admisibles del E030</p>
--	---	--	--	--

ANEXO 02 – PLANOS TRANSCRITOS Y DIGITALIZADOS

https://drive.google.com/drive/folders/1QnX6K2zAKZher2hV6yQKmkEiqn-PDOXG?usp=share_link





DECANATO

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 20 días del mes de julio de 2023, siendo las 17.00 pm, se dará cumplimiento a la Resolución de Decano N°511-2023-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°548-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 19.JUL.2023 (Fijando fecha y hora de sustentación de tesis), en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, en virtud a la Resolución Consejo Universitario N° 3412-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación de Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto público presencial de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMICO ESTRUCTURAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°141- HÉROES DE JACTAY-HUÁNUCO, MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO LINEAL - 2022**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil del Bachiller **FREDDY FLORENCIO RAMOS CONTRERAS**, reuniéndose en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, el jurado examinador integrado por los docentes: Dra. Ana María Matos Ramírez PRESIDENTE – Dr. Ing. José Luis Villavicencio Guardia, SECRETARIO – Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, VOCAL y el bachiller mencionado, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de tesis y obtener el **Título Profesional de Ingeniero Civil** de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

Concluido el acto de defensa, los miembros de jurado procedieron a la evaluación del aspirante al Título Profesional de Ingeniero Civil, obteniendo luego el resultado siguiente:

APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
RAMOS CONTRERAS FREDDY FLORENCIO	APROBADO	17	Muy Bueno

Calificación que se realizó de acuerdo a la Resolución Consejo Universitario N° 3412-2022-UNHEVAL - Título VII- Capítulo VI Art.78 Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán

Dándose por finalizado dicho acto a las: 18:30 del mismo día 20/07/2023 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.


ANA MARÍA MATOS RAMÍREZ
PRESIDENTE


JOSÉ LUIS VILLAVICENCIO GUARDIA
SECRETARIO


ELISA RAQUEL QUINTANILLA HERRERA
VOCAL



“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

N°075-2023- DI/FICyA

El director de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

HACE CONSTAR que:

EL Borrador de Tesis **“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°141 - HÉROES DE JACTAY - HUÁNUCO, MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINAMICO NO LINEAL – 2022”** del Bachiller **FREDDY F. RAMOS CONTRERAS**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 16 % verificable en el Reporte de Originalidad del software anti-plagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto el borrador de Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 05 de Octubre 2023

Dr. Ing. Jose Luis Villavicencio Guardia

Director de Investigación
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura

DIJLVG 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

Evaluación del desempeño sismico estructural de la Institución Educativa N°141, Huánuco 2022, median

AUTOR

FREDDY F. RAMOS CONTRERAS

RECUENTO DE PALABRAS

33865 Words

RECUENTO DE CARACTERES

184865 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

280 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

26.3MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 5, 2023 1:35 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 5, 2023 1:37 PM GMT-5

● 16% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	
----------	-------------------------------------	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	--

Pregrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	-----
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	-----
Nombre del programa	-----
Título que Otorga	-----

Posgrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Nombre del Programa de estudio	-----
Grado que otorga	-----

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	RAMOS CONTRERAS, Freddy Florencio							
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	962562958
Nro. de Documento:	72636332				Correo Electrónico:	ffrc92@gmail.com		

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:			

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO			
Apellidos y Nombres:	DOMINGUEZ MAGINO, Mauro Antonio			ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0001-5068-0348	
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		Nro. de documento:	22428309

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	MATOS RAMIREZ, Ana María
Secretario:	VILLAVICENCIO GUARDIA, José Luis
Vocal:	QUINTANILLA HERRERA, Elisa Raquel
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	NARRO JARA, Luis Fernando

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMICO ESTRUCTURAL DELA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°141-HÉROES DE JACTAY-HUÁNUCO, MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO LINEAL-2022
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

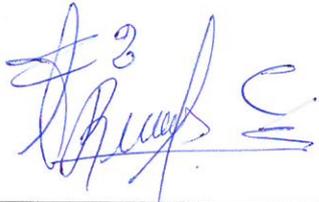
6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)		2023	
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo
	Trabajo de Investigación		Tesis Formato Patente de Invención
	Trabajo Académico		Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos
		Trabajo de Suficiencia Profesional	Otros (especifique modalidad)
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	Desempeño Estructural	Análisis Tiempo Historia	Análisis Dinámico Incremental
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):	SI		NO <input checked="" type="checkbox"/>
Información de la Agencia Patrocinadora:			

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	RAMOS CONTRERAS, Freddy Florencio	Huella Digital
DNI:	72636332	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 24/07/2023		

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.