

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**MEJORAMIENTO DE LA DUCTILIDAD MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE DISIPADORES SÍSMICOS EN EL HOSPITAL
LUIS HEYSEN INCHÁUSTEGUI CHICLAYO 2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR
DIEGO SAMUEL CABRERA DAVILA**

**ASESOR
CARMEN CHILÓN MUÑOZ**
<https://orcid.org/0000-0002-7644-4201>

Chiclayo, 2021

**MEJORAMIENTO DE LA DUCTILIDAD MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE DISIPADORES SÍSMICOS EN EL
HOSPITAL LUIS HEYSEN INCHÁUSTEGUI CHICLAYO 2020**

PRESENTADA POR:
DIEGO SAMUEL CABRERA DAVILA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

Wilson Martin Garcia Vera
PRESIDENTE

Jose Alberto Acero Martinez
SECRETARIO

Carmen Chilón Muñoz
VOCAL

DEDICATORIA

A Dios,

Por darme las fuerzas
para despertar cada mañana con ansias de
aprender y luchar por mis sueños.

A mi Madre

Por su apoyo incondicional en mi formación
personal y profesional; dando el mejor
ejemplo de responsabilidad y superación.

A mis hermanos,

por ser enseñarme con su ejemplo
el mejor camino profesional y apoyarme
ante todas las adversidades.

A mis maestros

Por su tiempo y apoyo brindado
a lo largo de mi formación universitaria.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	16
2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS.....	24
2.2.1. Aspectos básicos de Ingeniería Sísmica.....	24
2.2.1.1. Sismicidad.....	24
2.2.1.2. Potencial destructivo de terremotos.....	24
2.2.1.3. Mecanismo de propagación de energía sísmica.....	25
2.2.1.4. Relación entre Geología y Sismo.....	26
2.2.1.5. Cuantificación de un Sismo.....	29
2.2.1.6. Vulnerabilidad sísmica.....	30
2.2.1.7. Espectro Sísmico de Respuesta.....	30
2.2.2. Estructuras con disipadores de energía.....	31
2.2.3. Sistemas de Control Sísmico.....	32
2.2.3.1. Sistema de Control Activo.....	32
2.2.3.2. Sistema de Control Híbrido.....	33
2.2.3.3. Sistema de control Semiactivo.....	33
2.2.3.4. Sistemas de control pasivo.....	33
2.2.4. Clasificación del sistema de Control Pasivo por disipación de energía.....	33
2.2.4.1. Disipadores Histeréticos.....	33
2.2.4.2. Disipadores Viscoelásticos.....	38
2.2.5. Cálculo de la ductilidad.....	39
2.2.6. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.020 Cargas”, Lima, Perú, 2006.....	41
2.2.7. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.030 Diseño Sismorresistente”, Lima, Perú. 2018.....	41
2.2.8. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.031 Aislamiento sísmico”, Lima, Perú. 2019.....	42
2.2.9. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.060 Concreto Armado”, Lima, Perú. 2009.....	42
2.2.10. Ministerio de Salud. Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento de los establecimientos de salud de Segundo Nivel de Atención: Norma Técnica de Salud N°110- MINSA/DGIEM, Lima, 2015.....	42
2.2.11. Structural Engineering Institute, “Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, Virginia, 2016.....	43

2.2.12.	American Society of Civil Engineers , «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,»	
2017	43
2.3.	<i>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS</i>	44
2.4.	<i>FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS</i>	45
2.5.	<i>VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN</i>	46
2.6.	<i>OBJETIVOS</i>	47
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1.	<i>TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS</i>	48
3.2.	<i>POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO</i>	48
3.3.	<i>MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</i>	48
3.4.	<i>ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS</i>	49
3.5.	<i>CONSIDERACIONES ÉTICAS</i>	50
IV.	RESULTADOS	52
4.1.	<i>DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO</i>	52
4.2.	<i>ANÁLISIS DINÁMICO</i>	56
4.2.1.	Parámetros Norma E.030 - 2019.....	56
4.2.2.	Verificación irregularidades.....	60
4.2.3.	Resultados.....	63
4.3.	<i>ANÁLISIS PUSHOVER</i>	65
4.3.1.	Definición de materiales.....	65
4.3.2.	Definición de cargas.....	68
4.3.3.	Asignación de Rótulas Plásticas al Modelo.....	72
4.4.	<i>CURVA DE CAPACIDAD - EDIFICACIÓN EXISTENTE</i>	74
4.5.	<i>ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA</i>	76
4.6.	<i>IMPLEMENTACIÓN DISIPADORES SÍSMICOS</i>	80
4.6.1.	Análisis tiempo-historia con disipadores.....	84
4.6.2.	Curva Capacidad con disipadores.....	90
4.7.	<i>DISCUSIÓN</i>	94
V.	CONCLUSIONES	99
VI.	RECOMENDACIONES	100
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
VIII.	ANEXOS	104

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tipos de ondas que generan sismos -----	28
Ilustración 2 Escala de Mercalli Modificada - Intensidad -----	29
Ilustración 3 Modelo TADAS -----	34
Ilustración 4 Curva Histerética TADAS, primeros ciclos-----	34
Ilustración 5 Disipador TADAS -----	35
Ilustración 6 Comportamiento histerético Honeycomb -----	35
Ilustración 7 Geometría Disipador Honeycomb-----	35
Ilustración 8 Ubicación de panel - Panel Disipador -----	36
Ilustración 9 Disipador modelo PVD -----	37
Ilustración 10 Comportamiento histerético elíptico -----	38
Ilustración 11 Disipador Viscoelástico sólido -----	38
Ilustración 12 Tabla de Consistencia de Hipótesis-----	45
Ilustración 13 Vista Satelital del Hospital-----	52
Ilustración 14 División del Hospital por Sector -----	52
Ilustración 15 Estructuración planta primer piso-----	53
Ilustración 16 Estructuración planta segundo piso-----	53
Ilustración 17 Estructuración plata cuarto piso-----	54
Ilustración 18 Estructuración planta tercer piso -----	54
Ilustración 19 Zonificación sísmica Perú – E.030-2019 -----	56
Ilustración 20 Modelamiento Sector C -----	57
Ilustración 21 Reponse Spectrum - Modelamiento -----	59
Ilustración 22 Curva Esfuerzo-Deformación Concreto -----	65
Ilustración 23 Curva Esfuerzo-Deformación Acero corrugado -----	66
Ilustración 24 Modelamiento Columnas-----	66
Ilustración 25 Modelamiento de Vigas -----	67
Ilustración 26 Modelamiento de muros de corte -----	67
Ilustración 27 Carga gravitacional No Lineal -----	68
Ilustración 28 Distribución de carga lateral dirección de análisis “X” y “Y”-----	69
Ilustración 29 Load Case Pushover "X" y "Y" -----	70

Ilustración 30 Load Case Pushover "X" y "Y" por modos-----	70
Ilustración 31 Displacement control -----	71
Ilustración 32 Vista Planta - Centro de Masa ultimo diafragma -----	71
Ilustración 33 Curva de Capacidad - Modo 1-----	74
Ilustración 34 Curva de Capacidad – Modo 2 -----	75
Ilustración 35 Registro Ica EW -----	76
Ilustración 36 Registro Ica UD -----	76
Ilustración 37 Registro Ica NS -----	76
Ilustración 38 Registro Moquegua EW-----	77
Ilustración 39 Registro Moquegua NS-----	77
Ilustración 40 Registro Moquegua UD -----	77
Ilustración 41 Registro Tacna EW -----	78
Ilustración 42 Registro Tacna NS -----	78
Ilustración 43 Registro Tacna UD-----	78
Ilustración 44 Derivas Dirección X - Análisis Tiempo-Historia-----	79
Ilustración 45 Vista 3D edificación con disipadores sísmicos -----	80
Ilustración 46 Pórtico Fachada - Dirección "X"-----	81
Ilustración 47 Pórtico Fachada - Dirección "X"-----	81
Ilustración 48 Función Pulso-----	85
Ilustración 49 Modelo - Calculo de Amortiguamiento -----	86
Ilustración 50 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Moquegua -----	87
Ilustración 51 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Ica -----	87
Ilustración 52 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Ica	88
Ilustración 53 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Tacna-----	88
Ilustración 54 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Tacna	89

Ilustración 55 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Moquegua -----	89
Ilustración 56 Curva de Capacidad con Disipadores - Modo 2 -----	90
Ilustración 57 Curva de Capacidad con Disipadores - Modo 1 -----	90
Ilustración 58 Comparativa Curva de Capacidad Dirección "X" -----	92
Ilustración 59 Zonas de la Curva de Capacidad -----	93

Ilustración 60 Comparativa Curva de Capacidad Dirección "Y" -----	93
Ilustración 61 Derivas Análisis Espectral según Norma Técnica Peruana E.030 -----	94
Ilustración 62 Comparativa Curvas de Capacidad -----	95
Ilustración 63 Zonas de Curva de Capacidad -----	95
Ilustración 64 Comparativa Capacidad de resistencia a cortantes - Análisis Pushover-----	96
Ilustración 65 Registro Ica - Absorción de fuerzas del 35%-----	97
Ilustración 66 Incremento de Amortiguamiento vs Incremento de rigidez-----	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Operacionalización de Variables -----	46
Tabla 2 Cuadro Secciones Columnas -----	55
Tabla 3 Cuadro Secciones Muros de Corte -----	55
Tabla 4 Cuadro de secciones Vigas -----	55
Tabla 5 Parámetros de suelo y uso según Norma E.030 - 2019-----	57
Tabla 6 Calculo de espectro de Sismo E.030 -----	58
Tabla 7 Ratios de Participación de masa -----	58
Tabla 8 Análisis Modal - Periodos -----	58
Tabla 9 Tabla de Pier Forces -----	59
Tabla 10 Verificación sistema Estructural -----	60
Tabla 11 Tabla Story Forces -----	60
Tabla 12 Derivas Dirección Y -----	60
Tabla 13 Derivas dirección X -----	60
Tabla 14 Center of Mass and Rigidity -----	61
Tabla 15 Verificación Irregularidad Geométrica Vertical -----	61
Tabla 16 Verificación Piso Blando y Extrema Rigidez X-X -----	62
Tabla 17 Verificación Piso blando y Extrema Rigidez Y-Y-----	62
Tabla 18 Factor de reducción Sísmica en las direcciones de análisis -----	63
Tabla 19 Derivas sismo X -----	63
Tabla 20 Derivas en Y -----	64
Tabla 21 Masas por diafragma, centro de masas y rigidez -----	64
Tabla 22 Cortantes por Diafragma -----	69
Tabla 23 Parámetros de modelamiento rotulas plásticas ASCE – Vigas de Concreto Armado -----	72
Tabla 24 Parámetros de modelamiento rotulas plásticas ASCE – Columnas de Concreto Armado -----	73
Tabla 25 Derivas Dirección Y – Análisis Tiempo-Historia -----	79
Tabla 26 Amortiguamiento Efectivo-----	82
Tabla 27 Modos de edificación con disipadores sísmicos -----	83

Tabla 28 Derivas Dirección X con disipadores - Análisis Tiempo-Historia -----	84
Tabla 29 Derivas Dirección Y con disipadores - Análisis Tiempo-Historia -----	84
Tabla 30 Cuadro Comparativo - Derivas Análisis Tiempo-Historia -----	85
Tabla 31 Calculo decremento Logaritmico -----	86
Tabla 32 Curva Capacidad - Comparativa con implementación de disipadores-----	91
Tabla 33 Curva Capacidad – Comparativa Cortantes con y sin disipadores -----	92

RESUMEN

En el presente estudio se realiza el análisis estructural del Hospital Luis Heysen Incháustegui ubicado en el Distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque. El hospital hasta el año 2020 lleva 10 años de vida útil, y sin ocurrencia de un sismo severo presenta fisuras que podría reflejar una de falla estructural. Al ser un hospital de categoría II-1, tiene un gran impacto en la custodia de la salud de la población Lambayecana, por ello el presente estudio analiza su estructuración. Se obtuvieron resultados de ductilidad con valores de $\mu=5.08$ para la dirección “X” y un valor de $\mu= 5.05$ en “Y” los cuales cambiaron a valores de $\mu=4.47$ para “X” y $\mu=4.44$ para “Y”, mejorando la ductilidad y reduciendo la posibilidad de la estructura de incursionar en el rango plástico. Su implementación aporta una considerable reducción de esfuerzos y una mayor resistencia a cortantes, valores que fueron corroborados por un análisis Tiempo-Historia donde los disipadores aportaron un 4.89% de amortiguamiento, obteniendo derivas por debajo del 50% de la deriva máxima permisible estipulada en la Norma Técnica E.030 2019.

PALABRAS CLAVES: Disipadores sísmicos, hospital, sismo.

ABSTRACT

In this study, the structural analysis of the Luis Heysen Incháustegui Hospital located in the Pimentel District, Chiclayo Province, Lambayeque Department will be carried out. Until 2020, the hospital has been open for 10 years, and without the occurrence of a severe earthquake, it presents cracks that could reflect one of structural failure. Being a category II-1 hospital, it has a great impact on the custody health of the Lambayecana population, therefore, this study will analyze its structure. Ductility results were obtained with values of $\mu = 5.08$ for the “X” direction and a value of $\mu = 5.05$ in “Y” which changed to values of $\mu = 4.47$ for “X” and $\mu = 4.44$ for “Y”, improving ductility and reducing the possibility of the structure to enter the plastic range. Its implementation provides a considerable reduction of efforts and a greater resistance to shear, values that were corroborated by a Time-History analysis where the heatsinks provided 4.89% damping, obtaining drifts below 50% of the maximum allowable drift stipulated in the Technical Standard E.030 2019.

KEYWORDS: Seismic heatsinks, hospital, earthquake

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo todo el litoral peruano se encuentra el acoplamiento de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, este aspecto geográfico hace del Perú un país proclive a sufrir descargas de energías en formas de ondas, dicho en otras palabras, sismos. Lo que nos conlleva a afirmar que la peligrosidad sísmica, en territorio nacional peruano, es un hecho inminente.

Tal fue el caso del día 26 de Noviembre del 2015; un terremoto de grado 6.7 en la escala de Richter sacudió el territorio de Ucayali [1], otro ejemplo, prueba de la actividad sísmica peruana, se dio el 17 de Julio del 2017, donde tres sismos de magnitud entre 3.8 y 4.3 en la escala de Richter remecieron las ciudades de Pisco y Ancash (Ica), Chimbote y Huarney [2]. Un año después, el 14 de enero, un terremoto de grado 6.8 azotó el departamento de Arequipa y algunas localidades de las regiones de Ayacucho e Ica, donde resaltó la cifra de 15 establecimientos de salud afectados con pequeños colapsos en su estructura [3].

Otro hecho catastrófico ocurrió el día 26 de mayo del 2019; se produjo un sismo de una magnitud de grado 8 en la escala de Richter y VII en la escala de Mercalli Modificada en el distrito de Yurimaguas, provincia del Alto Amazonas, región Loreto [4]; se registró 833 familias afectadas y 402 damnificados, 7 instituciones educativas quedaron inhabitables, y se declararon 38 centros de salud perjudicados, de los cuales dos de ellos colapsaron [5]. Ante dicha emergencia, los centros de salud representan la principal problemática para hacer frente rápidamente al auxilio de las víctimas, poniendo en cuestionamiento la cultura de prevención peruana. Por ello, actualmente [6] exige el uso de un sistema de disipación sísmica en las edificaciones que sean catalogadas como esenciales, en este caso centros de salud.

Es por ello, que el desarrollo de esta investigación se realizará en el Hospital Luis Heysen Incháustegui. Un nosocomio, que hasta el año 2020, no tiene más de 10 años de vida útil y es categorizado con un nivel hospitalario II-1. Esta categoría lo hace acreedor de la atención del 12% - 20% de la demanda poblacional, a su vez se le considera un hospital de atención de complejidad intermedia. Estas menciones lo posicionan en la primera línea de respuesta frente a un evento natural sísmico, en consecuencia, su funcionamiento continuo depende estrictamente de su estabilidad y respuesta estructural. Sin embargo, en una inspección visual se encontraron fisuras y algunos asentamientos; sin mencionar que este hospital fue diseñado bajo parámetros del reglamento E.030 del año 2009, normativa que se actualizó en el año 2018. De esta manera, se discrepa sobre la estabilidad estructural del Hospital Luis Heysen Incháustegui, y en aras de realizar un aporte a la sociedad, planteo lo siguiente ¿La implementación de disipadores sísmicos mejorará la Ductilidad del Hospital Luis Heysen Incháustegui? Esta investigación se enfoca en primer lugar en la ductilidad por su capacidad de absorber la energía introducida por acciones sísmicas; y en segundo lugar, los disipadores sísmicos, por ser dispositivos que permiten aumentar dicha característica estructural, ahora considerados por la E.031 del RNE como un sistema sismorresistente no convencional.

Durante el evento sísmico la edificación recibe la energía transmitida por el sismo, esta es disipada en relación del grado de amortiguamiento de la estructura y la deformación no elástica en los elementos estructurales. Estos dos parámetros son proporcionados en gran parte por los disipadores de sismos, quienes principalmente controlan y absorben dichas deformaciones. De esta manera podemos afirmar que la implementación de estos dispositivos asegura el funcionamiento de los centros de salud posterior a la acción sísmica, contribuyendo a la sociedad al garantizar la primera respuesta inmediata. Otro aporte resulta ser el aspecto económico; los disipadores poseen la capacidad de atenuar los desplazamientos residuales una vez cesado el sismo, es así que el costo de implementación de estos dispositivos evaluado de manera indirecta a largo plazo representa un alto ahorro en reparaciones.

Estos dispositivos ya se han puesto a prueba en el extranjero, en el 2017 se acoplaron 296 amortiguadores en el Hospital General de Veteranos Taichung ubicado en Taipéi, capital de Taiwán [7]. La verificación de la respuesta prevista de la edificación se ve reflejada durante y después del suceso sísmico; para lo cual, el día 6 de febrero del 2018 después del terremoto en Taiwán de grado 6 en la escala de Richter, dicho centro de salud no presentó colapsos o daños severos en su estructura, mostrando el aporte generado por este sistema de disipadores. [7] Comparó el estado de la edificación con la de edificaciones aledañas a la zona afectada por el sismo, determinando que los daños se apaciguaron hasta en un 75%. La empresa diseñadora y promotora del uso de los disipadores, aportó académicamente al presentar datos estadísticos e incentivó la investigación del comportamiento de los nuevos sistemas no convencionales de diseño sismorresistente.

Por ello a continuación, el investigador se propone mejorar la ductilidad del Hospital Luis Heysen Incháustegui mediante la implementación de disipadores sísmicos. Especificando el tipo de disipador, el grado de ductilidad que alcanzaría la edificación y la ubicación de los muros; en paralelo, aportar a la comunidad académica con los resultados obtenidos, generando una cultura preventiva frente a sucesos sísmicos naturales.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

ANTECEDENTE 1: G. Serino, L. Bozzo y I. Nuzzo. “The use and desing of Shear Link Bozzo” (SLB) Energy Disipatio Devices for Seismic Protection of Precast R.C. Buildings”

La referencia [8] tiene como objetivo conocer el comportamiento de los disipadores SLB (Sher Link Bozzo), específicamente que tan competentes son al mantener a la estructura en un rango elástico y sin presencia de daños, al absorber la energía introducida por la acción sísmica. Estos dispositivos son clasificados como un sistema de disipación pasivo, caracterizado por trabajar independientemente de sistemas complementarios; ya que, son activados por los desplazamientos que sufren sus extremos producto de la acción sísmica.

[8] Parte por la elaboración de estudios de tiempo y respuesta de desplazamiento suscitados en zona sísmica de territorio peruano. Seleccionó los registros del 23/06/2001, 15/08/2007 y 24/08/2011, a causa de los catastróficos daños ocasionados. [8] Ejecutó ensayos previos, se construyó un pequeño módulo de concreto armado implementado con disipadores SLB; el cual a su vez fue modelado en el programa ETABs. Se compararon los resultados de ambos casos con el fin de conocer el comportamiento y modelamiento del disipador SLB. Habiendo obtenido resultados óptimos, procedió con la aplicación de dispositivos SLB en el diseño de una edificación de 5 pisos que empleaba una estructuración denominada “muros desacoplados”.

Del experimento realizado y el análisis de modelamiento, [8] concluye que los dispositivos aseguran el mejoramiento de la respuesta estructural ante acción sísmica severa, debido a la reducción de los desplazamientos (derivas de entrepiso) y de la energía sísmica introducida en la edificación. [8] Propone su investigación para trabajos futuros como guía para el análisis y modelamiento de estructuras con disipadores sísmicos tipo SBL.

ANTECEDENTE 2: M. Palermo, G. Gasparini, S. Silvestri, V. Laghi y T. Trombetti. “Seismic Retrofit of an Hospital Facility with an external Damping MPD System”

En la referencia [9], se estudió la problemática que enfrenta el pabellón N°5 del hospital Sant’Orsola Malpighi de Bolonia, el cual cuenta con un área de 38000 metros cuadrados distribuidos en un número de 6 y 7 pisos, con una altura promedio de 3.5 metros. Por su antigüedad representan una pieza histórica y por tal su estabilidad ha sido cuestionada; de esta manera los investigadores plantearon como objetivo el mejoramiento de respuesta estructural implementados disipadores de calor viscosos arreglados horizontalmente o también conocido como Sistema Proporcional a las Masas (MPD).

[9] Plantea el desarrollo de su investigación en 5 pasos para el dimensionamiento del sistema de disipación. El primer paso consistió en identificar el rendimiento general que debe proporcionar el sistema, determinando que se necesita una reducción adicional de la fuerza basal en un 53% para evitar daños irreversibles y catastróficos en el Hospital. El segundo paso se relacionó al dimensionamiento de los disipadores estableciendo su equivalencia lineal. El tercer paso evaluó las fuerzas y velocidades de diseño relacionadas a la zona aledaña a la ubicación del Hospital. En el cuarto paso estimó los coeficientes de amortiguación de los dispositivos trabajando con la estructura; esto lo realizó con ayuda del programa SAP2000. Por último, optimiza el diseño verificando el comportamiento de la estructura equipada con los disipadores.

[9] Concluye que la principal ventaja del sistema MPD es la reducción de la energía introducida en la estructura, y consecuentemente los costos indirectos por intervenciones tradicionales para la reconstrucción se ven mermados. [9] Afirma que el sistema MPD, es capaz de garantizar un alto rendimiento y considerablemente mayor que los sistemas de disipación de amortiguación viscosa. Por último, sintetiza que el uso de sistema disipación externo, provee ventajas en la facilidad de su mantenimiento, control y eventualmente el reemplazo del dispositivo.

ANTECEDENTE 3: R. Aguiar. “Análisis de disipadores TADAS utilizados en reforzamiento del Hospital Zambrano de Manta”

Aguiar [10] estudia un caso particular suscitado en el Hospital Rodríguez Zambrano de la ciudad de Manta, Ecuador. Este hospital se vio afectado tras el sismo de 7.8 en la escala Richter el 16 de abril del 2016. Dejó como estragos fisuras presentes en elementos estructurales y no estructurales. El autor planteó como objetivo el reforzamiento del hospital utilizando disipadores tipo TADAS (triangular Added Damping and Stiffness). [10] Analizó los tres bloques que integran la estructura total del Hospital. Para cumplir con el análisis utilizó el método Espectral y criterios de combinación modal (CQC), con el fin de entender el comportamiento no-lineal de la estructura existente, esto le ayudaría a tener mayor noción sobre la posible ubicación de los disipadores. Es así como [10] señala un criterio sobresaliente, basado en la norma ASCE 7-10 (chapter 18), expresa que la estructura debe tener la capacidad de soportar al menos el 75% de la acción sísmica; caso contrario la interacción estructura-disipador no cumplirá con las expectativas previstas en el diseño.

[10] Fundamenta que para el diseño de estos disipadores se debe tener en cuenta la capacidad de fluencia del acero a emplear, por lo que seleccionó disipadores compuestos por un número entre 6 y 10 placas de acero con un límite de fluencia de 320 MPa. La principal interrogante frente a estos disipadores es la proximidad de su modelamiento; por consecuente, el autor realizó ensayos en forma experimental, distinguiendo la presencia de dos tipos de rigideces: elástica y plástica. Es ahí donde aparecen los factores; α , relaciona la rigidez de un marco de pórtico con respecto a la rigidez total; β relaciona la rigidez elástica del disipador con la rigidez elástica diagonal del acero sobre el cual se apoya, recalcando que β depende en gran parte del ángulo θ ; de este ángulo depende la descomposición de las rigideces que se encuentran en direcciones diferentes.

En conclusión, [10] optó por el uso de los dispositivos TADAS en los pórticos de fachada, para no impedir el desarrollo laboral del hospital. Indicó la limitación del parámetro θ , como principal problema para en la ubicación de los disipadores; sin embargo, los otros dos parámetros permitieron cumplir con el objetivo de reforzamiento del nosocomio.

ANTECEDENTE 4: L. M. Carmilema Guaranga. “Disipadores de Energía para Edificaciones Esenciales: Caso quirófanos del Hospital del IESS José Carrasco Arteaga de la Ciudad de la Cuenca”.

[11] Plantea su problemática como el diseño de edificaciones esenciales (hospitales) sin criterios sismo-resistentes en zonas de riesgo sísmico; la investigación se desarrolla en la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Menciona que muchos hospitales en su ciudad no cuentan con disipadores de energía, objetando sobre la fiabilidad de su resistencia ante la ocurrencia de un sismo. [11] Decide analizar la aplicación de disipadores viscosos en el bloque de quirófanos del hospital José Carrasco Arteaga.

[11] Indica que la normatividad NEC plantea tres tipos de métodos para el dimensionamiento de estructuras, para lo cual el investigador utilizó el “Diseño basado en fuerzas (DBF)”. Este diseño emplea un método No lineal, el cual puede realizar dos tipos de análisis: Análisis Dinámico Espectral y el Análisis paso a paso en el tiempo. Según [11] el primero también es conocido como análisis dinámico o modal, determina la respuesta de una edificación utilizando espectros de diseño; mientras que el segundo, es conocido como el análisis Tiempo-Historia porque utiliza acelerogramas, es decir, una serie de datos relacionados a la aceleración, magnitud y tiempo. Para obtener respuestas y resultados óptimos, utilizo en análisis Tiempo-Historia, aplicando el registro sísmico del acelerógrafo ubicado en la Universidad de Cuenca correspondiente al día 16 de abril del 2016, sismo de magnitud 7.8 en la escala Richter. Posteriormente, modeló la estructura del bloque ingresando los parámetros sísmicos, parámetros de norma NEC y las especificaciones de los disipadores a emplear.

[11] Concluye que la inclusión de disipadores sísmicos asegura el aumento del amortiguamiento ya que se obtuvo una reducción de 32% en derivas, 51.86% en fuerzas internas, 34.5% en fuerza cortante y 34.53% en el momento general. [11] Afirma que el empleo del análisis Tiempo-Historia otorgó mayor validez a sus resultados, por ser el método más cercano a la realidad. Sin embargo, [11] concluye que los disipadores viscosos no son la mejor alternativa para el Hospital estudiado, por motivo de la limitación en la distribución dentro de la geometría estructural.

ANTECEDENTE 5: J. C. Segovia David y V. I. Fernandez Dávila. “Diseño de Disipadores de Energía Metálicos para una edificación de baja altura de concreto Armado”.

[12] Propone como objetivo plantear el acondicionamiento de disipadores metálicos tipos ADAS para la reducción de daños estructurales en una edificación existente de baja altura. La problemática que dese enfrentar se basa en los resultados post-acción sísmica en la ciudad de Lima, los datos registrados por acelerogramas demostraron la deficiente respuesta sismorresistente en edificaciones de baja altura a pesar de encontrar en una zona de suelos rígidos.

La metodología empleada por [12] se basa en un primer reconocimiento de los tipos de disipadores que existen, los agrupó de forma general en: activos, semi-activos, pasivos. El funcionamiento del sistema pasivo resulta más económico y más eficiente aplicado para la zona de estudio. Opto el uso de disipadores tipo ADAS por desarrollar una deformación uniforme en toda su sección, esto le concede una mayor resistencia ante cargas cíclicas [12]. Para el modelamiento no lineal de los elementos estructurales utilizó el programa PERFORM 3D, con el objetivo de realizar un análisis que involucre una gran variedad de estados límites de deformación y resistencias. A cerca de la edificación que desarrolló, fue un multifamiliar de 5 niveles compuesto por muros de corte de concreto armado con una aceleración de diseño en la base igual a 0.4g y un $R=4.5$, concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, diseñada con la E.030 y E.060 del 2009.

[12] Concluyo que la normativa, actualmente desactualizada, con la que fue diseñada generó la presencia de daños severos por fallas de corte y flexión en los muros de corte. [12] Asegura que el uso de estos disipadores redujo el periodo de la estructura obteniendo: una reducción de desplazamiento hasta en un 53% en el primer piso y 70% en el último nivel, disminución del acero de refuerzo en un 70% y un aumento del amortiguamiento viscosos de 24.71% en H2 (zona flexible con presencia de muros con pórticos) y 9.52% en H1 (zona rígida con gran cantidad de muros).

ANTECEDENTE 6: G. Villareal Castro, J. D. Alva Valera y K. P. Castro Rodríguez. “Análisis y Diseño Estructural en Edificaciones implementando Disipadores de Energía Viscosos Taylor”.

[13] Tiene por objetivo el mejoramiento de la respuesta estructural de una edificación implementando disipadores de energía viscosos Taylor, planteando que estos podrían ser capaces de reducir la energía sísmica recibida en elementos estructurales.

Para el desarrollo de su tesis, [13] eligió una estructura rectangular de 9 niveles ubicada en esquina dentro de la zona urbana de la ciudad Trujillo, donde el primer nivel consta de servicios generales; desde el segundo al noveno nivel se encuentran hall y oficinas. Decidieron estructurar dicho edificio empleando un sistema convencional y otro diseño aplicando disipadores viscosos, de tal manera se podrá obtener una comparativa por costos y desempeño estructural. El modelamiento de la estructura se llevó a cabo con ayuda del software ETABs15, bajo normativas peruanas E.030, E.020, E.060 y normativa extranjera como la ASCE 7-10, FEMA 273-274. A su vez, trabajaron con análisis sísmico dinámico Tiempo-historia tomando los registros de los sismos de Moquegua 2001, Moyobamba 2005, Ica 2007 y Tacna 2014.

[13] Concluyó que los disipadores viscosos implementados absorbieron 41.31% de la energía sísmica ingresada a la edificación, viéndose reflejado en la deriva máxima obtenida al aplicar el sistema de disipación, siendo 17% menos que de la deriva normada. Además, en el caso de refuerzo para cimentaciones solo se necesita el 63.43% del refuerzo en una edificación convencional, en las placas un 64.80% y para las vigas un 60.79%.

ANTECEDENTE 7: M. Díaz La Rosa Sánchez. “Optimización de diseño Estructural de una Edificación Esencial Mediante el empleo de Disipadores Viscosos”.

[14] Analiza la problemática de la edificación esencial Hospital Clínico Provida, esta presenta irregularidad torsional en el eje Y-Y además de superar el máximo desplazamiento relativo de piso. Para lo que se propone un reforzamiento, involucrando una reestructuración e implementación de disipadores de energía de tipo viscoso.

El investigador de la referencia [14] parte estudiando el estado actual de la edificación esencial, para ello modela y realiza un análisis estático, donde determina la irregularidad torsional en base a los parámetros establecidos en la Norma E030. De igual manera, con el mismo análisis obtuvo las derivas de los ejes X-X (0.0406) y Y-Y (0.1343), superando considerablemente la deriva máxima establecida (0.007). Posteriormente, [14] presenta una primera estructuración de la edificación, para luego optimizarla con el análisis no lineal tiempo historia en base a los sismos de Moquegua (23 de junio 2001); Ica (15 de agosto 2007) y La punta-Lima (15 de agosto 2007). Es así como [14], aumenta las dimensiones de vigas y columnas, cambia el $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ por $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$; siendo los resultados en derivas de ejes X-X (0.00356) e Y-Y (0.00733). En esta última fase de la investigación se añaden 27 Disipadores tipo viscosos en el eje Y-Y, conllevando a un nuevo dimensionamiento de los elementos integrantes de la estructura.

[14] Concluye que los disipadores de energía tipo viscosos absorben un 53.51% de la fuerza introducida por el sismo, prueba de la eficiencia del sistema. A la vez, señala que el primer modo de vibración de la estructura no se modificó, estos dispositivos no alteran en ningún grado la rigidez de la estructura.

ANTECEDENTE 8: A. Chillón Zárate. “Diseño y Análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscosos en una edificación de 4 niveles, Chiclayo 2017”.

[15] Plantea la implementación de un sistema de disipación sísmica aplicado en la casa de estudios superiores, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; analizando el edificio del Centro de Capacitación y Servicios Odontológicos con un aislador de núcleo de plomo y un disipador de fluido viscoso, comparando los resultados del análisis estructural y costos de ambos sistemas. Cabe recalcar que la elaboración del presente antecedente se realizó en la fase de proyecto de la edificación.

[15] Partió analizando el área correspondiente al emplazamiento de la edificación, con estudios geotécnicos, arquitectónicos y datos técnicos relacionados a los dispositivos. Este autor realizó un registro sísmico del Perú, tomando como modelo los sismos ocurridos en Ica 2007, Lima 1996 y Moquegua 2001; en base a estos eventos analiza y evalúa en una situación hipotética del comportamiento que pudo haber tenido la edificación si se hubiese suscitado un

sismo de la misma magnitud, de esta manera se estima la respuesta estructural incluyendo la aislación sísmica y los disipadores, tomando como base de comparación el comportamiento de la estructura sin ningún tipo de protección sísmica.

[15] Concluye que el uso de los disipadores reduce los desplazamientos en un 37% y las derivas de entre piso en un 40%. Por otra parte, para el caso del aislador sísmico, nos dice que reduce en un 89% los desplazamientos y un 91% las derivas de entrepiso. El autor recomienda emplear los aisladores para estructuras que se encuentren en fase de proyecto a causa del enorme costo que conllevaría la implementación a estructuras ya existentes.

2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS

2.2.1. Aspectos básicos de Ingeniería Sísmica

2.2.1.1. Sismicidad

La referencia [16] afirma que actualmente mediante la recopilación de los estudios realizados a lo largo de los años, se obtuvieron datos de distribución espacio-tiempo de los sismos, e incluso se han obtenido correlaciones con la distribución de características fisiográficas y geológicas, magnitudes, tiempos de duración, coordenadas y profundidad del foco, etc.; estos datos son los que en conjunto denotan la definición de la sismicidad dada en una determinada zona. Para tener mayor noción de ello, a continuación, se presentarán algunos puntos relacionados.

2.2.1.2. Potencial destructivo de terremotos

En [16] señalan que el potencial de los terremotos corresponde a 4 condiciones generales: la severidad y sus daños colaterales ante las estructuras; la fuente sísmica y la distancia a la que se encuentre de la zona urbana, mientras más lejos esté menor será el impacto del sismo; el tamaño, distribución y desarrollo económico por parte de la población para superar las adversidades; y por último la preparación, como un plan de contingencia, es decir la respuesta y medidas preventivas. De manera adicional podemos considerar la sobrepoblación de edificaciones y una estructuración vulnerable.

Por otra parte, [16] indica que la cuantificación del potencial sísmico se puede realizar por dos métodos:

- Determinista

Este método realiza un estudio del historial sísmico de la zona, bajo la hipótesis que la actividad será la misma que en eventos pasados; sin embargo, la desventaja es no poder afirmar que el máximo valor del pasado, será el máximo valor a futuro.

- Probabilístico:

De manera similar que el método determinista, realiza un historial sísmico de la zona, pero ahora establece una relación estadística que puedan plantear las posibles características de un sismo a futuro.

La evaluación más factible para un estudio es la evaluación probabilística; podemos definir parámetros como localización, tamaño y ocurrencia de sismos. Por ello [17] propone aplicar un filtro, tomando sismos de magnitud mayor a 5 en la escala Richter, sismos menores a dicho valor, no representa un peligro severo.

2.2.1.3. Mecanismo de propagación de energía sísmica

Frente a la propagación de las ondas sísmicas, en [16] se indica dos factores determinantes de sus características; la expansión geométrica y la atenuación anelástica. La primera enfatiza la pérdida de amplitud y velocidad de la onda a medida que se vaya alejando del foco epicentral; por otra parte, la atenuación anelástica expresa la reducción de amplitud al pasar por las diferentes capas que componen el suelo, un material no elástico puro [17].

Los factores expuestos anteriormente dan lugar al efecto de sismo local, que según [17] se entiende como la variación que sufren las ondas sísmicas desde el punto epicentral hasta la zona superficial del área de estudio, modificándolas en:

- Contenido Frecuencial

Correspondiente al espesor de la capa y a la velocidad de las ondas.

- Amplitud

Puede darse por la presencia de depósitos de suelo sobre un basamento rocoso, donde las características mecánicas (densidad o módulo de elasticidad) sean totalmente divergentes.

- Duración

Según [17] se vincula a discontinuidades laterales, difracción de ondas y el atrapamiento de las ondas por la presencia de un sedimento poco consolidado, en consecuencia, aumentaría la duración de la propagación sísmica.

De igual manera podemos estimar los efectos sísmicos locales, a partir de la topografía, para ello [17] propone dividirla en dos grupos. El primero debido a los materiales constituyentes, en otras palabras, el tipo de suelo; y el segundo, los efectos geométricos que modifican la orientación o la inclinación de incidencia de las ondas. A su vez, el estudio del efecto sísmico local es presentado por [18] como la evaluación de amenaza sísmica, donde se evalúa la confiabilidad de los parámetros previos asumidos en la fase de diseño.

2.2.1.4. Relación entre Geología y Sismo

[17] Asevera que los sismos son producidos por el movimiento de las placas tectónicas (empuje entre ellas). La geología interviene en el sentido del desplazamiento y distribución de las ondas, dando lugar a la Teoría Tectónica de placas. El campo de desarrollo de esta teoría se basa en determinar las zonas que geológicamente producen sismos; por ejemplo, dicha teoría menciona la relación causal directa de sismos en la corteza con los desplazamientos inesperados en las fallas. Hasta el momento las limitaciones no permiten concluir con total certeza la ubicación de los núcleos de sismos; no obstante, se sabe que los sismos son producidos por fallas geológicas y subducción.

- Falla por desplazamiento lateral

[17] Menciona su presencia en las zonas dorsales oceánicas, en bordes de placas, zonas de subducción, zonas colisión y zonas triples; siendo las más peligrosas conocidas: la falla de San Andrés, falla de Motagua y falla de Alpina.

- Fallas normales

Se desarrollan en zonas de la corteza, [17] las caracteriza por el sentido vertical de su esfuerzo máximo de compresión. Suelen ser asociadas a los arcos volcánicos, cuencas y altiplanos altos. Estas fallas están presentes en Bulgaria, Sur de Tíbet, Norte de Nueva Zelanda, entre otras.

- Fallas inversas

Según la referencia [17] están presentes en las zonas de encuentro de continentes. Son las más difíciles de reconocer, debido a la irregularidad superficial, además de ser consideradas como las más devastadoras. Las más conocidas es la falla inversa del Himalaya.

- Zonas de subducción

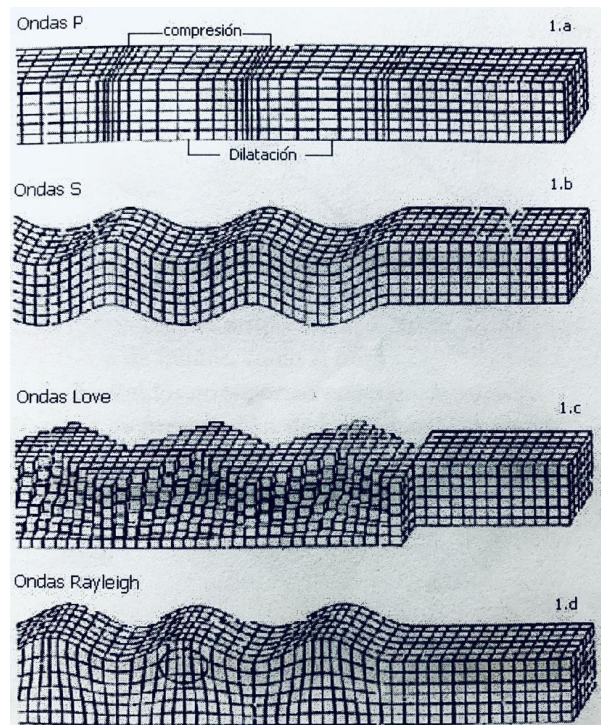
[17] Atribuye el 90% de movimiento sísmico entre los años 1900 y 1989. Estos sismos ocurren regularmente; aun así, no se ha logrado establecer un estudio probabilístico que relacione el acontecimiento de un sismo.

Producto de la ocurrencia de los distintos tipos de fallas explicados, da lugar a la exposición de vibraciones a causa de las ondas sísmicas, las cuales son transmitidas en diferentes sentidos y magnitudes, clasificadas en internas y superficiales.

[17] Clasifica a las ondas sísmicas internas en primarias y secundarias. Las primarias, de compresión P o longitudinales generan vibraciones en el mismo plano de propagación, comprimiendo y dilatando el medio. Las secundarias o también llamadas ondas S , producen vibraciones en diferentes sentidos, estas pueden ser descompuestas en el plano horizontal del desplazamiento y el plano vertical al vector de onda.

Para las ondas superficiales, [17] menciona las ondas *Love*, quienes ocasionan vibraciones horizontales en el sentido perpendicular a la dirección de propagación; por otro lado, las ondas *Rayleigh* tienen una vibración elíptica en el sentido de la trayectoria de ondas.

Ilustración 1 Tipos de ondas que generan sismos



Fuente: Introducción a la Ingeniería Sismológica, 2009. Alfaro.

2.2.1.5. Cuantificación de un Sismo

Existen tres parámetros determinantes para calificar el tamaño del sismo: intensidad y magnitud.

- Intensidad

[17] la define como la encargada de calificar los efectos destructivos del sismo, de manera cuantitativa y cualitativa, en la zona aledaña a dicho evento. Como es de esperar, la intensidad se presenta con mayor grado en el área epicentral y esta se aminora en relación directa a su distancia del foco. La escala calificativa de la intensidad fue la presentada por el vulcanólogo Mercalli y posteriormente modificada por el Consejo de Cancani, teniendo como resultado la siguiente tabla:

Ilustración 2 Escala de Mercalli Modificada - Intensidad

ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA:		
Grado	Intensidad	Efectos
I	Instrumental	Registrado sólo por sismógrafos.
II	Muy débil	Percibido por algunas personas en pisos altos.
III	Ligero	Perceptible en interiores, los objetos suspendidos se balancean, similar al paso de un camión.
IV	Moderado	Percibido por la mayoría de las personas en la calle y en interiores, oscilación de objetos colgantes, ventanas y cristalería crujen.
V	Algo fuerte	Despiertan las personas dormidas, algunos objetos caen, cuadros, puertas y contraventanas se balancean.
VI	Fuerte	Los muebles se mueven, los cuadros se caen, los platos y la cristalería se rompen, las campanas suenan solas y algunas chimeneas se derrumban, los tabiques se resquebrajan.
VII	Muy fuerte	Es difícil mantenerse en pie, se caen los aleros de los tejados, tejas chimeneas y cornisas de edificios, se forman olas en los estanques. Suenan todas las campanas.
VIII	Destructivo	Caen algunas estatuas y muros, torres y edificios son deteriorados. Aparecen grietas en suelos húmedos y en taludes abruptos. Cambian los niveles de los acuíferos.
IX	Ruinoso	Pánico general, las casas comienzan a caer, grietas en el suelo, raíles de tren deformados, puentes y conducciones subterráneas rotas.
X	Desastroso	Pánico general. Muchos edificios destruidos, graves daños en presas. Desprendimientos de tierras, desbordamientos de ríos, canales, lagos, etc.
XI	Muy desastroso	Pánico general. Pocos edificios en pie, raíles muy deformados, conducciones subterráneas inservibles. Aparecen fallas en el terreno de salto apreciable.
XII	Catastrófico	Destrucción total, los objetos son lanzados al aire, desplazamiento de grandes masas rocosas. La topografía queda cambiada.

Fuente: Introducción a la Ingeniería Sismológica, 2009. Alfaro.

- Magnitud

Según [17], la magnitud califica de manera cuantitativa e instrumental el evento sísmico. Caracterizada por no presentar un límite, a pesar de que no se han registrados sismos mayores de grado 8 o 9, ya que los estudios realizados a los materiales mostraron esfuerzos límites capaces de acumular y liberar. Una de las escalas más utilizadas es la de Richter, presentada en 1932 en California

2.2.1.6. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica según [16], se define como la susceptibilidad de una estructura a sufrir daños mucho más severos en comparación con otras estructuras expuestas a las mismas condiciones sísmicas. Los daños que puede sufrir una estructura son de dos tipos: elementos estructurales, medidos a partir del comportamiento de vigas, columnas, placas, etc.; y los daños de elementos no estructurales, calificado a partir de las deformaciones o distorsiones de la estructura.

De igual manera, podemos calificar los daños en base a los costos financieros que implica su reparación, para lo que el autor nos presenta la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de daño económico} = \frac{\text{costo de reparación del daño}}{\text{costo de reposición}}$$

Estos dos parámetros de vulnerabilidad mencionados en [16], pueden tomarse como referencia, puesto que no existe un índice global que pueda caracterizar la vulnerabilidad; esto debido a su autonomía ante los riesgos sísmicos y mitigación de desastres de las zonas.

2.2.1.7. Espectro Sísmico de Respuesta

[19] Lo define como el medio más práctico para caracterizar los movimientos del terreno y los efectos que estos producen en las estructuras. Mediante estas graficas se puede resumir la respuesta máxima de los posibles sistemas lineales en función del periodo de vibración natural del sistema T_n . En otras palabras, para [17] son las respuestas máximas, pudiendo ser estas la velocidad, aceleración, desplazamiento o cualquier otro parámetro determinante en el estudio sísmico. Dentro de los espectros mencionados, resalta los desplazamientos espectrales pues mediante su grafica se ilustra el efecto que causa la adición de los disipadores. El cálculo de

estos espectros requiere de repetidas soluciones numéricas que podemos resolver mediante el uso de un ordenador computarizado, con el objetivo de obtener un espectro de diseño.

2.2.2. Estructuras con disipadores de energía

El comportamiento previsto en el diseño de estructuras convencionales asegura la protección de la vida humana al brindar un periodo de evacuación antes del colapso parcial o total de la estructura; sin embargo, este comportamiento no puede ser aplicado a las estructuras clasificadas como esenciales [6]. De esta manera [20], hace hincapié en la necesidad de incluir nuevos parámetros en el diseño que permitan la continuidad de servicio posterior a las acciones sísmicas. Por ello [16] denota que los principales parámetros que determinan dicha respuesta sismorresistente son la ductilidad y la redundancia estructural; de ellos depende el grado de reducción de las fuerzas a las que son sometidas la edificación. La teoría de [16], afirma que el diseño con disipadores de energía otorga un mayor grado de ductilidad, localizándola en puntos débiles que permitan que la disipación y la reparación de dichos elementos sean de forma segura y estable.

Para tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento de la energía sísmica introducida en las estructuras, [20] expone que esta energía es finita; siendo disipada en forma de calor (energía cinética y potencial) y por la amortiguación inherente que posee la estructura. Adicionalmente se puede trabajar con dispositivos complementarios que absorban otra porción de la energía, asegurando la integridad de la edificación. A continuación, se presenta la distribución de la energía introducida por el sismo:

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d$$

Donde:

E : energía de entrada del movimiento sísmico

E_k : energía cinética

E_s : energía de deformación elástica recuperable

E_h : energía irre recuperable, disipada por el sistema estructural a través de inelasticidad u otras formas de acción

E_d : energía disipada por los dispositivos de amortiguamiento suplementario

La principal incógnita que los ingenieros estructurales enfrentamos se relaciona en cómo distribuir la energía de forma estable. Por ello en la referencia [21] presenta un aporte relacionado al balance de la misma; nos explica que la energía plástica permanece acumulada y se aglomera hasta llegar al colapso, siendo la principal causante de los daños estructurales una vez cesada las acciones sísmicas.

Es así como las estructuras con sistemas de disipación de energía complementarios presentan una solución a dicha incógnita; [20] asevera que estos sistemas no modifican la energía ingresada en la edificación, lo que quiere decir que el periodo fundamental y la masa de la edificación se mantienen intactos; pues su desempeño se basa en la maximización de eficiencia al disipar energía y disminuir la respuesta estructural.

2.2.3. Sistemas de Control Sísmico

[20] Realiza una clasificación en cuatro grandes campos de sistemas: activo, semi-activos, híbridos y pasivos. A continuación, se explicará a mayor detalle cada uno de ellos.

2.2.3.1. Sistema de Control Activo

Según lo explicado en [20] este sistema se caracteriza por trabajar con sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos dinámicos de manera conjunta. Los sensores se encuentran distribuidos en la edificación y miden las variables de excitación externa o respuesta estructural. Estos datos se transfieren de forma instantánea al sistema de control, donde se calcula la fuerza necesaria para contrarrestar dicho efecto sísmico; posteriormente, el sistema actuador ejerce dicha respuesta alimentado por fuentes de energía externa.

Las ventajas de estos sistemas es que existe un mayor control de respuesta estructural, mejorando su efectividad; sin embargo, son muy costosos y dependen estrictamente del correcto y continuo funcionamiento de su fuente de energía externa, además del número de sensores y actuadores.

2.2.3.2. Sistema de Control Híbrido.

[20] Expone su funcionamiento como la combinación del sistema activo con un dispositivo pasivo. Ante la falla del sistema activo, su ventaja sería mantener como respaldo el funcionamiento del dispositivo pasivo.

2.2.3.3. Sistema de control Semiactivo

La diferencia de este sistema con el sistema activo, para [20], es el uso de un dispositivo al cual se le puede modificar las características mecánicas como la rigidez o amortiguamiento; esto quiere decir que se puede controlar las propiedades dinámicas de la estructura. Algunos de ellos son: fricción variable, movimiento de masa de líquido en el interior de tanque o columnas dentro del edificio, dispositivos hidráulicos de rigidez o amortiguamiento variable, por último, amortiguadores con fluidos de viscosidad controlable por campos eléctricos o magnéticos.

2.2.3.4. Sistemas de control pasivo

Estos son los más empleados en la actualidad, [20] los caracteriza por tener un comportamiento no controlado e independiente de sistemas de energía complementarios. Estos sistemas modifican las propiedades dinámicas de la estructura y reducen la respuesta estructural ante las fuerzas ejercidas por acción sísmica. [20] Menciona los siguientes: aislamiento de base, control pasivo con sistema inercial acoplado y control pasivo con disipadores de energía. En el presente estudio nos enfocaremos únicamente en el sistema de control pasivo por disipadores de energía.

2.2.4. Clasificación del sistema de Control Pasivo por disipación de energía

2.2.4.1. Disipadores Histeréticos

a. Disipadores por Plastificación de Metales

Según [20] el metal es uno de los materiales más utilizados, por su alto grado de ductilidad y su bajo costo en construcción. El comportamiento consiste en absorber la energía al entrar en un proceso de extrusión o plastificación por los esfuerzos de torsión, flexión, cortante o axial que puedan ocurrir en la estructura durante las acciones sísmicas.

- **Disipadores por flexión**

[20] Señala en primera instancia los disipadores ADAS (Added Damping and Stiffness). Estos disipadores consisten en placas de acero de forma “X” colocadas en paralelo e impedida del giro en los extremos; esta última característica otorga una distribución de momentos flectores lineales, simétricos y con doble curvatura. En cuanto a la dimensión de longitud de este disipador es variable, ya que el número de placas a utilizar dependen de las necesidades del diseño; para su ancho dependerá linealmente de la distribución de los momentos flectores, es decir de la plastificación en un corto intervalo de desplazamiento.

La forma y las dimensiones del disipador producen una plastificación uniforme y estable, mejorando la absorción de energía, como podremos observar a continuación.

Ilustración 3 Modelo TADAS

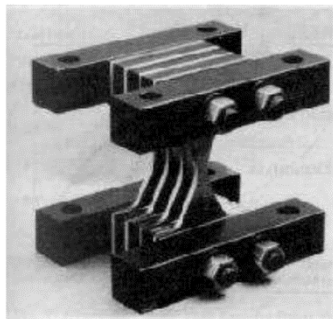
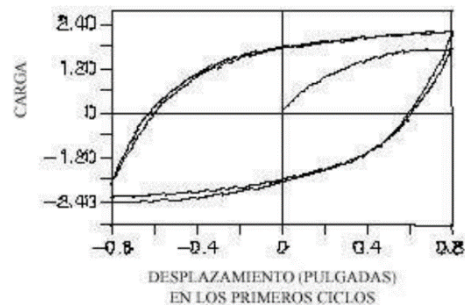


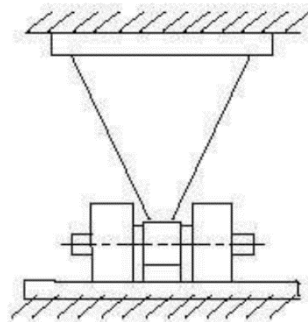
Ilustración 4 Curva Histerética TADAS, primeros ciclos



Fuente: Edificaciones con disipadores de Energía, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo

Además del ADAS, [20] menciona un disipador que trabaja con el mismo concepto, conocido como TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness). TADAS emplea placas de forma trapezoidal, con un extremo articulado por una conexión bulón a nivel a los contravientos dirigidos a la base de los pilares del pórtico y su otro extremo conectado a nivel de viga. [20] Indica que el comportamiento del dispositivo TADAS se basa en la plastificación por flexión por curvatura simple, originada por el desplazamiento relativo entre extremos de la placa perpendicular a su plano.

Ilustración 5 Disipador TADAS



Fuente: *Edificaciones con disipadores de Energía*, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo

También se han desarrollado los disipadores denominados Honeycomb caracterizado por tener una geometría que asegura una plastificación más uniforme. [20] Asevera que su comportamiento histerético es casi rectangular, es decir muy estable.

Ilustración 7 Geometría Disipador Honeycomb

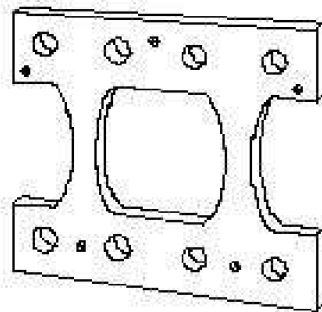
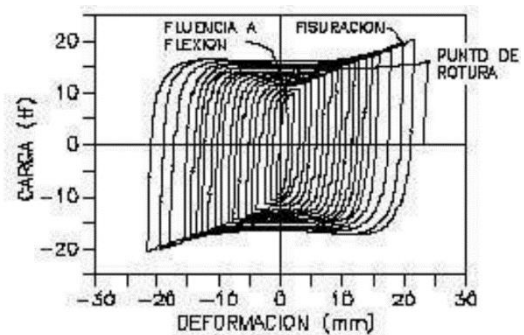


Ilustración 6 Comportamiento histerético Honeycomb

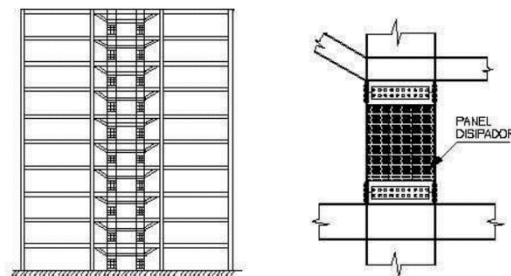


Fuente: *Edificaciones con disipadores de Energía*, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo

- **Disipadores a cortante**

[20] Expone que estos disipadores se asemejan a una forma común de doble T con alma rigidizada. Sin embargo, el principal problema que se enfrenta con estos disipadores es la correcta rigidización y el control de abolladuras en el alma del elemento. Ante dicha situación los aceros de alta ductilidad y bajo límite elástico (80Mpa, 46-60% de alargamiento), según [20], permiten trabajar con espesores mayores para esfuerzos cortantes y con una inferior rigidización. Estos disipadores no son muy comerciales y por ende poco utilizados. Se realizaron ensayos en el año 1997 y 1998, presentados en [20], y demostraron que estos dispositivos poseen un buen comportamiento elástico y disipación de energía a partir de ciclos histeréticos estables, pero ello depende estrictamente de la rigidización del elemento.

Ilustración 8 Ubicación de panel - Panel Disipador

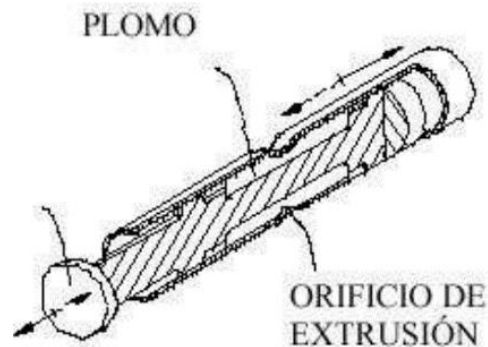


Fuente: Edificaciones con disipadores de Energía, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo

- **Disipadores basados en la extrusión de metales**

En el año 1976 se diseñó PVD (Penguin Vibration Damper), en la referencia [20] se expone la forma de disipación de energía a través de la extrusión del plomo; fuerza al elemento al cambio de sección haciéndolo pasar por un orificio. Según los ensayos realizados, su comportamiento genera una curva histerética estable y puede mantenerla tras muchos ciclos de desplazamientos.

Ilustración 9 Disipador modelo PVD



Fuente: *Edificaciones con disipadores de Energía, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo*

b. Disipadores por Fricción

Estos sistemas, según [20], disipan energía mediante el rozamiento entre las superficies que se encuentran en contacto bajo presión; y a la vez por el deslizamiento entre ellas. La incertidumbre con respecto al comportamiento de este tipo de disipadores es exclusivamente el coeficiente de fricción, que durante el desplazamiento depende de la velocidad, de la presión normal y las condiciones de superficie en contacto; esto quiere decir que no podríamos contemplar todas las posibilidades a las que podría estar expuesto el disipador. Sin embargo, [20] asegura que el coeficiente de fricción no influye significativamente en la respuesta estructural si la estructura permanece en rango lineal, resultando contradictorio a los parámetros previstos en los reglamentos peruanos, pues al ser un país sísmico brinda especificaciones para estructuras que incursionan en el rango inelástico producto de las fuerzas impuestas por el sismo.

2.2.4.2. Disipadores Viscoelásticos

a. Disipadores Viscoelásticos

La aplicación de estos disipadores apareció en edificios de gran altura para reducir las respuestas estructurales ante las acciones de viento, posteriormente se amplió su campo de trabajo a sistemas sismorresistentes. El modelo presentado en [20], es un disipador viscoelástico sólido formado por dos chapas metálicas unidas con capas finas de material viscoelásticos, caracterizado por presentar ciclos Histeréticos elípticos.

Ilustración 11 Disipador Viscoelástico sólido

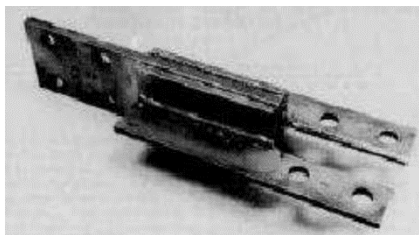
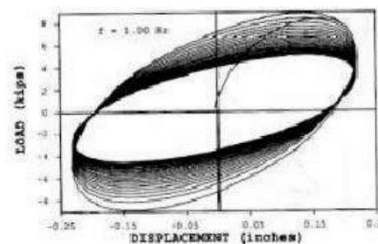


Ilustración 10 Comportamiento histerético elíptico



Fuente: Edificaciones con disipadores de Energía, 2014, Genner Villareal y Ricardo Oviedo

Dentro de las ventajas de su aplicación, [20] destaca su comportamiento histerético por dos razones; primero, al mantener un régimen elíptico permite linealizar el comportamiento y realizar un modelamiento más sencillo; y segundo, no se necesita una fuerza umbral para dar inicio a la disipación de energía. Esto demuestra su efectiva e instantánea respuesta al inicio de los desplazamientos de la estructura. Sin embargo, dentro de las desventajas encontramos que no posee control del efecto resonante; y el material viscoelástico debe mantenerse en condiciones óptimas contra los cambios de temperatura, frecuencia y deformación, estos podrían afectar su desempeño.

b. Disipadores Fluido-Viscosos

La referencia [20] explica que estos dispositivos disipan energía aplicando una fuerza resistente al desplazamiento finito que ocurre en la edificación. Esta fuerza actúa en dirección opuesta al movimiento de entrada, dependiendo únicamente de la velocidad traslacional del disipador en un punto en el tiempo. La dependencia única de la velocidad genera la principal ventaja de estos dispositivos; ya que, cuando la edificación alcance su máxima deformación

quiere decir que las columnas llegan su máximo esfuerzo y a su velocidad nula, quiere decir que la fuerza de amortiguamiento del disipador fluidos viscosos se reduce a cero, en consecuencia, no incrementa los esfuerzos en la columna.

2.2.5. Cálculo de la ductilidad

La ductilidad de una estructura depende de la cantidad de acero colocado, las dimensiones, calidad y confinamiento de concreto que posea cada elemento estructural. Estos parámetros pueden ser puestos a prueba mediante un análisis no lineal, o también conocido como Pushover [19]. Este análisis aplica una carga incrementan en las dos direcciones de análisis hasta llevar a la estructura al punto de colapso o un desplazamiento objetivo. Según [19] este método asume los múltiples grados de libertad de la estructura están relacionados a la respuesta sísmica de un sistema equivalente de un grado de libertad considerando sus características de histéresis.

El objetivo de esta metodología es aplicar la carga incremental hasta generar un daño en la sección estructural, es decir, una reducción de su rigidez y por lo tanto una reducción de la rigidez de la estructura. [19] Cabe recalcar que la reducción de esta rigidez se relaciona a la aparición de rotulas plásticas, dependiendo del tipo de fallas que se pueda presentar. Como podrían ser:

- **Rotulas por falla dúctil:** rotulas a flexión (vigas) y flexocompresión axial (columnas)
- **Rotulas por falla frágil:** rotulas por corte y por compresión.

El control de la ductilidad se puede mejorar considerablemente trabajando con secciones de cuantías de acero bajas, pero con mayor confinamiento por estribos [19].

A continuación, se detallarán algunos pasos a seguir para realizar el análisis estático no lineal.

- **Patrón de carga lateral**

El patrón de carga es incrementado monotonicamente, y se encuentra propuesto en la referencia [22]. La limitación de este patrón es que solo se puede considerar una dirección por patrón de carga, importante tomar en cuenta cuando se trabaje con estructuras de arquitecturas o estructuración no regular.

- **Carga gravitacional**

Según [19], son cargas constantes y se trabajan de forma paralela a las fuerzas laterales. Se suele considerar el 100% de cargas muertas y un 25-50% de cargas vivas dependiendo de la importancia de la edificación que se analice.

- **Desplazamiento de monitoreo**

[19] Menciona el caso de análisis de edificaciones tridimensionales donde se deben tomar el desplazamiento, por la aplicación de cargas incrementales, en el centro de masa del último diafragma considerado. En el caso del programa se puede ingresar un valor de desplazamiento.

- **Definición de rótulas plásticas**

La definición de las rótulas plásticas presenta diferentes parámetros a considerar, los cuales son explicados con mayor detalle en el capítulo 4.3. [22] presenta las consideraciones en base a las cuantías, cortantes, conformidad del diseño de confinamiento. Actualmente contamos con softwares que contienen integradas dichas tablas.

- **Curva de capacidad**

Este es el último paso del procedimiento, donde según [19] podemos determinar la ductilidad de la edificación mediante la relación del desplazamiento de fluencia y el desplazamiento último de la estructura. Es importante señalar que la curva de capacidad depende únicamente del sistema estructural, las rótulas plásticas que podrían presentarse y las cargas laterales definidas.

2.2.6. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.020 Cargas”, Lima, Perú, 2006.

Según [23] “Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su norma de diseño específica. En ningún caso las cargas empleadas en el diseño serán menores que los valores mínimos establecidos en esta Norma. Las cargas mínimas establecidas en esta Norma están dadas en condiciones de servicio. Esta Norma se complementa con la NTE E.030 Diseño Sismorresistente y con las Normas propias de diseño de los diversos materiales estructurales”.

2.2.7. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.030 Diseño Sismorresistente”, Lima, Perú. 2018.

Según [6] “Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico acorde. Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaran dañadas por la acción de los sismos. El empleo de sistemas estructurales diferentes a los indicados en esta norma deberá ser aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y ductilidad. Para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, se podrá usar esta Norma en lo que sea aplicable. Además de lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: tsunamis, fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros”.

2.2.8. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.031 Aislamiento sísmico”, Lima, Perú. 2019

Según [24] “La presente Norma Técnica establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico. Se entiende por sistema de aislamiento sísmico, al conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, así como todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislamiento sísmico, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones. Asimismo, incluye los sistemas de restricción contra viento, los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de restricción de desplazamiento, siempre que estos elementos sean usados para satisfacer los requisitos mínimos de diseño de esta Norma Técnica”.

2.2.9. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma E.060 Concreto Armado”, Lima, Perú. 2009.

Según [25] “Esta Norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, preesforzado y simple. Los planos y las especificaciones técnicas del proyecto estructural deberán cumplir con esta Norma. Lo establecido en esta Norma tiene prioridad cuando está en discrepancia con otras normas a las que ella hace referencia”.

2.2.10. Ministerio de Salud. Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento de los establecimientos de salud de Segundo Nivel de Atención: Norma Técnica de Salud N°110-MINSA/DGIEM, Lima, 2015

Según [27] “Esta norma establece los criterios técnicos mínimos de diseño y dimensionamiento de la infraestructura física de los establecimientos de salud de segundo nivel de atención. El ámbito de aplicación es de aplicación obligatoria a los establecimientos de salud públicos (Ministerio de Salud, Gobiernos Regionales, Gobiernos Locales, Seguro Social de Salud – ESSALUD, Sanidad de las Fuerzas Armadas, Sanidad de la Policía Nacional del Perú), privados y mixtos del segundo nivel de atención de Sector Salud.

2.2.11. Structural Engineering Institute, “Minimum Design Loads for Building and Other Structures,” Virginia, 2016.

[28] Desarrolla los parámetros para las estructuras que se diseñen con un Sistema de amortiguación, cada parte de ellas debe estar diseñada y construida con los requisitos estándar, modificadas por el Capítulo 18. Cuando se utilicen sistemas de interfaz de aislamiento, se deberá emplear el diseño en base a desplazamientos, velocidades y aceleraciones presentadas en el Capítulo 17.

2.2.12. American Society of Civil Engineers , «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,» 2017.

[22] Describe procedimientos sistemáticos y basados en deficiencias que utilizan principios basados en el rendimiento para evaluar y modernizar edificios existentes para resistir los efectos de los terremotos. La norma presenta un proceso de tres niveles para la evaluación sísmica de acuerdo con un rango de niveles de desempeño del edificio al conectar el desempeño estructural objetivo y el desempeño de componentes no estructurales con niveles de riesgo sísmico. Los procedimientos basados en deficiencias permiten que los esfuerzos de evaluación y modernización se centren en deficiencias potenciales específicas que se consideren de interés para un conjunto específico de tipos y alturas de edificios. El procedimiento sistemático, aplicable a cualquier edificio, establece una metodología para evaluar todo el edificio de manera rigurosa.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ✓ Peligrosidades sísmicas: [16] Relacionado con los efectos provocados por terremotos en el suelo de cierta zona; efectos presentes mediante aceleración, velocidad o desplazamiento sísmico del terreno.
- ✓ Catástrofe: [17] Lo define como aquellos fenómenos que alteran de manera transitoria o permanente a un conglomerado humano, en su entorno social y físico.
- ✓ Prevención: [17] Etapa en la que las instituciones gubernamentales relacionadas al estudio científico toman medidas en un plan de contingencia ante catástrofes.
- ✓ Damnificados: [16] Persona o familia que se encuentra en una condición afectada su salud o los bienes producto de un desastre o emergencia; careciendo de capacidad socioeconómica para recuperarse.
- ✓ Identificación de peligros: [16] Actividades de localización, estudio y vigilancia de peligros en relación con su potencial de daño.
- ✓ Cultura de prevención: [29] Conjunto de valores, principios, conocimientos y actitudes de una sociedad para reconocer, apaciguar y recuperarse frente a situaciones de emergencia o desastres.
- ✓ Vulnerabilidad: [17] Definida como la serie de factores y características internas y externas, relacionadas con la peligrosidad sísmica, que concurren a una comunidad.
- ✓ Medidas estructurales: [29] Construcción física enfocada en reducir las aplicaciones ingenieriles que eviten lograr la resistencia y resiliencia de los sistemas estructurales.
- ✓ Primera respuesta: [29] Intervención más temprana posible de organizaciones especializadas frente a una emergencia con el objetivo de proteger vidas y apaciguar daños secundarios.
- ✓ Amortiguamiento: [17] Propiedad por la cual un sistema físico disipa energía.
- ✓ Disipador de sismo: [16] Considerados como la nueva tendencia moderna de diseño sismorresistente, empleado para la reducción y controlar la respuesta estructural ante una acción sísmica.
- ✓ Sismo: [30] Conjunto de vibraciones en la superficie terrestre, producto del movimiento de las placas tectónicas.

- ✓ **Ductilidad:** Capacidad de un material de deformarse plásticamente sin romperse. [31] Es decir, que posee la capacidad de deformarse permanente y apreciable en su rango inelástico antes de fallar. A su vez, esta capacidad está asociada con la disipación de energía.
- ✓ **Límite elástico:** [16] Tensión máxima que un material soporta antes de sufrir deformaciones permanentes.
- ✓ **Escala Richter:** [30] Escala que cuantifica la magnitud del evento, relacionado con la energía liberada durante el proceso de ruptura de falla.
- ✓ **Escala de Mercalli:** [17] Escala que cuantifica la intensidad de los efectos destructivos del sismo en las construcciones y la naturaleza; posee 12 grados.
- ✓ **Gráfica de Histéresis:** [15] Relaciona el comportamiento de un disipador en relación a su fuerza y desplazamiento.

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

La implementación de disipadores de sismo mejorará el grado de ductilidad de la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui, por lo tanto, optimizará su respuesta ante una acción sísmica.

Ilustración 12 Tabla de Consistencia de Hipótesis

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente
Falta de ductilidad en el sistema estructural del Hospital Luis Heysen Incháustegui	Mejorar la Ductilidad mediante la implementación de disipadores sísmicos en el Hospital Luis Heysen Incháustegui	La implementación de disipadores de sismos, mejorará el grado de ductilidad de la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui	Ductilidad
Problemas Específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable Dependiente
Bajo grado de ductilidad en la estructura del Hospital	Diagnosticar y evaluar el estado actual de ductilidad de la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui	El Hospital no posee el grado adecuado de ductilidad	Cantidad de disipador
Falta de un sistema de disipación sísmica	Implementar los disipadores sísmicos en la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui	El sistema de disipación sísmica aportará mayor grado de ductilidad	Ubicación de los disipadores, cantidad de disipadores y tipo de disipador

Fuente: Propia

2.5. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

- Variable independiente:
 - Ductilidad
- Variable Dependiente:
 - Tipos de disipadores
 - Número de disipadores
 - Ubicación de disipadores

Tabla 1 Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍNDICE
INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE				
DUCTILIDAD	TIPO DE DISIPADOR	Propiedades mecánicas	Presión mínima	Ficha técnica	Pa
			Tipo de acero	Ficha técnica	Glb
			Fluido de funcionamiento	Ficha técnica	Glb
			Rango de Temperatura de funcionamiento	Ficha técnica	°F
			Esfuerzos	Ficha técnica	Kf/cm ²
			Velocidades máximas	Ficha técnica	m/seg
	CANTIDAD DE DISIPADORES	Capacidad Comercial	Grado de disipación	Ficha técnica	%
		Número de disipadores	Según tipo de diseño	Resultados de investigación	Glb
	UBICACIÓN DE DISIPADORES	Geometría de la edificación	Peso/ Altura/ Distancia entre Ejes	Planos	Glb
		Sistema estructural	Pórticos	V (cortante Basal)	Art. 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado. Norma E030
			Dual	V (cortante Basal)	Art. 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado. Norma E030
			De muros Estructurales	V (cortante Basal)	Art. 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado. Norma E030
			Muros de ductilidad Limitada	V (cortante Basal)	Art. 3.2.1 Estructuras de Concreto Armado. Norma E030

Fuente: Propia

2.6. OBJETIVOS

- OBJETIVO GENERAL
 - Mejorar la ductilidad mediante la implementación de disipadores sísmicos en el Hospital Luis Heysen Incháustegui en la ciudad de Chiclayo.
- OBJETIVOS ESPECÍFICOS
 - Diagnosticar y evaluar el estado actual de ductilidad de la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui.
 - Implementar disipadores sísmicos en el diseño de la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui.
 - Comparar y determinar el tipo de disipador que provea la ductilidad necesaria al Hospital Luis Heysen Incháustegui, para cumplir con los parámetros establecidos en la norma ASCE 7-16.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Se desarrollará el tipo de investigación Cuasi Experimental, de tipo Correlacional porque se busca analizar el grado de ductilidad en el que se encuentra el Hospital Luis Heysen Incháustegui para luego compararlo con el grado de ductilidad que alcanzará al implementar los disipadores sísmicos.

De igual manera se desarrollará el tipo de investigación Aplicada, porque se busca la aplicación de conocimientos adquiridos relacionados a la Ingeniería Civil Ambiental, con el objetivo de obtener resultados previstos y sustentados en los resultados de la presente investigación.

3.2. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO

Población: La población de estudio está constituido por la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui ubicado en la Distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, Perú.

Muestra: La muestra de estudio está constituido por la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui ubicado en la Distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, Perú. La cual será analizada para calcular el grado de ductilidad que posee y posteriormente se implementarán disipadores de sismos.

3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Esta investigación planteó objetivos y alcances, la metodología a utilizar toma como referencia el método científico buscando explicar y analizar los resultados obtenidos de manera precisa.

Técnicas

Análisis de referencias bibliográficas y expediente técnico del Hospital: Se busca sistematizar e interpretar la información extraída de fuentes bibliográficas y normativas relacionadas al estudio.

- ✓ De igual manera, de los planos presentes en el expediente técnico se obtendrá la geometría estructural del Hospital Luis Heysen Incháustegui, así como las dimensiones de los elementos estructurales y su refuerzo de acero.
- ✓ Para el caso de los disipadores sísmicos, se revisará catálogos presentados por las empresas fabricantes y distribuidoras de disipadores sísmicos, con el fin de obtener los modelos y propiedades mecánicas de los mismos.

Evaluación: Se analizará los resultados obtenidos planteando el sistema de disipación con mejor comportamiento sísmico.

- ✓ Para el análisis estructural del Hospital, se utilizará el programa Etabs, y para el cálculo de verificaciones correspondientes al análisis sísmico, se utilizará el programa Excel.
- ✓ La evaluación de los datos obtenidos, se comparará con los parámetros especificados en los reglamentos mencionados E020, E.030, E.031, E.060, E.090, ASCE 7-16 (chapter 18). ASCE 43-17.

3.4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ESTRUCTURALES DEL PROYECTO

Esta fase del proyecto abarca los primeros pasos para realizar la investigación. Empieza con la recopilación de información bibliográfica y la revisión de las normativas Nacionales e Internacionales. Posteriormente se realizará el análisis de los parámetros del suelo; en paralelo, se trabajará el dibujo de los planos generales del proyecto. Luego de ello, se realizará un análisis de los parámetros del suelo que, en conjunto con el levantamiento de estructuras y cargas, darán paso al modelamiento de la estructural del Hospital.

- **FASE II: DISEÑO DEL SISTEMAS ESTRUCTURALES DEL PROYECTO**

En este periodo se realizará análisis sísmicos de la estructura existente del Hospital Luis Heysen Incháustegui, con el objetivo de calcular su grado de ductilidad y parámetros relacionados al diseño sismorresistente.

- **FASE III: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En la fase tres, se analizarán los resultados de la primera propuesta de reforzamiento, buscando la optimización de la misma. Paralelamente, se desarrollará el dibujo de los planos finales y la elaboración del proyecto final, presentando las conclusiones y recomendaciones del caso.

- **FASE IV: PRESENTACIÓN FINAL DEL PROYECTO**

En este último periodo, se imprimirá el proyecto final y se sustentará ante un jurado, quienes deliberarán su aprobación.

3.5. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Se entiende por la ética en la investigación la aplicación de principios fundamentales en la variedad de las ramas que existen en diferentes grados académicos, donde se confía plenamente en los datos presentados de otras investigaciones los cuales sirven de base para el desarrollo de nuevos aportes científicos. En el presente documento se respetará la autoridad de cada investigador con respecto a sus resultados, citando correctamente y respetando las estipulaciones del estilo IEEE. Cabe recalcar que este punto se encuentra estipulado en el Artículo 31°: Aplicación de software antiplagio del Reglamento de Elaboración de Trabajos de Investigación para optar por el grado académico de Bachiller y Título profesional USAT. En tal caso todo artículo, tesis, libros y normatividades expuestas en esta investigación, serán presentadas con su autor correspondiente.

A continuación, se presenta una investigación relacionada a la rama de enfoque de este documento:

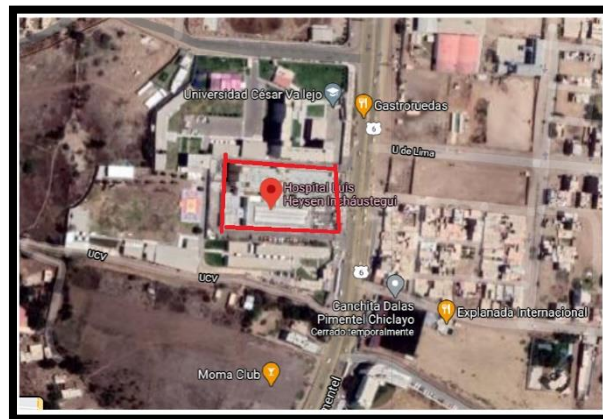
- E. M. Bacalla López, «Diseño del reforzamiento del Hospital Regional de Lambayeque con el sistema de disipadores de energía según el reglamento modificado E-0.30,» Chiclayo, 2017. Esta tesis se basa en la aplicación de disipadores sísmicos, pero a un hospital diferente, como está expresado en su título: Hospital Regional de Lambayeque. Generando que sea una investigación totalmente diferente a la que se desarrollará; sin embargo, se tomará como modelo guía para el desarrollo de ciertos puntos respetando la autoridad de autor profesional.

IV. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO

El hospital Luis Heysen Incháustegui, acreedor de una categoría II-1, se encuentra en el Km. 3.5 Carretera a Pimentel, distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, región de Lambayeque; emplazado sobre un tipo de suelo S3, según los parámetros especificados en el plano de estructura E-1C. Se encuentra conformado por cuatro sectores; cada uno de ellos desarrolla diferentes actividades hospitalarias.

Ilustración 13 Vista Satelital del Hospital

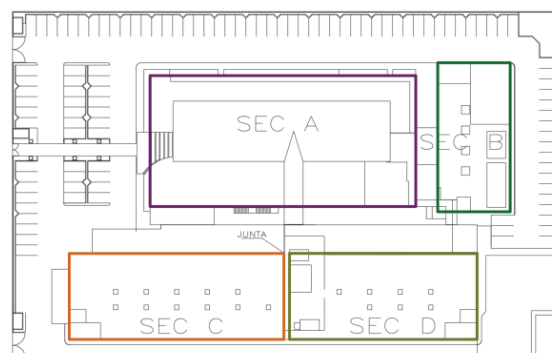


Fuente: Google Maps

El hospital limita por el frente con la carretera a Pimentel, por la izquierda con centro de idiomas de la Cesar Vallejo, por la derecha y por la parte posterior con el campus universitario Cesar Vallejo.

El hospital está conformado por 4 sectores (A, B, C, D) que desempeñan diferentes actividades hospitalarias. Para el desarrollo de la presente investigación se trabajó con el sector “C”.

Ilustración 14 División del Hospital por Sector



Fuente: Propia

El sector “C” ocupa en planta un área de 1292.809m². La estructura cuenta con 4 pisos, donde en el primer piso se encuentra la UPSS Emergencia; en el segundo piso la UPSS Centro Quirúrgico y la UPSS Centro Gineco – Obstétrico; en el tercer piso la UPSS Hospitalización Cirugía y por último en el cuarto piso la UPSS Hospitalización Obstétrica. Cada una de estas UPSS son de vital importancia para brindar la atención de primera respuesta ante cualquier evento sísmico. Posteriormente en una primera inspección visual, se detectó la ausencia de junta entre la escalera y la estructura hospitalaria, se podría esperar una irregularidad torsional por la ubicación del centro de rigidez; además existe una reducción considerable de los elementos estructurales según el nivel de piso, evidenciado en las siguientes imágenes.

Ilustración 15 Estructuración planta primer piso



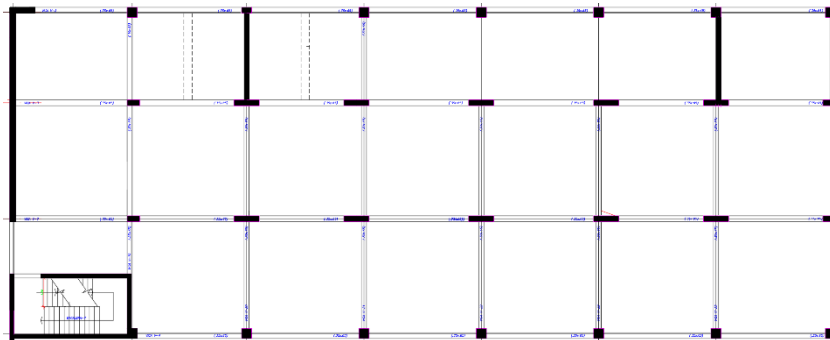
Fuente: Propia

Ilustración 16 Estructuración planta segundo piso



Fuente: Propia

Ilustración 18 Estructuración planta tercer piso



Fuente: Propia

Ilustración 17 Estructuración plata cuarto piso



Fuente: Propia

La posible presencia de irregularidad torsional y los servicios brindados por cada una de las UPSS, son las razones por las cuales se eligió estudiar este sector. En los siguientes apartados se presentará la selección de parámetros dinámicos sísmicos según [6] para realizar un análisis dinámico espectral, verificando con total certeza las irregularidades que podría presentar la estructura del nosocomio. Posteriormente, el modelado estructural será sometido a un análisis pushover, donde terminaremos la ductilidad con la que cuenta el hospital, y así finalmente comparar el resultado que se obtendrá al implementar los disipadores sísmicos.

A continuación, se presentarán detalles relacionados a las secciones de los elementos estructurales, y su respectivo reforzamiento, datos que se utilizarán en el modelamiento de la estructura.

Tabla 4 Cuadro de secciones Vigas

NOMENCLATURA	SECCIÓN	
	BASE (cm)	PERALTE (cm)
V-1	35	65
V-1	35	75
V-2	35	65
V-3	35	65
V-4	35	65
V-5	35	65
V-6	30	65
V-7	30	65
V-8	30	65
V-9	30	65
V-12	35	65
V-13	35	65
V-14	35	65
V-15	25	65
V-16	30	65
V-17	30	65
V-18	30	65
V-19	25	65
V-20	30	65
V-21	30	65
V-22	30	65
V-23	25	65
V-24	35	65
V-25	25	65

Fuente: propia

Tabla 2 Cuadro Secciones Columnas

NOMENCLATURA	SECCIÓN		
	BASE (cm)	PERALTE (cm)	DIAMETRO (cm)
P-1	35	90	-
P-3	35	75	-
P-5	60	60	-
P-6 (1°PISO)	-	-	65
P-6 (1°-4° PISO)	60	60	-
P-7	35	75	-
P-9	35	60	-
P-10	24	25	-

Fuente: propia

Tabla 3 Cuadro Secciones Muros de Corte

NOMENCLATURA	SECCIÓN	
	ESPESOR (cm)	LARGO (cm)
P-2 PLACA	35	150
P-4 PLACA "L"	25	150
P-4 PLACA "L"	35	150
P-8 PLACA	35	150

Fuente: propia

4.2. ANÁLISIS DINÁMICO

4.2.1. Parámetros Norma E.030 - 2019

Al ser un Hospital ubicado en la Región de Lambayeque, según el anexo N°1 del factor de zona: $Z=0.45$. Se entiende por factor de zona como el que determina la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de acuerdo a una distancia epicentral.

Ilustración 19 Zonificación sísmica Perú – E.030-2019



Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,
«Norma E.030 Diseño Sismorresistente»

El perfil de suelo clasificado según las propiedades obtenidas en el EMS (estudio de mecánica de suelos) durante la elaboración del expediente técnico, dio como resultado un perfil de suelo blando clasificado como un Perfil Tipo S3 según [6]. Y por último al tratarse de una edificación esencial, el Factor de Uso será $U=1.5$ [6]. Con estos datos podemos ingresar a las tablas presentadas en la norma técnica peruana y se obtendrá el siguiente cuadro resumen.

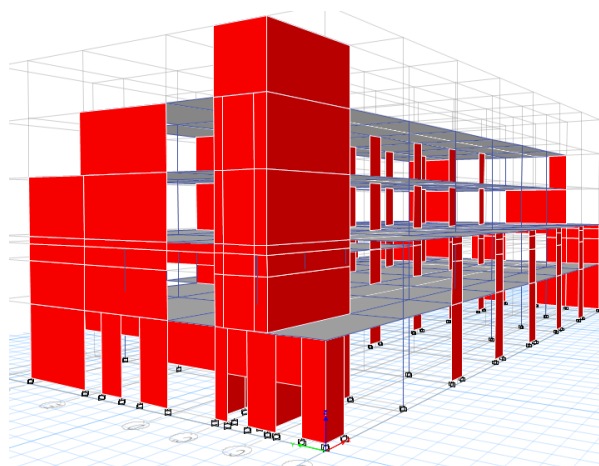
Tabla 5 Parámetros de suelo y uso según Norma E.030 - 2019

PERFIL DE SUELO	S3
ZONA	Z4
Z	0.45
T_p (S)	1.00
T_L (S)	1.60
FACTOR DE SUELO "S"	1.10
FACTOR DE USO "U"	1.50

Fuente: Propia

A través de los periodos presentados en la Tabla 2, podremos determinar el factor de amplificación sísmica. Para ello será necesario trabajar con el periodo real de la estructura, este puede ser obtenido a través del software ETABS V.18.1.1. Se realizó un análisis modal, considerando únicamente 3 modos por piso con los cuales, según [6], deberemos alcanzar el 90% de participación modal.

Ilustración 20 Modelamiento Sector C



Fuente: Propia

Tabla 8 Análisis Modal - Periodos

Case	Mode	Period
Modal	1	0.250
Modal	2	0.141
Modal	3	0.083
Modal	4	0.076
Modal	5	0.061
Modal	6	0.042
Modal	7	0.038
Modal	8	0.035
Modal	9	0.032
Modal	10	0.028
Modal	11	0.026
Modal	12	0.025

Fuente: Propia

Tabla 7 Ratios de Participación de masa

Case	Item Type	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	100.000	99.810
Modal	Acceleration	UY	100.000	99.430
Modal	Acceleration	UZ	0.000	0.000

Fuente: Propia

De la tabla 5 obtenemos el periodo de la estructura $T=0.250$ seg, cabe recalcar que este procedimiento permite corroborar el modelamiento realizado. El ratio da a conocer la perdida mínima de la masa participativa, además sobrepasa el 90% estipulado en [6]. Comprobado el modelo, tomamos el valor de $T=0.250$ seg, calcularemos un Factor C para tiempos de 0.00 seg hasta 8.00 seg, de esta manera generaremos el espectro de sismo. Estos valores del tiempo (0 a 8 seg) y el intervalo (0.05 seg) fueron tomados como criterio del investigador.

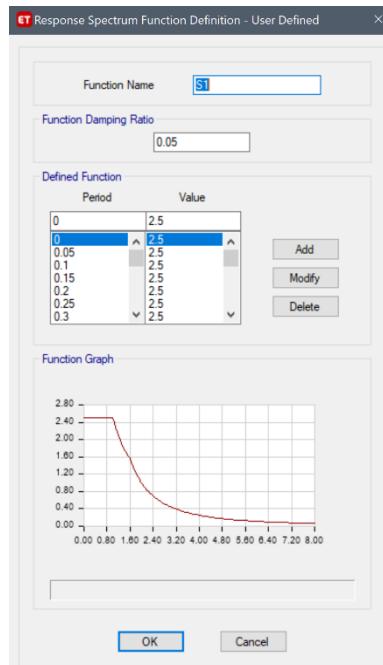
Tabla 6 Calculo de espectro de Sismo E.030

Periodo T(s)	C	Periodo T(s)	C	Periodo T(s)	C	Periodo T(s)	C
0.00	2.5000	2.00	1.0000	4.00	0.2500	6.00	0.1111
0.05	2.5000	2.05	0.9518	4.05	0.2439	6.05	0.1093
0.10	2.5000	2.10	0.9070	4.10	0.2380	6.10	0.1075
0.15	2.5000	2.15	0.8653	4.15	0.2323	6.15	0.1058
0.20	2.5000	2.20	0.8264	4.20	0.2268	6.20	0.1041
0.25	2.5000	2.25	0.7901	4.25	0.2215	6.25	0.1024
0.30	2.5000	2.30	0.7561	4.30	0.2163	6.30	0.1008
0.35	2.5000	2.35	0.7243	4.35	0.2114	6.35	0.0992
0.40	2.5000	2.40	0.6944	4.40	0.2066	6.40	0.0977
0.45	2.5000	2.45	0.6664	4.45	0.2020	6.45	0.0961
0.50	2.5000	2.50	0.6400	4.50	0.1975	6.50	0.0947
0.55	2.5000	2.55	0.6151	4.55	0.1932	6.55	0.0932
0.60	2.5000	2.60	0.5917	4.60	0.1890	6.60	0.0918
0.65	2.5000	2.65	0.5696	4.65	0.1850	6.65	0.0905
0.70	2.5000	2.70	0.5487	4.70	0.1811	6.70	0.0891
0.75	2.5000	2.75	0.5289	4.75	0.1773	6.75	0.0878
0.80	2.5000	2.80	0.5102	4.80	0.1736	6.80	0.0865
0.85	2.5000	2.85	0.4925	4.85	0.1700	6.85	0.0852
0.90	2.5000	2.90	0.4756	4.90	0.1666	6.90	0.0840
0.95	2.5000	2.95	0.4596	4.95	0.1632	6.95	0.0828
1.00	2.5000	3.00	0.4444	5.00	0.1600	7.00	0.0816
1.05	2.3810	3.05	0.4300	5.05	0.1568	7.05	0.0805
1.10	2.2727	3.10	0.4162	5.10	0.1538	7.10	0.0793
1.15	2.1739	3.15	0.4031	5.15	0.1508	7.15	0.0782
1.20	2.0833	3.20	0.3906	5.20	0.1479	7.20	0.0772
1.25	2.0000	3.25	0.3787	5.25	0.1451	7.25	0.0761
1.30	1.9221	3.30	0.3673	5.30	0.1424	7.30	0.0751
1.35	1.8519	3.35	0.3564	5.35	0.1398	7.35	0.0740
1.40	1.7857	3.40	0.3460	5.40	0.1372	7.40	0.0730
1.45	1.7241	3.45	0.3361	5.45	0.1347	7.45	0.0721
1.50	1.6667	3.50	0.3265	5.50	0.1322	7.50	0.0711
1.55	1.6129	3.55	0.3174	5.55	0.1299	7.55	0.0702
1.60	1.5625	3.60	0.3086	5.60	0.1276	7.60	0.0693
1.65	1.4692	3.65	0.3002	5.65	0.1253	7.65	0.0683
1.70	1.3841	3.70	0.2922	5.70	0.1231	7.70	0.0675
1.75	1.3061	3.75	0.2844	5.75	0.1210	7.75	0.0666
1.80	1.2346	3.80	0.2770	5.80	0.1189	7.80	0.0657
1.85	1.1687	3.85	0.2699	5.85	0.1169	7.85	0.0649
1.90	1.1080	3.90	0.2630	5.90	0.1149	7.90	0.0641
1.95	1.0519	3.95	0.2564	5.95	0.1130	7.95	0.0633
						8.00	0.0625

Fuente: Propia

Los valores presentados, se guardaron en formato “.txt” para ser cargados en el software; ingresamos la data a “Response Spectrum”, obtendremos lo siguiente.

Ilustración 21 Reponse Spectrum - Modelamiento



Fuente: Propia

Procedemos a realizar un primer análisis de la edificación con el espectro según los parámetros de [6]. Determinaremos el tipo de sistema estructural en cada una de la dirección de análisis. En este paso identificaremos el cortante que absorbe los muros estructurales para ser comparado con la cortante de piso, si este valor resulta ser mayor al 70%, según [6] estaremos frente un sistema de muros estructurales.

Tabla 9 Tabla de Pier Forces

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P (tonf)	V2 (tonf)	V3 (ton)	T (tonf-m)	M2 (tonf-m)	M3 (tonf-m)
Z=5	SISMOXMY+	LinRespSpec	Max	Bottom	23.0312	185.8743	2266.4430	5404.3534	25089.6724	1631.6413
Z=5	SISMOXMY-	LinRespSpec	Max	Bottom	23.0065	171.7945	2269.4419	2806.2164	25124.1162	1887.5345
Z=5	SISMOYMX+	LinRespSpec	Max	Bottom	11.3008	2114.4980	194.7946	17265.9067	1010.6897	23201.9653
Z=5	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	Bottom	13.0574	2237.4229	182.9785	6481.5651	1594.8196	24555.0538

Fuente: Propia

Tabla 11 Tabla Story Forces

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P (tonf)	VX (tonf)	VY (tonf)	T (tonf-m)	MX (tonf-m)	MY (tonf-m)
Z=5	SISMOXY+	LinRespSpec	Max	Bottom	0	2304.8673	187.1017	33006.8605	1350.4836	25708.1299
Z=5	SISMOXY-	LinRespSpec	Max	Bottom	0	2307.7621	173.0000	27225.9427	1632.7301	25728.5201
Z=5	SISMOYMX+	LinRespSpec	Max	Bottom	0	197.5024	2124.9098	64382.3828	23738.6204	1096.4738
Z=5	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	Bottom	0	185.2694	2248.1365	54879.6567	25090.1787	1810.2146

Fuente: Propia

Tabla 10 Verificación sistema Estructural

XX		YY	
SISMOXY+	98.33 %	SISMOYMX+	99.51 %
SISMOXY-	98.34 %	SISMOYMX-	99.52 %

Fuente: Propia

La edificación del nosocomio en estudio, posee un sistema de muros estructurales en ambas direcciones. En conclusión, y en concordancia con [6], en este primer análisis consideraremos un coeficiente básico de reducción $R_0=6$.

4.2.2. Verificación irregularidades

- **Verificaciones Irregularidad en planta**

Partimos por la irregularidad de Torsión en planta; como se mencionó anteriormente, en una inspección visual de la estructuración se sospechaba acerca de ella. Sin embargo, al momento de comprobar las derivas se obtuvieron valores por debajo del 50% del límite establecido por [6], a la vez se menciona que en estos casos la irregularidad torsional se descarta por tener un valor tan conservador de las derivas. A continuación, se presentarán las derivas obtenidas, y la interpretación de las mismas se detallarán en el capítulo 5.1.

Tabla 13 Derivas dirección X

Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0022	CUMPLE
Z=16.45	0.0025	CUMPLE
Z=12.80	0.0027	CUMPLE
Z=9.15	0.0027	CUMPLE
Z=8.70	0.0030	CUMPLE
Z=7.65	0.0028	CUMPLE
Z=5.00	0.0012	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Tabla 12 Derivas Dirección Y

Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0007	CUMPLE
Z=16.45	0.0014	CUMPLE
Z=12.80	0.0010	CUMPLE
Z=9.15	0.0010	CUMPLE
Z=8.70	0.0011	CUMPLE
Z=7.65	0.0010	CUMPLE
Z=5.00	0.0004	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Fuente: propia

Continuamos con el análisis de esquinas entrantes, donde según [6], se considera como irregular cuando estas sean mayores al 20% de las dimensiones totales en planta. La estructura del Hospital no presenta esquinas entrantes en ninguna de sus plantas, evidenciado en las ilustraciones 15, 16, 17 y 18. De igual manera, el caso de discontinuidad de diafragmas no aplica para esta estructura debido a la ausencia de aberturas en planta mayores al 50% del área de los diafragmas. Por último, se encuentra la irregularidad de Sistemas no Paralelos según [6] este criterio no se aplica cuando los ejes de los elementos estructurales son menores a 30° .

De esta forma concluimos que la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui no presenta irregularidades en planta, por lo tanto, el valor de $I_p=1$.

- **Verificaciones Irregularidad en altura**

Como la estructura del hospital presenta una reducción de elementos estructurales a medida que subimos en nivel, analizaremos una irregularidad por masa. Nuevamente extraeremos datos de software ETABS V18.1.1; [6] menciona la presencia de irregularidad por masa cuando los factores de relación con los pisos adyacentes superior e inferior son menores a 1.5.

Tabla 14 Center of Mass and Rigidity

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	X-X		Y-Y		Verificación X-X		Verificación Y-Y	
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m								
Z=5	D1	151.54643	151.54643	1.12		1.12		REGULAR		REGULAR	
Z=9.15	D2	135.41936	135.41936	1.22	0.89	1.22	0.89	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
Z=12.8	D3	111.26764	111.26764		0.82		0.82		REGULAR		REGULAR
Z=16.45	D4	57.33105	57.33105								

Fuente: Propia

Los resultados demostraron que la estructura no presenta irregularidad por masa. A su vez, [6] establece comprobar la irregularidad por geometría vertical, donde si la relación de las dimensiones correspondientes de una planta con la de la planta continua superior son mayores al valor de 1.3, se considera como irregular.

Tabla 15 Verificación Irregularidad Geométrica Vertical

DIRECCIÓN X			DIRECCIÓN Y		
Story	DIMENSION	VERIFICACIÓN	Story	DIMENSION	VERIFICACIÓN
Z=16.45	49.25	-	Z=16.45	-	-
Z=12.8	49.25	-	Z=12.8	16.74	-
Z=9.15	49.25	REGULAR	Z=9.15	26.25	IRREGULAR
Z=5	49.25	REGULAR	Z=5	26.25	REGULAR

Fuente: Propia

Continuamos con la verificación establecida en [6]; irregularidad por Piso Blando y Extrema Rigidez, si la relación de rigidez lateral de un entrepiso es menor que el 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior o es menor que el 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes, se considera irregular por piso blando. Para el caso de irregularidad por extrema rigidez, [6] establece que la rigidez lateral de entrepiso no debe ser menor del 60% de la rigidez del piso inmediato superior o menor que el 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores.

Tabla 16 Verificación Piso Blando y Extrema Rigidez X-X

SISMO X-X									
Story	Output Case	Case Type	Shear X	Drift X	Stiff X	PISO BLANDO		EXTREMA RIGIDEZ	
						Verificación 70%	Verificación 80%	Verificación 60%	Verificación 70%
Z=16.45	DEVXMY-	LinRespSpec	1457.50	0.86	168574.00				
Z=12.8	DEVXMY-	LinRespSpec	3169.45	0.93	341360.21	REGULAR		REGULAR	
Z=9.15	DEVXMY-	LinRespSpec	4120.70	0.08	4904684.98	REGULAR		REGULAR	
Z=5	DEVXMY-	LinRespSpec	5400.62	0.54	1001190.94	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR
Z=16.45	DEVXMY+	LinRespSpec	1448.99	0.87	166179.05				
Z=12.8	DEVXMY+	LinRespSpec	3162.66	0.93	338370.12	REGULAR		REGULAR	
Z=9.15	DEVXMY+	LinRespSpec	4115.05	0.08	4887976.26	REGULAR		REGULAR	
Z=5	DEVXMY+	LinRespSpec	5393.85	0.54	994042.89	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR

Fuente: Propia

Tabla 17 Verificación Piso blando y Extrema Rigidez Y-Y

SISMO Y-Y									
Story	Output Case	Case Type	Shear Y	Drift X	Stiff X	PISO BLANDO		EXTREMA RIGIDEZ	
						Verificación 70%	Verificación 80%	Verificación 60%	Verificación 70%
Z=16.45	DEVYMX-1	LinRespSpec	1485.80	0.37	398825.17				
Z=12.8	DEVYMX-1	LinRespSpec	3078.00	0.28	1097761.61	REGULAR		REGULAR	
Z=9.15	DEVYMX-1	LinRespSpec	4280.38	0.02	17286571.55	REGULAR		REGULAR	
Z=5	DEVYMX-1	LinRespSpec	5261.08	0.17	3008345.13	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR
Z=16.45	DEVYMX+	LinRespSpec	1407.05	0.39	360392.00				
Z=12.8	DEVYMX+	LinRespSpec	2933.85	0.29	1009036.80	REGULAR		REGULAR	
Z=9.15	DEVYMX+	LinRespSpec	4064.53	0.03	14105234.18	REGULAR		REGULAR	
Z=5	DEVYMX+	LinRespSpec	4972.71	0.17	2869208.75	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR	IRREGULAR

Fuente: Propia

De esta forma comprobamos que la relación de rigidez del primer piso con el segundo piso, se encuentra muy por debajo de lo estipulado en [6], por lo tanto, el factor I_a obtendrá un valor de 0.5, ya que este valor es el más crítico comparado con las otras irregularidades en altura que posee la edificación. Estos valores nos permiten corregir el los espectros ingresados, y de esta forma obtendremos las derivas finales presentadas en el capítulo 5.1.

4.2.3. Resultados

En el capítulo anterior se detalló el cálculo de las irregularidades estructurales tomando los parámetros estipulados de la Norma Técnica E.030. Se determinó dos factores de irregularidad en altura y planta, los cuales intervienen en el factor de reducción sísmica de la edificación. De esta forma es como obtendremos un primer alcance de las derivas que podría alcanzar la edificación.

Tabla 18 Factor de reducción Sísmica en las direcciones de análisis

R_{Ox}	6
R_{Oy}	6
R_x	3
R_y	3

Fuente: Propia

Para realizar el cálculo de las derivas, según [6] se considera una excentricidad del 5% para cada dirección de análisis, por ello al momento de ingresar datos al software estructural ETABS V 18.1.1, se programaron Sismos con dirección X con excentricidad en Y+ y Y-; de la misma forma para el sismo con dirección Y con excentricidad en X+ y en X-. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos, tomando como deriva máxima permitida 0.007 [6].

Tabla 19 Derivas sismo X

Sismo en X con excentricidad Y+

Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0022	CUMPLE
Z=16.45	0.0025	CUMPLE
Z=12.80	0.0027	CUMPLE
Z=9.15	0.0027	CUMPLE
Z=8.70	0.0030	CUMPLE
Z=7.65	0.0028	CUMPLE
Z=5.00	0.0012	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Sismo en X con excentricidad Y-

Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0022	CUMPLE
Z=16.45	0.0024	CUMPLE
Z=12.80	0.0026	CUMPLE
Z=9.15	0.0027	CUMPLE
Z=8.70	0.0030	CUMPLE
Z=7.65	0.0027	CUMPLE
Z=5.00	0.0012	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Fuente: Propia

Tabla 20 Derivas en Y

Sismo en Y con excentricidad X+			Sismo en Y con excentricidad X-		
Z	Derivas	Verificación	Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0006	CUMPLE	Z=20.00	0.0007	CUMPLE
Z=16.45	0.0016	CUMPLE	Z=16.45	0.0014	CUMPLE
Z=12.80	0.0012	CUMPLE	Z=12.80	0.0010	CUMPLE
Z=9.15	0.0012	CUMPLE	Z=9.15	0.0010	CUMPLE
Z=8.70	0.0013	CUMPLE	Z=8.70	0.0011	CUMPLE
Z=7.65	0.0013	CUMPLE	Z=7.65	0.0010	CUMPLE
Z=5.00	0.0005	CUMPLE	Z=5.00	0.0004	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE	Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Fuente: Propia

Evidenciamos las derivas extremadamente bajas, debajo del 50% de la deriva máxima permitida por [6], producto del considerable número de placas que la estructura posee en ambas direcciones, esto se ve reflejado a su vez en el periodo de la estructura $T=0.250$, propio de una estructura altamente rígida. A pesar de ello no se logró corregir las irregularidades por altura.

Como parte de los resultados del análisis dinámico a continuación se detalla el peso por metro cuadrado de la edificación; según [6] al ser una edificación esencial debemos considerar el 100% de carga muerta y un 50% de la carga viva. De igual manera se presenta los centros de masa y centro de rigidez por diafragma considerado.

Tabla 21 Masas por diafragma, centro de masas y rigidez

		AREA TECHADA 4388.855 m ²									
Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Z=5	D1	154.519	154.519	24.905	12.765	154.519	154.519	24.905	12.765	20.906	9.065
Z=9.15	D2	136.723	136.723	24.399	12.800	136.723	136.723	24.399	12.800	19.268	6.806
Z=12.8	D3	113.109	113.109	24.507	13.163	113.109	113.109	24.507	13.163	18.015	5.283
Z=16.45	D4	58.167	58.167	24.090	12.371	58.167	58.167	24.090	12.371	14.854	5.402
		462.518									
		PESO	1.03 ton/m²								

Fuente: Propia

A partir del análisis dinámico podemos afirmar que la estructura del hospital Luis Heysen Incháustegui, se encuentra en un rango muy conservador con respecto a sus derivas, y el peso por metro cuadrado, a pesar de presentar irregularidad por geometría vertical, por piso blando y por extrema rigidez.

4.3. ANÁLISIS PUSHOVER

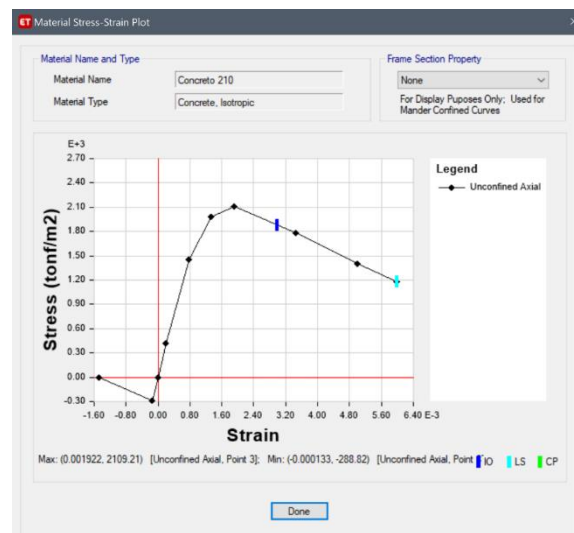
El motivo del análisis pushover en la presente investigación radica en cargar a la estructura en ambas direcciones de análisis para determinar su desplazamiento elástico e inelástico, los cuales nos brindarán el valor de ductilidad. En este primer análisis, se consideraron las secciones estructurales existentes en el Hospital Luis Heysen Incháustegui; sin la presencia de los disipadores sísmicos y tomando la correcta distribución de acero en cada uno de los tramos correspondientes (cuadros presentados en Anexo N°1).

En este método es muy importante considerar las propiedades no lineales de cada uno de los elementos estructurales, pues al aplicar la carga se realizará una discretización del comportamiento no lineal a través de la formación de rótulas ubicadas en las zonas donde se espera dicho comportamiento. Según [19], la capacidad de la estructura depende de la rigidez, resistencia y deformación de cada uno de los elementos que componen la redundancia estructural.

4.3.1. Definición de materiales

Tomando como punto de referencia los materiales ingresados en el capítulo 4.2. Análisis dinámico, se presenta a continuación los cuadros de consideraciones de comportamiento no lineal del material. Partimos con la curva esfuerzo-deformación de un concreto con $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ definida automáticamente por el software empleado.

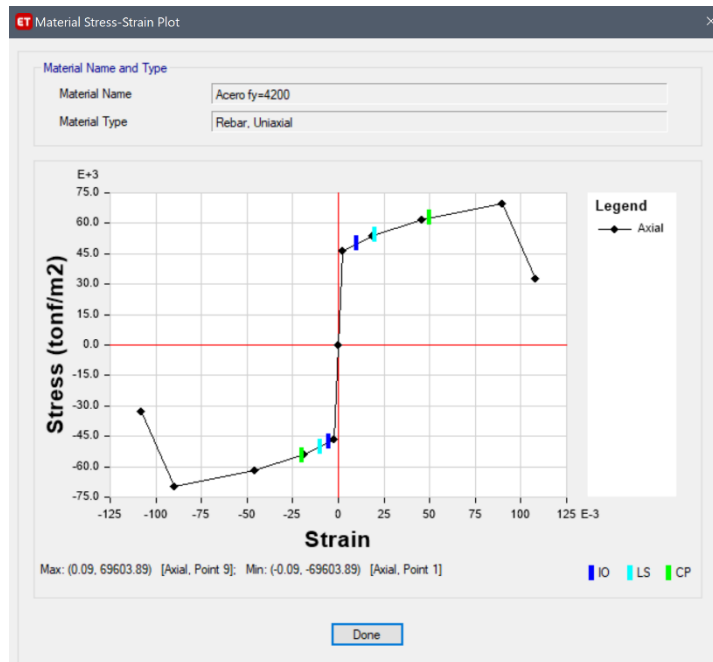
Ilustración 22 Curva Esfuerzo-Deformación Concreto



Fuente: Propia

De igual forma se trabajó el acero corrugado de $f_y=4200\text{kg/cm}^2$, $f_u=6320\text{kg/cm}^2$ y un módulo de Elasticidad= 210000kg/cm^2 , obteniendo la siguiente curva esfuerzo-deformación:

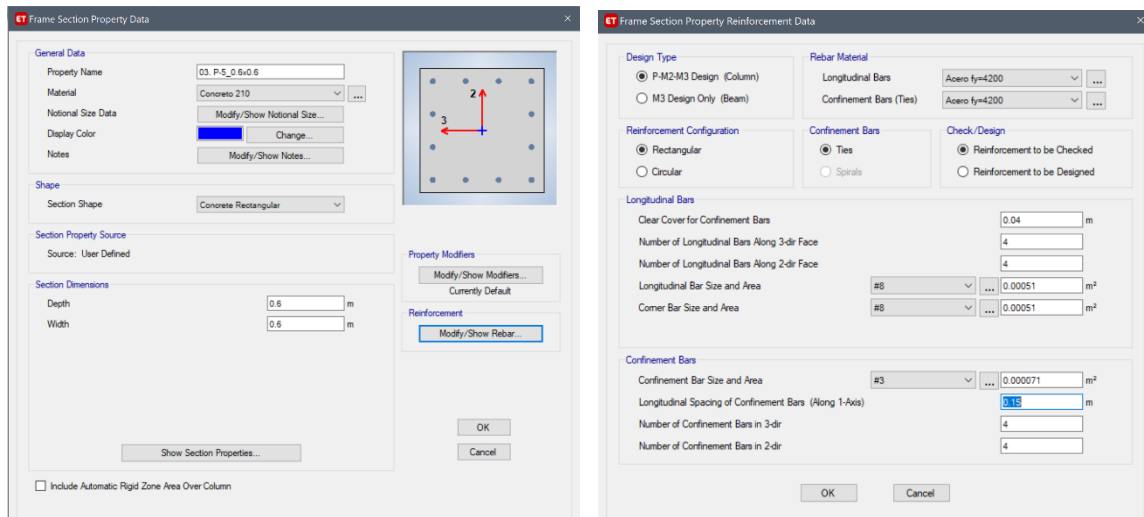
Ilustración 23 Curva Esfuerzo-Deformación Acero corrugado



Fuente: Propia

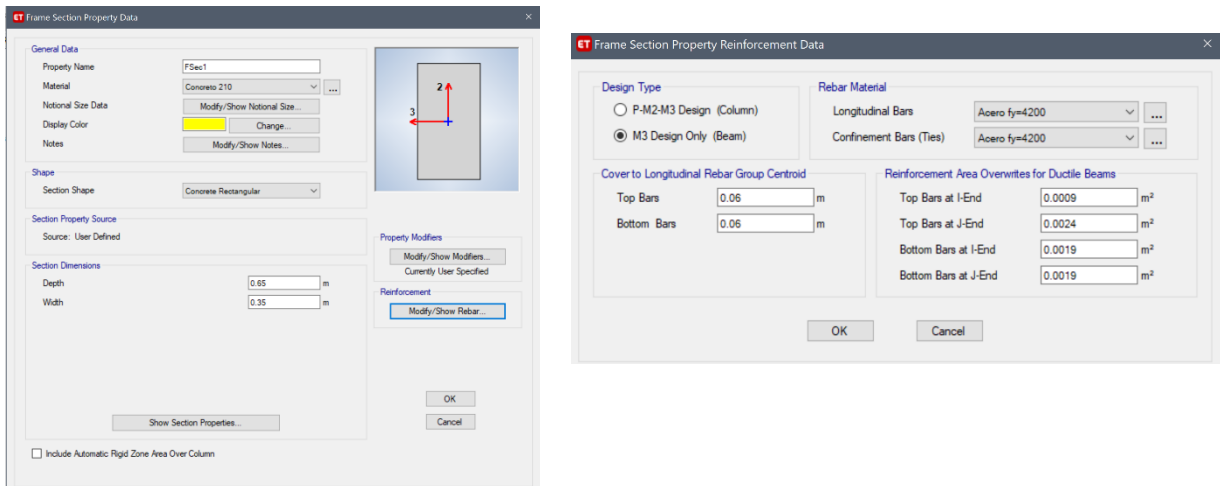
Mediante estos parámetros de material, se ingresaron cada una de las secciones correspondientes de columnas y vigas, como se detalla a continuación.

Ilustración 24 Modelamiento Columnas



Fuente: Propia

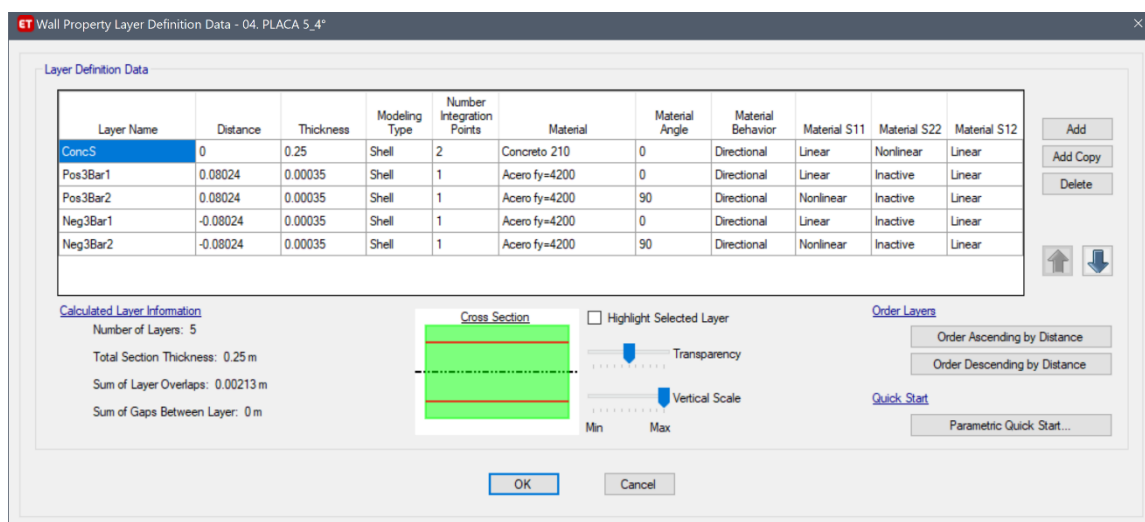
Ilustración 25 Modelamiento de Vigas



Fuente: Propia

Para el caso de muros de corte, se empleó una sección “Layered-shell no lineal”; este procedimiento permite ingresar los parámetros no lineales de las diferentes capas que componen cada muro de corte. Donde para el caso de las capas de concreto, se consideran los parámetros del eje local S22 no lineal para los esfuerzos axiales del muro y se desprecian el comportamiento S11 No lineal de corte, debido a que su aporte de ductilidad es muy pequeño; una vez excedido el esfuerzo de corte el muro fallará. Por otro parte, para el caso de capa de acero se considera como inactiva en la componente S22 y un comportamiento no lineal para la componente S11.

Ilustración 26 Modelamiento de muros de corte



Fuente: Propia

Cabe recalcar que cada placa, columna y viga fueron modeladas con la distribución de refuerzo estructural correspondiente a la de los planos, diferenciándose en sus tramos asignados.

4.3.2. Definición de cargas

Primero definimos la carga gravitacional no lineal, para lo cual se tomó el caso de 100% de cargas muertas y un 50% de cargas vivas por tratarse de una edificación esencial.

Ilustración 27 Carga gravitacional No Lineal

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Peso propio	1
Load Pattern	CM	1
Load Pattern	Live	0.5

Fuente: Propia

Posterior a ello definimos las cargas monotónicas que será aplicadas a los centros de masa en cada diafragma desarrollado según los cortantes de cada nivel obtenidos en el análisis dinámico. Estas cargas iniciales serán incrementadas repetidamente hasta llevar a la estructura a su punto de colapso o a un desplazamiento de control que sea considerado conservador. [19] afirma que la relación de la carga existente incremental en la estructura y el desplazamiento del centro de masa del ultimo nivel, para modelamientos tridimensionales, genera la curva de capacidad de la edificación.

Primero procedemos a extraer los valores de los cortantes obtenidos en un análisis dinámico respetando las estipulaciones de [6]. Realizamos una escala del cortante obtenido por cada diafragma que se haya considerado, y de esta forma obtendremos las fuerzas para el análisis push-over, las que se consideran como un patrón de cargas relacionadas al modo fundamental de la edificación. Al momento de ingresar las cargas en los centros de masa de cada diafragma, no se debe considerar ningún tipo de excentricidad.

Tabla 22 Cortantes por Diafragma

Story	Output Case	Case Type	Step Type	VX	Fx	Factor	Fpushx
Z=16.45	SISMOXMY-	LinRespSpec	Max	622.812	622.812	1.139	1138.747
Z=12.8	SISMOXMY-	LinRespSpec	Max	1354.351	731.539	1.338	1337.543
Z=9.15	SISMOXMY-	LinRespSpec	Max	1760.835	406.484	0.743	743.213
Z=5	SISMOXMY-	LinRespSpec	Max	2307.762	546.927	1.000	1000.000

Escala : 1000

Story	Output Case	Case Type	Step Type	VY	Fy	Factor	Fpushy
Z=16.45	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	634.904	634.904	1.515	1515.036
Z=12.8	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	1315.275	680.371	1.624	1623.532
Z=9.15	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	1829.068	513.794	1.226	1226.038
Z=5	SISMOYMX-	LinRespSpec	Max	2248.137	419.068	1.000	1000.000

Fuente: propia

Ilustración 28 Distribución de carga lateral dirección de análisis "X" y "Y"

Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Z=16.45	D4	1138.747	0	0
Z=12.8	D3	1337.543	0	0
Z=9.15	D2	743.213	0	0
Z=5	D1	1000	0	0

Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Z=16.45	D4	0	1515.036	0
Z=12.8	D3	0	1623.532	0
Z=9.15	D2	0	1226.038	0
Z=5	D1	0	1000	0

Fuente: Propia

Procedemos creando dos tipos de cargar en el software ETABS V 18.1.1, ingresando un caso de carga donde se tome la fuerza lateral introducida y considerando la geometría no lineal en base al control P-Delta; y definimos las cargas según los modos fundamentales de la edificación. El primer modo fundamental, predomina el desplazamiento traslacional en dirección “X”; para el caso del segundo modo, predomina el desplazamiento traslacional en dirección “Y”.

Ilustración 29 Load Case Pushover "X" y "Y"

The image shows two side-by-side screenshots of the ETABS software interface for configuring Pushover Load Cases. Both screenshots show the 'General' tab with the following settings:

- Load Case Name: PUSHOVER X (left) and PUSHOVER Y (right)
- Load Case Type: Nonlinear Static
- Mass Source: MASA
- Analysis Model: Default

Under 'Initial Conditions', the 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)' option is selected, with 'Nonlinear Case' set to CGNL.

The 'Loads Applied' table in both screenshots is as follows:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	F Lat. X (left) / F Lat. Y (right)	1

Under 'Other Parameters', the 'Modal Load Case' is set to 'Modal' and the 'Geometric Nonlinearity Option' is set to 'P-Delta'. The 'Load Application' is set to 'Displacement Control' and 'Results Saved' is set to 'Multiple States'.

Fuente: Propia

Ilustración 30 Load Case Pushover "X" y "Y" por modos

The image shows two side-by-side screenshots of the ETABS software interface for configuring Pushover Load Cases by mode. Both screenshots show the 'General' tab with the following settings:

- Load Case Name: PUSHOVER MODO 1 (left) and PUSHOVER MODO 2 (right)
- Load Case Type: Nonlinear Static
- Mass Source: MASA
- Analysis Model: Default

Under 'Initial Conditions', the 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)' option is selected, with 'Nonlinear Case' set to CGNL.

The 'Loads Applied' table in both screenshots is as follows:

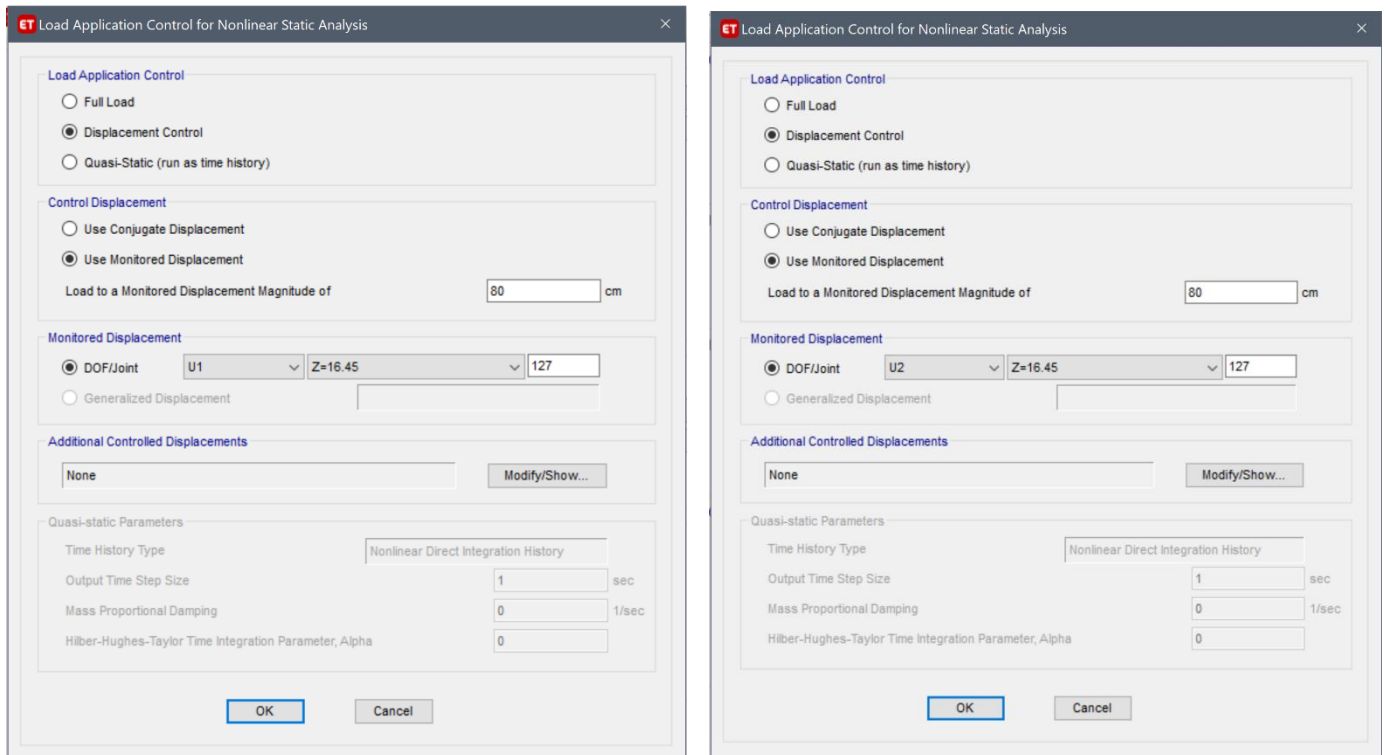
Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1 (left) / 2 (right)	1

Under 'Other Parameters', the 'Modal Load Case' is set to 'Modal' and the 'Geometric Nonlinearity Option' is set to 'P-Delta'. The 'Load Application' is set to 'Displacement Control' and 'Results Saved' is set to 'Multiple States'.

Fuente: Propia

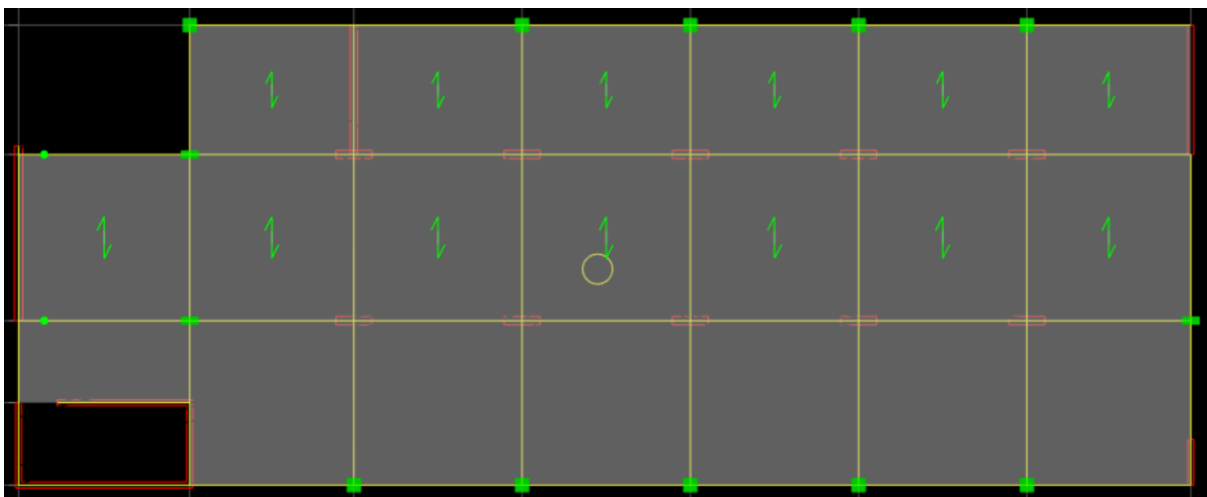
Como observamos en la ilustración 30, en la opción “Load application” se definió “Displacement Control”, pues se registrarán los desplazamientos que experimentará el centro de gravedad del ultimo diafragma de la edificación, como observaremos a continuación.

Ilustración 31 Displacement control



Fuente: Propia

Ilustración 32 Vista Planta - Centro de Masa ultimo diafragma



Fuente: Propia

4.3.3. Asignación de Rótulas Plásticas al Modelo

La ductilidad que posee una edificación está estrechamente relacionada con la capacidad de los elementos para incursionar en el rango inelástico. Según [22] al ingresar en dicho rango inelástico, es necesario definir la forma y comportamiento de las rotulas plásticas; en función a ellas se ira degradando sucesivamente la rigidez de las secciones y de la estructura en general. A medida que las cargas vayan aumentando, se irán formando las rotulas en cada uno de los elementos estructurales dejando evidencia del mecanismo de falla que producirá, el cual puede ser dúctil o frágil conduciendo finalmente al colapso de la estructura.

[22] Define rotulas estableciendo parámetros como la deformación inelástica estable (“a”), deformación total hasta el punto del colapso (“b”) y una resistencia residual (“c”). Cada uno de ellos representa un punto dentro de un gráfico, categorizando a la estructura en:

- Ocupación inmediata
- Seguridad Vital
- Prevención de colapso

En el capítulo 10 de la referencia [22] se definen los parámetros para el concreto se comporte como material dúctil, además presenta tablas para definir las rotulas plásticas en los tipos de elementos en todos los casos.

Tabla 23 Parámetros de modelamiento rotulas plásticas ASCE – Vigas de Concreto Armado

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	c	Plastic Rotations Angle (radians)					
				Performance Level					
				IO	LS	CP			
	a	b							
Condition i. Beams controlled by flexure ^b									
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ^d							
≤ 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

Fuente: American Society of Civil Engineers, «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,» 2017.

Tabla 24 Parámetros de modelamiento rotulas plásticas ASCE – Columnas de Concreto Armado

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)				
				Performance Level				
				IO	LS	CP		
a	b	c	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	≤ 3 (0.25)	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 6 (0.5)	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 3 (0.25)	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 6 (0.5)	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	≤ 3 (0.25)	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 6 (0.5)	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	≤ 3 (0.25)	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	≥ 6 (0.5)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

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)			
				Performance Level			
				IO	LS	CP	
a	b	c	IO	LS	CP		
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

Fuente: American Society of Civil Engineers, «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,» 2017.

Estas tablas se encuentran registradas dentro del programa Etabs V.18.1.1, por ello las rótulas fueron asignadas de forma automática en el programa, considerando una separación del 5% y 95% de la longitud de cada elemento.

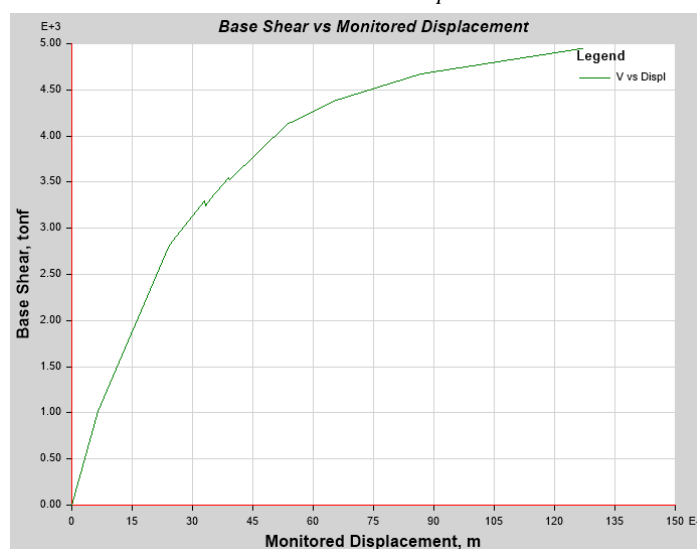
4.4. CURVA DE CAPACIDAD - EDIFICACIÓN EXISTENTE

Según [19], es aquella grafica que relaciona la resistencia a la carga lateral del edificio versus el desplazamiento lateral en el último piso de la edificación. La capacidad de la edificación depende de la resistencia y la posibilidad de la deformación de sus componentes (concreto, acero). El alcance de la curva de capacidad en la presente investigación, abarcará netamente el cálculo del desplazamiento elástico e inelástico, y el cálculo de la ductilidad mediante la relación entre ellos.

[19] Menciona que análisis pushover genera un patrón de desplazamientos correspondientes a los generados por el aumento de las cargas monotónicas en una dirección de análisis, obedeciendo el modo fundamental de la estructura. Sin embargo, una de las desventajas que presenta este método es la sobrevaloración de la respuesta, pero para el caso de estructuras rígidas con periodos cortos, como la estudiada en esta investigación, pueden obtenerse valores válidos. A medida que se va desarrollando el análisis, el patrón de desplazamientos y los valores de la fuerza cortante son registrados generando la Curva de Capacidad de le edificación.

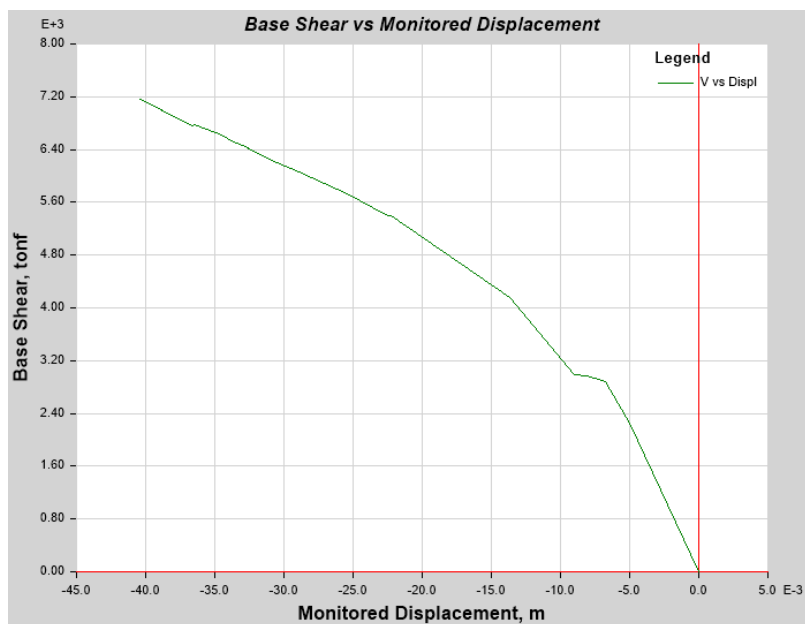
La curva de capacidad de la edificación nos permite estimar la ductilidad que ofrece el diseño del nosocomio Luis Heysen Incháustegui, relacionando el desplazamiento correspondiente al colapso con el desplazamiento asociado a la primera rótula que aparece en la edificación.

Ilustración 33 Curva de Capacidad - Modo 1



Fuente: Propia

Ilustración 34 Curva de Capacidad – Modo 2



Fuente: Propia

De esta forma podemos continuar con el cálculo de la ductilidad de la edificación existente. Para el caso del modo 1 (dirección “X”), se obtuvo un desplazamiento último de 12.7cm y un desplazamiento de fluencia, correspondiente a la formación de la primera rotula, de 2.50cm; obteniendo un valor de $\mu=5.08$. En el modo 2, se obtuvo un desplazamiento ultimo de 4.04 cm y un desplazamiento de fluencia 0.8cm, obteniendo $\mu=5.05$.

Habiendo culminado con el análisis dinámico y el primer análisis pushover de la estructura existente, podemos afirmar que la estructuración del hospital Luis Heysen Incháustegui desarrolla un comportamiento sísmico aceptable, en el que mantiene derivas por desplazamientos por debajo del 50% de la deriva máxima permitida por [6]; además de ello, posee un grado de ductilidad muy conservador en ambas direcciones. A este alcance de la investigación, afirmamos que la estructuración del hospital cumple con los parámetros establecidos por [6], y no será necesario un reforzamiento con disipadores sísmicos. En aras de cumplir con los objetivos de la presente investigación se desarrollará un alcance del comportamiento de los disipadores y un análisis tiempo-historia complementario para validar el comportamiento de la estructura.

4.5. ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA

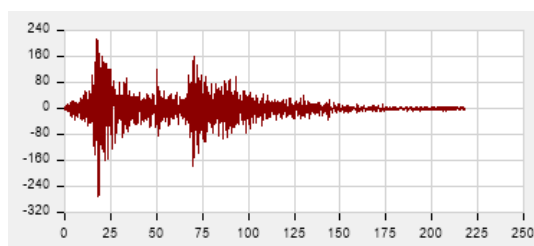
En este capítulo se llevará a cabo el análisis tiempo-historia con el objetivo de comprobar el comportamiento de la edificación ante los registros sísmicos seleccionados. A continuación, se presentan los datos de los sismos extraídos del CISMID-UNI.

- Sismo Ica, 15 de agosto del 2007:

Magnitud: 7.0 ML

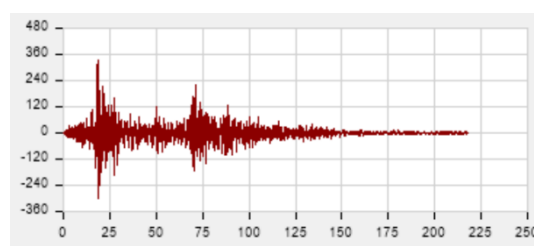
Profundidad: 40 Km

Ilustración 35 Registro Ica EW



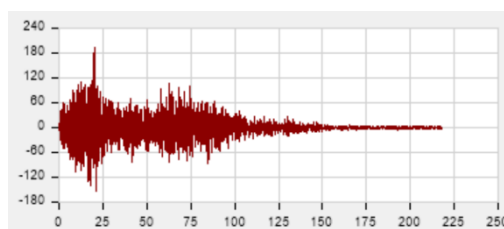
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Ica, 15 de agosto del 2007,»

Ilustración 37 Registro Ica NS



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Ica, 15 de agosto del 2007,»

Ilustración 36 Registro Ica UD



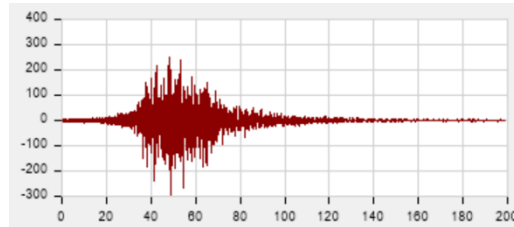
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Ica, 15 de agosto del 2007,»

- Sismo Moquegua, 23 de junio del 2001

Magnitud: 6.9 ML

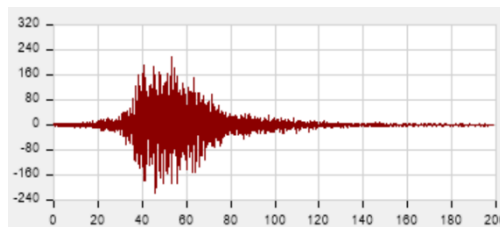
Profundidad: 33Km

Ilustración 38 Registro Moquegua EW



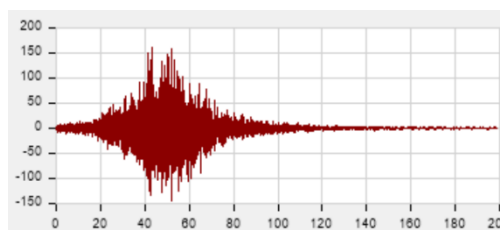
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Moquegua, 23 de Julio del 2001,»

Ilustración 39 Registro Moquegua NS



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Moquegua, 23 de Julio del 2001,»

Ilustración 40 Registro Moquegua UD



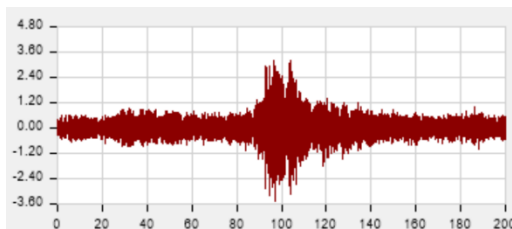
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, «Registro Sísmico Moquegua, 23 de Julio del 2001,»

- Sismo Tacna, 11 de febrero del 2015

Magnitud: 6.7 ML

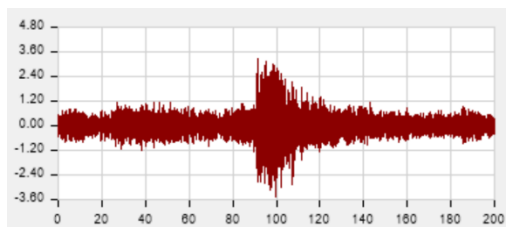
Profundidad: 190Km

Ilustración 41 Registro Tacna EW



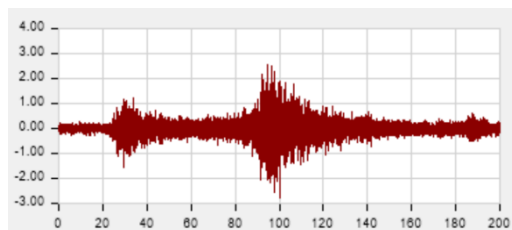
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería , «Registro Sísmico Tacna, 11 de febrero del 2015,»

Ilustración 42 Registro Tacna NS



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería , «Registro Sísmico Tacna, 11 de febrero del 2015,»

Ilustración 43 Registro Tacna UD



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería , «Registro Sísmico Tacna, 11 de febrero del 2015,»

Estos registros son escalados con un espectro considerando un factor de $R=1$, el proceso fue realizado en el software ETABS V 18.1.1. Las derivas obtenidas se presentan a continuación:

Ilustración 44 Derivas Dirección X - Análisis Tiempo-Historia

PISO	ICA X	MOQ X	TAC X
Z=20.00	0.0031	0.0030	0.0029
Z=16.45	0.0034	0.0035	0.0031
Z=12.80	0.0036	0.0037	0.0034
Z=9.15	0.0038	0.0037	0.0035
Z=8.70	0.0042	0.0041	0.0039
Z=7.65	0.0038	0.0038	0.0035
Z=5.00	0.0017	0.0017	0.0015

Fuente: Propia

Tabla 25 Derivas Dirección Y – Análisis Tiempo-Historia

PISO	ICA Y	MOQ Y	TAC Y
Z=20.00	0.0010	0.0008	0.0009
Z=16.45	0.0021	0.0021	0.0021
Z=12.80	0.0016	0.0016	0.0015
Z=9.15	0.0016	0.0016	0.0015
Z=8.70	0.0018	0.0017	0.0017
Z=7.65	0.0018	0.0017	0.0016
Z=5.00	0.0007	0.0006	0.0006

Fuente: Propia

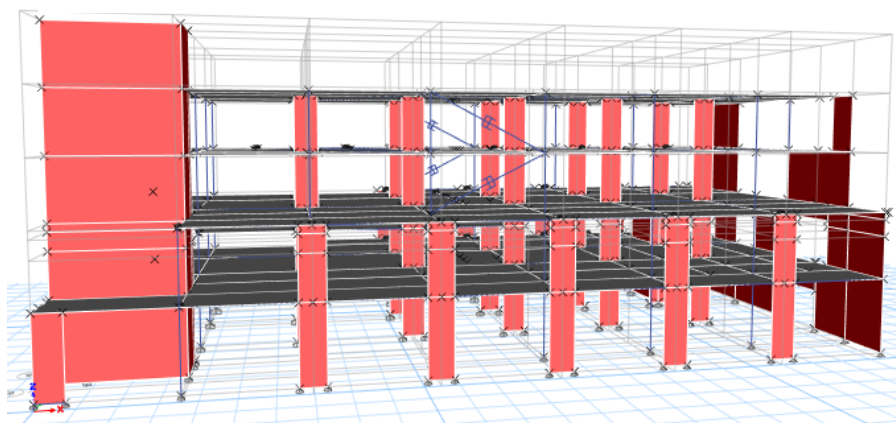
Efectivamente la estructuración del Hospital Luis Heysen Incháustegui posee un comportamiento muy rígido, en el cual desarrolla derivas muy por debajo de los límites establecidos por [6]; asegurando un correcto desempeño ante eventos sísmicos naturales. Además, observamos que posee mayor rigidez en dirección “Y” comparada a la dirección “X”; este será el principal criterio para la ubicación de los disipadores sísmicos que se detalla en el siguiente capítulo.

4.6. IMPLEMENTACIÓN DISIPADORES SÍSMICOS

Partimos por la selección del tipo de disipador a trabajar, después de realizar un pequeño estado de arte con respecto a los tipos de disipadores, su comportamiento y desempeño en las edificaciones; el disipador fluido viscoso, se convierte en una de las mejores opciones para emplear como reforzamiento. En primer lugar, en el Perú son los disipadores más comercializados y alcanzables en el mercado. En segundo lugar, desarrollan un comportamiento histerético elíptico, donde abarcan la mayor área de disipación de energía y podemos linealizar su comportamiento; es decir, podemos tener un modelamiento lo más cercano posible al comportamiento real. Por último, podría decirse ser la razón más importante, es que este tipo dispositivo no incrementa los esfuerzos en las columnas o placas cuando la edificación alcance su máximo esfuerzo, ya que en este punto la velocidad será cero originando que el disipador cese su trabajo.

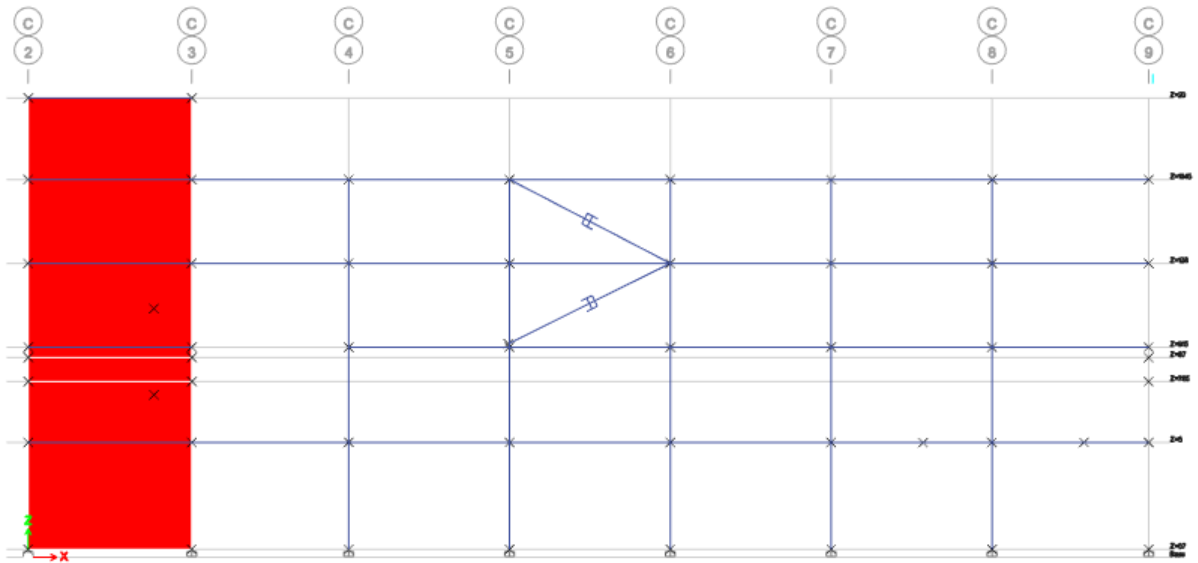
Con respecto a la ubicación de los disipadores el primer punto evaluado fueron las derivas. En la dirección “X” se presenta derivas por debajo del 50% del límite establecido en la norma, sin embargo, son ligeramente mayores en comparación las derivas en dirección “Y”. Al ser una edificación muy rígida y poseer derivas muy conservadoras, emplearemos únicamente dos disipadores por nivel en dirección “X” a partir del tercer nivel. Por último, los disipadores se modelaron en pórticos de fachadas, donde no impidan el paso de pasillos o la circulación interna del funcionamiento del nosocomio.

Ilustración 45 Vista 3D edificación con disipadores sísmicos



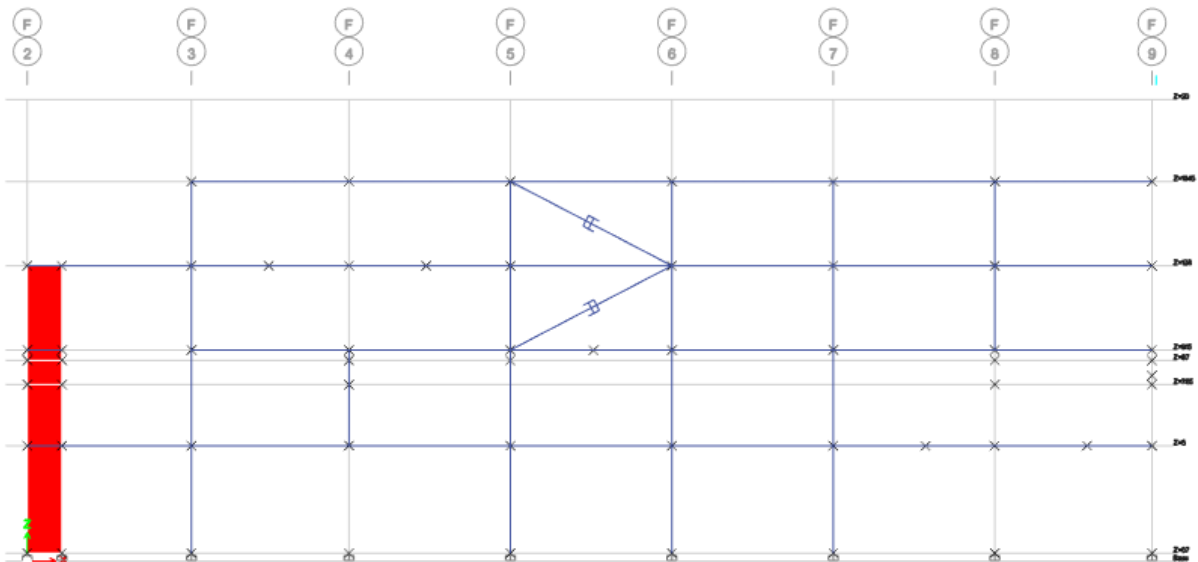
Fuente: Propia

Ilustración 46 Pórtico Fachada - Dirección "X"



Fuente: Propia

Ilustración 47 Pórtico Fachada - Dirección "X"



Fuente: Propia

Es importante señalar que la disposición de los disipadores en sentidos contrarios con respecto al nivel de la edificación, se aplicó con el objetivo de generar un nudo más efectivo al encontrarse dos dispositivos conectados.

Partimos por la selección del valor de “ α ” denominado como *Exponente de Velocidad*, se suele considerar valores óptimos entre un rango de 0.4-0.6, por lo cual conservadoramente se asignó un valor de 0.5. Posteriormente a ello, definimos un amortiguamiento objetivo de 15%, ya que según [22] la edificación para reforzamiento debe ser capaz de resistir hasta un 75% de las fuerzas del sismo para mantener un rango de seguridad en caso el sistema de disipación falle durante el suceso natural. Con este valor podremos calcular el factor “ βmD ” a partir de la tabla presentada en [22].

Tabla 26 Amortiguamiento Efectivo

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{V, I}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD},$ or B_{mM} (where period of the structure T_0)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Fuente: American Society of Civil Engineers, «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,» 2017.

Posterior a ello definimos un valor del factor de amortiguamiento “ C ”, factor que está íntimamente relacionado con el tipo de disipador que podría solicitarse en el momento de aplicación del reforzamiento. Consideramos un factor conservador de $C=300 \text{ ton} \cdot (\text{s/m})^{(1/0.5)}$ con fin de poder estudiar el comportamiento en la estructura.

A su vez, es necesario definir una función pulso la cual nos ayudará a comprender el amortiguamiento de la edificación en conjunto con los disipadores, de esta forma aplicando un decremento logarítmico evidenciaremos el amortiguamiento aportado por el disipador y el amortiguamiento inherente a la estructura.

En un primer análisis del modelamiento se verificó el periodo fundamental de la edificación, evidenciando que este se mantiene constante a pesar de la presencia de los disipadores. Estos dispositivos incrementan únicamente el amortiguamiento y a su vez reducen la aceleración espectral; es decir, reducen los esfuerzos y desplazamientos de la estructura.

Tabla 27 Modos de edificación con disipadores sísmicos

Case	Mode	Period
MODAL-R	1	0.249
MODAL-R	2	0.139
MODAL-R	3	0.074
MODAL-R	4	0.061
MODAL-R	5	0.059
MODAL-R	6	0.056
MODAL-R	7	0.040
MODAL-R	8	0.037
MODAL-R	9	0.028
MODAL-R	10	0.003
MODAL-R	11	0.003
MODAL-R	12	0.001

Fuente: Propia

4.6.1. Análisis tiempo-historia con disipadores

Este apartado se realiza según [6], como parte de la corroboración del modelo. A continuación, presentamos el registro comparativo de las derivas máximas correspondientes a cada uno de los registros seleccionados.

Tabla 28 Derivas Dirección X con disipadores - Análisis Tiempo-Historia

PISO	ICA X	MOQ X	TAC X
Z=20.00	0.0029	0.0026	0.0025
Z=16.45	0.0031	0.0030	0.0027
Z=12.80	0.0033	0.0031	0.0029
Z=9.15	0.0035	0.0032	0.0030
Z=8.70	0.0038	0.0036	0.0033
Z=7.65	0.0035	0.0033	0.0030
Z=5.00	0.0015	0.0014	0.0013

Fuente: Propia

Tabla 29 Derivas Dirección Y con disipadores - Análisis Tiempo-Historia

PISO	ICA Y	MOQ Y	TAC Y
Z=20.00	0.0009	0.0009	0.0009
Z=16.45	0.0021	0.0021	0.0021
Z=12.80	0.0016	0.0016	0.0015
Z=9.15	0.0016	0.0015	0.0015
Z=8.70	0.0018	0.0017	0.0017
Z=7.65	0.0017	0.0017	0.0016
Z=5.00	0.0007	0.0006	0.0006

Fuente: Propia

De los cuadros presentados, se realizó una comparativa de los valores máximos de las derivas con y sin disipadores, donde podemos evidenciar la reducción de las derivas ante las acciones de los registros seleccionados.

Tabla 30 Cuadro Comparativo - Derivas Análisis Tiempo-Historia

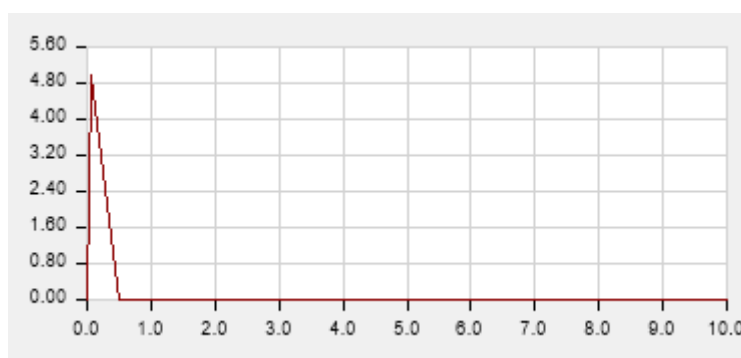
PISO	MAX DRIFT X-X CON DISIPADORES	MAX DRIFT X-X SIN DISIPADORES	MAX DRIFT Y-Y CON DISIPADORES	MAX DRIFT X-X SIN DISIPADORES
	MAX X-X	MAX X-X	MAX Y-Y	MAX Y-Y
Z=20.00	0.00286	0.00308	0.00091	0.00096
Z=16.45	0.00305	0.00349	0.00210	0.00211
Z=12.80	0.00333	0.00372	0.00157	0.00160
Z=9.15	0.00350	0.00378	0.00157	0.00162
Z=8.70	0.00385	0.00416	0.00177	0.00182
Z=7.65	0.00347	0.00384	0.00170	0.00175
Z=5.00	0.00151	0.00168	0.00066	0.00067

Fuente: Propia

A pesar de ser derivas evidentemente muy conservadores, podemos afirmar que solo trabajando con 4 disipadores en la edificación (dos por piso distribuidos a partir del tercer nivel) obtenemos resultados reducidos en ambas direcciones; cabe resaltar que en este caso solo se colocaron disipadores en dirección “X”, aun así influyó de forma escasa en la dirección “Y”.

Parte del análisis Tiempo-Historia, requiere aplicar una carga tipo pulso, empleada para determinar el amortiguamiento atribuido a la edificación y a los disipadores. Estos resultados se extrajeron del software ETABS V 18.1.1.

Ilustración 48 Función Pulso



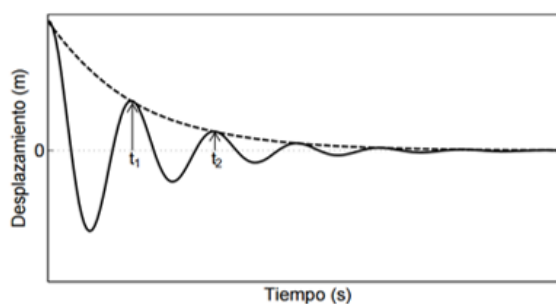
Fuente: Propia

Tabla 31 Calculo decremento Logarítmico

DECREMENTO LOGARITMICO	
INGRESE n :	3
INGRESE X1 :	-0.016161
INGRESE X2 :	-0.002483
$\delta = \ln (X1 / X2) :$	1.8731
$\zeta =$	0.0989
$\beta =$	4.89%

Fuente: Propia

Ilustración 49 Modelo - Calculo de Amortiguamiento

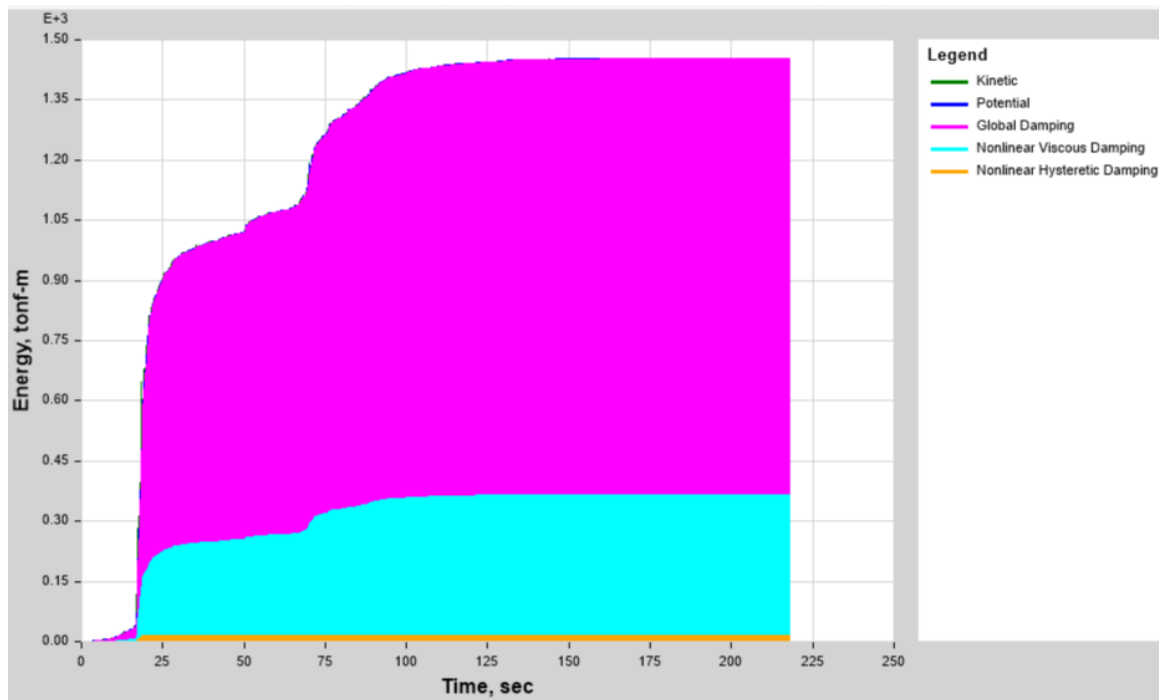


Fuente: Propia

Del software podemos extraer los valores correspondientes al periodo y al desplazamiento, de donde para tres ciclos calculamos el amortiguamiento. Se obtuvo un valor total de 9.89%, del cual el $\beta=4.89\%$ corresponde al amortiguamiento aportado por los disipadores, estos resultados relativamente bajos son reflejo de una estructura rígida propiamente dicha. Este amortiguamiento puede seguir aumentado de forma controlada a criterio del diseñador según el número de disipadores que se consideren.

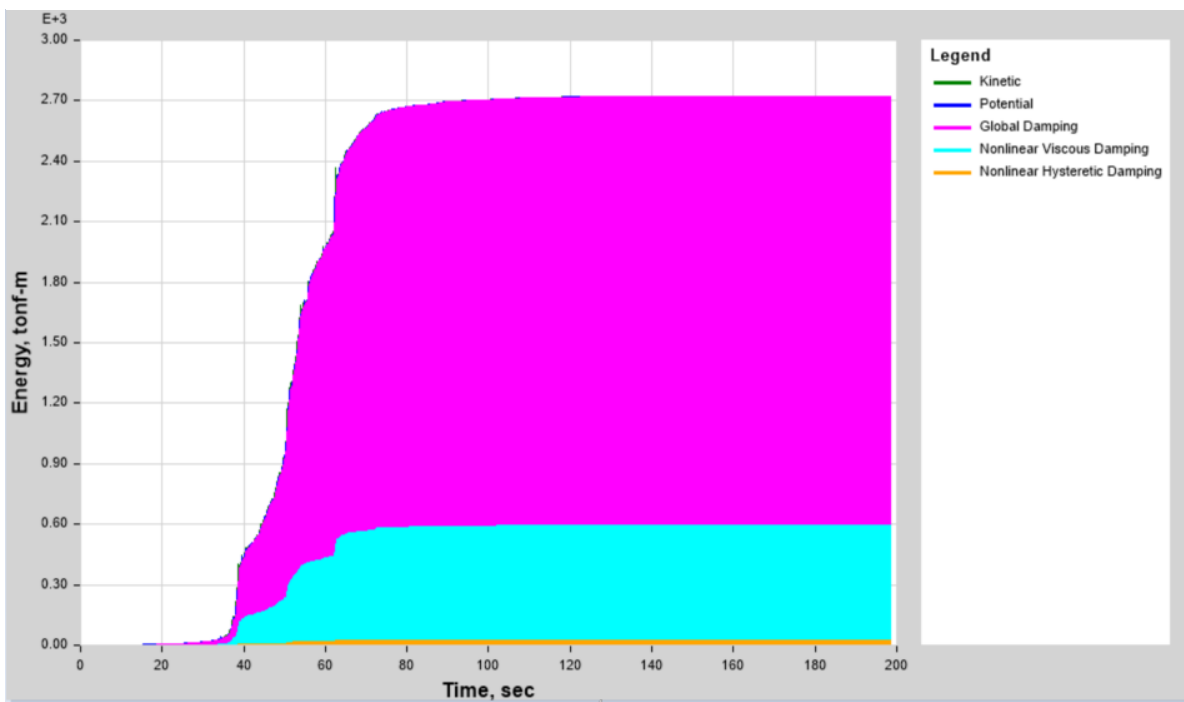
Continuando con el análisis tiempo-historia, se mostrarán las áreas de energía correspondientes a la disipación por parte de la estructura y los disipadores frente a los registros sísmicos seleccionados.

Ilustración 51 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Ica



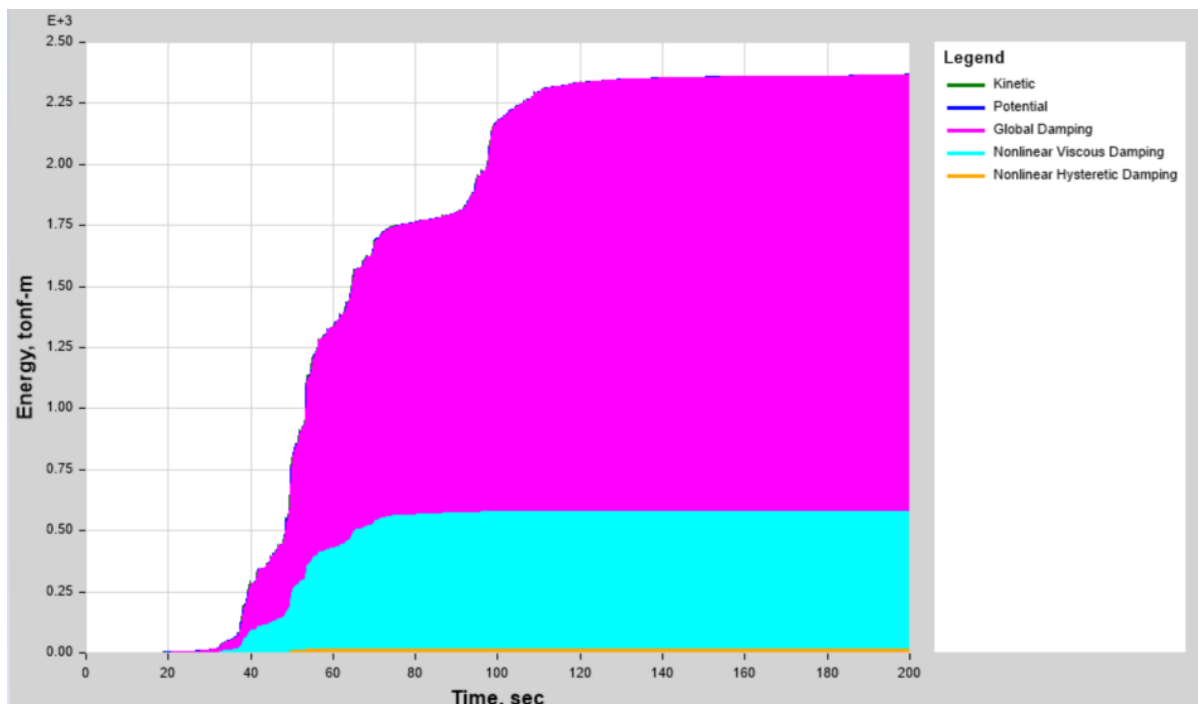
Fuente: Propia

Ilustración 50 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Moquegua



Fuente: Propia

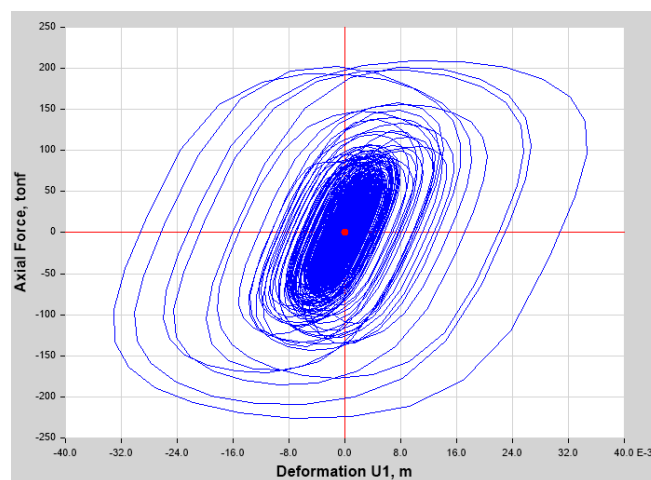
Ilustración 53 Energía de Acumulación - Registro Sísmico Tacna



Fuente: Propia

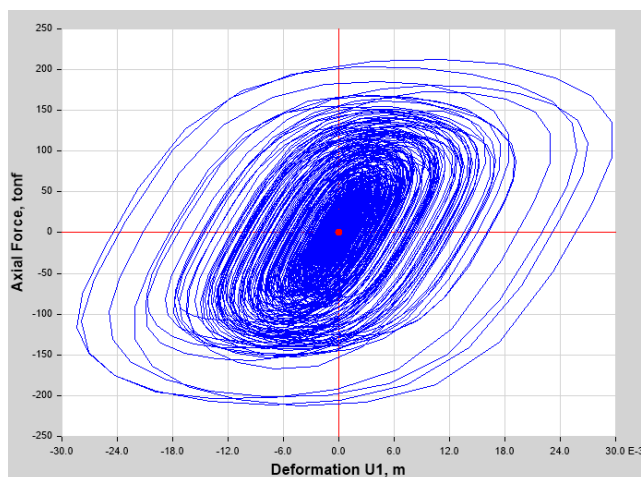
En cada uno de los gráficos presentados, se detalla el aporte de los disipadores sísmicos que a pesar de ser reducidos en número generan un gran aporte en la absorción de la energía. Ahora para corroborar los datos estudiados en el capítulo 2, extraeremos las gráficas histeréticas de los disipadores para cada uno de los registros.

Ilustración 52 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Ica



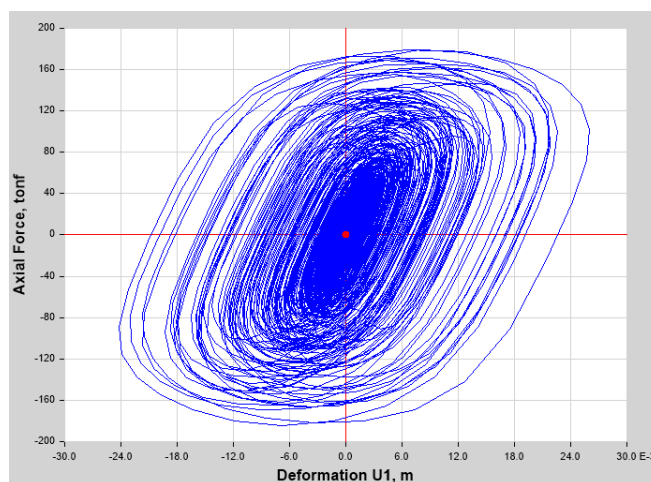
Fuente: Propia

Ilustración 55 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Moquegua



Fuente: Propia

Ilustración 54 Comportamiento Histerético Disipadores sísmicos - Registro Sísmico Tacna



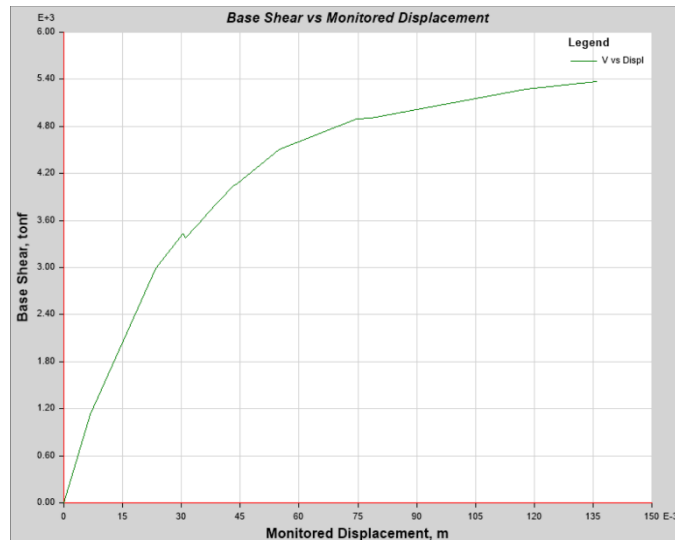
Fuente: Propia

El comportamiento de los disipadores en cada uno de los registros sísmicos, desarrolla áreas de energía disipativas elípticas, la cual ha sido clasificada como el área más cercana a la disipación total o la disipación efectiva. De esta forma se ha demostrado y validado el comportamiento de los disipadores fluidos viscosos, a su vez estos aportan gran amortiguamiento, a pesar de su número reducido aseguran una participación durante el tiempo de duración del sismo.

4.6.2. Curva Capacidad con disipadores

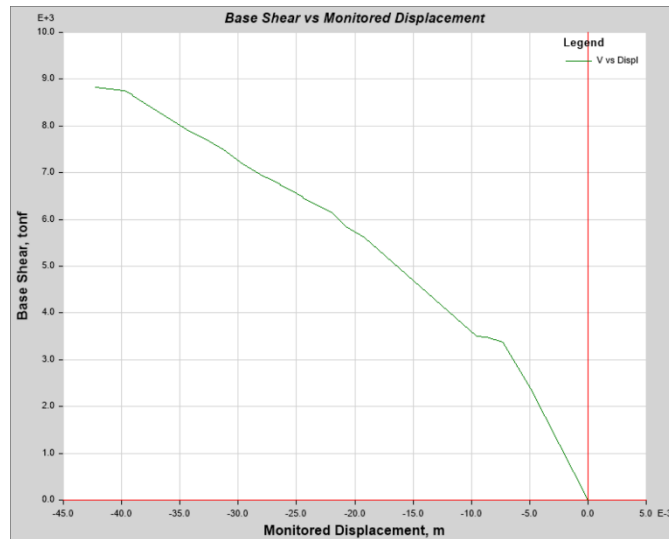
Los parámetros ingresados para el cálculo de la curva de capacidad de la edificación con disipadores sísmicos siguen los mismos puntos explicados en el capítulo 4.3 de la investigación. Por ello se presenta directamente los resultados obtenidos.

Ilustración 57 Curva de Capacidad con Disipadores - Modo 1



Fuente: Propia

Ilustración 56 Curva de Capacidad con Disipadores - Modo 2



Fuente: Propia

De los gráficos extremos un valor de desplazamiento último en dirección “X” de 13.59cm y un desplazamiento de fluencia de 3.04cm, dando como resultado una ductilidad de $\mu=4.47$. Para el caso de la dirección “Y” se tiene un desplazamiento último de 4.22 cm, y un desplazamiento de fluencia de 0.95cm, resultando un valor de $\mu=4.44$ cm.

Tabla 32 Curva Capacidad - Comparativa con implementación de disipadores

	CON DISIPADORES		SIN DISIPADORES	
	X cm	Y cm	X cm	Y cm
DESPL. ULTIMO	13.59	4.22	12.70	4.04
DESPL. FLUENCIA	3.04	0.95	2.50	0.80
DUCTILIDAD	4.47	4.44	5.08	5.05

Fuente: Propia

En la Tabla 32, se presenta la comparativa de los desplazamientos correspondientes para la edificación con disipadores y sin ellos. Evidenciamos el aporte de los disipadores, ya que estos han generado que el aumento de los desplazamientos correspondientes a la primera rótula plástica y el desplazamiento ultimo (punto de colapso de la edificación). Para la dirección “X” la primera rótula se generaba en un desplazamiento de 2.5cm, con la implementación de disipadores aparecerá para un desplazamiento de 3.04cm. Para la dirección “Y” la primera rótula se generaba en un desplazamiento de 0.8cm, con la implementación disipadores aparecerá para un desplazamiento de 0.95cm. Y con respecto al desplazamiento último la estructura alcanzaba el colapso en “X” para un desplazamiento de 12.7cm y en “Y” con 4.04cm; mientras que al implementar los disipadores aumentaron a 13.59cm y 4.22cm respectivamente. Esto quiere decir que los disipadores aportan amortiguamiento a la estructura, reduciendo los esfuerzos y con ello la probabilidad de colapso.

A continuación, presentaremos los datos registrados para los cortantes correspondientes al desplazamiento último y desplazamiento de fluencia en ambas direcciones. Podremos observar que la presencia de los disipadores, permite resistir y absorber mayor cortante. Son resultados presentados para reafirmar el comportamiento efectivo como reforzamiento de estos dispositivos.

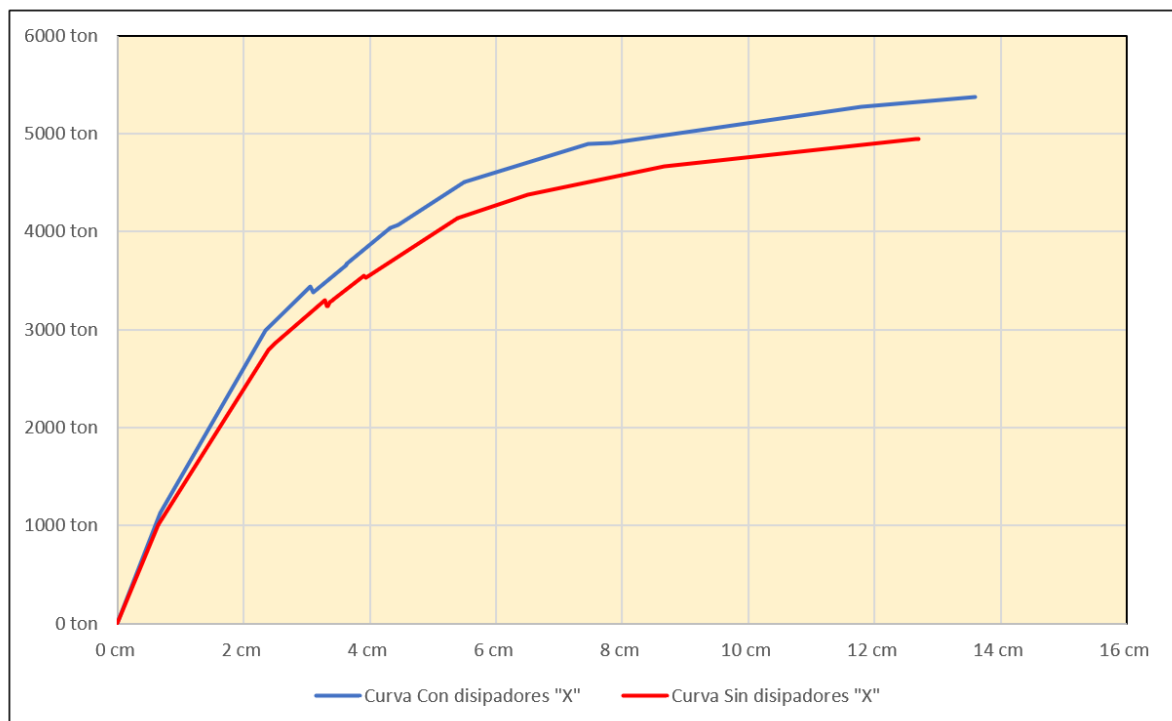
Tabla 33 Curva Capacidad – Comparativa Cortantes con y sin disipadores

	CON DISIPADORES		SIN DISIPADORES	
	X ton	Y ton	X ton	Y ton
CORTANTE. ULTIMO	5374.94	8827.69	4944.00	7153.42
CORTANTE. FLUENCIA	3435.98	3496.49	2864.48	2985.74

Fuente: Propia

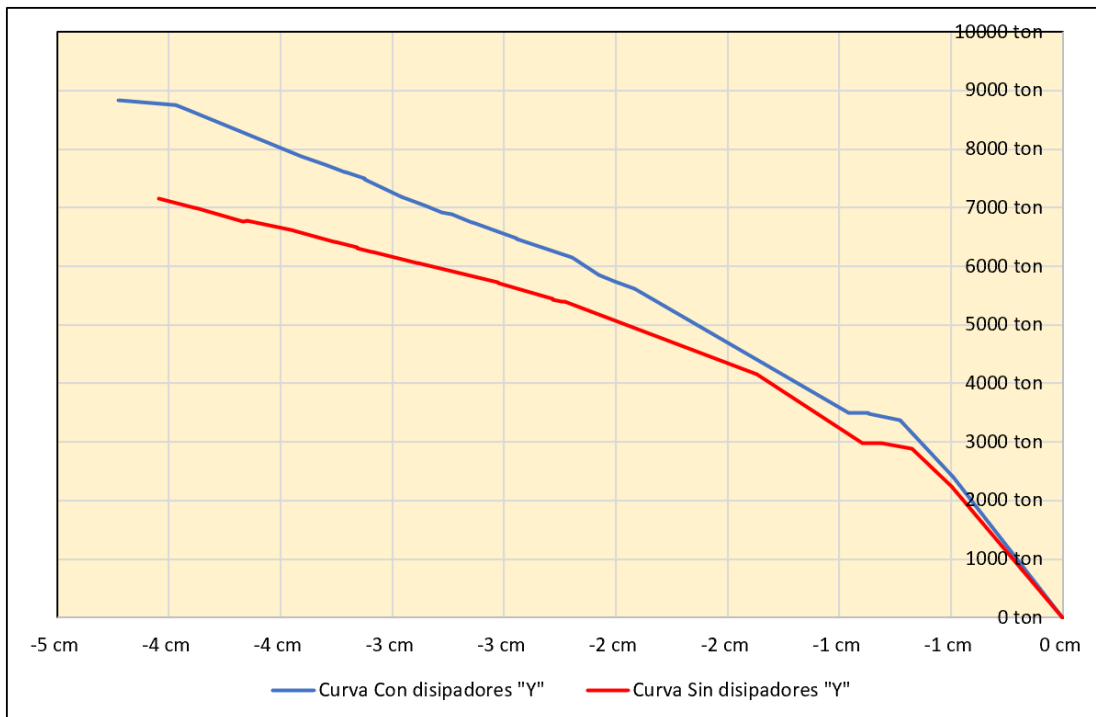
Para mayor entendimiento se presenta un cuadro resumen de los valores, obtenidos en la tabla 32 y 33, mediante una gráfica correspondiente a dichos puntos donde se evidenciará la ventaja que representa la implementación de estos disipadores.

Ilustración 58 Comparativa Curva de Capacidad Dirección "X"



Fuente: Propia

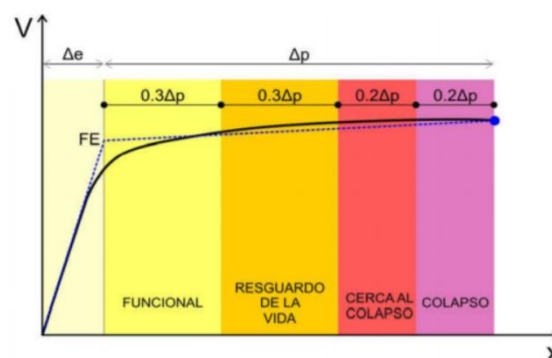
Ilustración 60 Comparativa Curva de Capacidad Dirección "Y"



Fuente: Propia

En ambos casos observamos que la curva con los disipadores crece, abarcando mayor área por debajo de ella, indicativo de la capacidad de disipación que posee la estructura y a su vez la capacidad de disipación adicionada por los dispositivos. Esto aleja considerablemente de la zona de peligro presentada por [32], que nos ilustra las zonas de los posibles estados en los que se desempeña una edificación. Cabe recalcar que la estructura del Nosocomio Luis Heysen Incháustegui, mantiene un rango elástico para bajos valores de ductilidad, los cuales se vieron aún más reducidos al implementar los disipadores.

Ilustración 59 Zonas de la Curva de Capacidad



Fuente: Structural Engineers Association of California, «Conceptual Framework for Performance Based Seismic Engineering of Building,» California, 2000.

4.7. DISCUSIÓN

En este apartado presentaremos los comentarios e interpretaciones de los resultados, realizando un comparativo con los resultados obtenidos en estudios externos a la presente investigación; de esta forma se otorgará mayor fiabilidad.

El objetivo general en este estudio, es mejorar la ductilidad al implementar los disipadores en el Hospital Luis Heysen Incháustegui de la ciudad de Chiclayo. El parámetro de la ductilidad es un indicador de la capacidad de la estructura para alcanzar un desplazamiento último o de colapso correspondiente a un cortante determinado. Dentro de los estatus establecidos por [22], la ductilidad, se calcula mediante la relación entre el desplazamiento último y el desplazamiento de fluencia; además específica, dentro del capítulo 18, que la edificación a reforzar posea la capacidad de resistir hasta un 75% de las fuerzas de sismo. Por ello, cumpliendo las disposiciones establecidas en [6] se realizó un análisis espectral considerado para la zona 4 del mapa de zonificación sísmica del Perú.

Ilustración 61 Derivas Análisis Espectral según Norma Técnica Peruana E.030

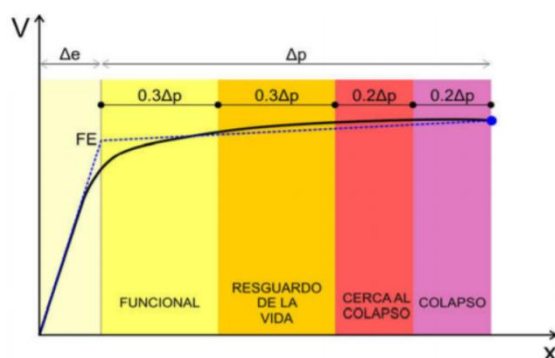
Sismo en X con excentricidad Y+			Sismo en Y con excentricidad X+		
Z	Derivas	Verificación	Z	Derivas	Verificación
Z=20.00	0.0022	CUMPLE	Z=20.00	0.0006	CUMPLE
Z=16.45	0.0025	CUMPLE	Z=16.45	0.0016	CUMPLE
Z=12.80	0.0027	CUMPLE	Z=12.80	0.0012	CUMPLE
Z=9.15	0.0027	CUMPLE	Z=9.15	0.0012	CUMPLE
Z=8.70	0.0030	CUMPLE	Z=8.70	0.0013	CUMPLE
Z=7.65	0.0028	CUMPLE	Z=7.65	0.0013	CUMPLE
Z=5.00	0.0012	CUMPLE	Z=5.00	0.0005	CUMPLE
Z=0.70	0.0000	CUMPLE	Z=0.70	0.0000	CUMPLE

Fuente: Propia

[6] establece el valor de 0.007 como la deriva máxima permitida para las edificaciones de concreto armado; entonces los resultados muestran que la estructura es altamente rígida al poseer derivas por bajo del 50% de la deriva máxima permitida. A su vez, comprueba que la estructura es capaz de resistir el 75% de las fuerzas del sismo considerado en el espectro según [6]. Verificado este criterio se afirma que la estructuración de la edificación permite un reforzamiento con disipadores sísmicos y con ello procedemos a obtener un primer alcance de la ductilidad de la edificación existente mediante un análisis Pushover.

En el primer análisis Pushover sin disipadores se obtuvieron valores de ductilidad $\mu=5.08$ para la dirección “X” y $\mu= 5.05$ en “Y”. Al trabajar en conjunto con los disipadores estos valores se redujeron obteniéndose $\mu=4.47$ para “X” y $\mu=4.44$ para “Y”.

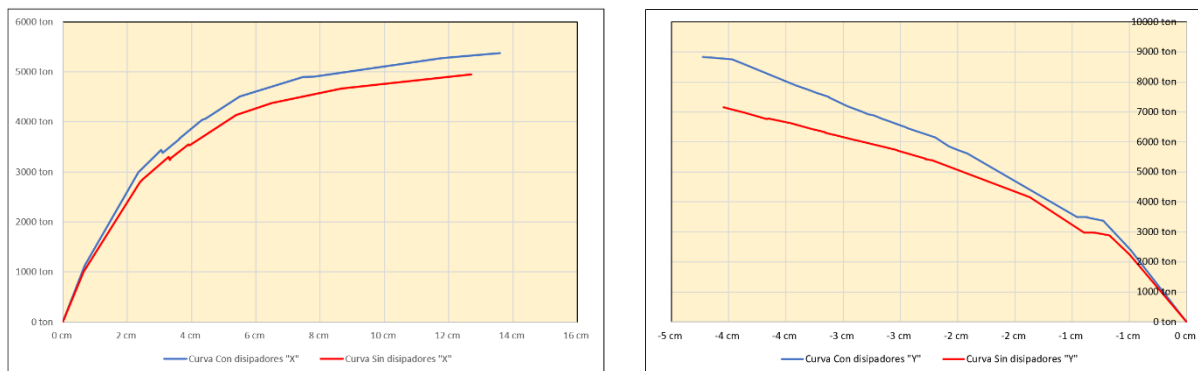
Ilustración 63 Zonas de Curva de Capacidad



Fuente: Structural Engineers Association of California ,
«Conceptual Framework fo Perfomance Based Seismic
Engineering of Building,» California , 2000.

Entonces la reducción de estos valores demuestra que la estructura al implementar los disipadores, aumenta su rango de alcance de la curva de capacidad alejándose de la zona de colapso o de entrar en un rango plástico mayor. De igual manera se evidencia un aumento del área por debajo de la curva de capacidad, indicativo de la capacidad de disipación de energía sísmica de la edificación. Estos datos pueden tener mayor compresión al presentarse en gráficos.

Ilustración 62 Comparativa Curvas de Capacidad



Fuente: Propia

En el lado izquierdo se presenta la comparativa de la curva de capacidad en dirección “X” y en el lado derecho la curva de capacidad en dirección “Y”. En ambos casos la curva de capacidad aumenta en área incluso podemos afirmar que la diferencia entre estas curvas, representa la capacidad de disipación atribuida a los dispositivos sísmicos. De igual forma, es perceptible que el desplazamiento último de la curva aumento en ambas direcciones, manteniendo valores cercanos de los desplazamientos de fluencia iniciales, por ello es que el valor de la ductilidad se reduce, pero aumenta la resistencia a los cortantes que se pueden presentar durante un sismo. Estos valores se fundamentan en la siguiente tabla.

Ilustración 64 Comparativa Capacidad de resistencia a cortantes - Análisis Pushover

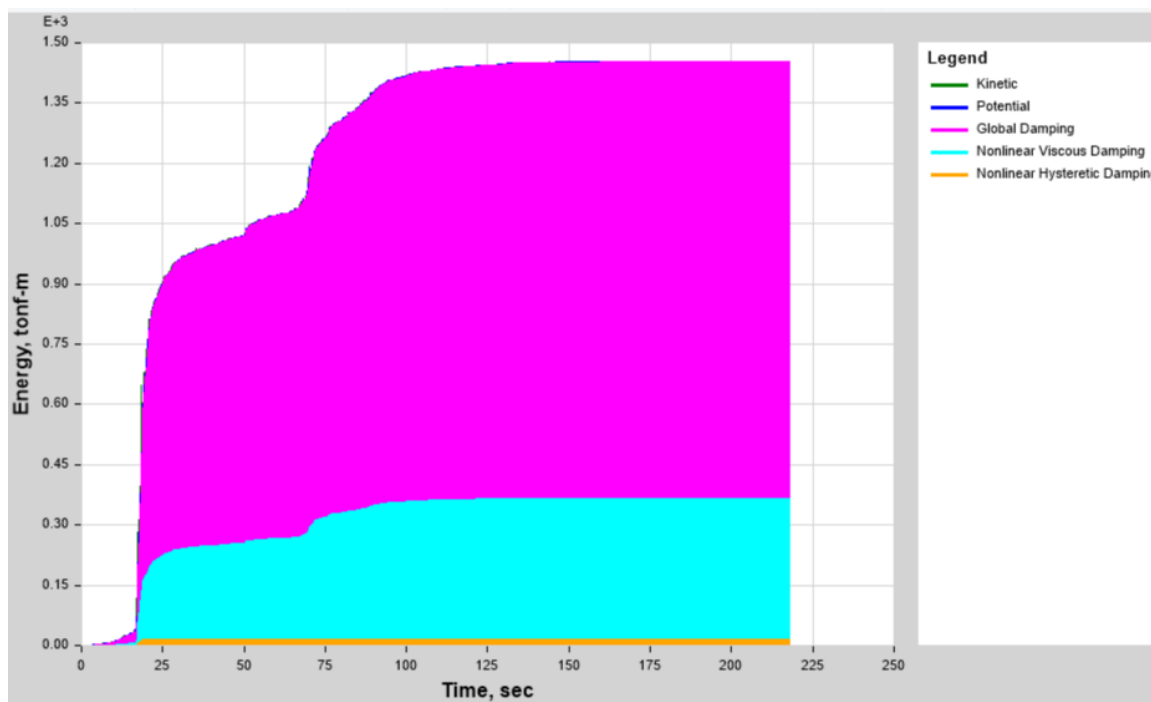
	CON DISIPADORES		SIN DISIPADORES	
	X ton	Y ton	X ton	Y ton
CORTANTE. ULTIMO	5374.94	8827.69	4944.00	7153.42
CORTANTE. FLUENCIA	3435.98	3496.49	2864.48	2985.74

Fuente: Propia

Los estudios realizados por [13] acerca de la comparativa de diseño de una edificación, concluyó que los disipadores viscosos redujeron las derivas hasta un 17% menos que la deriva máxima permitida. Cotejando los resultados obtenidos en el análisis tiempo historia de tres registros sísmicos: 7ML Ica (2015), 6.9ML Moquegua (2001) y 6.7ML Tacna (2015); se obtuvieron reducciones de derivas hasta un 12% menos considerando exclusivamente 4 disipadores (2 en el tercer nivel y 2 en el cuarto nivel). Esta contrastación demuestra la alta efectividad del trabajo desempeñado por los dispositivos en el análisis Tiempo-Historia.

Adicionalmente el análisis tiempo-historia dentro del apartado 4.5 de la presente investigación, contrasta la información concluida según [14]. El autor concluyo que los disipadores viscosos absorbieron un 53.51% de las fuerzas introducidas por la acción sísmica; en nuestro caso el análisis realizado al nosocomio demostró que los disipadores absorbieron hasta un 35% de las fuerzas introducidas según los registros del sismo de Ica. Cabe recalcar que estos valores se obtienen directamente de las gráficas del modelamiento en el software ETABS V18.1.1.

Ilustración 65 Registro Ica - Absorción de fuerzas del 35%

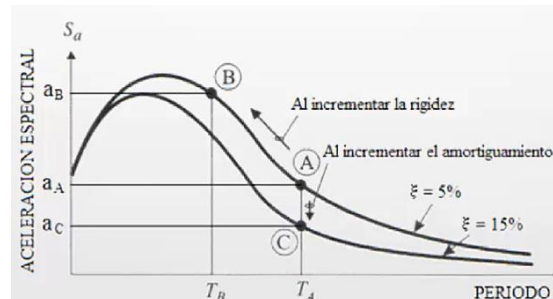


Fuente: Propia

Por último, el punto más importante con respecto al dispositivo empleado, su comportamiento. El autor [12], empleó disipadores de energía metálicos y obtuvo como resultado una reducción del periodo fundamental de la estructura, es decir, volvió a la estructura más rígida de lo que fue inicialmente. En este caso, la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui posee un periodo fundamental $T=0.25\text{seg}$, siendo una contundente prueba de su alta rigidez; en este caso lo más conveniente será mantener dicho periodo sin alterar el comportamiento fundamental de la edificación. Al emplear los disipadores viscosos, se mantuvo el periodo fundamental de la edificación; es decir, estos únicamente adicionan amortiguamiento a la estructura produciendo una reducción de los esfuerzos en los elementos estructurales y con ello otorgando mayor capacidad de resistencia.

Esto podemos entenderlo de la siguiente manera, al incrementar la rigidez reducimos el periodo y aumentamos la aceleración; caso contrario si aumentamos el amortiguamiento, donde obtendremos un mismo valor de periodo fundamental, pero reducimos la aceleración espectral y con ello los desplazamientos y esfuerzos en la estructura.

Ilustración 66 Incremento de Amortiguamiento vs Incremento de rigidez



De esta forma concluimos que los disipadores sísmicos tipo viscosos, son la mejor

*Fuente: A. K. Chopra,
Dinámica de Estructuras*

alternativa para la estructura rígida del Hospital Luis Heysen Incháustegui. Los dispositivos redujeron las derivas frente a los registros sísmicos, atribuyeron mayor capacidad de resistencia a un desplazamiento de colapso dentro del análisis pushover y con todo ello mejoraron considerablemente la ductilidad del nosocomio en estudio.

V. CONCLUSIONES

- Del análisis de la edificación existente y bajo los parámetros de la norma técnica peruana E.030 2019, se concluye que la estructura del Hospital Luis Heysen Incháustegui es altamente rígida, siendo acreedora de derivas que se encuentran por debajo del 50% de la deriva máxima permitida, a pesar de presentar irregularidades en altura.
- La edificación del Hospital Luis Heysen Incháustegui, no necesita ningún tipo de reforzamiento adicional, ya que el análisis de la curva de capacidad mostró que no ingresa en rangos plásticos.
- La ductilidad de la estructura del Hospital, se encuentra con un valor de $\mu=5.08$ para la dirección “X” y un valor de $\mu= 5.05$ en “Y”; valores que se redujeron al implementar los disipadores a valores de $\mu=4.47$ para “X” y $\mu=4.44$ para “Y”, demostrando que al implementar los disipadores reducen la posibilidad de la estructura de incursionar en el rango plástico.
- El mejoramiento de la ductilidad está íntimamente relacionado con el aumento del desplazamiento último o desplazamiento de colapso, se demostró que al obtener valores bajos de ductilidad permite a la edificación alcanzar mayores desplazamientos para mayores cortantes al implementarse los disipadores sísmicos.
- La aplicación de los disipadores sísmicos de fluido viscoso, generan una reducción de esfuerzos y desplazamientos (derivas) de una edificación; manteniendo los mismos modos de vibración y el periodo fundamental de la edificación.

VI. RECOMENDACIONES

- Para el diseño de edificaciones, se recomienda tener en cuenta el cálculo de la ductilidad de la estructuración que se esté diseñando; para evitar sobredimensionamientos y obtener una estructura totalmente eficiente.
- Para la implementación de disipadores viscosos, es necesario estudiar muy bien la geometría de distribución arquitectónica, buscando tener en cuenta una ubicación en la que no se pierda el enfoque de diseño previsto y donde se tenga acceso a monitoreos y mantenimientos del disipador.
- Se recomienda, como parte del reforzamiento con disipadores, estudiar la estructura existente y verificar que sea capaz de resistir en promedio un 75% como mínimo las fuerzas sísmicas.
- Al considerar reforzamientos con disipadores, se recomienda realizar estudios de arte estructural con respecto al tipo de disipador a emplear, en este caso los disipadores viscosos fueron una gran opción demostrando su efectividad incluso en una estructura muy rígida y con un número reducido de ellos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto Geofísico del Perú, «Sismo del 26 de noviembre del 2015,» Lima, Perú, 2015.
- [2] Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, «Boletín N° 317,» Lima, Perú, 2017.
- [3] Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, «Boletín N° 681,» Lima, Perú, 2018.
- [4] Instituto Geofísico del Perú, «Sismo del 26 de mayo del 2019,» Lima, Peru, 2019.
- [5] Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, «Boletín N° 1438,» Lima, Peru, 2019.
- [6] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma E.030 Diseño Sismoresistente,» Lima, Perú, 2019.
- [7] Mageba, «Referencias de Proyectos - Protección Sísmica de hospitales y estación de bomberos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.mageba-group.com/southamerica/es/1023/Asia/Taiw%C3%A1n/63530/Hospital-de-Veteranos-de-Taichung.htm>. [Último acceso: 25 Septiembre 2019].
- [8] G. Serino, L. Bozzo y I. Nuzzo , «The use and desing of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Disipation Devices for Seismic Protection of Precast R.C. Buildings,» Nápoles, Italia, 2019.
- [9] M. Palermo , G. Gasparini , S. Silvestri , V. Laghi y T. Trombetti , «Seismic Retrofit of an Hospital Facility with an external Damping MPD System,» *Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica ANIDIS*, vol. 15, n° 19, 2019.
- [10] R. Aguiar, «Análisis de disipadores TADAS utilizados en reforzamiento del Hospital Zambrano de Manta,» *Internacional de Ingeniera de Estructuras*, vol. 23, n° 1, pp. 1-28, 2018.
- [11] L. M. Carmilema Guaranga , «Disipadores de Energia para Edificaciones Esenciales: Caso quirófanos del Hospital del IESS José Carrasco Arteaga de la Ciudad de la Cuenca,» Cuenca, Ecuador, 2016.
- [12] J. C. Segovia David y V. I. Fernandez Dávila, «Diseño de Disipadores de Energia Metálicos para una edificaciones de baja altura de concreto Armado,» Lima, Perú, 2016.
- [13] G. Villareal Castro , J. D. Alva Valera y K. P. Castro Rodriguez, «Análisis y Diseño Estructural en Edificaciones implementado Disipadores de Energia Viscosos Taylor,» Trujillo, Peru., 2017.

- [14] M. Díaz La Rosa Sánchez , «Optimización del Diseño Estructural de una Edificación Esencial mediante el empleo de Disipadores Viscosos,» *Pueblo Continente*, vol. 25, n° 2, pp. 147-161, Diciembre 2014.
- [15] E. A. Chillón Zárata , «Diseño y Análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en un edificación de 4 niveles, Chiclayo 2017,» Chiclayo, Perú., 2019.
- [16] L. M. Bozzo Rotondo y H. A. Barbat Barbat, *Diseño Sismoresistente de Estructuras*, Lima: Editorial ICG, 2008.
- [17] A. J. Alfaro Castillo, *Introducción a la Ingeniería Simológica*, Bogotá: Universidad de la Salle , 2009.
- [18] A. Sarria Molina, *Terremotos e Infraestructura*, Bogotá, 2008.
- [19] A. K. Chopra, *Dinámica de Estructuras*, Cuarta Edición ed., Pearson Educación, 2014.
- [20] G. Villareal Castro y R. Oviedo Sarmiento , *Edificaciones con Disipadores de Energía*, Lima, Perú, 2009.
- [21] H. Akiyama, *Metodología de Proyecto Sismoresistente de Edificios basada en el Balance Energético*, Barcelona: Editorial Reverté, 2003.
- [22] American Society of Civil Engineers , «Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings,» 2017.
- [23] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma E.020 Cargas,» Lima, Perú., 2006.
- [24] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma E.031 Aislamiento sísmico,» Lima, Perú, 2019.
- [25] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento , «Norma E.060 Concreto Armado,» Lima, Perú., 2009.
- [26] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Norma E.090 Estructuras Metálicas*, Lima, 2006.
- [27] Ministerio de Salud. Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento, *Infraestructura y Equipamiento de los establecimientos de Salud de Segundo Nivel de Atención: Norma Técnica de Salud N° 110-MINSA/DGIEM*, Lima, 2015.
- [28] Structural Engineering Institute, «Minimum Design Loads for Building and Other Structures,» Virginia, 2017.
- [29] Presidencia del Consejo de Ministros, «Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2014-2021,» Lima, Peru, 2014.
- [30] A. J. Alfaro Castillo, *Introducción a la Ingeniería Sismológica*, Bogotá: Universidad de la Salle, 2009.

- [31] C. K. Arroyo Sampén, «Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación con sistemas de acero convencional y acero con amortiguadores, en la ciudad de Chiclayo,» Chiclayo, Perú., 2018.
- [32] Structural Engineers Association of California , «Conceptual Framework fo Perfomance Based Seismic Enginnering of Building,» California , 2000.
- [33] A. Talavera Gomez , «Experiencia Nacional en Edificaciones con Sistemas de Protección Sísmica,» *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*, 03 Noviembre 2017.
- [34] F. E. Ruiz Siebald, «Metodología de selección de disipadores de anillos friccionales para protección sísmica de equipos sensibles a aceleraciones,» Santiago de Chile, Chile, 2019.
- [35] H. d. J. Nangullasmu Hernández y A. Tena Colunga , «Modelado de disipadores histeréticos de energía en estructuras de concreto reforzado. Diferencia entre análisis en el plano y en tres dimensiones,» *Ingenieria de Estructuras*, vol. 22, nº 2, pp. 135-165, Enero 2017.
- [36] R. Aguiar , L. Bozzo, H. Coyago y C. Andino , «Análisis sísmico del Bloque Estructura 4 de UFA-ESPE con Disipadores de Energía Sheark Link Bozzo,» *Ciencia*, vol. 18, nº 2, pp. 123-160, Marzo 2016.
- [37] Universidad Nacional de Ingenieria , «Registro Sísmico Ica, 15 de agosto del 2007,» Lima , 2007.
- [38] Universidad Nacional de Ingenieria, «Registro Sismico Moquegua, 23 de Julio del 2001,» 2001 .
- [39] Universidad Nacional de Ingenieria , «Registro Sismico Tacna, 11 de febrero del 2015,» 2015 .

VIII. ANEXOS

Anexo A Tablas de Cuantías

18. V-1 0.35x65				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.20
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.52
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.20
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.52

18. V-1 0.35x70				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	70	4	3/8	64.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.20
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.52
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.20
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.52

19. V-2 0.35x0.65 (3)				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	1	15.3	21.30
	3	5/8	6	
	-	-	-	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.36
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.88
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.36

19. V-2 0.35x0.65 (2)				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.88
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.36
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.88
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.36

20. V-3 0.35x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	-	-	0	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	2	3/4	5.68	
	3	3/4	8.52	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	

20. V-3 0.35x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-	-	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	
	-	3/4	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-	3/4	0	

20. V-3 0.35x0.65-3				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-	-	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.6
	4	3/4	11.36	
	-	3/4	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-	3/4	0	

19. V-3 0.35x0.65-4				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.6
	4	3/4	11.36	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	-	-	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.6
	4	3/4	11.36	
	-	3/4	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	-	3/4	0	

21. V-4 0.35x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	-	-	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	

21. V-4 0.35x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	-	-	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	5/8	6	6.0
	-	-	0	
	-	-	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	-	-	0	

22. V-5 0.35x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5

22. V-5 0.35x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	3/4	5.68	5.7
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5

23. V-6 0.30x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	

23. V-6 0.30x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	28.9
	4	1	20.4	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	28.9
	4	1	20.4	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	3/4	0	

23. V-6 0.30x0.65-3				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	28.9
	4	1	20.4	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	1	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

23. V-6 CH 0.30x0.20				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	1	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	5/8	4	4.0
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	1	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	5/8	4	4.0
	0	3/4	0	

24. V-7 0.30x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

24. V-7 0.30x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	-		0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	3/4	0	

25. V-8 0.30x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

25. V-8 0.30x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	3/4	0	

25. V-8 0.30x0.65-3				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

25. V-8 0.30x0.65-4				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

26. V-9 0.30x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

26. V-9 0.30x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	-		0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	3/4	0	

27. V-10 CH 0.50x0.20-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
50	20	2	1/4	16.36
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	1/2	3.87	3.9
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	5/8	4	7.9
	3	1/2	3.87	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	1/2	3.87	11.9
	4	5/8	8	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	1/2	3.87	7.9
	2	5/8	4	

27. V-10 CH 0.50x0.20-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
50	20	2	1/4	16.36
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	1/2	3.87	11.9
	4	5/8	8	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	1/2	3.87	3.9
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	1/2	3.87	3.9
	0	5/8	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	1/2	3.87	3.9
	0	5/8	0	

29. V-12 0.35x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	1	1	5.1	10.8
	2	3/4	5.68	
	0	5/8	0	
BOTTOM	6	3/4	17.04	17.0
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	1	25.5	31.2
	2	3/4	5.68	
	0	5/8	0	
BOTTOM	6	3/4	17.04	17.0
	0	5/8	0	

29. V-12 0.35x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	1	25.5	31.2
	2	3/4	5.68	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	1	25.5	31.2
	2	3/4	5.68	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	5/8	0	

30. V-13 0.35x0.65-1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	5/8	6	6.0
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	

30. V-13 0.35x0.65-2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	21.9
	2	3/4	5.68	
	3	5/8	6	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	

33. V-14 0.35x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

33. V-14 0.35x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	3/4	5.68	5.7
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

34. V-15 0.25x0.65				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
25	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	

34. V-15 0.25x0.25				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
25	25	4	3/8	19.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	1/2	0	

35. V-16 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

35. V-16 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	

36. V-17 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

36. V-17 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	

37. V-18 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

37. V-18 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	24.4
	5	3/4	14.2	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	

38. V-19 0.25x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
25	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	8.5
	0	1/2	0	

38. V-19 0.25x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	∅ Estribo	d (peralte efectivo)
25	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	3	3/4	8.52	18.7
	2	1	10.2	
RIGTH				
Zona	#Varillas	∅ (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	1	10.2	18.7
	3	3/4	8.52	

39. V-20 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	

39. V-20 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	5	1	25.5	34.0
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	

40. V-21 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	

40. V-21 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	

41. V-22 0.30x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	3	3/4	8.52	8.5
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1/2	0	

41. V-22 0.30x0.65 -2				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
30	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	1	25.5	25.5
	0	1	0	
RIGHT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	1	20.4	28.9
	3	3/4	8.52	
	0	5/8	0	
BOTTOM	5	3/4	14.2	14.2
	0	1/2	0	

42. V-23 0.25x0.65				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
25	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	1	10.2	10.2
	0	1	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	3/4	5.68	5.7
	0	1/2	0	

43. V-24 0.35x0.65 -1				
b (cm)	h (cm)	Recubrimiento (cm)	Ø Estribo	d (peralte efectivo)
35	65	4	3/8	59.05
LEFT				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	4	3/4	11.36	11.4
	0	1	0	
RIGTH				
Zona	#Varillas	Ø (pulg)	Area (cm ²)	Area T. (cm ²)
TOP	4	3/4	11.36	11.4
	0	3/4	0	
	0	5/8	0	
BOTTOM	2	3/4	5.68	5.7
	0	1/2	0	