



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y DEL
PRESUPUESTO ENTRE EL DISEÑO TRADICIONAL Y EL DISEÑO
CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE
FLUIDO VISCOSO DEL EDIFICIO “RESIDENCIAL SANTA ROSA”

Presentado por:

Bach. Gamarra Dávila, Luiggi Enzo

**Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil**

Asesor:

Dr. Ing. Mamani Vargas, Elvis Yuri

CUSCO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A DIOS

Por permitirme dar este gran paso en mi vida profesional, guiarme en el proceso de conseguir mis metas y brindarme salud para lograrlo.

AMIS QUERIDOS PADRES

Lucio y Carmen

Quienes con su amor y bondad han sido y serán por siempre los cimientos firmes que guían mi vida.

Los amo.

A MIS HERMANAS

Brenda y Kamila

Por el apoyo y las enseñanzas que recibo de ellas día a día, y el ímpetu de seguir luchando en el arduo camino de la vida

Luiggi Enzo Gamarra Dávila



AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios por bendecirme con la gran familia que tengo.

Agradecer a mis padres quienes me apoyaron en todo momento e impulsaron para poder alcanzar este gran logro en mi vida profesional.

Agradecer a mí enamorada Shani Alexandra Montes Victorio, por su apoyo incondicional y enseñarme que para poder lograr los objetivos propuestos se debe trabajar mucho.

Al DR. ING. ELVIS YURI MAMANI VARGAS asesor de esta tesis de investigación, por su amplio conocimiento y destacado apoyo constante.

Al DR. ING. ELIOT PEZO ZEGARRA por sus aportes y recomendaciones para la interpretación de resultados de la presente tesis de investigación.

Al ING. HEINER SOTO FLOREZ por el inmenso apoyo y las recomendaciones para poder profundizar en el presente trabajo de investigación.

Luigi Enzo Gamarra Dávila



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como principal objetivo, evaluar comparativamente el comportamiento sísmico y el presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa”, tomando en cuenta el diseño tradicional (modelo 1) y el diseño con la implementación de disipadores de fluido viscoso (modelo 2).

A partir de los planos de arquitectura y las especificaciones técnicas brindadas del proyecto se procedió a modelar la estructuración del edificio.

Luego de generar el denominado modelo 1 – diseño tradicional, someterlo a un análisis estático y un análisis dinámico modal espectral, y cumpliendo con los valores permisibles de la Norma E.030 (mínima cortante basal y derivas máximas permisibles), se realizó el denominado modelo 2 - diseño con la implementación de disipadores de fluido viscoso, donde se generó un análisis dinámico modal espectral con un espectro de pseudo-aceleraciones usando un factor de reducción $R=1$, de esta forma se introdujo a la edificación dentro del comportamiento del rango No Lineal (con respecto a materiales). Para el análisis dinámico tiempo - historia la Norma E.030 recomienda el uso de mínimo 3 registros sísmicos representativos, información que se corrigió y escaló al espectro de pseudo-aceleraciones $R=1$, posteriormente comparando los resultados se eligió el sismo de diseño (Ica 2007-caso 1) verificando las derivas que presentaron mayor porcentaje de similitud con los valores de derivas obtenidas el análisis modal espectral. Se detectó que los valores de derivas de entepiso hallados en la dirección de análisis X están por encima del valor máximo permisible (0.007), por este motivo se realizó el diseño respectivo de los dispositivos de disipación de energía.

Considerando como referencia la Norma ASCE 7-16 capítulo 18, los documentos del Comité VISION 2000 y las investigaciones del FEMA-HAZUS se procedió a diseñar y hallar los parámetros de los dispositivos de fluido viscoso para la dirección de análisis X, considerando un valor de deriva objetivo de 0.0042. Posteriormente se pudo cumplir con las exigencias, reduciendo las derivas hasta un 50%, se redujo un 53% los desplazamientos laterales y se logró absorber un 82% de la cortante basal. Optimizando la respuesta sísmica de la edificación. Logrando un amortiguamiento total del 40%.

La implementación de estos dispositivos incrementó el presupuesto total de la edificación en un 7.49%, ascendiendo el valor total de la edificación a S/. 3, 050,278.80.

Palabras Claves: Disipador, fluido viscoso, registros sísmicos, pseudo-aceleraciones, derivas de entepiso, desplazamientos laterales, cortante basal, presupuesto.



ABSTRACT

The main objective of this research work was to comparatively evaluate the seismic behavior and the budget of the “Residencial Santa Rosa” building, considering the traditional design (model 1) and the design with the implementation of viscous fluid dissipators (model 2).

Based on the architectural plans and the technical specifications provided for the project, the structure of the building was modeled.

After generating the so-called model 1 - traditional design, submitting it to a static analysis and a dynamic modal spectral analysis, and complying with the permissible values of Standard E.030 (minimum basal shear and maximum permissible drifts), the so-called model was carried out. 2 - design with the implementation of viscous fluid dissipators, where a spectral modal dynamic analysis was generated with a spectrum of pseudo-accelerations using a reduction factor $R = 1$, in this way it was introduced to the building within the behavior of the range No Linear (with respect to materials). For the dynamic time-history analysis, Standard E.030 recommends the use of at least 3 representative seismic records, information that was corrected and scaled to the spectrum of pseudo-accelerations $R = 1$, after comparing the results, the design earthquake was chosen (Ica 2007-case 1) verifying the drifts that presented the highest percentage of similarity with the drift values obtained from the spectral modal analysis. It was detected that the mezzanine drift values found in the X analysis direction are above the maximum permissible value (0.007), for this reason the respective design of the energy dissipation devices was carried out.

Considering ASCE 7-16 chapter 18, the VISION 2000 Committee documents and the FEMA-HAZUS investigations as a reference, we proceeded to design and find the parameters of viscous fluid devices for the X analysis direction, considering a drift value target of 0.0042. Subsequently, the requirements could be met, reducing drifts by up to 50%, lateral displacements were reduced by 53% and 82% of the basal shear was absorbed. Optimizing the seismic response of the building. Achieving a total damping of 40%.

The implementation of these devices increased the total building budget by 7.49%, raising the total value of the building to S / . 3, 050,278.80.

Keywords: Dampers, viscous fluid, seismic registers, pseudo-accelerations, drifts, lateral displacements, basal shear, budget.



INTRODUCCIÓN

La repuesta sísmica de las estructuras siempre ha sido y será tema de investigación constante, debido a que un comportamiento inadecuado durante un evento sísmico es la causa principal de pérdida de vidas humanas y recursos económicos. El Reglamento Nacional de Edificaciones en las Normas Técnicas Peruanas E.030 (Diseño sismorresistente) y E.060 (Concreto armado); contemplan un diseño estructural sismo resistente direccionado a evitar un caso de colapso de los edificios, haciendo uso de criterios de protección ante un solo nivel de amenaza (sismo de diseño). Dentro de este contexto, en los últimos años el uso de métodos de protección sísmica, en especial los de disolución de energía, ha ido incrementando en nuestro país, puesto que ya están disponibles comercialmente y debido a sus beneficios cada vez más proyectos se están animando a emplear este tipo de tecnologías.

La ciudad del Cusco no ha sido expuesta a un evento sísmico de gran magnitud recientemente; sin embargo, por su naturaleza geológica y formación de suelos hay una probabilidad demasiado alta de existencia sísmica. Por lo que, la implementación de sistemas de protección sísmica en el diseño de edificaciones comunes, como lo son las residenciales, resultando un gran aporte beneficio para esta ciudad puesto que se han convertido en una de las edificaciones más comerciales y demandadas. El fundamental objetivo de esta investigación fue el de analizar comparativamente el comportamiento sísmico y el presupuesto de la parte estructural de un edificio residencial bajo un diseño tradicional y un diseño añadiendo disipadores de energía de fluido viscoso. Para finalmente analizar la viabilidad y los beneficios de la implementación de estos sistemas en edificaciones similares.

En el presente trabajo de investigación se ha partido de la problemática identificada para justificar su importancia y definir las limitaciones y objetivos presentados en el Capítulo 1. Posteriormente, en el Capítulo 2 se presentan los antecedentes de este estudio como preámbulo al desarrollo de todo el marco teórico referido al tema; así como también las hipótesis y variables identificadas en las que se ha basado el desarrollo del presente estudio. El Capítulo 3, se presenta la metodología empleada y se define la población y muestra utilizadas durante el proceso de desarrollo de esta investigación. También forman parte de este capítulo los instrumentos utilizados para la recolección de datos, y los procedimientos de recolección y análisis de dicha información, los cuales han permitido obtener los resultados que se presentan en el Capítulo 4. Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las discusiones y posteriormente las conclusiones, recomendaciones y anexos pertinentes de este trabajo.



ÍNDICE GENERAL

1. DEDICATORIA.....	i
2. AGRADECIMIENTOS	ii
3. RESUMEN.....	iii
4. ABSTRACT	iv
5. INTRODUCCIÓN	v
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema.	3
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.2.1. Justificación técnica.	3
1.2.2. Justificación social.	4
1.2.3. Justificación por viabilidad.	4
1.2.4. Justificación por relevancia.....	4
1.3. Limitaciones de la investigación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la tesis.....	8
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	8
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.....	10
2.2. Aspectos teóricos pertinentes.....	12
2.2.1. Origen y definición de los sismos.....	12
2.2.2. Sismos en el Cusco.....	17
2.2.3. Comportamiento sísmico de edificaciones.....	20



2.2.4. Efecto sísmico en las estructuras.....	25
2.2.5. Diseño por desempeño.	30
2.2.6. Conceptos de dinámica estructural.....	31
2.2.7. Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente.	34
2.2.8. Métodos de análisis sísmico.....	42
2.2.9. Edificaciones con sistemas de disipación de energía	46
2.2.10. Amortiguadores Bouc Wen	49
2.2.11. Dispositivos pasivos de disipación de energía	54
2.2.12. Presupuesto.....	66
2.2.13. Costos directos	68
2.2.14. Costos indirectos	71
2.3. Hipótesis.....	72
2.3.1. Hipótesis general.....	72
2.3.2. Sub hipótesis	72
2.4. Definición de variables.....	72
2.4.1. Variables dependientes.....	72
2.4.2. Sub variables dependientes	73
2.4.3. Indicadores de sub variables dependientes.....	73
2.4.4. Variables independientes.....	73
2.4.5. Indicadores de variables independientes	73
2.4.6. Sub variables independientes	73
2.5. Cuadro de operacionalización de variables	74
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	75
3.1. Metodología de la investigación.....	75
3.1.1. Enfoque de la investigación	75
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación	75
3.1.3. Método de investigación	75



3.2. Diseño de la investigación.....	76
3.2.1. Diseño metodológico.....	76
3.2.2. Diseño de ingeniería.....	76
3.3. Población y muestra	78
3.3.1. Población.....	78
3.3.2. Muestra.....	79
3.3.3. Criterios de inclusión	79
3.4. Instrumentos	80
3.4.1. Instrumentos metodológicos	80
3.4.2. Instrumentos de ingeniería	84
3.5. Procedimiento de recolección de datos del expediente técnico	84
3.5.1. Descripción del proyecto.....	84
3.5.2. Ubicación del edificio “Residencial Santa Rosa”	85
3.5.3. Descripción de la estructura del edificio “Residencial Santa Rosa”	85
3.5.4. Modelo estructural de la edificación “Modelo 1-Diseño tradicional”	86
3.5.5. Análisis estructural de la edificación.....	97
3.5.6. Cálculo del presupuesto del modelo 1 – Diseño tradicional	118
3.5.7. Modelo 2 - Diseño estructural implementando disipadores de fluido viscoso.....	118
3.6. Procedimientos de análisis de datos	131
3.6.1. Diseño de los disipadores de fluido viscoso.....	131
3.6.2. Introducción de información al software Etabs.....	139
3.6.3. Análisis dinámico Tiempo-Historia con disipadores de fluido viscoso	141
3.6.4. Cálculo del presupuesto del modelo 2 – Diseño con la incorporación de disipadores de fluido viscoso	141
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS	148
4.1. Resultados comparativos de los parámetros del modelo 1 y modelo 2.....	148
4.1.1. Resultados modelo 1 – Diseño tradicional.....	148



4.1.2. Resultados modelo 2 – Diseño incorporando disipadores de fluido viscoso	152
4.2. Resultados comparativos de los parámetros globales	157
4.2.2. Resultados comparativos de la deriva de entrepiso.....	159
4.2.3. Resultados comparativos de la fuerza cortante por niveles.....	161
4.2.4. Resultados comparativos de amortiguamiento entre Modelo 1 y Modelo 2.....	164
4.2.5. Resultados comparativos de la respuesta en el tiempo de desplazamiento y aceleraciones para el sismo de diseño entre Modelo 1 y Modelo 2	164
4.2.6. Resultados comparativos del presupuesto entre Modelo 1 y Modelo 2.....	165
5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	166
6. GLOSARIO.....	168
7. CONCLUSIONES	172
8. RECOMENDACIONES	174
9. REFERENCIA	176
10. ANEXOS.....	177
10.1. ANEXO 1 - Planos de arquitectura y estructura - Expediente técnico - Propuesta	177
10.2. ANEXO 2 – Metrado de cargas-carga muerta	178
10.3. ANEXO 3 – Metrado de cargas- Sobre carga permanente - Muros de albañilería de ladrillo.	179
10.4. ANEXO 4 – Metrado de cargas - Carga viva.....	184
10.5. ANEXO 5 – Presupuesto detallado de modelo 1 – Diseño tradicional.....	185
10.6. ANEXO 6 – Matriz de consistencia.....	200
11. APÉNDICE	202
11.1. Cotización de disipadores empresa CDV Ingeniería Antisísmica-Perú.....	202



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación de ondas sísmicas</i>	15
Tabla 2: <i>Niveles recomendados de desempeño sísmico</i>	21
Tabla 3: <i>Niveles de amenaza sísmica - VISION 2000</i>	22
Tabla 4: <i>Niveles de comportamiento sísmico - VISION 2000</i>	23
Tabla 5: <i>Relación daño – derivas según el sistema estructural</i>	24
Tabla 6: <i>Factores de zona sísmica</i>	35
Tabla 7: <i>Análisis comparativo del factor suelo</i>	36
Tabla 8: <i>Factor de reducción R (0) a partir del sistema estructural</i>	38
Tabla 9: <i>Límites de desplazamiento lateral de entrepiso</i>	39
Tabla 10: <i>Irregularidades estructurales en altura Ia</i>	39
Tabla 11: <i>Irregularidades estructurales en planta Ip</i>	41
Tabla 12: <i>Valores del parámetro λ</i>	60
Tabla 13: <i>Guías documentarias</i>	80
Tabla 14: <i>Guías de observación de datos</i>	81
Tabla 15: <i>Instrumentos de ingeniería de la investigación</i>	84
Tabla 16: <i>Propiedades de los materiales usados en el proyecto</i>	86
Tabla 17: <i>Metrado de carga muerta – peso propio</i>	91
Tabla 18: <i>Metrado de sobrecarga permanente-albañilería y acabados</i>	94
Tabla 19: <i>Metrado de cargas vivas-vivienda</i>	95
Tabla 20: <i>Parámetros sísmicos Norma E.030 “Diseño sismorresistente”</i>	99
Tabla 21: <i>Peridos Naturales de Vibración Obtenidos del Análisis Estático</i>	100
Tabla 22: <i>Periodo traslacional en dirección X</i>	102
Tabla 23: <i>Periodo traslacional en dirección Y</i>	102
Tabla 24: <i>Derivas estáticas de entrepiso – Dirección X</i>	103
Tabla 25: <i>Derivas estáticas de entrepiso – Dirección Y</i>	103
Tabla 26: <i>Irregularidad de rigidez - Piso blando X-X</i>	104
Tabla 27: <i>Irregularidad de rigidez - Piso blando Y-Y</i>	104
Tabla 28: <i>Irregularidad de resistencia - Piso debil X-X</i>	105
Tabla 29: <i>Irregularidad de resistencia - Piso debil Y-Y</i>	105
Tabla 30: <i>Irregularidad de masa o peso</i>	105
Tabla 31: <i>Irregularidad de geometría vertical X-X</i>	106
Tabla 32: <i>Irregularidad de geometría vertical Y-Y</i>	106



Tabla 33: Irregularidad de sistemas resistentes.....	106
Tabla 34: Irregularidad extrema de sistemas resistentes.....	107
Tabla 35: Irregularidad torsional X-X.....	107
Tabla 36: Irregularidad torsional Y-Y	107
Tabla 37: Irregularidad de discontinuidad del diafragma	108
Tabla 38: Irregularidad de esquinas entrantes	108
Tabla 39: Irregularidad de sistemas no paralelos	108
Tabla 40: Parámetros sísmicos espectro de respuestas	110
Tabla 41: Espectro de pseudo-aceleraciones $R=6$	110
Tabla 42: Porcentaje mínimo de masa participativa	113
Tabla 43: Obtención de fuerzas cortante en la base	115
Tabla 44: Cálculo del factor de escala para corrección de cortante mínima.....	116
Tabla 45: Fuerza cortante en la base corregida	116
Tabla 46: Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección X-X análisis dinámico modal espectral $R=6$	117
Tabla 47: Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección Y-Y análisis dinámico modal espectral $R=6$	117
Tabla 48: Cuadro resumen de presupuesto - Modelo 1	118
Tabla 49: Parámetros sísmicos espectro de respuesta $R=1$	119
Tabla 50: Espectro de pseudo-aceleraciones $R=1$	119
Tabla 51: Derivas de entrepiso - Análisis dinámico modal espectral $R=1$ Dirección X-X	121
Tabla 52: Derivas de entrepiso - Análisis dinámico modal espectral $R=1$ Dirección Y-Y.....	121
Tabla 53: Registros sísmicos, ubicación y nombre de archivo	122
Tabla 54: Aceleración máxima de registros sísmicos considerados	122
Tabla 55: Espectro de pseudo-aceleraciones multiplicado por la aceleración de la gravedad para introducir al SeismoMatch	123
Tabla 56: Derivas inelásticas análisis Tiempo - Historia con registros sísmicos X-X	129
Tabla 57: Derivas inelásticas análisis Tiempo-Historia con registros sísmicos Y-Y.....	130
Tabla 58: Variaciones de derivas con respecto al análisis dinámico modal X-X $R=1$	130
Tabla 59: Variaciones de derivas con respecto al análisis dinámico modal Y-Y $R=1$	131
Tabla 60: Elección del nivel de amenaza sísmica	132
Tabla 61: Elección del nivel de desempeño sísmico.....	132
Tabla 62: Tabla indicativa para la obtención de la deriva objetivo	133
Tabla 63: Dimensiones disponibles de disipadores	135



Tabla 64: <i>Obtención del exponente de velocidad y parámetro lambda</i>	136
Tabla 65: <i>Obtención de la amplitud máxima – Análisis Tiempo-Historia sismo de diseño</i> ..	136
Tabla 66: <i>Obtención de la masa y peso sísmico</i>	137
Tabla 67: <i>Obtención de los desplazamientos absolutos y relativos</i>	138
Tabla 68: <i>Tabla de recopilación de datos - Coeficiente de amortiguamiento</i>	138
Tabla 69: <i>Obtención de los parámetros de fluido viscoso ingresar al software Etabs</i>	139
Tabla 70: <i>Verificación de derivas inelásticas del análisis Tiempo - Historia con disipadores de fluido viscoso</i>	141
Tabla 71: <i>Catalogo equivalente fuerza (kip) y peso (lbs) - Empresa CDV</i>	143
Tabla 72: <i>Fuerzas máxima de disipadores de fluido viscoso</i>	143
Tabla 73: <i>Análisis de costos unitarios disipadores</i>	146
Tabla 74: <i>Incremento presupuestal – 02. Estructuras</i>	146
Tabla 75: <i>Presupuesto resumen modelo 2 –Diseño con disipadores</i>	147
Tabla 76: <i>Porcentaje de reducción de desplazamientos absolutos - Análisis TH en X</i>	157
Tabla 77: <i>Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso - Análisis TH en X</i>	160
Tabla 78: <i>Porcentaje de reducción de fuerzas cortantes en la base - Análisis TH en X</i>	162



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Mapa de ubicación de la edificación.....	2
<i>Figura 2:</i> Pangaea o Pangea.....	12
<i>Figura 3:</i> Formación de Laurasia y Gondwana	13
<i>Figura 4:</i> Principales placas tectónicas en el mundo	14
<i>Figura 5:</i> Proceso de subducción.....	15
<i>Figura 6:</i> Clasificación de ondas sísmicas.....	16
<i>Figura 7:</i> Distribución actual de las placas tectónicas.....	17
<i>Figura 8:</i> Sistemas de fallas Cusco (Tambomachay)	18
<i>Figura 9:</i> Sistema de callamiento Qoricocha (Falla Qoricocha)	18
<i>Figura 10:</i> Curva de capacidad sectorizada	24
<i>Figura 11:</i> Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta	27
<i>Figura 12:</i> Gráfico indicativo de las curvas de aceleraciones para diferentes factores de amortiguamiento.....	27
<i>Figura 13:</i> Gráfico indicativo del espectro de diseño.....	28
<i>Figure 14:</i> Espectro de respuesta inelástica con factor de reducción R.....	29
<i>Figure 15:</i> Ciclo histórico de cargas	30
<i>Figura 16:</i> Relación fuerza - desplazamiento para un resorte	32
<i>Figura 17:</i> Relación fuerza - velocidad para un amortiguador viscoso	33
<i>Figura 18:</i> Mapa de zonificación del Perú.....	35
<i>Figura 19:</i> Sistema de Aislamiento Norma E.031	45
<i>Figura 20:</i> Enfoque estructural clásico.....	46
<i>Figura 21:</i> Enfoque estructural con disipadores de energía.....	47
<i>Figura 22:</i> Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica.....	47
<i>Figura 23:</i> Distribución de la energía sísmica en un edificio sin disipadores y en otro con disipadores.....	48
<i>Figura 24:</i> Reducción en las demandas de resistencia debido al incremento de amortiguamiento.....	49
<i>Figura 25:</i> Representación simbólica Modelo Boun-Wen	51
<i>Figura 26:</i> Componentes de la formulación del amortiguador Bouc-Wen.....	51
<i>Figura 27:</i> Influencia del parámetro n en el ciclo histeretico del amortiguador.....	52
<i>Figura 28:</i> Variación de fuerza en el amortiguador a lo largo del tiempo.....	52
<i>Figura 29:</i> Ciclo de histeresis –Fuerza Vs Desplazamiento	53



<i>Figura 30:</i> Ciclo de histeresis –Fuerza Vs Velocidad	53
<i>Figura 31:</i> Descomposicion de los factores en el comportamiento histerético no lineal en el modelo de Bouc-Wen.....	53
<i>Figura 32:</i> Dispositivos de disipación – fluido viscoso.....	54
<i>Figura 33:</i> Modelo dinámico del sistema de amortiguamiento de un solo grado de libertad (Disposición diagonal y Chevron).....	55
<i>Figura 34:</i> Elemento dámper, utilizado por Etabs para modelar el disipador de energía de fluido viscoso.	56
<i>Figura 35:</i> Diagrama de bloques (a) y representación matemática (b) detallada del modelo del dispositivo de amortiguamiento viscoso.	57
<i>Figura 36:</i> Relaciones fuerzas - velocidad de disipadores viscoso.....	61
<i>Figura 37:</i> Esquema general de un disipador de energía Taylor Devices INC	63
<i>Figura 38:</i> Disposicion diagonal del sistema de disipación de energia de fluido viscoso.....	64
<i>Figura 39:</i> Disposicion Chveron del sistema de disipación de energia de fluido viscoso.....	65
<i>Figura 40:</i> Disposiciones del sistema de disipación de energia de fluido viscoso	65
<i>Figura 41:</i> Procedimiento para elaborar un presupuesto de obra	67
<i>Figura 42:</i> "Residencial Santa Rosa"	78
<i>Figura 43:</i> Vista en planta de la distribución estructural.....	85
<i>Figura 44:</i> Definición de los materiales en el software Etabs	87
<i>Figura 45:</i> Elaboración de las secciones de los elementos estructurales.....	87
<i>Figura 46:</i> Características losa aligerada típicaen una dirección.....	88
<i>Figura 47:</i> Ingreso de información elemento Slab-Tipo Ribbed.....	88
<i>Figura 48:</i> Detalle típico losa aligerada en dirección X	88
<i>Figura 49:</i> Modelamiento estructural del edificio “Residencial Santa Rosa”	89
<i>Figura 50:</i> Creación de diafragmas rígidos en cada nivel contemplado.....	90
<i>Figura 51:</i> Asignación de restricciones en la base.....	90
<i>Figura 52:</i> Dimensiones y peso del ladrillo pandereta	91
<i>Figura 53:</i> Detalle de 1m2 de muro con ladrillo pandereta.....	92
<i>Figura 54:</i> Peso volumétrico de muro de albañilería (1m3).....	92
<i>Figura 55:</i> Detalle de muro asentado en portico.....	93
<i>Figura 56:</i> Cargas distribuidas en las vigas	93
<i>Figura 57:</i> Introducción de cargas distribuidas por metro lineal en viga al software.....	94
<i>Figura 58:</i> Cargas distribuidas y puntuales en las vigas.....	95
<i>Figura 59:</i> Cargas vivas distribuidas por áreas en losas.....	96



<i>Figura 60:</i> Definición de los patrones de carga en el software Etabs.....	96
<i>Figura 61:</i> Definición del pesosísmico en el Software Etabs.....	97
<i>Figura 62:</i> Espectro de aceleraciones $C=2.5$	98
<i>Figure 63:</i> Espectro de aceleraciones $C=2.5(Tp/T)$	100
<i>Figura 64:</i> Corrección de los valores C' y k en ambas direcciones de análisis.....	101
<i>Figura 65:</i> Espectro de diseño $R=6$	111
<i>Figura 66:</i> Definición de casos de carga análisis dinámico modal espectral X-X	112
<i>Figura 67:</i> Definición de casos de carga análisis dinámico modal espectral Y-Y	112
<i>Figura 68:</i> Modo de vibración 2 - torsional.....	114
<i>Figura 69:</i> Modo de vibración 1 - X.....	114
<i>Figura 70:</i> Modo de vibración 3 - Y.....	115
<i>Figure 71:</i> Introducción del factor de escala para corrección.....	116
<i>Figure 72:</i> Espectro de diseño $R=1$ – Análisis dinámico modal espectral	120
<i>Figure 73:</i> Espectro de diseño $R=1$ (cm/sg ²) para SeismoMatch	124
<i>Figure 74:</i> Proceso de escalado del registro sísmico – Ica 2007	125
<i>Figure 75:</i> Registro sísmico escalado al espectro de diseño $R=1$ (cm/sg ²) - Ica 2007	125
<i>Figura 76:</i> Registro sísmico Caso 1 (E-O=X)(N-S=Y) – Ica 2007	126
<i>Figure 77:</i> Registro sísmico Caso 2 (E-O=Y)(N-S=X) – Ica 2007	127
<i>Figure 78:</i> Definición del análisis Tiempo-Historia con los registros sísmicos E-O	127
<i>Figure 79:</i> Definición del análisis Tiempo-Historia con los registros sísmicos N-S.....	128
<i>Figure 80:</i> Definición de los casos de carga para análisis el Tiempo-Historia Caso 1.....	128
<i>Figure 81:</i> Definición de los casos de carga para el análisis Tiempo-Historia Caso 2.....	129
<i>Figure 82:</i> Elección del comportamiento esperado	133
<i>Figura 83:</i> Esquema de disipadores instalados en pórtico tentativo.....	135
<i>Figura 84:</i> Creación de los elementos link para disipadores de fluido viscoso.....	139
<i>Figura 85:</i> Creación de los casos de carga para el análisis Tiempo-Historia con disipadores	140
<i>Figura 86:</i> Dibujo de los disipadores en los porticos y niveles propuestos - Dirección X-X	140
<i>Figura 87:</i> Detalle de empalme con cartela – fuerza máxima	145
<i>Figura 88:</i> Detalle de perno de 5/8”.....	145
<i>Figura 89:</i> Gráfico de comparación de desplazamientos laterales absolutos entre el análisis estático y análisis dinámico modal dirección X	148
<i>Figure 90:</i> Gráfico de comparación de desplazamientos laterales relativos entre el análisis estático y análisis dinámico modal dirección X	149



<i>Figura 91:</i> Grafico de comparación de derivas de entre piso entre el	150
<i>Figura 92:</i> Gráfico de la comparación de las fuerzas cortantes en la base entre el análisis estático y el análisis dinámico	151
<i>Figure 93:</i> Comparación de espectros de diseño $R=6$ Vs $R=1$	152
<i>Figure 94:</i> Comparación de derivas análisis dinámico $R=6$ Vs $R=1$	153
<i>Figura 95:</i> Comparación derivas máximas TH de registros sísmicos	154
<i>Figura 96:</i> Comparación derivas máximas dirección X con y sin disipadores análisis Tiempo - Historia.....	155
<i>Figura 97:</i> Comparación derivas máximas dirección Y con y sin disipadores análisis Tiempo - Historia.....	156
<i>Figura 98:</i> Comparación global de desplazamientos laterales X.....	157
<i>Figura 99:</i> Comparación global de desplazamientos laterales Y.....	158
<i>Figura 100:</i> Comparacion global de derivas de entrepiso X	159
<i>Figura 101:</i> Comparación global de derivas de entrepiso Y	160
<i>Figure 102:</i> Comparación global de fuerza cortante en la base X.....	161
<i>Figura 103:</i> Comparación global de fuerza cortante en la base Y.....	163
<i>Figure 104:</i> Comparación global de amortiguamiento	164
<i>Figure 105:</i> Comparación de la respuesta en el tiempo de desplazamientos.....	164



CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

El problema abordado en la presente investigación motivo de tesis, ha surgido del hecho de que en los últimos años el uso de dispositivos de protección sísmica, como son los disipadores de energía ha ido logrando mayor protagonismo en los proyectos desarrollados en nuestro país. Incluso, las normas técnicas peruanas bajo las que se realizan los diseños estructurales de las edificaciones en Perú consideran la necesidad de incluir estos sistemas en edificaciones de la categoría A (edificios esenciales) y categoría B (edificios importantes), sin embargo para el caso de las edificaciones de categoría C (edificios comunes) este tipo de tecnologías aún no han sido tratadas con la importancia que merecen pese a los beneficios de su uso, principalmente para quienes habitan este tipo de edificaciones. En este punto se debe mencionar, que las edificaciones residenciales, consideradas dentro de la categoría C, se vienen haciendo más comunes con el pasar de los años por lo que su abundante presencia es evidente en distintas ciudades de nuestro país. Por lo general este tipo de edificios suelen albergar una gran cantidad de personas, lo que le suma mayor importancia al hecho de buscar mejorar su comportamiento estructural ante una demanda sísmica. De esta manera lo que se busca es que estas edificaciones tan populares y altamente habitadas sufran el menor daño estructural posible cuando se vean sometidas a un evento sísmico de consideración para evitar que su funcionalidad se vea interrumpida perjudicado principalmente a sus habitantes.

La ciudad de Cusco no ha sido una excepción del escenario antes mencionado, los edificios residenciales en nuestra ciudad se han vuelto más comerciales y altamente demandados. En este contexto, resulta preocupante el evidente silencio sísmico de esta ciudad puesto que no se ha visto expuesta a situaciones sísmicas de consideración hace ya varios años por lo que las edificaciones existentes no han sido evaluadas ante tales condiciones. Además, se debe considerar que Cusco, es un departamento ubicado al sur oriente del Perú, y según el Reglamento Nacional de Edificaciones Norma Técnica Peruana E.030 está ubicado dentro de las zonas sísmicas 2 y 3, consideradas como zonas de alta actividad sísmica.

La problemática de esta investigación motivo de tesis, surge frente a la urgente necesidad de darle mayor relevancia al uso de sistemas de protección sísmica, como son los disipadores de energía, no solamente en edificaciones primordiales, sino también en las comunes, para estar mejor preparados ante la ocurrencia de una demanda sísmica en nuestra ciudad.



1.1.1.1. Ubicación geográfica.

La materia de estudio de la presente tesis, ha sido la edificación **Residencial “Santa Rosa”**, localizada en la Urb. Quispicanchis, Distrito de Cusco, Provincia y Departamento de Cusco. Dicha edificación, está localizada en las coordenadas **UTM WGS84 Zona 19L Sur 181108.04 m E, 8502847.12 m S**, con una elevación **3325msnm** y presenta los siguientes linderos:

- **Por el Norte** : Con la propiedad de la familia Flores
- **Por el Sur** : Con la Calle Panamá
- **Por el Este** : Con el Pasaje Peatonal S/N
- **Por el Oeste** : Con la Av. Nicaragua

En cuanto a sus dimensiones:

- **Área total** : 2448.25 m²
- **Semisótano** : 300.00 m²
- **Primer Nivel** : 273.80 m²
- **Segundo-Octavo Nivel** : 286.80 m²
- **Terraza-Cuarto de Máquinas-Tanque Elevado** : 166.85 m²
- **Perímetro** : 74.76 m



Figura 1: Mapa de ubicación de la edificación

Fuente: Google Earth (2014)



1.1.2. Formulación interrogativa del problema.

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.

¿Cuál será el análisis comparativo del comportamiento sísmico y del presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa”, diseñado con la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso, ¿en relación con la estructura diseñada tradicionalmente?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

- **Problema específico N°1**

¿Cuál es el comportamiento sísmico, analizado a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y fuerza cortante en la base, del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño tradicional?

- **Problema específico N°2**

¿Cuál es el comportamiento sísmico, analizado a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y fuerza cortante en la base del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño con implementación de disipadores de energía de fluido viscoso?

- **Problema específico N°3**

¿Cuál es el presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño tradicional?

- **Problema específico N°4**

¿Cuál es el incremento del presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño con implementación de disipadores de energía de fluido viscoso?

1.2. Justificación e importancia de la investigación.

1.2.1. Justificación técnica.

La presente tesis se ha desarrollado dentro de la rama de la ingeniería estructural, puesto que se ha fundamentado en el modelamiento y calculo estructural de una edificación considerando dos metodologías de diseño diferentes. En primer lugar se ha desarrollado un diseño estructural tradicional considerando el análisis estático y análisis modal espectral señalado en Norma Técnica Peruana E.030; el cual ha sido comparado con un diseño estructural basado en un análisis por desempeño, para el que se ha considerado un análisis de tiempo historia lineal utilizando 03 registros sísmicos, debidamente procesados y escalados al espectro de diseño inelástico ($R=1$) para así poder conseguir el sismo de diseño y posteriormente encontrar la deriva objetivo a partir de la distorsión máxima con el fin de



poder diseñar los dispositivos disipadores de fluido viscoso, que en este caso han sido los disipadores Taylor Devices. Finalmente, se ha realizado un análisis tiempo historia con los disipadores incorporados para verificar que las derivas cumplan con las derivas objetivo. Todo lo anteriormente mencionado se ha apoyado en los principios fundamentales de la ingeniería estructural.

1.2.2. Justificación social.

Los principales beneficiarios de esta investigación son todos aquellos que están involucrados en el desarrollo de diseños estructurales de edificios residenciales en la ciudad del Cusco. Puesto que el presente trabajo ha buscado dar a conocer el gran potencial que tienen los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso en la protección de edificaciones a través del mejoramiento del comportamiento estructural de una edificación residencial frente a una demanda sísmica. Es importante resaltar que esta investigación se ha enfocado en la evaluación de una edificación residencial, que en los últimos años se ha convertido en una de las edificaciones más comunes en nuestra ciudad, por lo que, de llegarse a difundir los resultados, una gran parte de la sociedad cusqueña será beneficiada.

1.2.3. Justificación por viabilidad.

Esta tesis de investigación se considera viable por la accesibilidad a la información de la edificación “Residencial Santa Rosa”, ya que se han podido obtener los planos (arquitectónicos y estructurales), las descripciones técnicas y el presupuesto total de ejecución de dicha edificación a través de la empresa constructora Kimpu, quienes fueron los encargados del diseño y ejecución de la misma.

De igual forma para la recaudación de datos, el estudio y modelamiento estructural y posterior procesamiento de resultados, se ha tenido acceso al uso de los softwares Etabs, y AutoCAD a través de una licencia de estudiante, lo que ha permitido realizar los modelamientos y cálculos respectivos para los diseños estructurales evaluados. Se debe mencionar que también se han utilizado como parte del procesamiento de datos, otros dos programas; Seismo Signal para limpiar el registro sísmico y Seismo Match para escalar los espectros de diseño utilizados a los cuales también se ha tenido acceso gracias a una licencia estudiantil. A esto se complementa la disponibilidad de tiempo, recursos humanos y asesoría correspondiente que se ha tenido para desarrollar la investigación.

1.2.4. Justificación por relevancia.

Esta tesis de carácter investigativo justifica su trascendencia al ser considerado un aporte significativo al estudio de los beneficios de la agregación del uso de disipadores de fluido



viscoso en los diseños estructurales y el incremento presupuestal que signifique, en este caso en particular en edificaciones residenciales. El edificio “Residencial Santa Rosa” es un proyecto diseñado de manera tradicional considerando un sistema estructural de muros de corte, exactamente como se han diseñado muchas otras edificaciones de este tipo en la ciudad del Cusco.

Considerando que esta ciudad tiene una probabilidad muy alta de que ocurra un evento sísmico, se hace aún más necesario estudiar formas viables de mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones, en especial de aquellas que se han venido haciendo más comunes en los últimos años, como son las edificaciones residenciales. De esta forma, resulta necesario que las edificaciones de nuestra ciudad estén preparadas estructuralmente para recuperarse rápidamente después de un evento sísmico; que es lo que se busca con la incorporación de este tipo de tecnologías, puesto que permiten mitigar los daños que un evento sísmico suele dejar, reduciendo así las pérdidas económicas y humanas que generalmente implica.

Si bien esto es algo que se tiene contemplado para las edificaciones esenciales, tales como colegios, hospitales y demás, el hacer de estas tecnologías una práctica más común en los futuros proyectos de edificios residenciales, podría significar un gran beneficio para la resiliencia de la ciudad ante un evento sísmico.

1.3. Limitaciones de la investigación.

Para fines del desarrollo de esta investigación, se han considerado los siguientes aspectos como sus limitaciones:

- La investigación se limita geográficamente al estudio de la edificación “Residencial Santa Rosa” ubicada en la Urb. Quispicanchis, Distrito de Cusco, Provincia y Departamento de Cusco.
- Se ha evaluado una construcción de concreto armado de 08 niveles, diseñada bajo un sistema estructural de muros de corte (coeficiente básico de reducción $R_0=6$). Los resultados y recomendaciones que han surgido a partir de este estudio podrán ser considerados para edificaciones de similares condiciones, con una cantidad de pisos mayores a 6 niveles.
- La edificación objeto de estudio es considerada según la Norma Técnica Peruana E0.30, dentro de la categoría C, es decir una edificación común, por lo que la investigación se limita a edificaciones de la misma categoría.



- La edificación evaluada corresponde por sus características a un coeficiente de zona $Z = 0.25$, un componente de suelo $S = 1.2$ (suelo intermedio) según al estudio de suelos y un coeficiente de uso $U = 1$, consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para el entendimiento de los resultados a los que se ha llegado.
- Para los fines propuestos, se ha decidido utilizar una marca de disipador pasivo de fluido viscoso específico, siendo este los disipadores Taylor Device comercializados por la empresa CDV Ingeniería Antisísmica en nuestro país.
- La recolección de las identificaciones que se emplearon en este estudio, se limita solo a la información encontrada en los planos y especificaciones del expediente técnico; mas no así a una verificación in situ en la edificación existente. Es decir, que se ha considerado datos como la resistencia del concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) y el grado del acero 60, por lo señalado en las especificaciones del expediente técnico del proyecto.
- La presente investigación se ciñe al uso de la Normativa Técnica Peruana E.020 Metrado de cargas (2006), E.030 Diseño sismorresistente (2018) y E-0.60 Concreto armado (2009), Código ASCE/SEI Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (2016), recomendaciones del Comité VISION 2000 SEAOC (1995) y FEMA (1997) - HAZUS (2001) Guidelines for seismic rehabilitation of buildings (Federal Emergency Management Agency).
- La reconfiguración estructural que se propone con la agregación de disipadores de fluido viscoso se ha realizado solo considerando la parte estructural de la edificación, es decir que no se ha tomado en cuenta consideraciones de tipo arquitectónico y otros.
- El análisis comparativo del comportamiento sísmico de ambos modelos se realizó en base a los valores obtenidos de desplazamientos laterales, distorsiones de entrepiso y cortante basal.
- Para fines de la evaluación comparativa de presupuesto considerando las dos opciones de diseño, solo se ha abordado el incremento a la parte estructural de la edificación, de manera más específica solo la superestructura. Es decir que las demás especialidades y la subestructura no han sido consideradas para dicho análisis. Generando un presupuesto referencial total del edificio.



1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar comparativamente el comportamiento sísmico y el presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa”, considerando un esquema tradicional y un diseño con la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso.

1.4.2. Objetivos específicos.

- **Objetivo específico N°1:**

Analizar el comportamiento sísmico, a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y cortante basal, del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño estructural tradicional.

- **Objetivo específico N°2:**

Analizar el comportamiento sísmico, a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y cortante basal del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño estructural con implementación de disipadores de energía de fluido viscoso.

- **Objetivo específico N°3:**

Estimar el presupuesto total de ejecución del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño estructural tradicional.

- **Objetivo específico N°4:**

Estimar el incremento presupuestal del edificio “Residencial Santa Rosa” considerando un diseño estructural con implementación de disipadores de energía de fluido viscoso.



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la tesis.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.

Para el desarrollo de la presente tesis, se ha considerado como antecedentes a las siguientes investigaciones realizadas en nuestro país:

- **Título:** “Evaluación comparativa de la respuesta sísmica del sistema estructural convencional (dual) del “Edificio aulas generales, laboratorios y otros de la UAC” con y sin disipadores de energía de fluido viscoso; empleando un análisis sísmico dinámico (modal espectral y tiempo-historia) – 2019.

Lugar: Universidad Andina del Cusco

Autor: Bach. Víctor Puma Gonzales, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

En esta tesis se evaluó comparativamente las capacidades de los parámetros de respuesta sísmica del “Edificio aulas generales, laboratorios y otros de la Universidad Andina del Cusco”, considerando su estado actual y con la incorporación de disipadores de energía fluido viscoso como refuerzo estructural. Inicialmente el edificio demostró cumplir los parámetros establecidos por la Norma E.030 Diseño sismorresistente empleando un análisis sísmico dinámico modal espectral para ambas direcciones de análisis, pero al someter la edificación a un análisis tiempo-historia con un sismo de diseño (El Centro 1940) no cumplió con el límite de deriva en la dirección Y de análisis. Se consideró la incorporación de disipadores viscosos, ubicándolos en disposición diagonal desde el sótano 1 hasta el décimo nivel. Concluyó que, aunque hubo mejora con respecto a la respuesta sísmica del edificio, las magnitudes de los parámetros no mejoraron en un rango de 40% a 60%.

El trabajo de investigación aportó un panorama general sobre la implementación de estos dispositivos. Observando los beneficios directos que conllevan su uso. Desde la etapa de análisis hasta la etapa de diseño de dichos dispositivos. La implementación de los registros sísmicos debidamente escalados.



- **Título:** “Evaluación del comportamiento sísmico del edificio “Local institucional de la Caja Municipal de Ahorro y Crédito Cusco S.A” frente a sismos de largo periodo de movimiento de terreno, representado por registro sísmico de México 1985, considerando la incorporación de disipadores de energía de fluido viscoso.”- 2014.

Lugar: Universidad Andina del Cusco

Autor: Bach. Luis Miguel Vargas Condori, para conseguir el grado académico de Ingeniero Civil.

En la tesis de investigación, se evaluó el comportamiento sísmico de la edificación “Local institucional de la CMAC Cusco S.A” ante la fuerza de sismos de extenso periodo de movimiento de terreno, representado por el registro sísmico de México 1985. Para evaluar el comportamiento sísmico se utilizaron los niveles de comportamiento sísmico establecidos por la asociación ingenieros estructuralistas de California (SEAOC), a través del comité VISION 2000, por otra parte se asociaron los niveles de conducta sísmica con las derivas objetivo para la protección de un grupo de edificaciones de similar característica, estas derivas características resultaron de los trabajos de investigación de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias del Gobierno Estadounidense (FEMA) presentado en su documento Metodología para la Estimación de Daños (HAZUS). El edificio evaluado no ha satisfecho el nivel de comportamiento sísmico según SEAOC y HAZUS, en consecuencia, se espera un rango de daño moderado y extenso para un sismo de largo periodo de movimiento de terreno que pudiera ocurrir en la ciudad de Cusco. Posteriormente se realiza la incorporación de un método de protección sísmica basada en disipadores de energía de fluido viscoso. El sistema consiste en 59 disipadores, que estarán ubicados desde el primer piso hasta el piso 10, con esta solución planteada se logró obtener un amortiguamiento equivalente de 24.80% y se alcanzó reducir la deriva un 47%, estos con disipadores lineales. Logrando así un nivel de comportamiento sísmico de seguridad.

Para el esquema de los dispositivos de fluido viscoso se empleó la metodología de diseño basado en la inspección del daño (HAZUS), mediante el control de derivas de entrepiso límites para distintos estados de daño estructural, las cuales se denominan derivas objetivas.

Los parámetros importantes de un dispositivo de disipación de fluido viscoso son el factor de amortiguamiento, el exponente de velocidad y la rigidez del brazo metálico. El diseño actual según la norma E.030, frente a sismos de periodo largo tiene un



comportamiento deficiente (daño estructural). Al disminuir el factor de velocidad α , el % de reducción de la fuerza cortante aumenta.

El presente trabajo aportó el entendimiento de la importancia de los registros sísmicos que presentan características similares con el terreno donde está situado la edificación.

- **Título:** “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso” – 2015.

Lugar: Universidad Pontificia Católica del Perú.

Autor: Bach. Juan Carlos Fuentes Sadowski, para optar el título de ingeniero civil.

En esta investigación se efectuó un estudio comparativo de una edificación aporticada de 5 niveles de concreto armado con dispositivos disipadores de energía de fluido viscoso añadidos en ambas direcciones. Disipadores en distintas disposiciones. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis dinámico, estudiando con un espectro de diseño y también haciendo uso de registros sísmicos. Tras este análisis, el autor discutió que todas las configuraciones de disipadores analizadas disminuyeron los valores de derivas máximas y optimizaron la regularidad torsional en todos los niveles y en las direcciones ortogonales de análisis. Si el edificio hubiera sido diseñado bajo un código sismo resistente exigente, para una demanda sísmica de 500 años de periodo de retorno se habría conseguido un nivel de daño moderado.

Este trabajo sirvió de ayuda a entender el proceso de análisis de las edificaciones que presentan dispositivos de disipación de energía.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

- **Título:** “Influencia de un amortiguador magnetereológico en el aislamiento de base de edificios bajo acción sísmica” – 2012.

Lugar: Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil

Autor: Ing. Eliot Pezo Zegarra

En esta tesis para optar el grado de magister el autor planteó el uso de dispositivos pasivos para poder controlar las vibraciones en edificios y torres delgadas. Mediante la gran disipación de energía que ofrecen estos dispositivos originado por el comportamiento histerético que presentan. El autor empleó el modelo Bouc-Wen.

Comparando la instalación de un dispositivo magnetereológico en el primer nivel y la instalación actuando como un sistema de aislamiento de base, se pudo observar que la reducción de las respuestas dinámicas (como aislamiento) es mejor en relación al



dispositivo en el primer nivel. Verificando que la ubicación del amortiguador influye en la eficiencia de reducción de las respuestas dinámicas.

Concluyó que en todos los casos analizados el amortiguador MR reduce considerablemente las vibraciones. Esta investigación aportó gran ayuda al entendimiento del comportamiento de los amortiguadores en las edificaciones.

Se constató que la implementación del amortiguador MR permitió que la respuesta dinámica resulte mejor en relación a los valores resultantes sin los dispositivos, también se verificó que los desplazamientos laterales relativos máximos disminuyeron en 85% y las aceleraciones horizontales máximas en 60% para el caso de MR ubicado en la base. Y para el caso de MR ubicado en el primer nivel se consiguió una reducción de 25% en desplazamientos laterales relativos máximos y 10% en aceleraciones máximas.

- **Título:** “Análisis dinámico inelástico de estructuras aporricadas en concreto reforzado”– 2012.

Lugar: Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia

Autores: Ing. Hamel Guerra Carpintero – Ing. Ricardo Ortiz Ramírez

En esta tesis de investigación los autores diseñaron una edificación aporricada de concreto reforzada utilizando dos formas de diseño estructural. Primero al considerar una demanda dinámica, haciendo uso del análisis dinámico no lineal obteniendo así la respuesta sísmica en el tiempo de la construcción (movimientos laterales de entrepiso, derivas, cortante basal, etc.). Y la segunda estáticamente, empleando un análisis estático no lineal llamada también Push-Over, sometiendo a la edificación a una carga monotónica incremental, aumentando periódicamente los desplazamientos hasta hacer colapsar la estructura. Para concluir contrastaron ambos métodos y verificaron que el análisis estático no lineal genera en la edificación más desplazamiento horizontal, generando mayores derivas en relación al análisis dinámico no lineal, induciendo que es de suma importancia generar una mejor función estructural para tolerar los valores generados.

Concluyendo que el análisis dinámico no lineal es la mejor técnica existente porque muestra la respuesta sísmica y sus variaciones de la edificación en el tiempo.

- **Título:** “Análisis sísmico de edificios” (2008)

Lugar: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Quito - Ecuador

Autor: Dr. Ing. Roberto Aguilar Falconí.



El autor de esta investigación realizó una evaluación de lo que es peligrosidad sísmica y posteriormente presentó una nueva filosofía de diseño en función a las recomendaciones del Comité VISION 2000. Así mismo realizó una evaluación de normativas sísmicas de América Latina. Si bien esta investigación aborda una amplia cantidad de temas como el estudio de métodos estáticos y torsión estática, métodos de superposición modal con consideraciones de 2 y 3 dimensiones, balance torsional y demás; los ultimo capítulos de esta valiosa investigación fueron dedicados exclusivamente al estudio de aisladores sísmicos y disipadores de energía bajo una línea de investigación desarrollada por la Universidad de Chile, prestándole una atención exclusiva a los disipadores de fluido viscoso.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes.

2.2.1. Origen y definición de los sismos.

2.2.1.1. Origen de los sismos.

Para poder entender la causa de los sismos, es de importancia entender algunos conceptos previos, tales como deriva continental, composición de la tierra, placas tectónicas y ondas sísmicas, temas que se desarrollaran en las siguientes páginas. De igual forma, se ha considerado necesario abordar aspectos teóricos en referencia al Cinturón Circunpacífico o Cinturón de Fuego del Pacífico y peligro sísmico.

2.2.1.2. Deriva continental.

Es de conocimiento que desde hace innumerables cientos de años, la totalidad de los continentes eran considerados una unidad, es decir que estaban fusionados en una única masa, que ha sido denominada Pangea o Pangaea, siendo el Panthalassa el único océano que la rodeaba, tal y como se aprecia en la *Figura 2*. (Dietz & Holden, 1970).

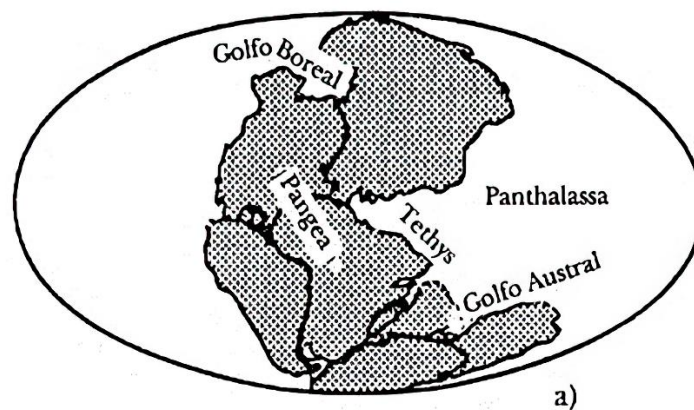


Figura 2: Pangaea o Pangea

Fuente: Dietz & Holden (1970)



Según los expertos, dicha masa comenzó a trasladarse en forma lenta rompiéndose progresivamente. De esta forma, la primera rotura apareció en la zona de Groenlandia al separarse de Europa, originando dos continentes que se denominaron Laurasia y Gondwana, (Canet & Barbat, 1988), como se ilustra en la *Figura 3*.

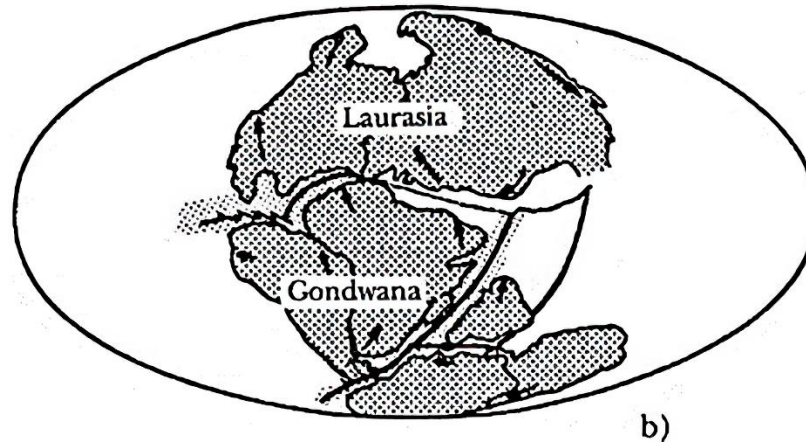


Figura 3: Formación de Laurasia y Gondwana

Fuente: Dietz & Holden (1970)

Esta abertura de placas es la que originó la forma de los perfiles que se consideran a los continentes actualmente, los mismos que se han reubicado y rotado, pero con la continuidad del movimiento. Esta teoría fue formulada por Alfred Wegener (1912), con el nombre de “*Teoría de la deriva de los continentes*”.

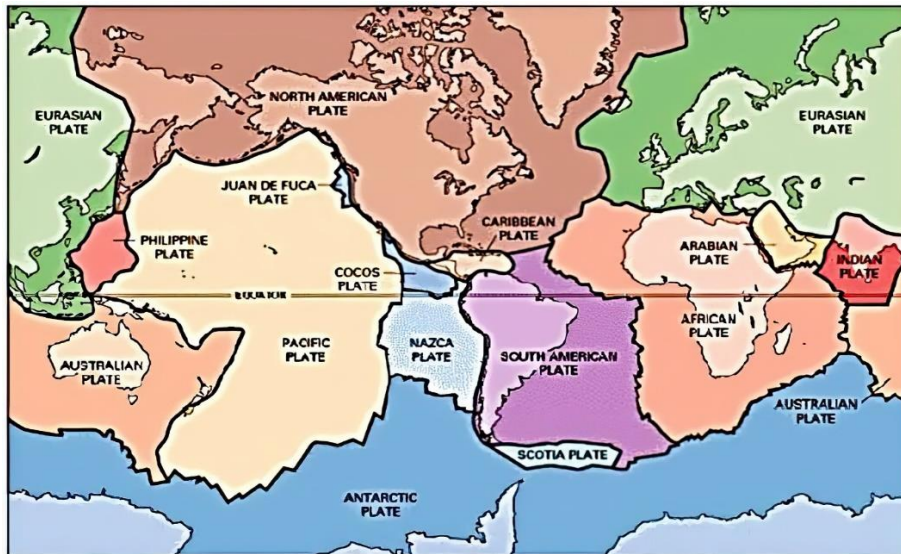
La cantidad estudios de que se han realizado en las últimas décadas es muy amplia, dichas investigaciones buscan examinar los perfiles del continente americano, africano y europeo. Estos señalan que, si supuestamente los ensamblamos, como un rompecabezas, podríamos apreciar la existencia de una increíble coincidencia, lo que permite suponer que en algún tiempo permanecieron fusionados y posteriormente se apartaron. Wegner (1912) hace referencia también a que, en las costas del Océano Atlántico de América y África, los minerales existentes poseen una idéntica naturaleza, no hay presencia de regiones montañosas en ambas zonas y aún más extraordinario es que su flora y fauna es muy similar.

2.2.1.3. Placas tectónicas.

Wegner (1912) señala que consecuencia de las corrientes de convección, los continentes perpetúan en un movimiento constante. Dichas corrientes de convección son producidas en la zona superior del manto líquido, en una capa denominada Astenósfera. Esto quiere decir que figurativamente la corteza terrestre flota sobre la Astenósfera, lo que genera un movimiento

de la corteza que no se da de manera uniforme, puesto que no se desplazan en la misma dirección ni con la misma magnitud. Se sabe que, en algunas regiones, el movimiento es demasiado pausado, del orden de una centésima de milímetro al año, mientras que en otras es muy rápido, con desplazamientos de más de 10 cm. por año. Lo mismo sucede con los segmentos de la corteza que colisionan entre sí, pues colisionan en unas zonas y en otras no.

En este entender, las principales placas tectónicas de la corteza terrestre son las que se muestran en la *Figura 4*:



Fuente: Canet & Barbat (1988)

Tal y como se aprecia en la imagen anterior, las placas son las de: Nazca, Sudamérica, Cocos, Norteamericana, Caribe, Africana, Euroasiática, Antártica, Pacífico, Filipinas, Árabe, Australiana y de la India. Es necesario indicar que así mismo en estas placas subyace micro placas. (Canet & Barbat, 1988).

Los movimientos que, son más conocidos como tectónicos, son los directos causantes del surgimiento de las montañas, volcanes, sismos, la formación de plegamientos y fallas geológicas en la tierra. Cuando dos placas chocan, una de estas por lo general cede y se desplaza por debajo, con trayectoria al manto; a las zonas de colisión se denomina zonas de subducción ilustrado en la *Figura 5*. Por otro lado, en las zonas donde no existe la colisión, que son los dorsales marinos, surge un reciente plano terrestre.

Así se consigue mantener la proporción en el mundo, en pocas palabras, debido a las zonas de subducción se elimina el área creada y por los dorsales marinos emergen recientes zonas. (Wegener, 1912).

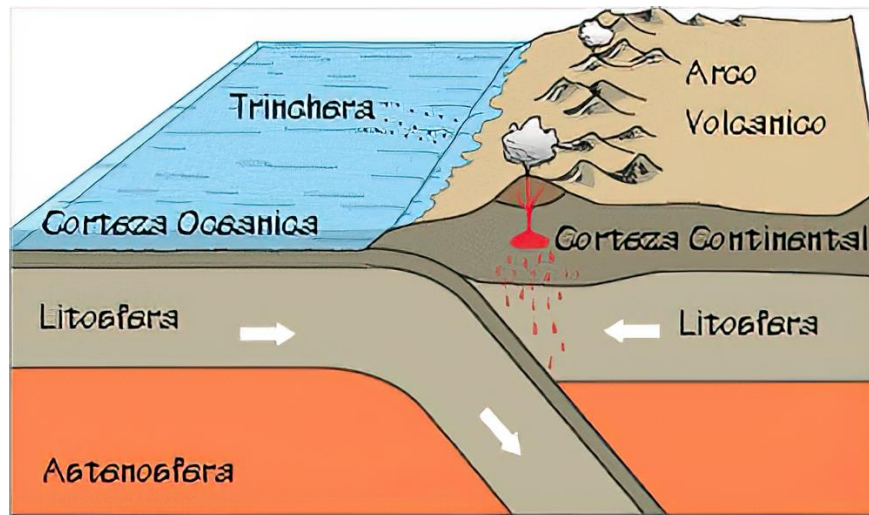


Figura 5: Proceso de subducción

Fuente: www.lifeder.com

2.2.1.4. Ondas sísmicas.

Se puede entender como ondas sísmicas a aquella manifestación de energía que necesitaba ser liberada y que es capaz de generar un conjunto de movimientos que tienen características complejas dinámicas que suelen manifestarse a través de desplazamientos en la corteza terrestre. Desde el punto de vista de la ingeniería estructural, es importante señalar que las ondas sísmicas son aquellas que solicitan a las estructuras a tener una adecuada respuesta sísmica. (Cumpa & Quispe, 2019)

Diversos estudios referentes a las ondas sísmicas las han clasificado de distintas formas, por ejemplo, Herraiz Sarrachaga (2009) señala que “las ondas sísmicas que transmiten parte de la energía que se libera en el foco del terremoto son básicamente de dos tipos, las ondas internas o de volumen y las ondas superficiales”.

También se puede considerar que las ondas sísmicas se clasifican en:

Tabla 1: Clasificación de ondas sísmicas

Clasificación	Definición
Ondas P-Ondas Principales	Suelen mover a las partículas en la misma dirección en la que se propaga la energía liberada, de manera que generan una serie de esfuerzos de compresión y relajación, por lo general son las primeras en llegar a la superficie terrestre puesto que alcanzan una gran variedad
Ondas S-Ondas Secundarias	Estas son ondas de corte y suelen hacer vibrar a la roca en forma perpendicular a la propagación de la energía liberada. Suelen ser de periodos grandes y frecuencias cortas; y de una menor velocidad que las Ondas P, puesto que viajan a través de medios acuosos. Se sabe que estas ondas tienen los siguientes componentes, una vertical (Sv) y uno horizontal (Sh)



Ondas R-Ondas Rayleigh	Mueven las partículas en un plano vertical generando que estas tengan una trayectoria elíptica. Se producen gracias a la interacción de las Ondas P y las ondas Sv con la superficie terrestre. Por lo general son los periodos largos.
Ondas L-Ondas Love	Estas ondas mueven el suelo horizontalmente en dirección perpendicular a la de su propagación y resultan de la interacción de las ondas Sh con la superficie terrestre. No poseen un componente vertical y requieren de la existencia de un suelo estratificado para que se genera.

Fuente: Herraiz Sarrachaga (1997)

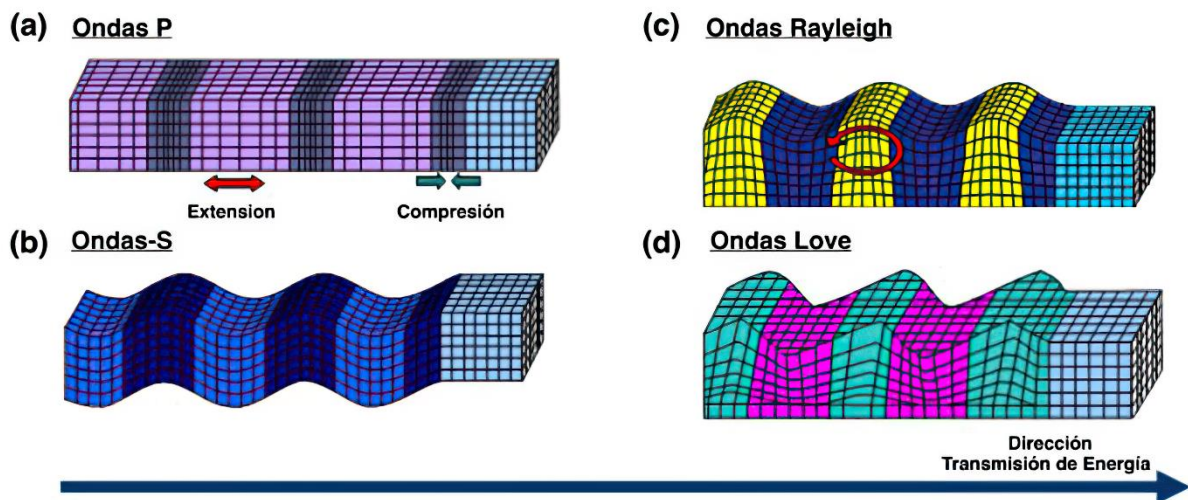


Figura 6: Clasificación de ondas sísmicas

Fuente: www.lifeder.com

2.2.1.5. Cinturón circunpácífico.

Se sabe que en Latinoamérica sucede la oposición de la Placa Oceánica o Placa de Nazca con la Placa Continental o Placa de Sudamérica. Este es el causante del anómalo llamado subducción, generando que la placa de Nazca, al ser más fuerte y rígida, se embuta por debajo de la Placa Sudamericana y de esta forma sigue desplazándose en dirección al manto. Canet (1988) menciona que este choque de placas puede ser considerado como el principal responsable de la generación de sismos.

Como consecuencia del fenómeno de subducción se ha originado una cárcava frente a las costas, misma que abarca magnas profundidades. Se puede apreciar en la *Figura 7* que dicha fosa se prolonga por Centro América, Canadá, México, Estados Unidos (California), Japón, Alaska (Aleutian Trench), Península de Kamtchatka, Nueva Zelanda y Filipinas bordeando el Océano Pacífico como un cinturón, dando origen al nombre “Cinturón Circunpácífico”, zona que se caracteriza por presentar alta sismicidad. Por otro lado, esta zona posee una magnitud

de actividad volcánica muy alta, por consiguiente, también se hace llamar como “Cinturón de Fuego del Pacífico”. (Wegener, 1912).

La figura presentada a continuación muestra detalladamente la fosa de subducción, en la zona de Ecuador, Colombia, y un porcentaje de Perú. Se puede observar que en el fondo del Océano Pacífico coexiste una cordillera llamada Dorsal de Carnegie que continúa expandiéndose e introduciéndose bajo el continente, esto sucede gracias al movimiento de las placas.

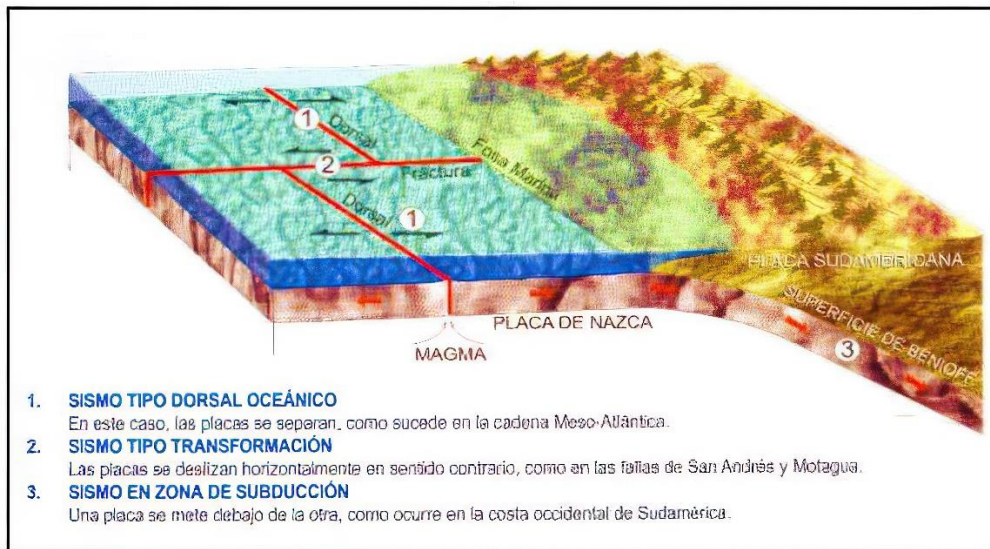


Figura 7: Distribución actual de las placas tectónicas

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
Lima, Perú

2.2.1.6. Definición de sismo.

Con los conceptos anteriormente definidos, se puede indicar que un sismo, terremoto o temblor de tierra son aquellas vibraciones que se producen en la corteza terrestre, que pueden ser generadas por distintos fenómenos naturales, tales como actividad de los volcanes. Desde un enfoque ingenieril, los sismos más trascendentales son aquellos de umbral geológico, que básicamente son aquellos que se originan por lo desplazamientos violentos de las placas en las que esta subdividida la corteza terrestre. (Bazán & Meli, 2004)

2.2.2. Sismos en el Cusco.

La Región Cusco desde una perspectiva tectónica, está ubicada en el interior de una flexión de la Cordillera Oriental, lo que da inicio a una región de transición sismo tectónica que separara territorios al norte y sur con particularidades geofísicas y geológicas algo desemejantes y ubicándose entre los paralelos 13° y 14° de latitud sur. Los sismos que se presentan en Cusco están más relacionados a los sismos intraplacas, congruentes con desplazamientos superfluos de fallas activas, de movimientos variados en una estructuración



complicada. Según los expertos, los más recientes sismos resaltantes en Cusco, están relacionados con los callamientos activos del sistema Tambomachay-Qoricocha.

De acuerdo a Cabrera (1988) y Sebrier (1986), este bloque de errores pertenece a la región de transición entre la Cordillera Oriental y las Altiplanicies Mesozoicas, reconocida por su actividad reciente, debido a la gran cantidad de evidencias tectónicas y volcánicas. (Deza, 1986).

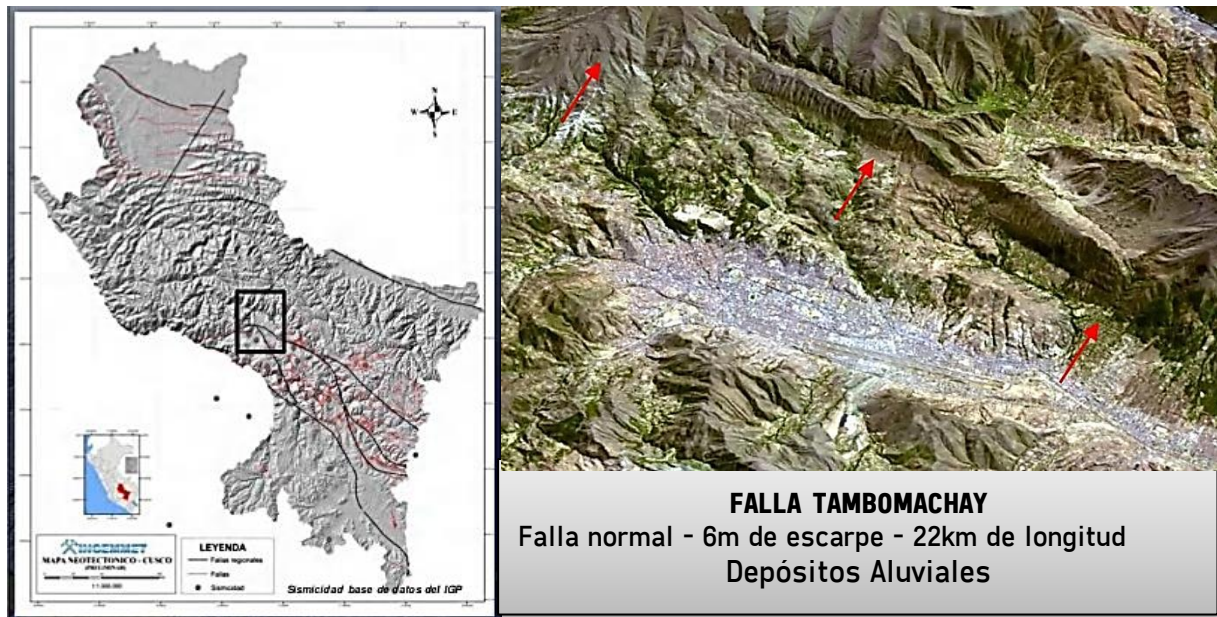


Figura 8: Sistemas de fallas Cusco (Tambomachay)

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) - 2008

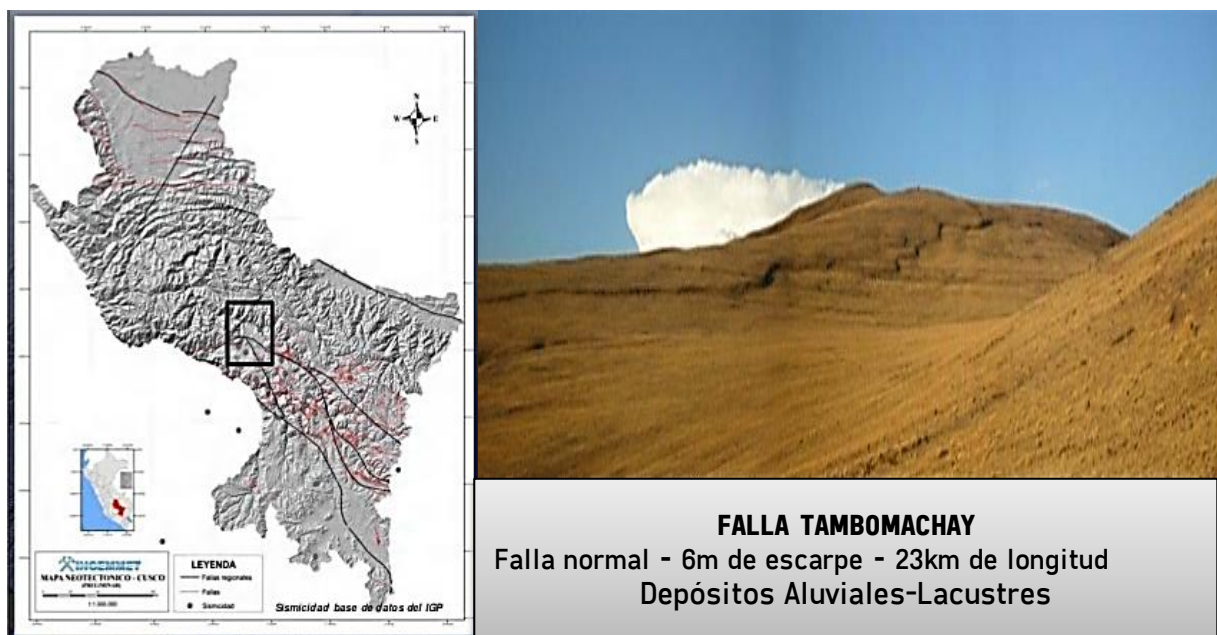


Figura 9: Sistema de callamiento Qoricocha (Falla Qoricocha)

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) - 2008



Tanto la iniciación, como la frecuencia de sismos en la región del Cusco está relacionada a la creciente evolución Geodinámica de los Andes, que se manifiesta por un continuo levantamiento y la atribución de esfuerzos regionales.

Varios expertos señalan que es posible que en Cusco se continúe generando sismos similares al ocurrido en 1986 y tal vez aún más severos, sin embargo, todavía no es posible predecir el tiempo en que ocurrirán. Es necesario señalar que esta ciudad es considerada como una zona de riesgo sísmico potencial. Por lo mencionado anteriormente y la relevancia socio económica y cultural de la ciudad imperial del Cusco, es de gran importancia profundizar los estudios en este ámbito.

El mayor sismo destructivo ocurrido en Cusco, fue el de 1650, con una magnitud que se calcula alrededor de 7.0 en la escala de Richter, lo que hace creer que se pueden esperar sismos de similar magnitud.

2.2.2.1. Sismicidad del Cusco.

Concorde al Capítulo 2. Peligro sísmico, apartado 2.1 Zonificación, de la Norma Técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, el área nacional se encuentra fraccionada en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en información geotectónica.

La ciudad del Cusco se encuentra en una zona considerada de alto porcentaje de sismicidad, zona 2 a nivel nacional y ha registrado 2 terremotos devastadores en la historia republicana, siendo el mayor de ellos en el siglo 15 que se estima fue de grado 7 en la escala de Richter. En 1950 la ciudad fue afectada por otro sismo que destruyó casi la integridad de viviendas (en su mayoría de adobe). En los últimos años se registran sismos que producen daños mínimos en muchas edificaciones y daños estructurales serios a un muy reducido porcentaje de edificaciones con una recurrencia de 1 cada 3 años aproximadamente. (Navarro, 2001)

Navarro (2001) en su exposición “Peligrosidad Sísmica en el Sur del Perú” presenta información concerniente al peligro sísmico, realizando un estudio de la distribución espacial de la sismicidad tanto en planta como en profundidad, y un análisis estadístico que establece gráficas y ecuaciones de periodos de retorno para trabajos de predicción sísmica. En referencia a esto, se sabe que en la zona de focalización se manipula una aceleración sísmica



de 0.26g correspondiente a un periodo de exposición de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10%.

2.2.3. Comportamiento sísmico de edificaciones.

2.2.3.1. Objetivo del comportamiento sísmico de edificaciones.

La ingeniería sísmo resistente en los últimos años se ha ido perfeccionando gracias a la práctica obtenida de los sismos recientes. Lo que en un principio procuraba que las estructuras correctamente diseñadas no colapsen ante la presencia de un sismo severo, se ha modificado con el acontecer de los años en vista de los mayores daños estructurales y cuantiosas pérdidas económicas ante sismos con aceleraciones inclusive menores a las esperadas. (SEAOC, 1999).

Basándose en la filosofía del diseño sísmo resistente establecido en la Norma Técnica E.030, Capítulo 1, apartado 1.3, lo que ahora se busca es mitigar pérdidas de humanas, afirmar la continuidad de los servicios básicos y reducir los daños a la propiedad. El Reglamento de nuestro país admite que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras por lo que plantea los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

El proceso de diseño sísmico involucra múltiples fuentes de incertidumbre, incluyendo el riesgo sísmico, los métodos y modelos de análisis y la variabilidad en los elementos de edificación y mano de obra. Las técnicas de ingeniería basadas en el rendimiento deben identificar y cuantificar esas incertidumbres para que la confiabilidad del diseño pueda estimarse y reconocerse.

Profundizando estas concepciones, brotan las ideas mostradas por la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), el ATC-40 publicado en 1996, el programa HAZUZ 99, FEMA 273 y 274, entre otros.



Dichas propuestas muestran mínimas modificaciones, ciñéndose considerablemente en las mismas nociones. Para la presente exploración motivo de tesis, se ha empleado la proposición del SEAOC a través del Comité VISION 2000, la que fue perfeccionada en el año 1995 y surge en el apéndice G del libro “Recommended lateral force requirements and commentary”

Siguiendo la sugerencia de VISION 2000, el comportamiento sísmico de las construcciones se instituye en base a tres nociones, la gravedad del sismo, el nivel de comportamiento sísmico esperado y la relevancia que tenga la construcción.

El diseño tentativo establecido por el comité VISION 2000 (SEAOC, 1995), señala lo siguiente: “Los objetivos del comportamiento sismoresistente se definen por la combinación entre los niveles de comportamiento sísmico deseados y los niveles de amenaza sísmica esperada de acuerdo a la importancia de la edificación. Estos objetivos se relacionan entre sí mediante la denominada matriz de comportamiento sísmico, la cual establece los requerimientos mínimos sobre el comportamiento sísmico ante los diferentes niveles de amenaza”.

Tabla 2: Niveles recomendados de desempeño sísmico

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño sísmico			
	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad	Próximo al colapso
Frecuente	Estructuras básicas			
Ocasional	Estructuras esenciales/riesgosas	Estructuras básicas		
Raro	Estructuras seguridad crítica	Estructuras esenciales/riesgosas	Estructuras básicas	
Muy raro		Estructuras seguridad crítica	Estructuras esenciales/riesgosas	Estructuras básicas

Fuente: Structural Engineers Association of California SEAOC, 1995.

La perspectiva del bosquejo sísmico de edificación reside en comprobar la conducta sísmica de los edificios para cada uno de los sismos mencionados con anterioridad,



comprobaciones que se deben realizar sobre las derivas máximas legales y basándose en el daño local y mundial de la estructura.

Hoy por hoy el diseño orientado a la conducta sísmica nos admite explorar métodos para conseguir edificios con una buena conducta sísmica en múltiples contextos de riesgo. (SEAOC, 1999).

2.2.3.2. Niveles de amenaza.

La propuesta del comité VISION 2000 (SEAOC, 1996) en función de la posibilidad de ocurrencia en un periodo de 50 años de exposición o en función del periodo medio de retorno, instituye cuatro niveles de amenaza sísmica, los cuales se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 3: Niveles de amenaza sísmica - VISION 2000

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia
Sismos frecuentes	43 años	50% en 30 Años
Sismos ocasionales	72 años	50% en 50 Años
Sismos raros	475 años	10% en 50 Años
Sismos muy raros	950 años	10% en 100 Años

Fuente: Structural Engineers Association of California SEAOC. Recommends Lateral Force Requirements and Commentary (The Blue Book).

2.2.3.3. Niveles de comportamiento sísmico.

Los grados de conducta sísmica planteados por el comité VISION 2000 (SEAOC 1995), están definidos por el nivel de perjuicio que es posible demostrar en una construcción a causa del resultado de los sismos, tanto estructuralmente como en las componentes no estructurales.

La propuesta del comité VISION 2000 (SEAOC, 1995), asevera cinco grados de comportamiento sísmico basándose en tres disposiciones vitales, siendo estos:

- Deterioro sufrido estructuralmente y por las componentes no estructurales.
- Advertencia de la seguridad de los ocupantes a raíz de los daños.
- Funcionalidad del edificio luego del sismo.

La siguiente tabla abrevia las particularidades primordiales de los cinco grados de comportamiento sísmicos planteados y los atañe al daño panorámico de la estructura.



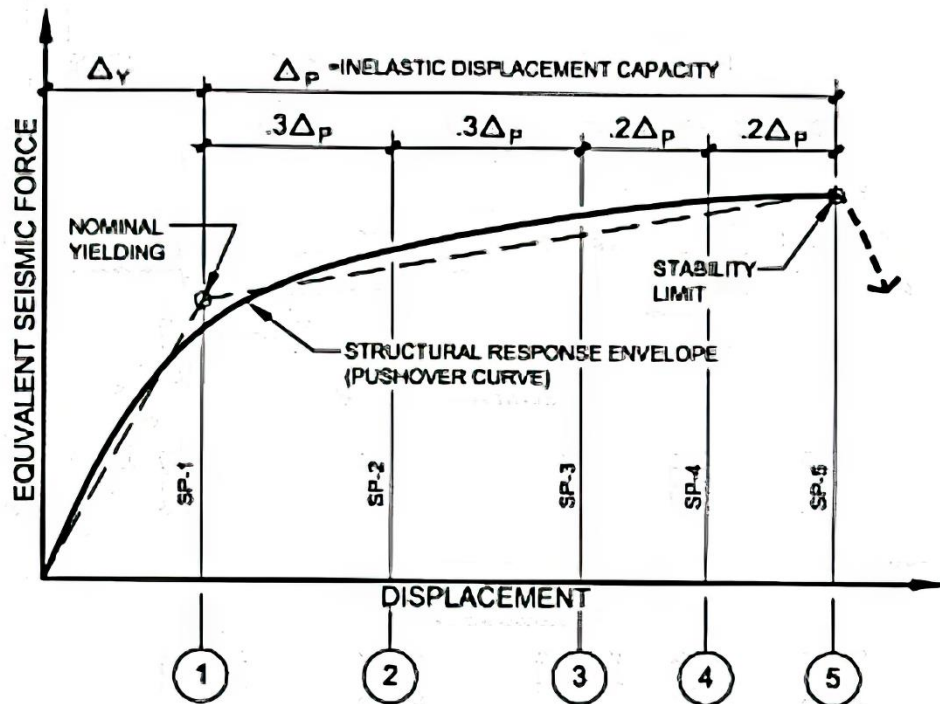
Tabla 4: Niveles de comportamiento sísmico - VISION 2000

Nivel de desempeño	Descripción de daños	Estado de daño
Totalmente operativo	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo, todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo	Despreciable
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales, las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación	Leve
Seguridad	Daños estructurales y no estructurales moderados, la estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso, el edificio podría repararse, aunque no siempre sea económicamente aconsejable	Moderado
Pre - Colapso	Daño estructural severo de elementos no estructurales, la seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso	Severo
Colapso	Colapso estructural, no es posible reparar la edificación	Completo

Fuente: Structural Engineers Association of California SEAOC. Recommends lateral force requirements and commentary (The Blue Book).

Una forma de calificar el nivel de comportamiento sísmico puede realizarse mediante la sectorización de la curva de capacidad. SEAOC (1999) señala que, en primer lugar, debe simplificarse la curva de capacidad, empleando un modelo bilineal, con el objetivo de determinar el punto de fluencia efectiva (Δ_y). A partir de este punto, queda definido el inicio del comportamiento inelástico, el cual se divide en cuatro sectores dependiendo del porcentaje de desplazamiento inelástico disponible (Δ_P).

A continuación, se muestra la curva de capacidad sectorizada propuesta por el comité VISION 2000.



Fuente: Structural Engineers Association of California SEAOC.

Figura 10: Curva de capacidad sectorizada

2.2.3.4. Objetivos de diseño – deriva objetivo

La relación que existe entre el estado de daño y la deriva de entrepiso en los edificios fue estudiada exhaustivamente por la Federal Emergency Agency (FEMA, 1997), posteriormente fue publicado en su documento Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS y contiene los estados de daños y sus derivas representativas para diversos sistemas estructurales.

Tabla 5: Relación daño – derivas según el sistema estructural

Características de la estructura			Deriva límite según el estado de daño			
Estructura	Tipo	Niveles	Leve	Moderado	Extenso	Completo
Pórticos de acero a momento	Bajo	1-3	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
	Medio	4-7	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
	Alto	8+	3.0000	0.0052	0.0118	0.0300
Pórticos de acero arriostrados	Bajo	1-3	5.0000	0.0087	0.0233	0.0600
	Medio	4-7	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
	Alto	8+	0.0250	0.0043	0.0117	0.0300
Pórticos de concreto armado	Bajo	1-3	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
	Medio	4-7	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
	Alto	8+	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
Muros de corte de concreto armado	Bajo	1-3	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
	Medio	4-7	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
	Alto	8+	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300

Fuente: (HAZUS-MH MR5, 2001)



2.2.3.5. Importancia de la edificación

La Norma Técnica Peruana E.030 apartado 3.1, señala que cada estructura debe ser catalogada de acuerdo con las clases indicadas en la Tabla 4.

El componente de importancia o uso (U), definido en esta tabla se debe usar según la categorización que se haga, por lo que por ejemplo para edificaciones con aislamiento sísmico en la base se podrá suponer $U = 1$.

- Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se localicen en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad garante podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.
- Nota 2: En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para trabajos laterales, a criterio del proyectista. (E.030, 2018).

En concordancia al valor de relevancia de la construcción, en el lapso de un sismo, la proposición del comité VISION 2000 (SEAOC, 1995), cataloga a las construcciones en tres bloques.

- **Edificaciones básicas.** - En este conjunto podemos ubicar todas aquellas construcciones que no fueron tomadas en cuenta con anterioridad. Edificios de viviendas, oficinas, hoteles, entre otras.
- **Edificaciones esenciales.** - Se consideran parte de este grupo a las edificaciones cuya función no debería verse obstaculizada luego de ocurrido el sismo. En este grupo tenemos: hospitales, estaciones policiales, cuarteles de bomberos, etc.
- **Edificaciones críticas.** - Parte de este grupo son aquellas que contienen materiales perjudiciales o peligrosos para la población. Aquí se encuentran: centrales nucleares y plantas industriales. (SEAOC, 1999)

2.2.4. Efecto sísmico en las estructuras.

Se sabe que la carga sísmica tiene una consecuencia sísmica que se produce en los edificios o en toda la estructura debido a la fuerza que se produce por la interacción de la masa de la estructura con la aceleración generada por el sismo ($F = m \cdot a$).

Estas aceleraciones sísmicas por lo general son instantáneas y en función a la masa que posee la estructura se pueden generar fuerzas de gran magnitud que afectan los componentes de la estructura.



Bazán & Meli (2004) indican que, en el caso de darse un sismo moderado, las estructuras se mantienen dentro de su intervalo elástico lineal, pudiendo de esta forma calcularse su respuesta con un alto valor de proximidad con ayuda de las técnicas de análisis dinámico o sistemas lineales.

Sin embargo, a medida que la intensidad de la excitación aplicada al edificio incrementa, se suelen generar cambios en las propiedades dinámicas del sismo, que alteran la respuesta, y por lo tanto el comportamiento deja de ser lineal, la rigidez tiende a disminuir y el amortiguamiento tiende a incrementar.

2.2.4.1. Espectro de respuesta.

Se define al espectro de respuesta como aquella respuesta máxima de un conjunto de osciladores de 1gld que tienen el mismo amortiguamiento, sometidas a una historia de aceleraciones. (Aguiar, 2008)

De la manera general, también se puede considerar la definición de que un espectro es la representación gráfica de la respuesta máxima que muestra una estructura u oscilador de 1gld cuando esta frente a acciones dinámicas. Estas acciones pueden expresarse en términos de desplazamientos, de velocidad, aceleración o cualquier otro parámetro de interés. En estos gráficos se representa el periodo propio de la estructura y la respuesta máxima de la estructura calculada para distintos factores de amortiguamiento. (Cumpa & Quispe, 2019)

Crisafuli & Villafuerte (2002), señalan que para poder construir un espectro de respuesta se debe seguir un procedimiento que se podría explicar si consideramos una serie de estructuras de 1gld u osciladores simples de diferentes periodos T e igual factor de amortiguamiento, como se muestra en la *Figura 12*. Además, si todos los osciladores son sometidos a una misma acción sísmica utilizando un registro de aceleraciones $\ddot{u}_g(t)$, cada uno de los osciladores puede desarrollar una respuesta distinta, que puede ser representada a través de la historia de desplazamientos $u(t)$.

De esta forma, cuando se obtiene la respuesta de los osciladores se puede calcular el máximo desplazamiento, que de manera gráfica se puede expresar en función al periodo de vibración, obteniendo así el espectro de repuesta. En otras palabras, la respuesta máxima de cada oscilador con periodo T representaría un punto en el gráfico de espectro de respuesta.

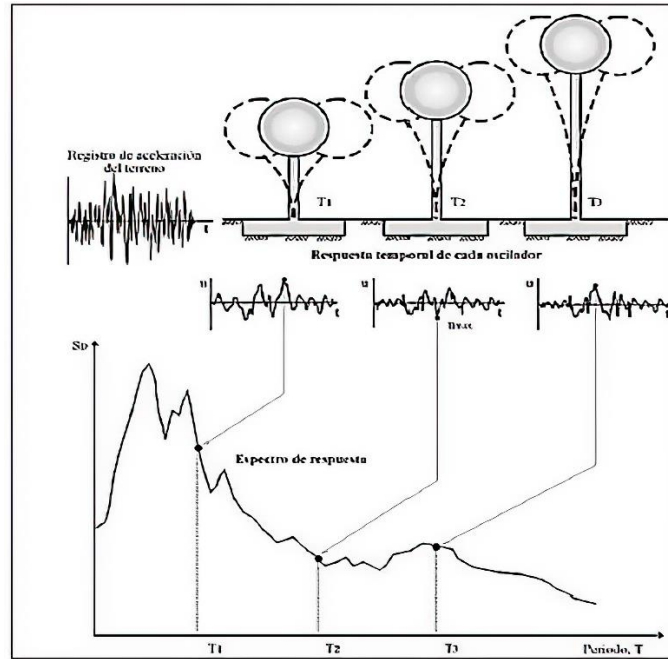


Figura 11: Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta

Fuente: Crisafulli & Villafañe (2002)

a) Espectro de respuesta elástica.

Crisafulli y Villafañe (2002) definen al espectro de respuesta elástica como aquellos gráficos que son la representación de la respuesta máxima para una determinada acción sísmica. Por lo general estos incluyen varias curvas para diferentes factores de amortiguamiento. Estas curvas presentan variaciones bruscas, con números picos y valles que son el resultado de los registros de aceleraciones de las acciones sísmicas.

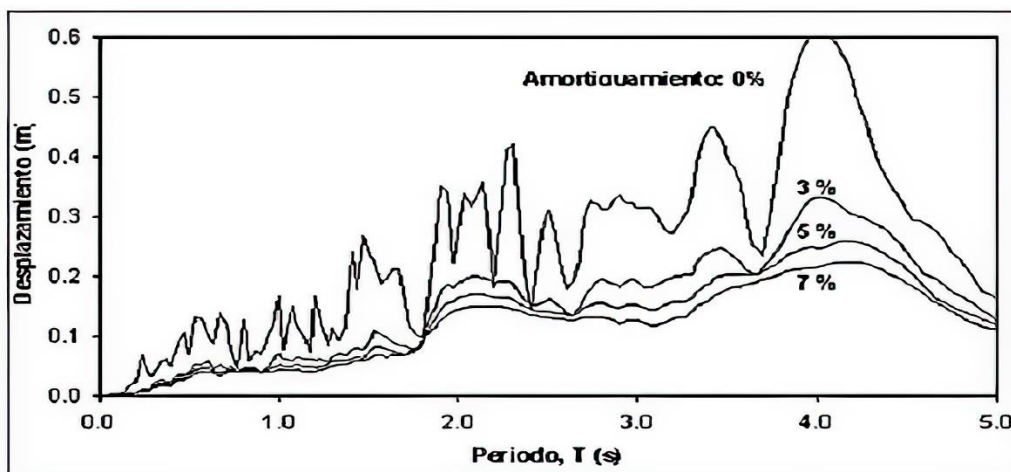


Figura 12: Gráfico indicativo de las curvas de aceleraciones para diferentes factores de amortiguamiento

Fuente: Crisafulli & Villafañe (2002)

b) Espectro de respuesta inelástica.

Se sabe que en este espectro el oscilador de 1 glb exhibe un comportamiento no lineal. De esta forma la estructura suele experimentar deformaciones en el rango plástico al ser solicitada por una acción sísmica. Este tipo de espectro generalmente se usa en el diseño de estructuras sismorresistentes ya que considera que la estructura incursiona en el rango plástico. (Crisafulli & Villafañe, 2002).

c) Espectro de diseño.

Se considera que las estructuras sismo resistentes no se pueden diseñar suponiendo un solo nivel sísmico, ya que existe la posibilidad de que cada acción sísmica presente diferentes características, por lo que los códigos de diseño de construcción prescriben espectros suavizados en los que por lo general se ensanchan los picos y se elimina los valles, tal y como se aprecia en la *Figura 13*.

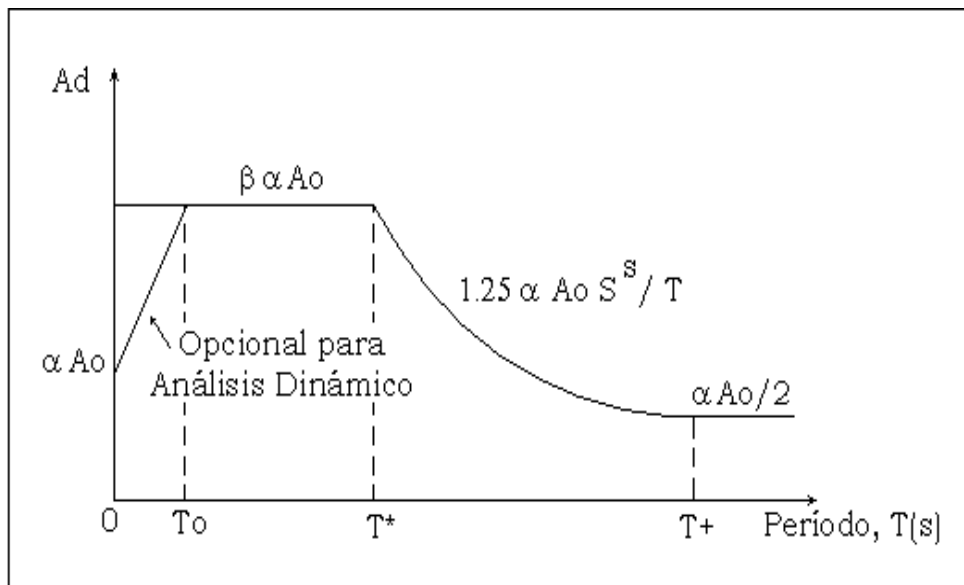


Figura 13: Gráfico indicativo del espectro de diseño

Fuente: Aguiar (2008)

Por lo general, los mapas de zonificación sísmica, en la mayoría de lugares, son elaborados considerando un periodo de retorno de 475 años, que corresponden a sismos muy intensos, a través de los cuales se elaboran los espectros de respuesta elásticos, para lo que se toma en cuenta el tipo de suelo, estructura y nivel de importancia. Es decir que cuando se diseña utilizando un espectro de respuesta elástico, se está diseñando para que las estructuras soporten sismos intensos sin ningún daño, lo cual sería muy costoso y poco conveniente en el desarrollo de proyectos, por las dimensiones resultando de los miembros resistentes. (Cumpa & Quispe, 2019)

Sin embargo, se debe considerar que durante la vida útil de una edificación existe una baja probabilidad de que estos sismos intensos ocurran; por lo que lo que las normas proponen es el uso de un espectro de diseño elástico, aplicando una reducción de las fuerzas sísmicas como se muestra en la *Figura 14* y asumiendo que esta superará su rango elástico y logrará disipar la energía para lo cual se requerirá que sea suficientemente dúctil. (Hernandez & Villamizar, 2017).

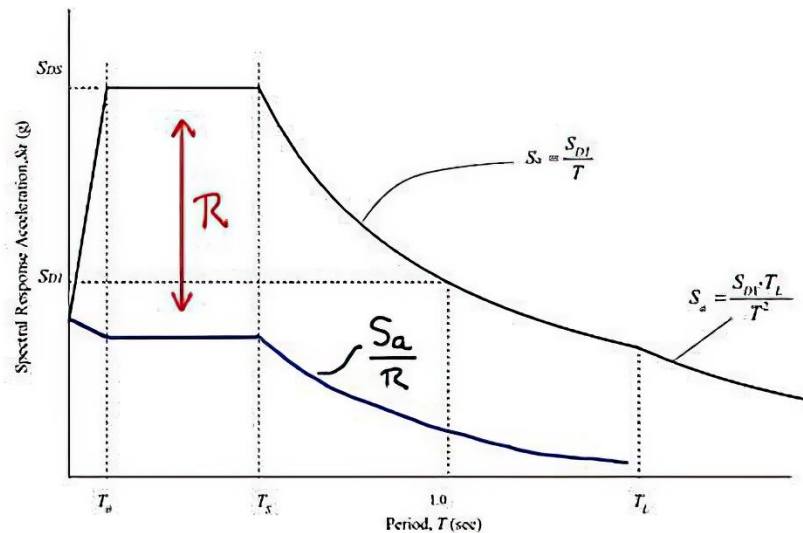


Figure 14: Espectro de respuesta inelástica con factor de reducción R

Fuente: Hernandez & Villamizar (2017)

Hernández (2017) señala que este espectro de diseño inelástico, se puede obtener de forma directa mediante la aplicación de un factor de reducción “R” al espectro de respuesta elástico. La normatividad propone los valores máximos que puede asumir R en función al sistema estructura que presenta la edificación. Básicamente este factor consta del efecto simultáneo de tres parámetros: ductilidad, sobre-resistencia y redundancia. Pudiéndose expresar de esta manera:

$$R = R_{\mu} * R_{\rho} * R_{\Omega} \dots (1)$$

- R_{μ} : Es el factor de ductilidad.
- R_{Ω} : Es el factor de sobre- resistencia.
- R_{ρ} : Es el factor de redundancia.

2.2.4.2. Comportamiento estructural de los edificios ante las cargas sísmicas.

Para poder realizar un buen diseño sismorresistente es necesario contar con un conocimiento profundo de cómo es el comportamiento de las estructuras frente a cargas

sísmicas, ya que no solo basta con cumplir los requisitos exigidos por los reglamentos. (Wakabayashi & Martínez, 1988)

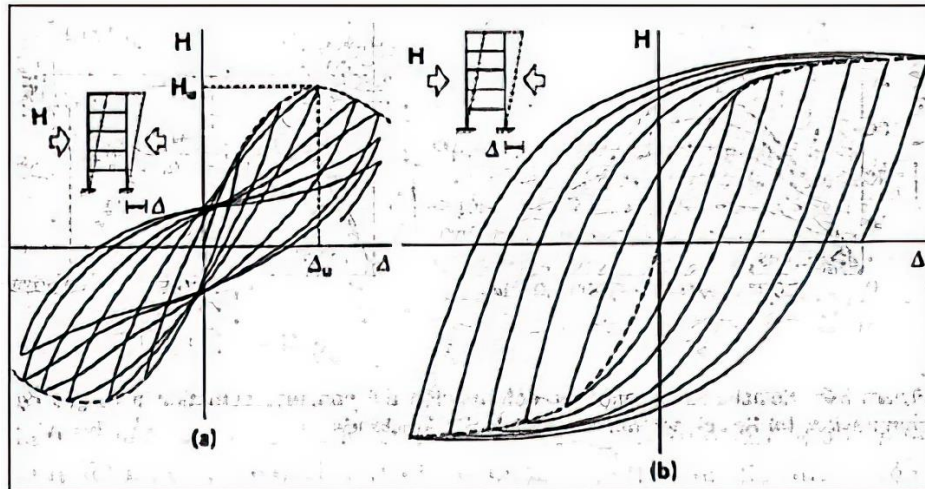


Figure 15: Ciclo histórico de cargas

Fuente: Wakabayashi & Martínez (1988)

En la figura anterior se presenta el comportamiento de aquellas estructuras sometidas a cargas horizontales (ciclo histórico de cargas), evidenciando así en la sección a) un comportamiento deficiente para la estructura ante el efecto de las cargas horizontales y en la sección b) un comportamiento bueno frente a las cargas horizontales.

2.2.5. Diseño por desempeño.

Según Toledo (2011)

“La Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California (SEAOC), fue fundador en manifestar las pioneras disposiciones sísmicas, en los Estados Unidos y en muchos países. En 1959 se publicaron numerosas publicaciones de las Recommended lateral force requirements and commentary, la que se conoce como el Libro Azul de la SEAOC (SEAOC Blue Book)”.

Básicamente se entiende por diseño por desempeño a seleccionar criterios evaluativos apropiados de manera que permitan el dimensionado y detallado de los elementos estructurales y no estructurales. De esta forma para diferentes niveles de demanda sísmica los daños que se ocasionen en estos elementos no superen ciertos estados de daño. (Cumpa & Quispe, 2019)

La ingeniería que se basa en el desempeño se puede definir como una amplia gama de conceptos de ingeniería sísmica que se deben abordar en el diseño de estructuras de comportamiento sísmico predecible. Esta metodología de ingeniería que se basa en el



desempeño se aplica a todo tipo de estructuras en todas las regiones sísmicas. Para realizar este proceso, se debe comenzar seleccionando los objetivos de desempeño e identificando los riesgos sísmicos. Posteriormente a estos, se debe continuar con diseños conceptuales, preliminares y finales, la verificación del diseño, y concluir con la garantía de calidad durante la construcción y el mantenimiento de la edificación después de la construcción. El diseño que se realice y los pasos para la verificación pueden variar en función al enfoque de diseño seleccionado y los objetivos de desempeño. (SEAOC, 1999)

2.2.5.1. Niveles de desempeño sísmico.

Según lo que señala el comité VISION 2000 (1995) los niveles de desempeño que van a definir el estado de daño que tenga una estructura, se pueden entender como una representación de la condición límite que se establece en función a los posibles daños físicos que se puede dar en la edificación. La amenaza que se produce a la seguridad de aquellos que ocupan los edificios inducidos por este tipo de daños y la funcionalidad del edificio después de la actividad sísmica, es una forma de expresar la máxima extensión del daño. Para esto se debe considerar los elementos estructurales como los no estructurales y su contenido, es decir aquellos equipos, instalaciones y otros objetos que se encuentren dentro del edificio relacionado con la función de la edificación. Estos niveles de desempeño suelen ser expresados cualitativamente en términos de significación pública, que se debe entender como la sensación u impacto que se genera en los usuarios del edificio a causa del sismo y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes.

2.2.6. Conceptos de dinámica estructural.

2.2.6.1. Masa y peso.

Se puede entender como masa “ m ” a la medida de la cantidad de materia de un cuerpo y como peso “ w ” a la medida de la fuerza ineludible para impartir una aceleración dada a una masa. En la tierra, al nivel del mar, la aceleración que impone la gravedad del planeta se denomina “ g ” y tiene un valor aproximado de 9.81 m/s^2 , por lo tanto el peso “ w ” que tiene una masa “ m ” en la tierra, al nivel del mar, es igual al producto $w = m * g$ (Wakabayashi & Martínez, 1988).

2.2.6.2. Frecuencia y periodo.

Se entiende como periodo al tiempo que tarda en efectuarse una onda o vibración completa, que suele medirse en segundos “ s ” y se representa con un “ T ” mayúscula. En otras palabras, es el tiempo que una partícula tarda en realizar una oscilación completa.



Por otro lado, se entiende por frecuencia, al número de ciclos producidos por segundo. Suele representarse por la letra minúscula “*f*” y medirse en ciclos/segundo o Hertz “*Hz*”. Este valor coincide con el número de oscilaciones por segundo que realiza un punto al ser alcanzado por las ondas y comparte una relación inversa con el periodo “*T*”.

$$f = \frac{1}{T} = \text{Hz} \dots (2)$$

$$T = \frac{1}{f} = \text{s} \dots (3)$$

2.2.6.3. Rigidez.

Se considera que todo cuerpo maleable que sea expuesto a fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, puede sufrir una desproporción. En ese entender la rigidez se define como la correlación entre dichas fuerzas externas y las desproporciones que estas generan en el cuerpo. Un ejemplo entendible podría ser un resorte helicoidal, como figura en la siguiente imagen. (García, 1998)

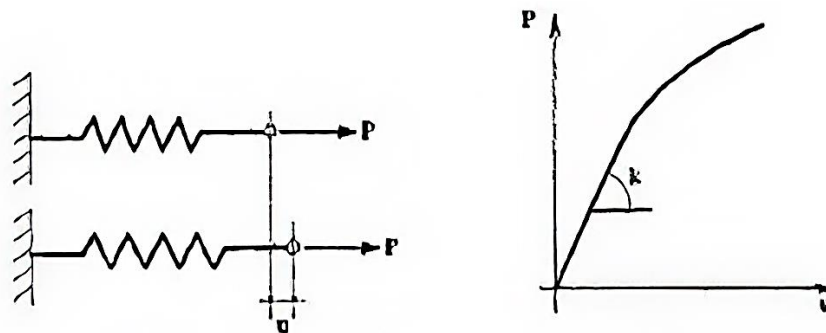


Figura 16: Relación fuerza - desplazamiento para un resorte

Fuente: Wakabayashi & Martínez (1988)

Cuando se estira el resorte (por la aplicación de una fuerza *P* en uno de sus extremos), las deformaciones son resistidas por el trabajo interno que está asociado con la magnitud de la deformación del extremo libre. Es aquí donde se evidencia la relación entre a fuerza que resiste el resorte y la deformación entre sus extremos, tal y como se muestra en la *Figura 17*, aunque es necesario mencionar que esta relación no es totalmente lineal, pero cuando las deformaciones son pequeñas se puede idealizar como una línea recta.

Por lo tanto, podemos definir a la rigidez como la relación entre las fuerzas y los desplazamientos, denominada usualmente por la letra “*k*” y se puede expresar por medio de la siguiente relación:

$$k = \frac{P}{u} \dots (4)$$

2.2.6.4. Amortiguamiento.

Por lo general en todo cuerpo en movimiento, el movimiento tiende a disminuir con el tiempo, dicha disminución está asociada a una pérdida de energía presente en el sistema. Generalmente se produce por las fuerzas de amortiguamiento o de fricción que actúan sobre el sistema. Esta energía, cinética o potencial, se transforma en otras formas de energía tales como calor o ruido y estos mecanismos de transformación de energía suelen ser complejos. Sin embargo, existen varias formas de describir estos fenómenos. (Wakabayashi & Martínez, 1988)

Para fines de esta investigación resulta pertinente hacer hincapié en la definición de amortiguamiento viscoso. Este fenómeno de amortiguamiento hace referencia a que un cuerpo que se encuentra en movimiento dentro de un fluido tiende a perder energía cinética debido a que la viscosidad del fluido se opone al movimiento. Esta pérdida de energía, está directamente asociada con la velocidad del movimiento, pudiéndose expresar matemáticamente de la como lo señala la fórmula 5 y gráficamente como se muestra en la *Figura 18*:

$$F_a = c * x \quad \dots(5)$$

Dónde:

- F_a = Fuerza producida por el amortiguador
- c = Constante del amortiguador
- x = Velocidad relativa entre los dos extremos del amortiguador

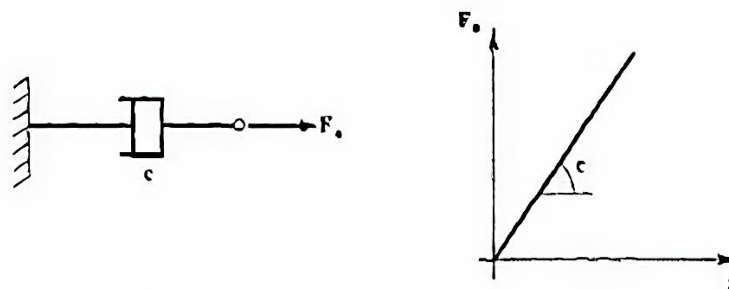


Figura 17: Relación fuerza - velocidad para un amortiguador viscoso

Fuente: Wakabayashi & Martínez (1988)

2.2.6.5. Deriva o distorsión y control de deriva.

Al someter la estructura a fuerzas sísmicas, esta sufre una deformación denominada deriva de entrepiso, distorsión de entrepiso o drift, que viene a ser la relación de los desplazamientos laterales relativos (hallados a partir de la diferencia de los desplazamientos absolutos de los pisos adyacentes) y la altura de entrepiso.



$$Deriva = \frac{\Delta_i}{h_{ei}} \quad \dots (6)$$

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1} \quad \dots (7)$$

Dónde:

Δ_i = Desplazamiento lateral relativo del nivel i

$\delta_i - \delta_{i-1}$ = Desplazamientos laterales absolutos en los niveles i e $i-1$, respectivamente.

h_{ei} = Altura de entrecimpo

Es sumamente necesario e importante inspeccionar la deriva que se produciría en las edificaciones en el lapso de los procesos sísmicos conociendo que el principal perjuicio tanto estructural como no estructural yacen directamente congruentes a los movimientos laterales admisibles de la estructura.

Para poder lograr tal control de la deriva, resulta de vital importancia establecer procedimientos correctos para valorar los desplazamientos, de igual forma es necesario contar con valores máximos permisibles de deriva representativos de los grados de daño estructural y no estructural que se desea manipular. (Insúa, 2004).

La demanda sísmica conjuntamente con la rigidez lateral y el comportamiento inelástico dan origen a los desplazamientos. Para facilitar el proceso de cálculo, las normas de diseño estiman los desplazamientos laterales de las estructuras manejando prototipos elásticos que son generados al reducir mediante un porcentaje el valor inelástico, los valores obtenidos posteriormente son afectados por coeficientes para hallar los valores de derivas de entrecimpo bajo condiciones sísmicas graves. (E.030, 2018).

La geometría de los elementos estructurales y las características de los materiales que los conforman son los principales factores que otorgan rigidez lateral a una estructura, con el pasar del tiempo la estructura sufre un desgaste, reduciendo la rigidez inicial que poseían, es por eso que se recomienda tomar en consideración el desgaste (fisuras) de los elementos estructurales en el cálculo de los desplazamientos laterales. (Insúa, 2004).

2.2.7. Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente.

La Norma Peruana de diseño sismorresistente Norma E.030 rotula que se está permitido manejar un modelo lineal y elástico junto a demandas sísmicas reducidas. En concordancia con lo mencionado, se puede aceptar que las edificaciones ostenten incursiones inelásticas cara a sollicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las fuerzas sísmicas de diseño son una fracción de la sollicitación sísmica máxima elástica. (E.030, 2018).

2.2.7.1. Zonificación.

La Norma Técnica Peruana considera que el territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas, como se muestra en la *Figura 19*. Esta zonificación se basa en la distribución de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos por efecto de la distancia epicentral, así como en información neotectónica.



Figura 18: Mapa de zonificación del Perú

Fuente: Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente

Tabla 6: Factores de zona sísmica

Factores de Zona "Z"		
4		0.45
3		0.35
2		0.25
1		0.10

Fuente: Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente

El Reglamento señala que para cada zona en la que se ha dividido el territorio peruano le corresponde un valor "Z", que debe ser interpretado como la máxima aceleración horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. De igual forma, este factor se expresa como una parte fraccionaria de la aceleración de la gravedad.



2.2.7.2. Estudios de sitio.

La Norma hace referencia a que estos estudios se encuentran limitados solo al lugar de proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. El objetivo principal es determinar los parámetros de diseño, pero no se deberán considerar valores inferiores a los señalados en la norma. (Ministerio de Vivienda, 2016)

2.2.7.3. Perfiles del suelo y parámetros de sitio (S, TP y TL)

Para los efectos de la Norma, los perfiles de suelo deben clasificarse considerando la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte " V_s ", o alternativamente el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo estándar de penetración " SPT " para suelos granulares o el promedio ponderado de la resistencia al corte no drenado " S_u " para suelos cohesivos. Las propiedades mencionadas, se deben verificar para los 30 m superiores del perfil del suelo que se esté analizando, pero esto deberá ser medido desde el nivel de fondo de cimentación.

Se puede dar el caso de que no sea obligatorio realizar un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) o que no se disponga de las propiedades del suelo hasta la profundidad anteriormente indicada; para ambos casos se permite que el profesional responsable estime los valores adecuado sobre la base de las condiciones geológicas conocidas. Se considera los siguientes tipos de suelos:

- Perfil Tipo S0: Roca dura
- Perfil Tipo S1: Roca o suelos muy rígidos
- Perfil Tipo S2: Suelos intermedios
- Perfil Tipo S3: Suelos blandos
- Perfil Tipo S4: Condiciones excepcionales.

Tabla 7: Análisis comparativo del factor suelo

Factor "S"				
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00
Periodo "Tp" y "Tl"				
Perfil de Suelo				
	S0	S1	S2	S3
Tp(S)	0.30	0.40	0.60	1.00
Tl(S)	3.00	2.50	2.00	1.60



2.2.7.4. Factor de amplificación sísmica (C)

Se considera a este factor como el factor de la amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo. La Norma Técnica Peruana indica que este depende de las condiciones de sitio y se puede definir considerando las siguientes expresiones:

$$T < T_p \quad C = 2.5 \quad \dots (8)$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_p}{T} \quad \dots (9)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \quad \dots (10)$$

2.2.7.5. Factor de uso o importancia.

La Norma Técnica Peruana considera diferentes categorías de edificaciones, como se muestra en la Tabla 4.

2.2.7.6. Sistema estructural y regularidades.

a) Sistemas estructurales.

La Norma señala que los sistemas estructurales se clasifican según los materiales que se han usado en la edificación y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal y como se indica en la Tabla 8.

- Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro)

La Norma señala que los sistemas estructurales se clasifican según los materiales que se han usado en la edificación y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal y como se indica en la Tabla 8.

- Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro)

Para el análisis sísmico se deberá manipular el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, así como también el análisis dinámico modal espectral según la NTE E.030.

La norma señala que el procedimiento de análisis dinámico tiempo – historia podrá usarse con fines de verificación y también se permitirá reducir las solicitaciones sísmicas mediante un componente de reducción “R” que depende del sistema estructural, como se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 8: Factor de reducción $R(0)$ a partir del sistema estructural

Sistemas estructurales	
Sistema estructural	Coefficiente básico de reducción
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones NTE E.030

- **Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas R**

El componente de reducción de las fuerzas sísmicas resulta como el producto del componente $R(0)$ determinado a partir de la Tabla 8 y de los factores I_a , I_p obtenidos en la Tabla 10 y 11.

$$R = R(0) * I_a * I_p \quad \dots (11)$$

Los desplazamientos laterales se obtienen multiplicando por $0.75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras regulares, para estructura irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por $0.85R$ los resultados obtenidos del análisis elástico.

- **Desplazamientos laterales relativos admisibles**

El valor máximo desplazamiento lateral de entrepiso que corresponde al sismo de diseño, no deberá exceder a fracción de la altura de entrepiso (derivadas) establecidos por la NTE E030. (E.030, Diseño Sismorresistente, 2017)



Tabla 9: Límites de desplazamiento lateral de entrepiso

Límites para la distorsión del entrepiso	
Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones NTE E.030.

b) Regularidad Estructural

Las estructuras son castigadas con factores de regulares o irregulares, esto con el fin de establecer los procedimientos de análisis y determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

Se considera como estructuras regulares a las que tienen una configuración resistente a cargas laterales y no presentan las irregularidades indicadas en las Tablas 10 y 11.

Por otro lado, se considera como estructuras irregulares a aquellas estructuras que presentan una o más de las irregularidades que se presentan en las siguientes tablas.

Los factores de irregularidad son:

- Factor I_a , que se considera el valor menor de los valores de la Tabla 10 y corresponde a las irregularidades estructurales en altura en ambas direcciones de análisis.
- Factor I_p , que se considera el valor menor de los valores de la Tabla 11 y corresponde a las irregularidades estructurales en altura en ambas direcciones de análisis.

Si aplicando ambas tablas se obtienen valores distintos para las dos direcciones de análisis, se toma para cada factor el menor valor entre los que se obtuvieron.

Tabla 10: Irregularidades estructurales en altura I_a

Irregularidades estructurales en altura	Factor de irregularidad
Irregularidad de rigidez – Piso blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles	0.75



<p>superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidades de resistencia – Piso débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad extrema de rigidez Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 70% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga.</p> <p>Irregularidad extrema de resistencia Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0.50
<p>Irregularidad de masa o peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0.90
<p>Irregularidad geométrica vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0.90
<p>Discontinuidad en los sistemas resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.</p>	0.80
<p>Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25 % de la fuerza cortante total.</p>	0.60

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones NTE E.030



Tabla 11: Irregularidades estructurales en planta Ip

Irregularidades estructurales en planta	Factor de irregularidad
<p>Irregularidad torsional</p> <p>Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta m_{\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (ΔCM). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible.</p>	0.75
<p>Irregularidad torsional extrema</p> <p>Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta m_{\acute{a}x}$), es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga ($\Delta Prom$). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible.</p>	0.6
<p>Esquinas entrantes</p> <p>La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0.9
<p>Discontinuidad del diafragma</p> <p>La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma.</p> <p>También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0.85



<p>Sistemas no paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.</p>	<p>0.9</p>
---	------------

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones NTE E.030

2.2.8. Métodos de análisis sísmico.

La Norma señala que el análisis se debe hacer considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con solicitaciones sísmicas reducidas y que se puede hacer uso de alguno de los siguientes procedimientos:

- Análisis estático o de fuerzas estáticas
- Análisis dinámico modal espectral

De igual forma se indica que se puede realizar un análisis dinámico tiempo historia, pero solo para fines de verificación, mas no, así como sustitutos de los procedimientos indicados anteriormente.

2.2.8.1. Análisis sísmico estático.

Se considera que este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de edificación. Con este procedimiento pueden evaluarse todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1 y en las demás zonas sísmicas puede emplearse en las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30 metros de altura y para estructuras de uros portantes de concreto armado y albañilería armada de no más de 15 m de altura, cuando las estructuras sean irregulares. Se deben tener claros los siguientes conceptos:

a) Fuerza cortante en la base.

La fuerza cortante en la base de una estructura (en función a la dirección considerada) se determina por:

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} * P \quad \dots(12)$$

b) Periodo fundamental de vibración.

El periodo fundamental de vibración para cada dirección que se ha considerado se estima con la siguiente expresión.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad \dots(13)$$



Dónde:

- $C_t = 35 \rightarrow$ Para edificaciones cuyos elementos estructurales resistentes e la dirección de análisis, se considera solamente pórticos de concreto armado.
- $C_t = 45 \rightarrow$ Para edificaciones que sus elementos resistentes en la dirección de análisis sean pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras y pórticos de acero arriostrados.
- $C_t = 60 \rightarrow$ Para edificaciones de albañilería y para todas edificaciones de concreto armado duales, de muros estructurales y muros de ductilidad limitada.

c) Excentricidad accidental

Para estructuras con diafragmas rígidos se supone que la fuerza de cada nivel (F_i) actúa en el centro de masa del nivel respectivo y se considera además de la excentricidad propia de la estructura el efecto de excentricidades accidentales (en cada dirección del análisis) como se indica:

- En el centro de masa de cada nivel, también se considera la aplicación de un momento torsor accidental que se calcula de la siguiente forma:

$$M_{tl} \pm F_l * e_i \quad \dots(14)$$

Considerando para cada dirección de análisis la excentricidad accidental en cada nivel, considerando como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la del análisis.

- Suponiendo las condiciones más desfavorables se debe considerar las excentricidades accidentales con el mismo signo de todos los niveles. Considerando únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales y no las dinámicas.

2.2.8.2. Análisis sísmico modal espectral.

La Norma Peruana indica que cualquier estructura puede ser diseñada utilizando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Modos de vibración.

Los modos de vibración pueden determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y distribución de las masas. Se indica también que en cada dirección se deben considerar aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero se debe considerar tomar en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección del análisis.



b) Aceleración espectral.

Para cada una de las direcciones horizontales que se analizaron se debe utilizar un espectro inelástico de pseudo –aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g \quad \dots(15)$$

Para el caso del análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando valores de C definidos anteriormente con excepción de aquellas zonas con periodos muy cortos ($T < 0.2 T_p$) para lo que se debe considerar:

$$T > 0.2 T_p \quad C = 1 + 1.75 \left(\frac{T}{T_p}\right) \quad \dots(16)$$

c) Criterios de combinación.

Mediante los criterios de combinación se puede obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) ya sea para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamiento totales y relativos de entrepiso. El Reglamento Nacional de Edificaciones indica las expresiones necesarias para determinar los valores.

d) Fuerza cortante mínima en la base.

Para cada dirección considerada en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80 % del valor calculado para las estructuras regulares, ni menor que el 90 % para irregulares.

e) Efecto de torsión.

Existe una incertidumbre en cuanto a la localización de los centros de masa en cada nivel, que se debe considerar mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección del análisis, con el signo más desfavorable.

2.2.8.3. Análisis sísmico tiempo historia.

Este tipo de análisis utiliza un modelo matemático de la estructura que básicamente consiste en considerar directamente el comportamiento histórico de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

La Norma Técnica E.030 indica que para el análisis se usan como mínimo 03 conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los que debe incluir dos componentes en



direcciones octogonales. Estos conjuntos de registros de aceleraciones del terreno básicamente consisten en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Estas historias deben ser obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancias de fallas y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado.

2.2.8.4. Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico”

El 27 de diciembre de 2018 se aprobó bajo decreto supremo Nro. 015-2004-VIVIENDA la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, del Reglamento Nacional de Edificaciones. Con el objetivo de implementar requisitos básicos para la implementación de aisladores sísmicos en el diseño y la ejecución de edificios. Así mismo contempla ensayos para poder aprobar el comportamiento de los dispositivos aisladores.

La Norma E.031 rige requisitos generales de diseño (configuración estructural, sistema de aislamiento), definición del espectro de diseño y registros de aceleración del suelo, procedimiento del análisis estático y dinámico, valores de fuerzas laterales mínima requeridas y derivas máximas permisibles, criterios de revisión del diseño y los distintos ensayos que verifican el comportamiento (ensayos de cualificación, ensayos dinámicos, ensayos de aisladores en obra, etc.). El siguiente gráfico representa el conjunto de elementos estructurales que conforman los aisladores, los elementos transmisores de fuerzas y sus conexiones.

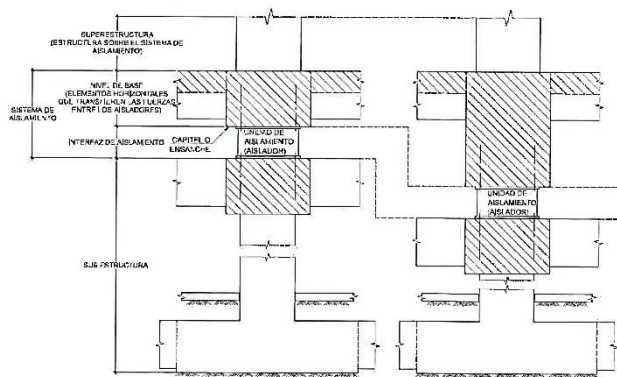


Figura 19: Sistema de Aislamiento Norma E.031

Fuente: Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico

Con la implementación de esta Norma Técnica, los profesionales competentes cuentan con lineamientos técnicos mínimos que deben cumplir en el diseño de sistemas de aislamiento en la elaboración de un proyecto.

La creación y aprobación de esta Norma Técnica es evidencia de la preocupación que existe en nuestro país de querer implementar y concientizar a los ingenieros con los sistemas de protección sísmica, para considerar estas tecnologías en los proyectos de edificaciones, sabiendo lo destructivo que pueden llegar a ser los sismos y la gran pérdida que ocasionan.



2.2.9. Edificaciones con sistemas de disipación de energía

2.2.9.1. Enfoque sismorresistente tradicional

La respuesta sísmica de una edificación, según la perspectiva usual del diseño Sismo resistente, está apoyado en la capacidad de la propia estructura para amortiguar la energía interpuesta por el sismo mediante una combinación de propiedades conocidas como son la, rigidez, ductilidad y resistencia.

Se sabe que la estructura obtendrá un proceder flexible ante sismos leves y uno inelástico cuando este sujeto a sismos moderados o anómalos. Este segundo comportamiento se distingue por la disipación de energía a través de desproporciones no recuperables que se agravan conforme la deriva de entrepiso se incrementa, teniendo como consecuencia daño estructural y no estructural cuantioso. Esta técnica convencional requiere de una elevada inversión económica, además de eventualmente, no lograr satisfacer los requerimientos arquitectónicos. Este enfoque tradicional del diseño sismo resistente ha llevado a los ingenieros a puntualizar las edificaciones con bastante ductilidad para advertir fracasos repentinos y catastróficos conforme la estructura va entrando en el rango inelástico. (Tirapo, 2013)

El diseño Sismo resistente tradicional, el mismo que se presenta en la Norma Peruana, tiene el objetivo principal de mantener las derivas de la estructura por debajo de su límite máximo incrementando la rigidez. Este incremento por lo general es causante de altas vibraciones, que generan daño no estructural en una edificación, esto se refiere cuando los periodos de vibración del edificio son largos, estos periodos están relacionados a la rigidez, la masa y la altura de las edificaciones y se miden con el tiempo requerido para completar un ciclo de oscilación (*seg*). (Guevara Huatuco, 2012).

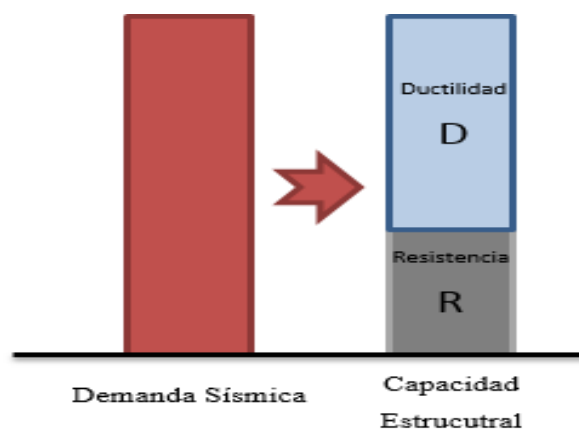


Figura 20: Enfoque estructural clásico

Fuente: Zuen & Galán (s.f.)



Figura 21: Enfoque estructural con disipadores de energía

Fuente: Zuen & Galán (s.f.)

Por estos motivos, en los años recientes se originan métodos innovadores para registrar la respuesta sísmica de la estructura, que alteran sus propiedades dinámicas de la forma que sea, controlando o disipando un gran porcentaje de la energía otorgada por el sismo.

2.2.9.2. Enfoque sismo resistente con sistemas de protección por disipación de energía

Hoy por hoy concurren incomparables sistemas y técnicas de protección sísmica, métodos que poseen grandes ventajas sobre la tecnología convencional. Podemos encontrar desde más básicos dispositivos de control pasivo hasta los más complejos sistemas completamente activos, los más conocidos incluyen los sistemas de aislamiento sísmico y los sistemas de disipación de energía.

Esta tecnología de protección sísmica posee una clasificación de cuatro grandes grupos, como se aprecia a continuación. (Guevara Huatuco, 2012).



Figura 22: Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica

Fuente: Zuen & Galán (s.f)

Los métodos de defensa sísmica por amortiguamiento tienen como finalidad dominar los desplazamientos relativos de entrepiso y por tanto reducir el daño estructural. Esto se logra mediante un aumento de la colaboración del amortiguamiento viscoso en la disipación de energía sísmica.

Cuando un edificio no presenta dispositivos de amortiguamiento, la energía total ingresada a través del movimiento sísmico es disipada en su gran mayoría mediante energía de deformación elástica e inelástica (de forma histerética), mientras que la participación de la energía de amortiguamiento viscoso es casi nula. (Guevara & Torres, 2012)

Al usar un sistema de amortiguamiento, la energía de entrada es balanceada de tal forma que la energía de amortiguamiento viscoso incrementada su participación, comprometiendo menos la capacidad elástica e inelástica de la estructura. Esta redistribución de la energía se ilustra en la siguiente figura.

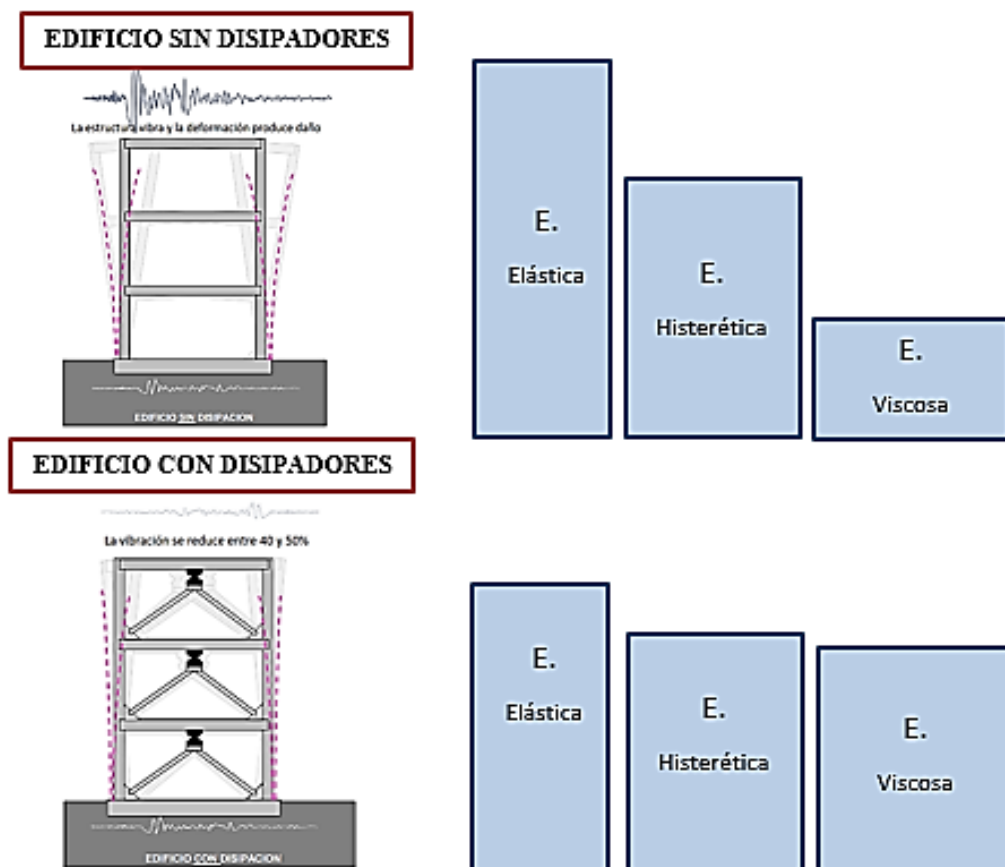


Figura 23: Distribución de la energía sísmica en un edificio sin disipadores y en otro con disipadores

Fuente: Guevara & Torres (2012).

La ecuación de energía absoluta (A. Muñoz. Ingeniería Sismorresistente) muestra:

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{elástica}} + E_{\text{histerética}} + E_{\text{Viscoso}} = \text{Constante} \quad \dots (17)$$

Al lado derecho de la ecuación (17) se encuentra la capacidad de la estructura y al lado izquierdo, la energía que demanda el sismo.

Una consecuencia directa de la adición de amortiguadores es una reducción de la disipación inelástica o histerética (E_h), ya que como indica la ecuación, la energía de entrada (E_i) se mantiene constante durante el evento sísmico. El edificio ya no tiene que absorber la totalidad de energía sísmica por sí mismo, si no que una porción de esta energía es absorbida por el sistema de amortiguamiento (E_v). (Alvarez, 2010).

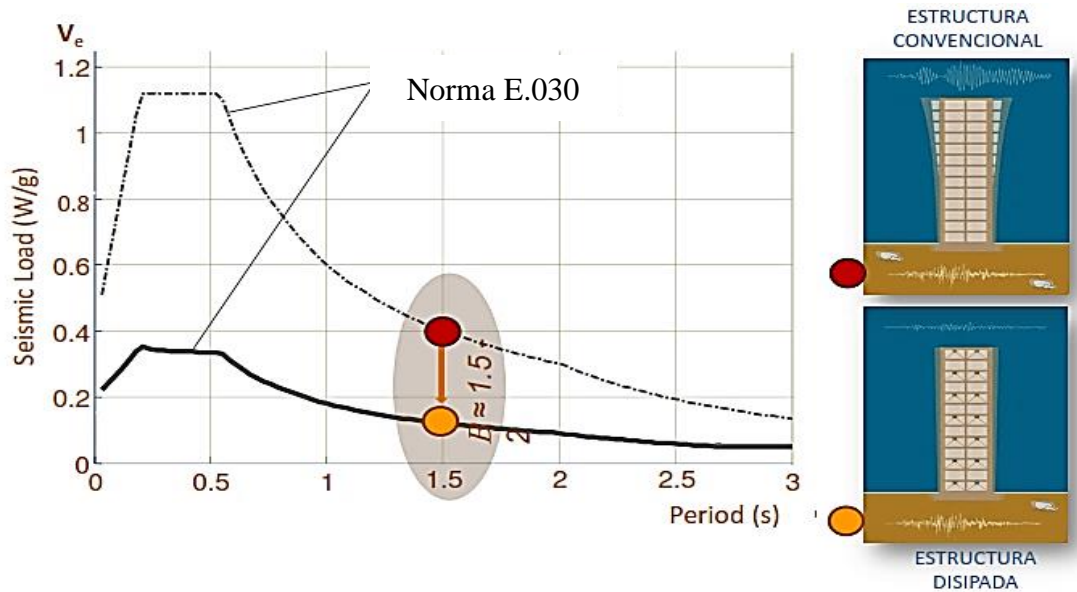


Figura 24: Reducción en las demandas de resistencia debido al incremento de amortiguamiento

Fuente: Alvarez (2010)

2.2.10. Amortiguadores Bouc Wen

Para poder entender el comportamiento de los amortiguadores se plantearon gran cantidad de modelos escritos, uno de los más elementales, y que sirvió de base para futuras investigaciones, fue del señor Spencer et.al. (1996).

El modelo Bouc-Wen, tiene la capacidad de capturar analíticamente ciclos histeréticos de distintas formas coincidiendo con el comportamiento de distintos sistemas físicos. Considerando la ecuación de movimiento de un grado de libertad:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + F(t) = f(t) \quad \dots (18)$$

Dónde:

m = La masa

x = El desplazamiento



c = Coeficiente de amortiguamiento viscoso lineal

$F(t)$ = Fuerza de restauración

$f(t)$ = Fuerza de excitación; considerando que el punto representa la derivada con respecto al tiempo. Por otra parte, la fuerza de restauración viene dada por:

$$F(t) = ak_i + (1 - a)k_i z \quad \dots (19)$$

Dónde:

$a = \frac{k_f}{k_i}$ = Razón de rigidez elástica y plástica

k_f = La rigidez plástica

$k_i = \frac{f_y}{x_y}$ = La rigidez elástica.

F_y = Fuerza que caracteriza el comienzo de la plastificación

x_y = Desplazamiento correspondiente a la plastificación inicial

z = Parámetro adimensional asociado al ciclo histerético, está definido por la siguiente ecuación diferencial.

$$\dot{z} = -\gamma|\dot{x}||\dot{z}|^{n-1}z - \beta\dot{x}|\dot{z}|^n + A\dot{x} \quad \dots (20)$$

Dónde:

A = Factor de escala

β y γ = Parámetros de forma, ($A, \beta > 0$)

n = Factor que regula la suavidad de la transición entre la zona lineal y no lineal.

($n = \infty$, recupera la histéresis plástica), Spencer et al. (1996) fue el que describió el efecto del parámetro n en forma de curva histerética. Al descomponer la fuerza restauradora encontramos dos partes, una elástica y otra histerética, siendo representadas respectivamente por:

$$F^{el}(t) = ak_i x \quad \dots (21)$$

$$F^h(t) = (1 - a)k_i z \quad \dots (22)$$

Por lo tanto, es posible modelar la fuerza restauradora como un sistema de dos vías.

El Modelo Bouc-Wen caracteriza el fenómeno de histéresis en los amortiguadores, la suma de tres factores importantes describe la fuerza total de amortiguamiento como se observa en la imagen:

- Viscosidad
- Rigidez
- Histeresis

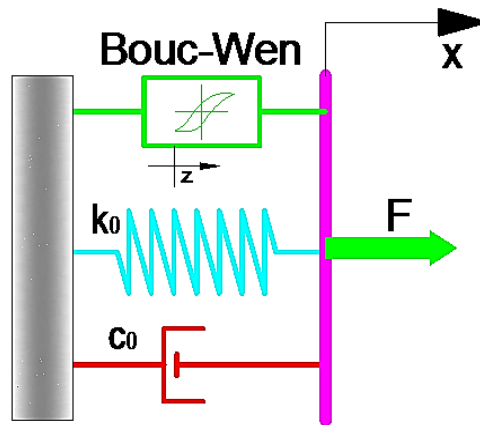


Figura 25: Representación simbólica Modelo Bouc-Wen

Fuente: Spencer (2010)

$$F(t) = c_0 \dot{x} + k_0 x + \alpha z \quad \dots \quad (23)$$

Los dos primeros componentes describen el amortiguamiento y la rigidez inherente al amortiguador; y la tercera describe la parte histerética.

Por otra parte la extensa cantidad de parámetros que contempla el modelado y la dificultad de hallarlos vuelve un tanto dificultoso el uso de este modelo. El autor realizó pruebas experimentales que grafican el comportamiento del amortiguador relacionando fuerzas-desplazamientos y fuerzas-velocidades. Domínguez, et al (2004) planteó determinar los parámetros del modelo Bouc-Wen a partir del desacoplo de las tres curvas que representan la viscosidad (línea recta), el efecto resorte (curva entrecortada) y el comportamiento histerético (curva continua), este último causado por la variable evolutiva dependiendo del signo de z y \dot{x} . Para el siguiente gráfico que muestra la variación existente de la relación fuerza-velocidad considerando un valor de $n=2$.

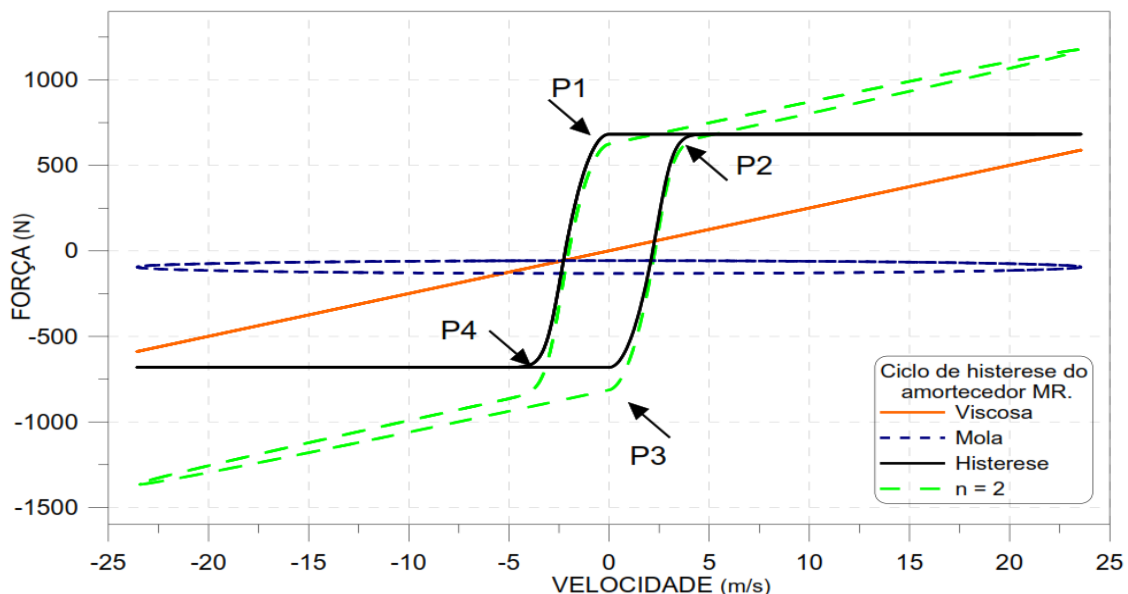


Figura 26: Componentes de la formulación del amortiguador Bouc-Wen

Fuente: Pezo (2012)

El siguiente gráfico representa la variación de la relación fuerza-velocidad para distintos valores de n . Indicando que el radio de la curvatura disminuye en la amplitud de la transición desde los puntos $P1$ y $P3$ mientras mayor sea el valor de n .

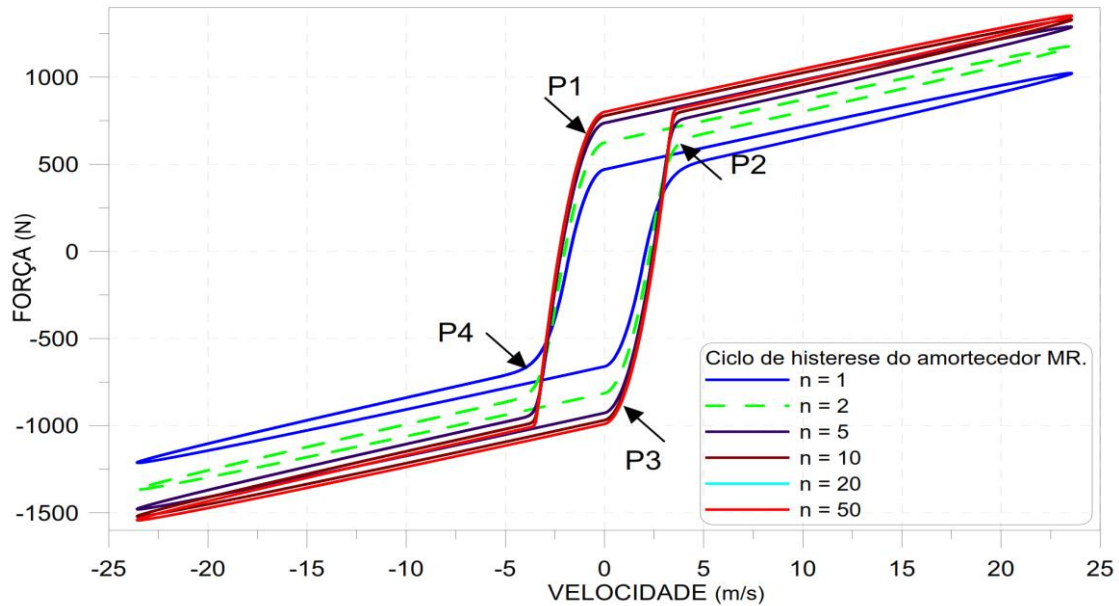


Figura 27: Influencia del parámetro n en el ciclo histéretico del amortecedor.

Fuente: Pezo (2012)

El análisis numérico del modelo Bouc-Wen en el amortecedor, Spencer, et al (1996) realizó pruebas experimentales, sometiendo al amortecedor a una fuerza onda sinusoidal con una amplitud de 1.5cm y una frecuencia de 2.5Hz. El siguiente gráfico representa los resultados obtenidos, donde se aprecia los distintos valores que componen la respuesta del modelo de Bouc-Wen.

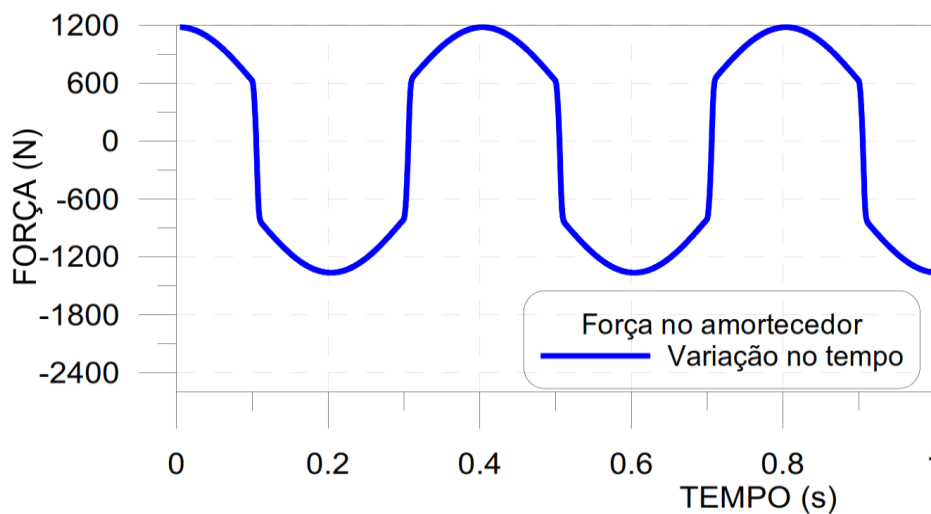


Figura 28: Variación de fuerza en el amortecedor a lo largo del tiempo

Fuente: Pezo (2012)

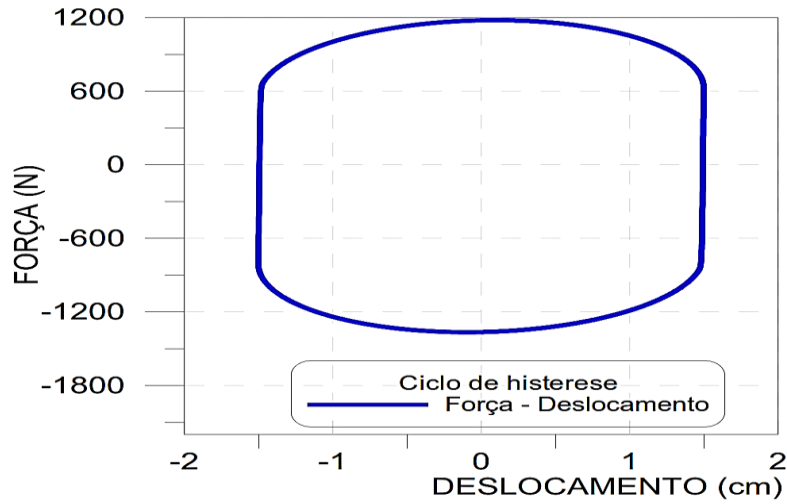


Figura 29: Ciclo de histeresis –Fuerza Vs Desplazamiento

Fuente: Pezo (2012)

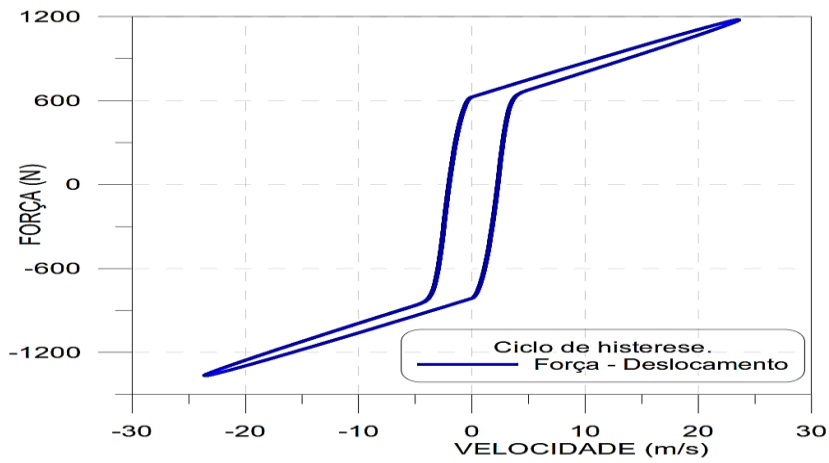


Figura 30: Ciclo de histeresis –Fuerza Vs Velocidad

Fuente: Pezo (2012)

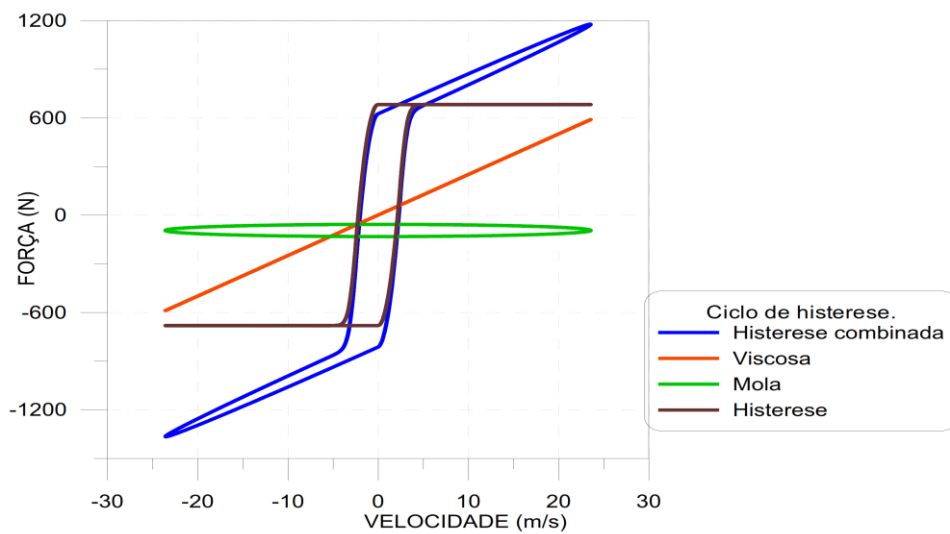


Figura 31: Descomposicion de los factores en el comportamiento histerético no lineal en el modelo de Bouc-Wen

Fuente: Pezo (2012)



2.2.11. Dispositivos pasivos de disipación de energía

2.2.11.1. Clasificación de los dispositivos pasivos de disipación de energía

Los mecanismos de control pasivos se basan en dispositivo maquinamente simple que responden de forma inercial a la acción sísmica y, a diferenciar del resto de sistemas, son más económicos y no dependen de fuentes de energía para funcionar.

Los dispositivos de disipación de energía se clasifican en dos grandes categorías: dependientes del desplazamiento y dependientes de la velocidad. Asimismo, se considera como una tercera categoría aquellos dispositivos que dependen del desplazamiento y la velocidad.

- **Dependientes del desplazamiento:** Dispositivos de fluencia metálica y dispositivos por fricción.
- **Dependientes de la velocidad:** Disipadores fluido-viscosos.
- **Dependientes del desplazamiento y de la velocidad:** Disipadores fluido visco-elástico y disipadores sólidos visco-elásticos. (Sarmiento, 2009).

Para fines de esta investigación, solo se ha visto por conveniente ahondar teóricamente en disipadores de fluido-viscoso, por lo que se define lo siguiente:

a) Disipadores dependientes de la velocidad

Estos dispositivos disipan energía utilizando la velocidad relativa de cada piso. Sin causar efecto alguno en la rigidez de la estructura, motivo por el cual el periodo de la edificación se mantiene igual.

- **Disipadores fluido-viscosos.** - Conocidos como amortiguadores de fluido-viscoso. Su uso se limitaba a la industria militar y aeronáutica. Pero en los años recientes se extendió a la industria de la construcción, implementando exitosamente en edificaciones y puentes en Estados Unidos, Japón, Chile y otros países. (Sarmiento, 2009).

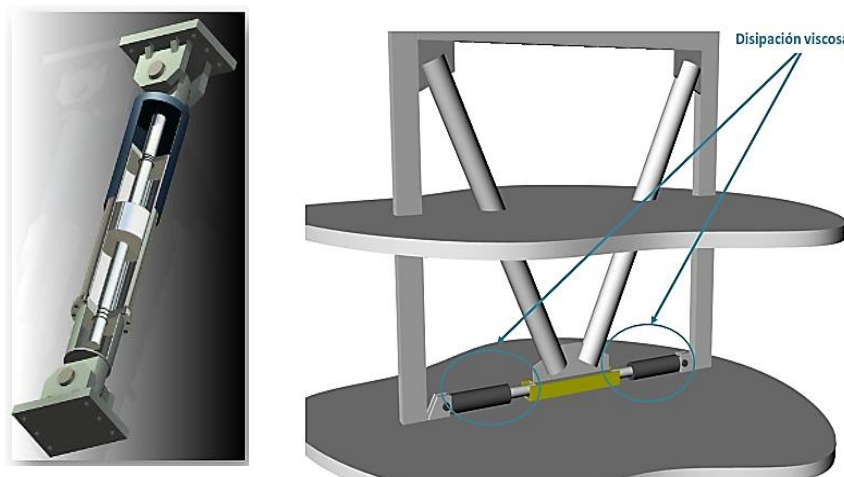


Figura 32: Dispositivos de disipación – fluido viscoso

Fuente: Alvarez (2010)

2.2.11.2. Modelo matemático de un disipador de energía

Cuando se introducen disipadores de energía a un edificio, estos se dividen en dos sistemas autónomos, el sistema estructural, compuesto por los elementos de concreto armado o acero que componen la estructura y el sistema de disipación, compuesto por los disipadores viscosos, conexiones metálicas y elementos de concreto o acero que estén conectados directamente a ellos.

- **Representación física del disipador de energía**

Se consideran las configuraciones Chevron y diagonal tal como se ilustra en la siguiente figura.

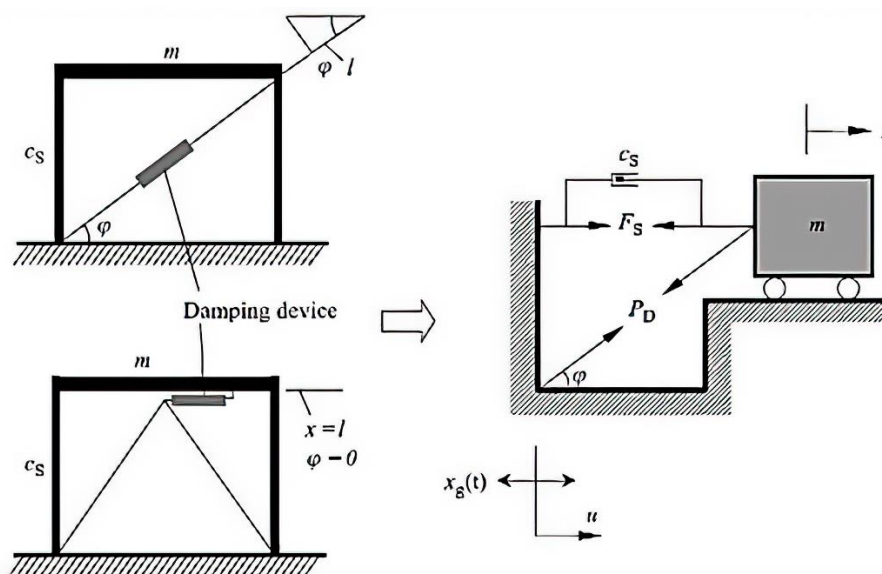


Figura 33: Modelo dinámico del sistema de amortiguamiento de un solo grado de libertad (Disposición diagonal y Chevron)

Fuente: Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control” – 2008

La rigidez axial de sistema viene gobernada por la rigidez del elemento que contiene el disipador, llamado brazo metálico. La rigidez de este brazo es mucho mayor que la del dispositivo de amortiguamiento. Por esa razón, los brazos pueden ser asumidos como elementos infinitamente rígidos.

Esta suposición y las condiciones de equilibrio nos permiten definir la ecuación dinámica de la estructura con un sistema de amortiguación de un solo grado de libertad. (Hongping, 2008).

$$m\ddot{x} + C_S\dot{x} + D + Q = -m\ddot{x}_g \quad \dots (24)$$

$$m\ddot{x} + C_S\dot{x} + P\cos\varphi + Q = -m\ddot{x}_g \quad \dots (25)$$



Dónde:

- **m**: Masa de la estructura, concentrada a nivel del techo.
- **Cs**: Coeficiente de amortiguamiento.
- **Q**: Expresión general que considera el comportamiento no lineal de la fuerza estructural.
- **P**: Fuerza definida a lo largo del movimiento del sistema de disipación.
- **D**: Componente horizontal de la fuerza.
- **x(t)**: Desplazamiento de entrepiso
- $\ddot{x}-\ddot{x}_g$: Aceleración estructural y aceleración del suelo
- φ : Ángulo que depende de la configuración del sistema de disipación y sus refuerzos.

La ecuación mostrada representa de manera general la conducta de una estructura con dispositivos de amortiguamiento sometida a una fuerza sísmica.

Finalmente es de importancia destacar que la expresión que representa la fuerza en el dispositivo de amortiguamiento (P) es única para cada tipo de disipador; debido a que cada uno presenta distintas propiedades y características. (Hongping, 2008)

• Modelo de un amortiguador individual

La manera más simple de visualizar un amortiguador individual en la estructura es mediante el modelo Maxwell. Considerando un resorte lineal (Driver) en serie con un amortiguador puramente viscoso (Damper).

Y este dispositivo es utilizado por el software ETABS con el fin de modelar el comportamiento de los Dispositivos de Energía del tipo Viscoso, tanto Lineal como No Lineal. (Miyamoto, 2010).

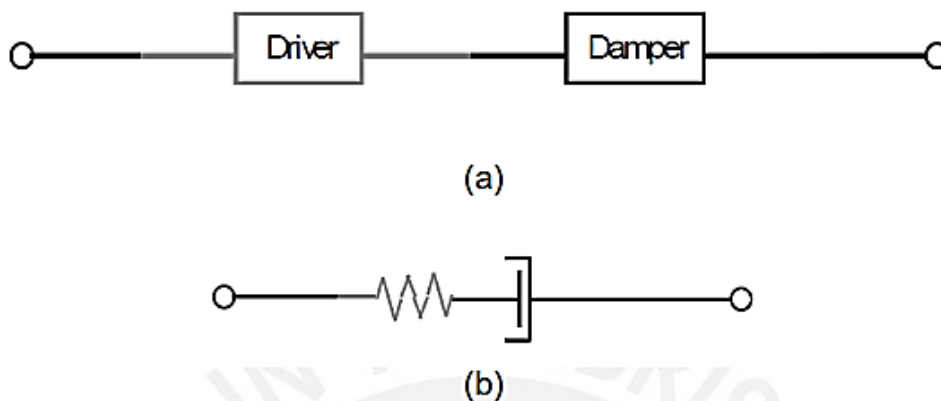


Figura 34: Elemento dámper, utilizado por Etabs para modelar el disipador de energía de fluido viscoso.

Fuente: Tokyo Institute of Technology (2010)

La fórmula que idealiza la relación fuerza-desplazamiento con la velocidad del modelo Maxwell es:

$$F = K_D \mu = C [\text{sgn}(v)] v^\alpha \quad \dots (26)$$

Dónde:

- **F**: Fuerza en el amortiguador.
- **K_D**: Rigidez elástica del resorte.
- **C**: Coeficiente de velocidad del amortiguador.
- **α**: Exponente de velocidad.
- **u**: Deformación axial.
- **[sgn(v)]**: Función signo.
- **v**: Velocidad axial.

Debe tenerse en cuenta que esta representación no admite ningún estado límite de fuerza o desplazamiento ante un sismo de una magnitud elevada. En el Instituto Tecnológico de Tokio se realizaron investigaciones con el objetivo de encontrar un modelo que considere todo tipo de estado crítico del sistema para amortiguadores fluido viscoso. Con este modelo se estimaría un nivel de riesgo más real. (Miyamoto, 2010).

La siguiente figura muestra el modelo matemático resultante de estas investigaciones.

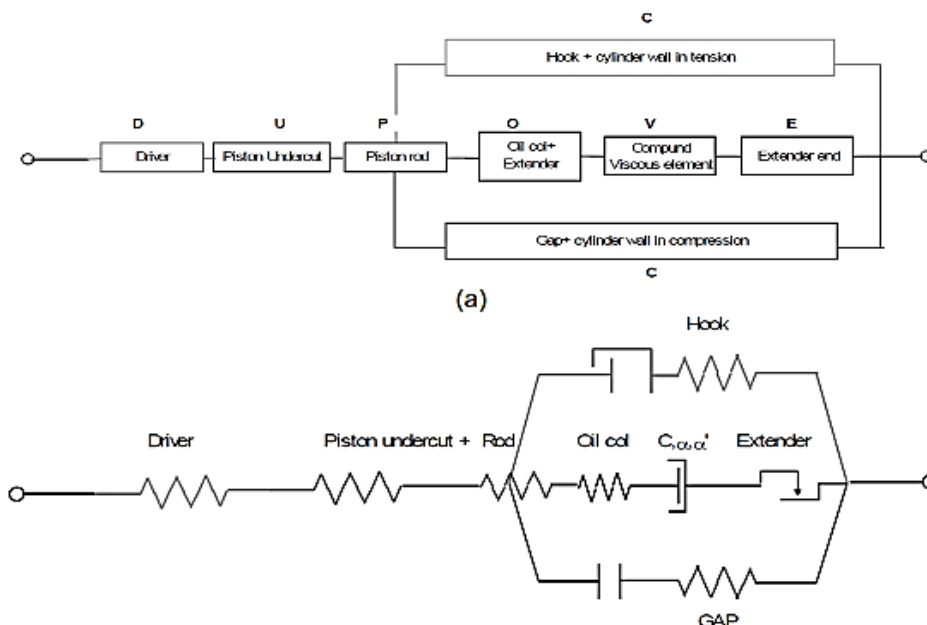


Figura 35: Diagrama de bloques (a) y representación matemática (b) detallada del modelo del dispositivo de amortiguamiento viscoso.

Fuente: Tokyo Institute of Technology (2010)

En el software de cálculo estructural ETABS, el modelo del disipador es del tipo Maxwell. De esta manera el amortiguador puede modelarse como elemento tipo “Link”, para después asignarle propiedades “Damper” del tipo lineal o no lineal.



2.2.11.3. Disipadores de energía del fluido viscoso

Estos dispositivos son básicamente recipientes llenos de un fluido que deben mantenerse en condiciones de servicio durante el período de vida de la estructura a la que sirve. A diferencia de otros tipos de dispositivos, no aportan mayor rigidez ni resistencia al sistema. Además, no añaden fuerzas al sistema debido a su comportamiento fuera de fase con la estructura. El comportamiento fuera de fase con la estructura puede explicarse recurriendo al comportamiento de un fluido viscoso, cuya fuerza resistente incrementa al aumentar la velocidad con la que es comprimida.

Dicha propiedad causa que la velocidad de la estructura sea cero cuando alcance su deformación máxima y por lo tanto la fuerza generada por el dispositivo, por deberse al fluido viscoso, es también cero. Podemos concluir entonces que estos dispositivos tienen la propiedad de disminuir simultáneamente las deformaciones y los esfuerzos en la estructura. En la literatura especializada este comportamiento se denomina: “fuera de fase”. (Namuche, 2012).

a) **Ecuación general.** - La ecuación simplificada de estos dispositivos es la siguiente

$$F = CV^\alpha \quad \dots (27)$$

Dónde:

- **F:** Fuerza en el disipador - (Lb) o (Tn).
- **C:** Constante de amortiguamiento – (pulg/seg) o (m/seg). Determinada principalmente por el diámetro de la compuerta y el área del orificio.
- **V:** Velocidad relativa entre el amortiguador (Lb * seg/pulg) – (Tn * seg/m).
- **α :** Exponente de velocidad (0.1 – 1.0).
- Los valores de α , los cuales han demostrado ser más populares están en el rango de 0.4 a 0.5 para el diseño de edificaciones con registros sísmicos. (Miyamoto, 2010). (FEMA, 1997)

2.2.11.4. Propiedades de los disipadores de fluido viscoso

- **Coefficiente de amortiguamiento “C”**

Es la constante de amortiguamiento del disipador, y está relacionado a las propiedades del fluido inmenso dentro del dispositivo. Debe ser definido por el proyectista de acuerdo al amortiguamiento objetivo.



Su cálculo parte de una estimación que depende directamente del tipo de disipador utilizado (lineal o no lineal) y del amortiguamiento objetivo (FEMA, 1997). A continuación, se exponen dichas expresiones:

- **Disipador viscoso lineal**

Un valor inicial estimado del coeficiente de amortiguamiento “C” para dispositivos lineales puede obtenerse con la ecuación siguiente, la cual estima el amortiguamiento efectivo, esto según (FEMA 274) y ratificado en la Norma “*Minimum Design Loads for Building and Other Structures*”, ASCE7/SEI 7-10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston Virginia, USA, 2010.

$$\text{Amortiguamiento efectivo necesario} = \beta_{\text{viscoso inherente}} + \frac{\# \text{ disip } T \sum c_j \text{Cos}^2 \theta_1 \varphi_{rj}^2}{4\pi \sum m_i \varphi_1^2} \quad \dots (28)$$

Dónde:

- $\beta_{\text{viscoso inherente}}$: Amortiguamiento viscoso efectivo
- T : Periodo de la estructura
- φ_1 : Desplazamiento del modo de vibración del periodo fundamental
- φ_{rj} : Masa de entrepiso
- θ_1 : Ángulo de inclinación de disipadores J

Esta fórmula considera un coeficiente de amortiguamiento constante para todos los dispositivos. Sin embargo, se conoce experimentalmente que la eficiencia de los disipadores en los pisos superiores es menor que la que se presenta en los niveles inferiores debido a la importancia de los primeros modos. (FEMA, 1997).

- **Disipador viscoso no lineal**

Un valor inicial estimado del coeficiente de amortiguamiento “C” para dispositivos no lineales puede obtenerse con la ecuación siguiente, la cual estima el amortiguamiento efectivo, esto según (FEMA 274) y ratificado en la Norma “*Minimum Design Loads for Building and Other Structures*”, ASCE7/SEI 7-10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston Virginia, USA, 2010.

$$\text{Amortiguamiento efectivo necesario} = \beta_{\text{viscoso inherente}} + \frac{\# \text{ disip } \lambda \sum c_j \text{Cos}^{1+\alpha} \theta_1 \varphi_{rj}^{1+\alpha}}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum m_i \varphi_1^2} \quad \dots (29)$$

Dónde:

- λ : Valores tabulados en la publicación FEMA 274 a partir de la siguiente ecuación.

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{r^2 (1+\frac{\alpha}{2})}{r (2+\alpha)} \quad \dots (30)$$



- A: Amplitud del desplazamiento del modo fundamental de la estructura.
- ω : Frecuencia angular fundamental de la estructura ($\omega=2\pi f$).
- Γ : Función gamma
- α : Exponente de velocidad

El parámetro lambda depende de la función gamma $\Gamma(\alpha)$ definida por Euler, la cual extiende el concepto de factorial a los números complejos y es ampliamente usada en temas de probabilidad y estadística. Las funciones gamma $\Gamma^2 (1+\alpha/2)$ y $\Gamma (2+ \alpha)$ se resuelven mediante la integración por partes. (FEMA, 1997).

El FEMA 274 y ASCE/SEI 7-10 facilita una tabla que permite obtener el parámetro lambda directamente con el valor del exponente de velocidad α :

Tabla 12: Valores del parámetro λ

Exponente (α)	Parámetros (λ)
0.25	3.7
0.5	3.5
0.75	3.3
1	3.1
1.25	3
1.5	2.9
1.75	2.8
2	2.7

Fuente: FEMA 274 – Agencia Federal para el Manejo de Emergencia, Washington D.C. Octubre 1997, página 365

• **Exponente de velocidad “ α ”**

El exponente de velocidad “ α ” describe el comportamiento histerético de los disipadores, en otras palabras, propone la disposición de los lazos histeréticos. Este exponente define la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad.

Para el caso de edificaciones se recomienda el uso de $\alpha < 1$, típico de un disipador no lineal. Cuando el disipador cumple esta condición, logra minimizar golpes de velocidad con una baja fuerza en el disipador. Para disipadores lineales el valor de α es igual 1. En estos dispositivos la fuerza es proporcional a la velocidad relativa esto provoca un comportamiento fuera de fase. (FEMA, 1997).

“Fuerza máxima en la estructura” \longrightarrow “Fuerza mínima en el disipador”.

La siguiente figura ilustra el comportamiento en el amortiguado al variar el valor de α , demuestra la eficiencia de los disipadores no-lineales para aminorar altos shocks de velocidad en comparación con los disipadores lineales. Para bajas velocidades relativas, los disipadores no lineales reaccionan con una mayor fuerza de amortiguamiento. (Miyamoto, 2010).

Según el especialista Hideki Kit Miyamoto, recomienda utilizar valores de α entre 0.4 y 0.6 para estructuras comunes.

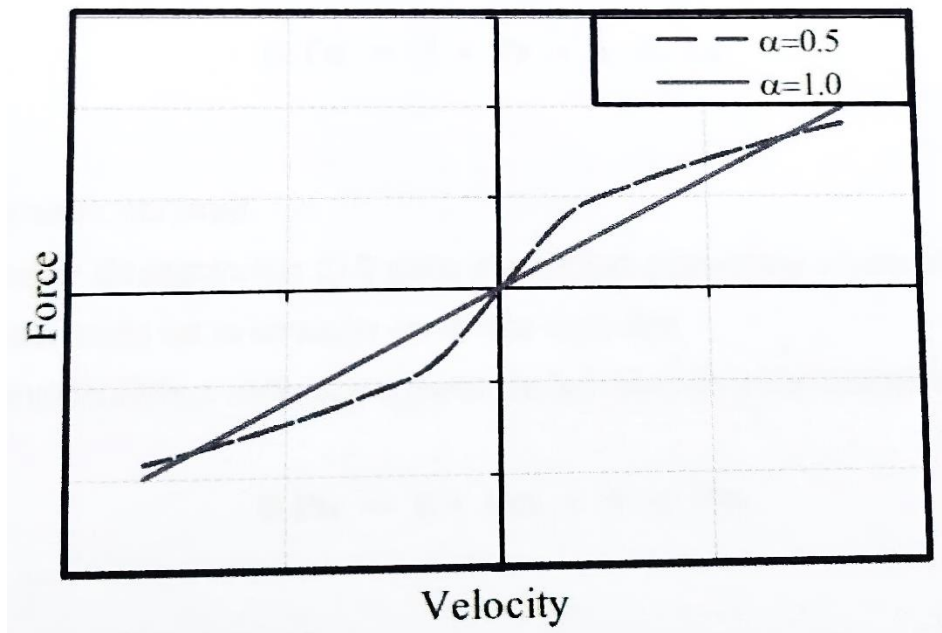


Figura 36: Relaciones fuerzas - velocidad de disipadores viscoso

Fuente: Tokyo Institute of Technology (2010)

- **Rigidez del dispositivo “K” (Rigidez del brazo metálico)**

De acuerdo a lo expuesto, la rigidez del dispositivo es la rigidez del brazo metálico que lo conecta a la estructura principal. Esto debido a que la rigidez axial del dispositivo es mucho menor a la del brazo, cuyo valor se determina con la siguiente ecuación. (Miyamoto, 2010).

$$K = E \cdot A / L \quad \dots(31)$$

Dónde:

- E: Coeficiente de elasticidad del acero
- A: Área de la sección del brazo metálico
- L: Longitud del brazo metálico



Es muy común utilizar perfiles HSS o tipo PIPE por razones de estética y por su facilidad de instalación. En el proceso de diseño del brazo metálico se deben validar las siguientes expresiones.

$$\phi T_n = \phi + F_{cr} * A < P_u \quad \dots (32)$$

Dónde:

- T_n : Tensión nominal
- ϕ : Factor de reducción (0.9 para elementos sometidos a tracción)
- A : Área bruta de la sección de brazo metálico
- T_u : Tensión última obtenida a partir de las fuerzas del disipador

$$\phi P_n = \phi + F_{cr} * A < P_u \quad \dots (33)$$

Dónde:

- P_n : Compresión nominal
- P_u : Compresión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador
- Hideki Kit Miyamoto recomienda iniciar con el proceso de iteración planteando un valor de 2000 kips/in, el cual será posteriormente afinado. (Miyamoto, 2010).

2.2.11.5. Esquema del dispositivo

Los disipadores de energía de fluido viscoso están clasificados como elementos pasivos para la disipación de la energía porque requieren de una excitación interna, que en este caso vendría a ser la velocidad, para poder iniciar su desplazamiento interno. El proceso de disipación se produce por la conversión de energía cinética en calor.

De manera general se sabe que el dispositivo consiste de dos elementos: un cilindro y un pistón de acero inoxidable. El cilindro tiene en su interior silicona incompresible como fluido viscoso, el cual permite que el sistema de amortiguamiento logre mantener una estabilidad dentro de un rango considerable de variaciones de temperatura.

La activación de este dispositivo se da mediante la transferencia del fluido de silicona a través de comportamiento en lados opuestos de la unidad mediante pequeños orificios. Las propiedades del dispositivo por lo general son especificadas por el proyectista, pero la responsabilidad del fabricante desarrollarlas mediante variaciones en la construcción

mecánica y las propiedades de los orificios. Estos detalles deben ser tomados en cuenta para determinar si es un amortiguador lineal o no lineal.

De manera referencial, a continuación, se presenta un esquema de un amortiguador y la descripción de sus partes principales.

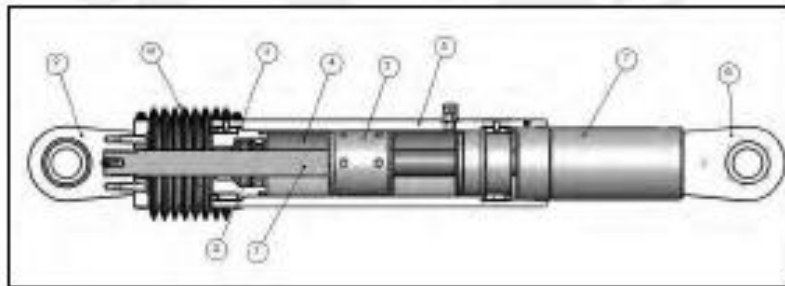


Figura 37: Esquema general de un disipador de energía Taylor Devices INC

Fuente: Guevara & Torres (2012)

Dónde:

Vástago de acero inoxidable.

1. Cabeza del pistón de acero sólido o de bronce.
2. Sellos / rodamientos de sello, juntas dinámicas.
3. Fluido viscoso, silicona incompresible.
4. Cilindro con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
5. Tapa con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
6. Extender, acero al carbono forjado en aluminio con protección contra la corrosión.
7. Horquilla final con tratamiento térmico de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
8. Cojinete esférico forjado con aleación de acero de calidad aeronáutica.
9. Fuelle, nylon reforzado de inicio de neopreno.

2.2.11.6. Criterios de ubicación y disposición.

La ubicación, disposición y número de amortiguadores en el edificio influyen significativamente en la efectividad del sistema de amortiguamiento. Diversas investigaciones en torno a ello han dado como resultado recomendaciones generales de ubicación como la búsqueda de simetría.



En el caso de amortiguadores fluido viscosos, se sugiere ubicarlos inicialmente en las zonas de velocidades máximas y en los entrepisos que experimentan mayor desplazamiento relativo. La ubicación óptima de los amortiguadores se logra mediante un proceso iterativo.

También es importante señalar que el uso del edificio y la arquitectura del mismo son factores que influyen significativamente en la ubicación de los amortiguadores. Por esa razón todos los profesionales envueltos en la construcción y diseño de la edificación deben llegar a un acuerdo en cuanto a la ubicación de los amortiguadores, de manera que cumpla con todos los requerimientos de diseño. Entre los arreglos más comunes se presentan la disposición Chevron y la disposición diagonal, ambos necesitan de un brazo metálico para conectarse con la estructura:

- **Disposición diagonal.** - Consiste en colocar el dispositivo de disipación en dirección diagonal al pórtico, desde el ángulo inferior izquierdo hasta el ángulo superior derecho. Este disipador es instalado en un nudo rígido (unión viga-columna) por ende no es necesario adicionar refuerzo a algún elemento del pórtico. Esta configuración genera que solamente la componente horizontal trabaje absorbiendo las demandas horizontales, es por eso que presenta menor eficiencia que otras configuraciones como la de Chevron. El ángulo de inclinación del brazo metálico está directamente relacionado al amortiguamiento que proporcione, mediante la expresión $f = \cos\theta$. Esta configuración se puede diseñar e implementar para nuevas edificaciones y también para el reforzamiento de estructuras existentes previo análisis.

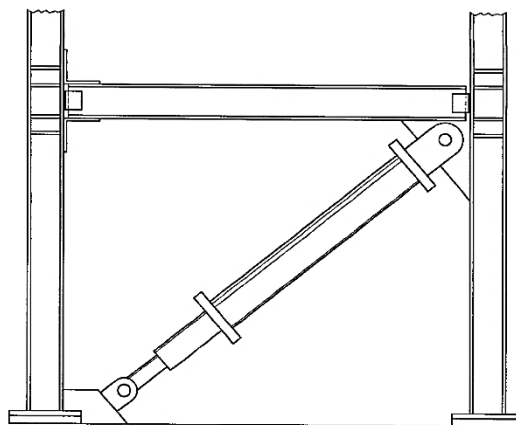


Figura 38: Disposición diagonal del sistema de disipación de energía de fluido viscoso

Fuente: Guevara & Torres (2012)

- **Disposición doble diagonal.** - Esta configuración es una variación de la disposición de amortiguamiento diagonal estándar, plantea la utilización de dos disipadores de fluido

viscoso en diagonal que se encuentran en el centro de la viga. Para esta disposición se requiere un refuerzo adicional de la viga para poder transportar los componentes de carga vertical en esta configuración.

- **Disposición Chevron.** - Para esta disposición, los disipadores se instalan de forma horizontal y se conectan a un marco (galón) que está destinado a ser casi rígido con la viga a la que va conectada. La gran ventaja que presenta esta configuración de orientación directa es que la flexibilidad horizontal de la estructura inyecta este movimiento completo directamente en la orientación horizontal del amortiguador. Pero por otra parte hay probabilidad de perder una pequeña cantidad de movimiento debido a las limitaciones de la rigidez alcanzable de un marco de Chevron económico.

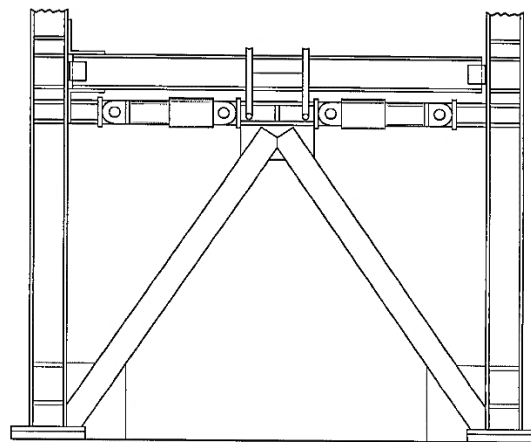


Figura 39: Disposición Chevron del sistema de disipación de energía de fluido viscoso

Fuente: Guevara & Torres (2012)

En la siguiente figura se muestran otras disposiciones que también son usadas para diseños de edificaciones con sistemas de disipación empleando disipadores de fluido viscoso.

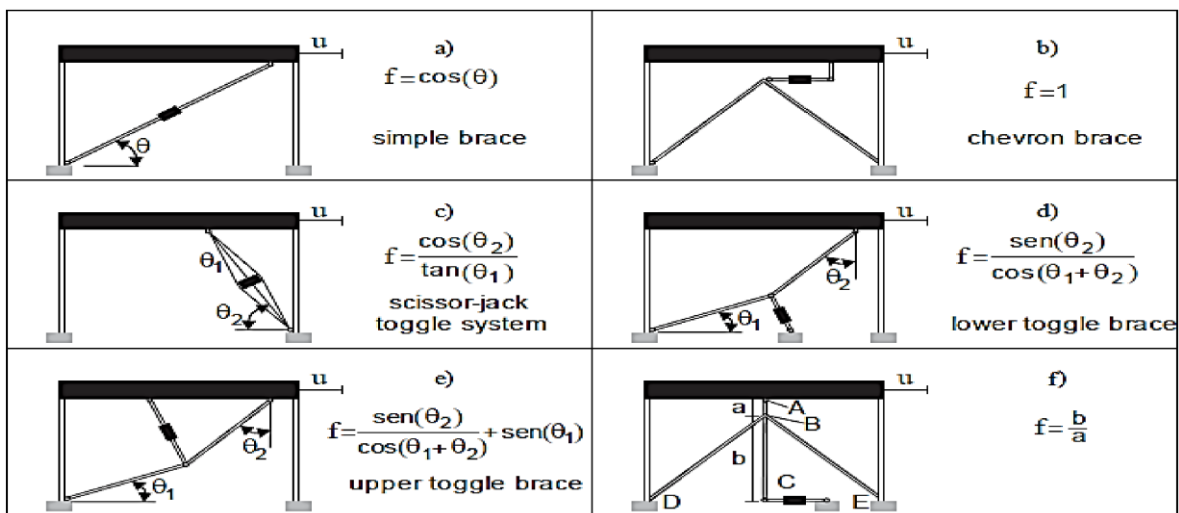


Figura 40: Disposiciones del sistema de disipación de energía de fluido viscoso

Fuente: Guevara & Torres (2012)



2.2.11.7. Fabricantes

El principal fabricante de estos dispositivos es la marca Taylor Devices INC, de origen estadounidense y líder mundial desde 1954 en la producción de elementos de absorción de shocks por medio de la compresión y control de fluidos que permiten la disipación de energía. La empresa desarrolló y patentó conceptos tales como el control del fluido a través de orificios, la compresión dinámica de fluidos, los amortiguadores auto ajustables y el resorte líquido desarrollando productos para el sector comercial, militar e industrial.

La principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a sollicitaciones de carga.

Los amortiguadores Taylor se encuentran presente en más de 400 proyectos a nivel mundial en estructuras nuevas y reforzadas. En estructuras importantes y de valor económico e histórico, ya sea por la estructura en sí o por su contenido, el uso de un sistema de amortiguamiento tiene por lo general una baja incidencia económica relativa.

En el Perú, la marca Taylor es representada por la empresa CDV Representaciones, empresa comercializadora de productos especializados para la construcción y la industria.

2.2.12. Presupuesto

Se entiende como presupuesto a la estimación predictiva de un monto monetario total que representa realizar una actividad o proyecto. Al utilizar el término "presupuestar una obra" implica realizar una evaluación sobre lo que compone el proyecto, denominado composición cualitativa y también determinar la cantidad que se requiere en cada componente, denominado composición cuantitativa. Con el objetivo de asignarle un monto respectivo y así estimar el valor que este representa.

Para que se pueda generar un buen presupuesto se debe verificar algunas consideraciones previas, tales como:

- Consideraciones geométricas. – Se refiere al análisis de los planos de construcción, la cantidad de volumen que conforma la obra.
- Consideraciones estratégicas. – Se refiere al análisis de la gestión del proyecto, como se ejecutará, administrará y coordinará el desarrollo de la obra.
- Consideraciones del entorno. – Se refiere a aquellos aspectos de requerimiento de profesionales, de mercado o imposiciones gubernamentales.

Existen normas para la elaboración del presupuesto, ya conocidos los metrados, los análisis de costos unitarios o precios unitarios directos de cada partida que requiere el proyecto y



agregando gastos generales, utilidad e impuestos se formulará el presupuesto total de obra. A continuación, se muestra el procedimiento ordenado para conseguir un buen presupuesto.

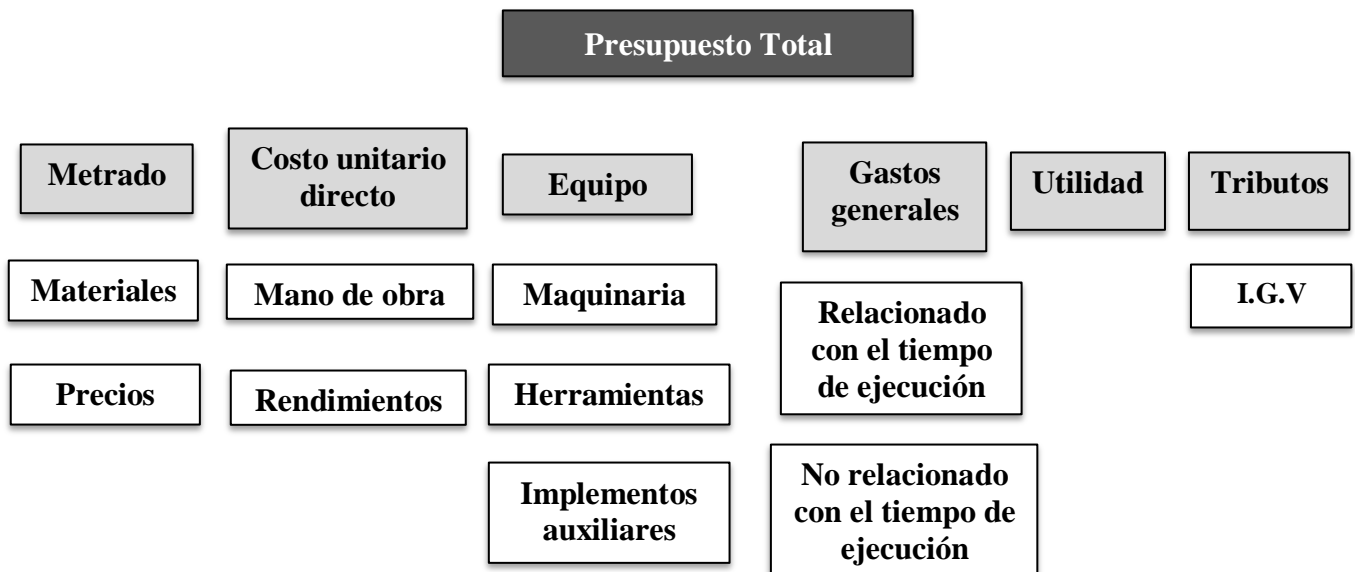


Figura 41: Procedimiento para elaborar un presupuesto de obra

Fuente: CAPECO Costos y Presupuestos

Pueden existir partidas independientes que deban ejecutarse por la naturaleza de la obra, en cumplimiento de obligaciones laborales, tales como brindar alojamiento, proporcionar alimentación, construcción de servicios higiénicos, instalación de agua potable, etc.

El presupuesto cuenta con 4 características importantes:

- El presupuesto debe ser aproximado. – Quiere decir que el presupuesto estimado debe estar dentro de un margen de error aceptable en relación al costo real de la obra, para conseguirlo se debe recurrir a la habilidad, el criterio y la experiencia del presupuestador.
- El presupuesto debe ser singular. – Quiere decir que cada obra necesita un presupuesto único a partir de su propia concepción, localización, clima y medio ambiente, calidad de mano de obra, etc.
- El presupuesto debe ser temporal. – Quiere decir que el presupuesto generado sólo es válido por un periodo de tiempo por la variabilidad que existe en el costo de los insumos y servicios. Existen también otros factores que modifican un presupuesto como la utilización de nuevos productos y técnicas, desarrollo de nuevos equipos, materiales, herramientas, tecnologías, etc.
- El presupuesto debe ser una herramienta de control. – Quiere decir que el presupuesto se debe elaborar como un instrumento dinámico, que sirva para controlar el avance del



proyecto y comparar con el costo real de las actividades, así llevar un control eficiente y poder corregir algunas fallas y prevenir causales de variación. También debe permitir su actualización sistemática.

Todo presupuesto consta de un proceso de elaboración, que se realiza en base a los planos de construcción y respectivas especificaciones técnicas del proyecto a ejecutar.

A partir de esta información se procede a elaborar el análisis de precios unitarios de las distintas partidas consiguiendo los valores parciales de las distintas especialidades y así obtener el valor total de la obra. A continuación, se detalla el proceso de elaboración de un presupuesto:

- Listado de precios básicos. – Se elabora un listado con los precios básicos de materiales, equipos y sueldos.
- Análisis de precios unitarios. – Se elabora incluyendo las indicaciones de cantidades y precios de cada material, transporte, porcentaje de desperdicios, costo de mano de obra, etc.
- Presupuesto por capítulos. – Se presenta dividido por capítulos de acuerdo con el sistema de construcción, contratación y programación.
- Componentes del presupuesto. – Se presenta el desglose del presupuesto con las cantidades y costos globales de sus componentes divididos en mano de obra, materiales, subcontratos, equipos y gastos generales, finalmente en costos directos y costos indirectos.
- Fecha del presupuesto. – Se indicará la fecha en la que se estima y se indicará si existen proyecciones de costos en el tiempo.

2.2.13. Costos directos

Engloba la suma de los costos de materiales, mano de obra, equipos, herramientas, y todos aquellos elementos necesarios para la ejecución de una obra. Se caracterizan por tener una relación directa con la ejecución física y directamente relacionados con los metrados a ejecutar.

- **Materiales.** – Costo de los materiales puestos en obra, son los recursos destinados a cada una de las actividades de la obra, están regidos por las especificaciones técnicas para controlar las características necesarias para su identificación, tales como calidad, cantidad, marca, forma, color, etc. Su análisis se realiza a través de listados en los que se comparan los precios de los materiales proporcionados por los proveedores y las condiciones de pago.



- Rendimiento de los materiales. – Este aspecto es muy importante y se debe tener siempre en consideración, se entiende como la cantidad de material que se necesita en una determinada actividad, estas se determinan mediante un estudio analítico que es propio de cada uno de sus componentes, a estas se aumentan las pérdidas que se ocasionan durante el transporte del material. Estas pérdidas son expresadas en porcentajes denominados rendimientos netos, sumados obtenemos el rendimiento total del material.

$$Rend.total = Rend.real + Rend.neto \quad \dots (34)$$

Podemos encontrar valores determinados en las especificaciones técnicas del proyecto, teniendo un parámetro de los rendimientos de los materiales a usar en una determinada actividad.

Por ejemplo, en una partida de construcción de una zapa podemos encontrar algunos rendimientos de los materiales a usar, tales como cemento=242.00kg, arena=0.54m³, grava=0.74m³, acero de refuerzo=61.00kg, madera para encofrado=40.00p², clavos=0.20kg, alambre de amarre=0.30kg.

- **Mano de Obra.** – Costo de la mano de obra involucrada en una actividad, separadas por especialidad. Considera aquellos gastos que se dan por salarios, prestaciones y gravámenes. Según la Ley de obras públicas define al costo de mano de obra como el pago de salarios al personal que interviene exclusiva y directamente en la ejecución de la obra. Se compone de jornales y sueldos de peones, albañiles, mano de obra especializada.
- Rendimiento de mano de obra. – Se puede definir como el tiempo que se requiere de un obrero para desarrollar una unidad de obra, también se define como la cantidad de obra hecha en la unidad de tiempo.

Para realizar el análisis del rendimiento se toma en cuenta la permanencia total del trabajador, dividiendo su trabajo en: Trabajo productivo, tiempo donde el trabajador aporta directamente en la producción. Trabajo contributivo, engloba los trabajos de apoyo que se realizan para que el trabajo productivo se pueda realizar. Trabajo no contributivo, acciones que representan tiempos desaprovechados.

La experiencia también se toma en consideración, siendo los más experimentados más productivos, otro factor que influye es el sistema de trabajo, ya sea por contrato o por jornales.

El cálculo se puede determinar cronometrando los tiempos empleando por distintos obreros para el desarrollo de una determinada actividad y al final tomando el valor promedio como rendimiento.



Los beneficios sociales juegan un papel importante, las leyes sociales de cada país determinan el pago de beneficios sociales a todas las personas asalariadas

- **Maquinaria equipos y herramientas.** – Costo de los equipos, maquinarias y herramientas utilizadas en las actividades programadas. En el caso de las maquinarias se puede considerar dos posibilidades. Equipos alquilados, que sólo considera el precio de alquiler del equipo, tales como grúas, volquetes, cargadores frontales, etc. Por otro lado, se tienen los equipos propios, se requiere determinar los costos de depreciación del equipo y los de posesión y operación del mismo.

Para el caso de herramientas, el monto se reserva para la reposición del desgaste de las mismas y equipos menores propiedad de la empresa constructora. Normalmente se calcula como un porcentaje de la mano de obra que suele variar entre el 4% y el 15% dependiendo de la dificultad del trabajo.

2.2.13.1. Metrados

Se entiende como el conjunto ordenado de datos logrados mediante lecturas acotadas, los metrados se realizan con el objetivo de calcular la cantidad requerida para la ejecución de la obra y al ser multiplicados por el precio unitario obtenemos el costo directo.

Para realizar un correcto proceso de metrados se deberá:

- Realizar un estudio integral de los planos de las distintas especialidades y relacionándolos correctamente, y un estudio minucioso de especificaciones técnicas.
- Utilizar la relación de partidas y sus unidades respectivas.
- Precisar la zona de estudio y aquellos trabajos que se realizarán.
- Mantener el orden, este apartado es de suma importancia ya que nos dará la secuencia y facilitará el proceso de correcciones.
- Pintar con distintos colores aquellos elementos que ya hayan sido metrados, con el fin de facilitar la verificación y evitar errores.

2.2.13.2. Precios unitarios

Se define como el costo de un concepto en que se integra por unidad de medición la cantidad de materiales que intervienen en el desarrollo de una actividad, el rendimiento de la mano de obra, las herramientas, el rendimiento de los equipos de construcción y también se debe incluir los costos indirectos.



2.2.14. Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos gastos que no son fácilmente cuantificables para ser cobrados directamente al cliente. Estos costos incluyen gastos generales, utilidades y los impuestos.

- **Gastos generales.** – Son aquellos gastos que no son incluidos en los costos directos y tienen la característica de ser muy variables, por aspectos como el lugar donde se debe realizar la obra. La garantía también tiene influencia, ya sea boletas bancarias o pólizas de seguro. Así como también el monto de contratos anuales y la magnitud de la empresa constructora.

Existen costos fijos que representan un porcentaje permanente del costo total de la mano de obra, como aportes a entidades. Cada empresa constructora deberá determinar su porcentaje de gastos generales.

Es importante saber que los gastos generales no son un porcentaje de los costos directos, se expresa como porcentaje para distribuir el gasto en cada uno de los ítems de la obra.

- **Utilidad.** – Estas deberán ser calculadas en base a la política empresarial de cada empresa, al mercado de la construcción, a la dificultad de ejecución de la obra y a su ubicación geográfica.
- **Impuestos.** – Se considera el Impuesto al Valor Agregado (IVA), que grava sobre toda compra de bienes, muebles y servicios, se utiliza un 13% sobre el costo total neto de la obra. Y el Impuesto a las Transacciones (IT), que grava sobre ingresos brutos obtenidos por cualquier actividad lucrativa, se considera un 3% sobre el monto de la transacción del contrato de obra.



2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El edificio “Residencial Santa Rosa” presenta un mejor comportamiento sísmico y un ligero incremento en el presupuesto de la edificación al considerar un diseño estructural con implementación de disipadores de energía fluido viscoso en comparación con un diseño estructural tradicional.

2.3.2. Sub hipótesis

- **Sub hipótesis N°1:**

El edificio “Residencial Santa Rosa”, considerando un diseño estructural tradicional, presentará un comportamiento sísmico, analizado a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y cortante basal, que cumple los parámetros que establece la normatividad peruana vigente E.030-2018 “Diseño sismorresistente”.

- **Sub hipótesis N°2:**

El edificio “Residencial Santa Rosa”, considerando un diseño estructural con implementación de disipadores de energía fluido viscoso Taylor Device, presentará un mejor comportamiento sísmico, analizado a partir de los valores de desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y cortante basal, en relación al diseño tradicional.

- **Sub hipótesis N°3:**

El presupuesto estructural estimado para el edificio “Residencial Santa Rosa”, considerando un diseño estructural tradicional, será de aproximadamente \$2,800,000.00.

- **Sub hipótesis N°4:**

El presupuesto del edificio “Residencial Santa Rosa”, considerando un diseño estructural implementando disipadores de energía fluido viscoso, se incrementará entre el 1% y 3% del presupuesto total del proyecto.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables dependientes

- **Comportamiento sísmico:** Nivel de comportamiento de una edificación ante una demanda sísmica, describe un estado límite de daño. Representa una condición tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación.
- **Presupuesto estructural:** Estima el gasto económico anticipado que se requiere para la ejecución de la especialidad de estructuras del edificio, considerando materiales, equipos y mano de obra.



2.4.2. Sub variables dependientes

- Desplazamientos
- Derivas
- Cortante Basal.
- Materiales
- Equipos
- Mano de obra.

2.4.3. Indicadores de sub variables dependientes

- Distancia con referencia al primer nivel
- Distancia relativa de entrepiso/Altura de entrepiso,
- Fuerza cortante en la base
- Nuevos Soles

2.4.4. Variables independientes

- **Diseño estructural tradicional:** Diseño y cálculo del sistema y elementos estructurales basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones Peruano.
- **Diseño estructural con implementación de disipadores de energía fluido viscoso:** Diseño y cálculo del sistema y elementos estructurales basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones contemplando un sistema de protección sísmica (disipadores de energía), aplicando requisitos necesarios del documento ASCE/SEI 7-10 Capítulo 18.

2.4.5. Indicadores de variables independientes

- **Diseño estructural tradicional:** Sistema estructural, elementos estructurales, propiedades de los materiales.
- **Diseño estructural con implementación de disipadores de energía fluido viscoso:** Diseño del sistema de disipación, sistema estructural, elementos estructurales, propiedades de los materiales, número de dispositivos disipadores, ubicación de los dispositivos disipadores.

2.4.6. Sub variables independientes

- Sismo severo (sismo de diseño)



2.5. Cuadro de operacionalización de variables

Cuadro de operacionalización de variables				
Variable	Descripción	Sub Variable	Indicadores	Instrumentos
Variables dependientes				
Comportamiento sísmico	Nivel de comportamiento de una edificación ante una demanda sísmica, describe un estado límite de daño. Representa una condición tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación.	<ul style="list-style-type: none"> Desplazamientos Derivas Cortante Basal 	<ul style="list-style-type: none"> Distancia con referencia al primer nivel Distancia relativa/Altura de entrepiso Fuerza cortante en la base 	Software de cálculo Etabs
Presupuesto estructural	La estimación del gasto económico anticipado que proyecta para la ejecución de la especialidad de estructuras de un edificio, considerando materiales, equipos y mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> Materiales Equipos Mano de Obra 	<ul style="list-style-type: none"> Nuevos Soles Nuevos Soles Nuevos Soles 	Excel
Variables Independientes				
Diseño estructural tradicional	Diseño y cálculo del sistema estructural y elementos estructurales basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones Peruano.	Sistema estructural, Elementos estructurales y Propiedades de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de elementos estructurales Dimensiones de elementos estructurales 	RNE Normas E020 E030, E060 Software de cálculo Etabs
Diseño estructural con implementación de disipadores de energía fluido viscoso	Diseño y cálculo del sistema estructural y elementos estructurales basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones contemplando un Sistema de protección sísmica, aplicando requisitos necesarios del documento ASCE/SEI 7-10.	Diseño del sistema de disipación, Sistema estructural, Elementos estructurales y propiedad de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de elementos estructurales Dimensiones de elementos estructurales 	RNE Normas E030, E060 ASCE/SEI 7-10 Software de cálculo Etabs
		Cantidad de dispositivos disipadores	<ul style="list-style-type: none"> Número de dispositivos empleados 	
		Disposición de dispositivos disipadores	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de dispositivos empleados 	



CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo **cuantitativo**.

Una investigación cuantitativa es aquella que usa el recojo de datos para probar una hipótesis, basándose en la cuantificación y el planteamiento estadístico, estableciendo de esta forma diferentes formas de comportamiento y aprobar o rechazar teorías” (Hernández Sampieri , Fernández Collado, & Baptista Luicio, 2010).

En vista de que, para fines de esta investigación ha sido necesario realizar un análisis de comportamiento basado en una secuencia del edificio “Residencial Santa Rosa” para lo que fue necesario recolectar datos que se pusieron a prueba con las hipótesis planteadas inicialmente y que han permitido generar resultados medibles para poder evaluar el comportamiento de la edificación para dos escenarios, un diseño estructural tradicional y un diseño con implementación de disipadores de energía fluido viscoso “Taylor Devices”, se considera esta investigación de tipo cuantitativa.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

En cuanto al nivel o alcance de la investigación, se considera que esta es de nivel **explicativo**, puesto que una investigación explicativa es aquella que indaga y establece las causas ultimas de los eventos o fenómenos físicos o sociales de tal forma que se pueda explicar por qué ocurren, en qué condiciones se dan y por qué dos o más variables están relacionas. (Chávez Calderón, 2001)

La presente tesis, ha evaluado comparativamente el comportamiento sísmico de una edificación bajo dos tipos de diseño diferentes, un diseño tradicional y un diseño con implementación de disipadores de energía fluido viscoso, para así poder explicar cómo es que el implementar estos sistemas de protección sísmica (disipadores de energía) influye en el comportamiento estructural de una edificación.

3.1.3. Método de investigación

El método de investigación de este estudio es **Hipotético – Deductivo**, el cual consiste en el desarrollo de un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis, buscando refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos. (Bernal, 2010)



Tomando en cuenta esta definición, en vista de que para el desarrollo de esta investigación se ha partido de la observación de hechos particulares (diseño estructural del edificio) para plantear las hipótesis que se han validado en función a los resultados obtenidos, se puede inferir que la metodología utilizada es hipotética-deductiva.

3.2. Diseño de la investigación

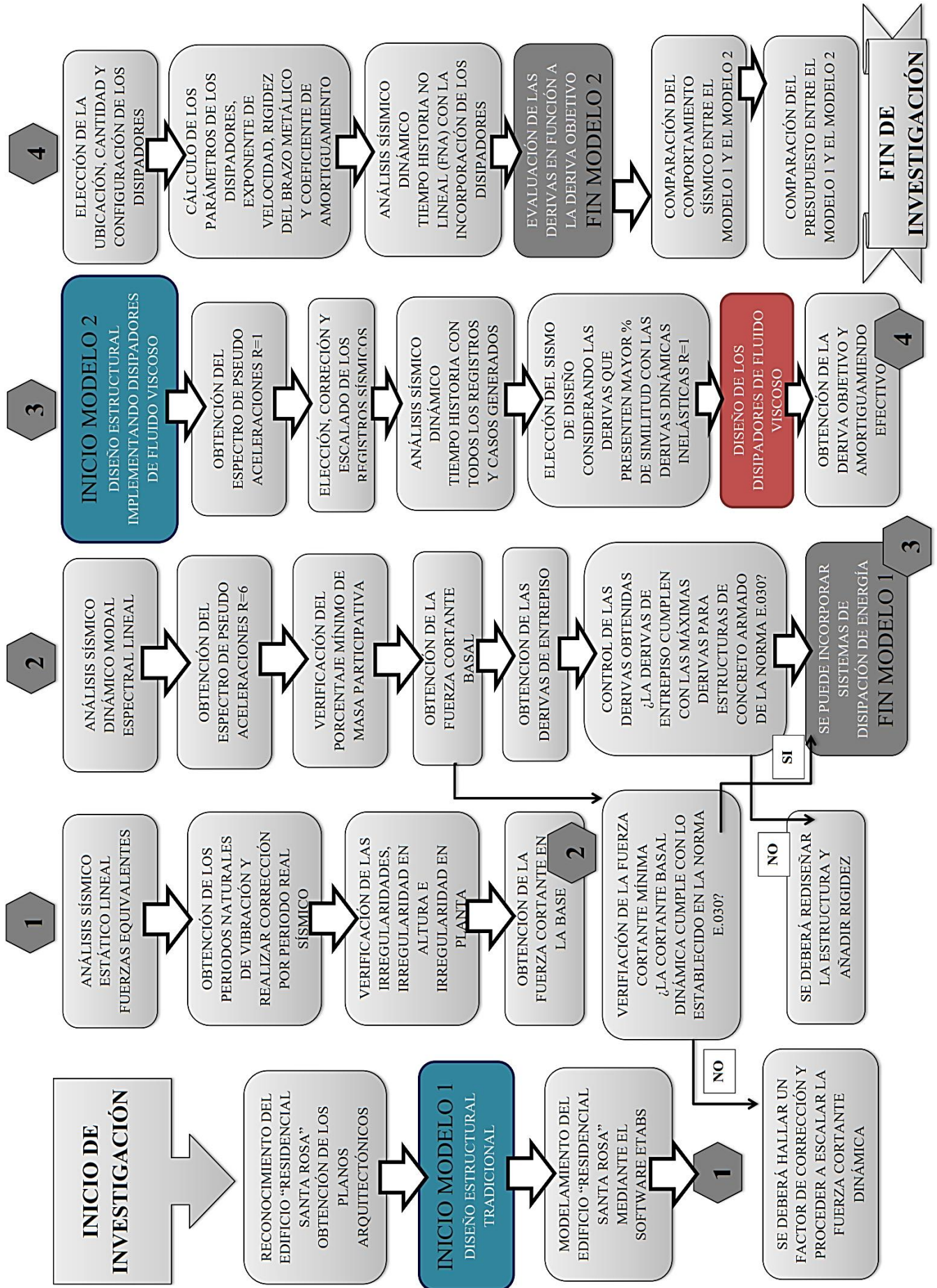
3.2.1. Diseño metodológico

(Hernández Sampieri , Fernández Collado, & Baptista Luicio, 2010) Señalan que una investigación **No Experimental Cuantitativa**, es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se da en su contexto natural para posteriormente analizarlos.

Por lo tanto, el diseño metodológico de la presente investigación es un **Diseño No Experimental**, puesto que no se ha realizado ninguna variación intencional de alguna de las variables independientes.

3.2.2. Diseño de ingeniería

Para el desarrollo de la presente investigación se ha desarrollado un diseño de ingeniería para plasmar secuencialmente todos los procesos que se han seguido para cumplir con los objetivos planteados de la presente investigación, tal y como se muestra a continuación:



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población.

Para la presente tesis de investigación, se ha considera como población de estudio, la “Residencial Santa Rosa”, ubicado en la Urbanización Quispicanchis, Distrito de Cusco, Provincia y Departamento de Cusco, con un uso destinado para vivienda residencial multifamiliar.

Esta edificación es un edificio existente que cuenta con 08 niveles y 01 semisótano, 01 terraza, cuarto de máquinas y 01 tanque elevado, que ha sido diseñada estructuralmente con un sistema de muros de corte, vigas y entrepiso (losas aligeradas) de concreto armado.



Figura 42: "Residencial Santa Rosa"

Fuente: Expediente Técnico del Proyecto (2019)



3.3.1.2. Cuantificación de la población

En cuanto a la cuantificación de la población, como ya se mencionó anteriormente, se ha considerado como población solo al edificio “Residencial Santa Rosa”, por lo tanto, para fines investigativos, en este caso en particular la población es una unidad.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

En vista de que la población considerada en esta investigación es una unidad, la muestra seleccionada está constituida por la misma edificación, Residencial “Santa Rosa”. Es decir que, para fines de este trabajo investigativo, la población y la muestra vendría a ser lo mismo.

3.3.2.2. Método de muestreo

El método de muestreo utilizado en esta investigación es un **Método No Probabilístico**, puesto que la muestra ha sido seleccionada a criterio del tesista. Es decir que, los componentes estructurales evaluados (vigas, muros de corte y demás) prácticamente han sido todos aquellos que forman parte de la estructura de la edificación ya que el tesista ha visto por conveniente su selección.

3.3.2.3. Criterios de evaluación de muestra

Los criterios considerados para la evaluación de la muestra de investigación han sido los que se detallan a continuación:

- Para determinar las cargas de la estructura, se han realizado los cálculos conforme a lo señalado en la Norma Técnica Peruana E-0.20 Metrados de cargas.
- Los parámetros sísmicos de diseño considerados han sido evaluados según la Norma Técnica Peruana E-0.30 Diseño sismorresistente.
- Para la corroboración de las propiedades de los materiales, tanto concreto como acero, se ha utilizado la Norma Técnica Peruana E-0.60 Concreto armado.

3.3.3. Criterios de inclusión

Para fines de esta investigación, se han considerado los siguientes criterios de inclusión:

- Edificación diseñada con un sistema estructural de muros de corte (Placas).
- Edificación de uso residencial de 08 niveles y 01 semisótano.
- Edificación considerada según la Norma Técnica Peruana E.030 dentro de la categoría C – Edificios comunes.
- Edificación localizada en la ciudad del Cusco.



- Edificación con un diseño estructural tradicional, según la Norma Técnica Peruana E.030.
- Edificación construida con concreto armado de una resistencia a la compresión de $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.
- Edificación considerada regular tanto en planta como en elevación.
- Edificación que cuente con entrepisos de losas aligeradas tradicionales ($e=20 \text{ cm}$).
- Para los registros sísmicos se consideró aquellos que sean los más representativos en el país, los más fuertes y que hayan sucedido en lugares con características de suelos similares.

3.4. Instrumentos

Para el desarrollo de la presente investigación se han utilizado instrumentos metodológicos para realizar la recolección de datos e instrumentos de ingeniería para el procesamiento de los mismos, según se detalla a continuación:

3.4.1. Instrumentos metodológicos

3.4.1.1. Guías documentarias

Estas guías son instrumentos metodológicos que tienen como finalidad recolectar los datos a partir de fuentes primarias escritas, en la presente investigación se cuenta con diferentes clases de documentos, tales como documentos digitales, normativas, expedientes técnicos, investigaciones, etc.; documentos que almacenan información que puede ser procesada en una computadora mediante un software adecuado.

Las guías documentarias se emplearon para la correcta utilización de los dispositivos viscosos, desde la etapa de diseño hasta la correcta interpretación de datos, guías que sirven como sustento teórico, con el fin de desarrollar de manera ordenada y sustentada la presente investigación.

Tabla 13: Guías documentarias

Instrumentos	
Guías documentarias	
Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica E.020-2006 Cargas	Reglamento que establece las cargas mínimas en condiciones de servicio a considerar para el diseño y modelo estructural.



Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica E.030-2018 Diseño sismorresistente	Reglamento que establece la filosofía, parámetros y criterios para evaluar una edificación.
Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica E.060-2009 Concreto armado	Reglamento que establece los parámetros y criterios para el diseño de edificaciones de concreto armado
Código ASCE/SE 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures - 2016	Norma Americana (USA) que presenta en capítulo 18 los requisitos mínimos para la incorporación de sistemas de amortiguamiento sísmico.
Investigación del Comité VISION 2000 SEAOC Blue Book. Recommended Lateral Requirements and Comentary-1995.	Trabajo de investigación que establece los niveles de comportamiento sísmico esperados y/o análisis por desempeño/performance
FEMA 1997-HAZUS 2001 , Fema 273-NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings	Documento que presenta los estados de daño y sus correspondientes derivas objetivo de diseño para diversos sistemas estructurales.

3.4.1.2. Guías de observación.

Para el desarrollo de la presente investigación se generaron guías de observación de campo, con el fin de recolectar datos y proceder a realizar cálculos necesarios.

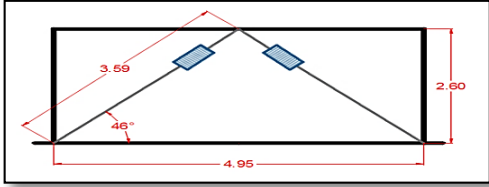
Tabla 14: Guías de observación de datos

Instrumentos	
Guías de observación de campo	
Formato 01:	Identificación de parámetros sísmicos según el RNE Norma Técnica E.030-2018 Diseño sismorresistente
Formato 02:	Hoja de cálculo para diseñar los disipadores de energía de fluido viscoso, estimando los parámetros de Coeficiente de amortiguamiento-Exponente de velocidad-Rigidez del brazo metálico



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y DEL PRESUPUESTO ENTRE EL DISEÑO TRADICIONAL Y EL DISEÑO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO DEL EDIFICIO “RESIDENCIAL SANTA ROSA”			
AUTOR:		LUIGGI ENZO GAMARRA DÁVILA	
FECHA:			
FORMATO 01: IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN EL RNE NORMA TÉCNICA E.030-2018 DISEÑO SISMORRESISTENTE			
FACTOR	NOMENCLATURA	CLASIFICACIÓN CATEGÓRICA TIPO	VALOR
Factor de Zona	Z	Zona 2-Cusco	
Factor de Uso	U	Categoría C-Vivienda	
Factor de Suelo	S	S2-Suelos Intermedios	
	Tp	Periodo P	
	Tl	Periodo L	
Factor de Reducción	Rx	Dirección X-C°A° Muros Estructurales	
	Ry	Dirección Y-C°A° Muros Estructurales	
Factor de Amplificación Sísmica	C	T < Tp	
		Tp < T < Tl	
		T > Tl	
Periodo Fundamental de	Txy	Altura Nominal/Coeficiente	
Altura Nominal	hn	Altura Total de la Edificación desde el Nivel de Terreno	
Coeficiente a partir de los Elementos Estructurales	Ct	Porticos de Concreto Armado sin Muros de Cortes	35
		Porticos de Concreto Armado con Muros en los Ascensores y Escaleras	45
		Concreto Armado Duales-Muros Estructurales	60
Peso de la Edificación	P	100% de Carga Muerta + 25% de Carga Viva	
Fuerza Cortante en la Base	Vxy	(ZUCS/R)*P	
Coeficiente por Altura	K	T ≤ 0.5sg	K=1.0
		T > 0.5sg	K = (0,75 + 0,5 T) ≤ 2.0



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO Y DEL PRESUPUESTO ENTRE EL DISEÑO TRADICIONAL Y EL DISEÑO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOZO DEL EDIFICIO "RESIDENCIAL SANTA ROSA"			
AUTOR:		LUIGGI ENZO GAMARRA DÁVILA	
FECHA:			
FORMATO 02: DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOZO			
CÁLCULO DE LAS DERIVAS OBJETIVO Y AMORTIGUAMIENTO			
$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}}$		$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_o)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$ $\beta_{viscoso} = \beta_{eff} - \beta_{inh}$	
Dmáx-X=	$\beta_o =$	$C^o A^o = 5\%$	
Dmáx-Y=	$\beta_{effX} =$	$\beta_{ViscosoX} (\%) =$	
Dobjetivo=	$\beta_{effY} =$	$\beta_{ViscosoY} (\%) =$	
PROPIEDADES DEL DISIPADOR			
$K = \frac{E * A}{L}$		E Acero (Tn/m2)=	
		Área (m2)=	
		Rigidez K (Tn/m2)=	
		Long. Brazo (m)=	
COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO			
$\sum C_j = \frac{\beta_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \cdot \omega^{1-\alpha} \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$			Periodo T=
			Ángulo $\Theta =$
			Ampitud A=
			Frecuencia F=
			Frec. Angular $\omega =$
			$\alpha =$
			$\lambda =$
			#disipadores/nivel=
			SumCj=
			Cj=
Nivel	Masa (Tns*sg2/m)	$\cos \Theta^{(1+\alpha)} * \phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m * \phi_i^2$
8			
7			
6			
5			
4			
3			
2			
1			
SUMATORIA			
DATOS FINALES			
		DEL 1° - 8° NIVEL	
		C_j (Tn.s/m)=	
		K (Tn/m2)=	
		$\alpha =$	

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Tal y como se ha señalado en las limitaciones de la investigación, este trabajo se ha limitado a obtener los datos de la información proporcionada en los planos y especificaciones del proyecto, por lo que no se ha realizado ninguna verificación en campo.

Sin embargo, para el procesamiento de toda la información recolectada se han utilizado los siguientes softwares:

- Seismo Match
- Seismo Signal
- Etabs 2016
- AutoCAD 2016
- Microsoft Excel 2018
- Microsoft Word 2018

Tabla 15: Instrumentos de ingeniería de la investigación

Softwares Utilizados en la Investigación		
		
AutoCAD 2016	Etabs 2016	Seismo Match
		
Seismo Signal	Microsoft Excel 2018	Microsoft Word 2018

3.5. Procedimiento de recolección de datos del expediente técnico

3.5.1. Descripción del proyecto

El proyecto “Residencial Santa Rosa” cuenta con un sistema estructural de muros de corte (placas) de concreto armado. Edificación que está compuesta por 01 semisótano, 08 niveles, 01 terraza, cuarto de máquinas y tanque elevado de agua. De igual forma cuenta con un área total de 2448.25m²: Semisótano=300.00m², Primer nivel=273.80m², Segundo-Octavo nivel=286.80m², Terraza-Cuarto de máquinas-Tanque elevado=166.85m².

La configuración estructural, compatible con la propuesta arquitectónica es de naturaleza regular. Información recolectada de los planos del expediente técnico que se detallan en el Anexo 1.

3.5.2. Ubicación del edificio “Residencial Santa Rosa”

La ubicación del proyecto ya ha sido desarrollada en el Ítem 1.1.1.

3.5.3. Descripción de la estructura del edificio “Residencial Santa Rosa”

El sistema estructural empleado es de muros de corte (placas), vigas, escaleras y entrepisos de concreto armado. Los entrepisos están conformados en base a losas aligeradas armadas en una dirección, con espesor en función a las luces de vigas. El primer nivel presenta una altura de 2.80m y los posteriores una altura típica de 2.60m. El uso de la edificación es de vivienda, y el tipo de suelo del proyecto es limo de baja plasticidad (ML), arena limosa con grava (SM), grava limosa con arena (GM). Información recolectada de los planos del expediente técnico que se detallan en el Anexo 1.

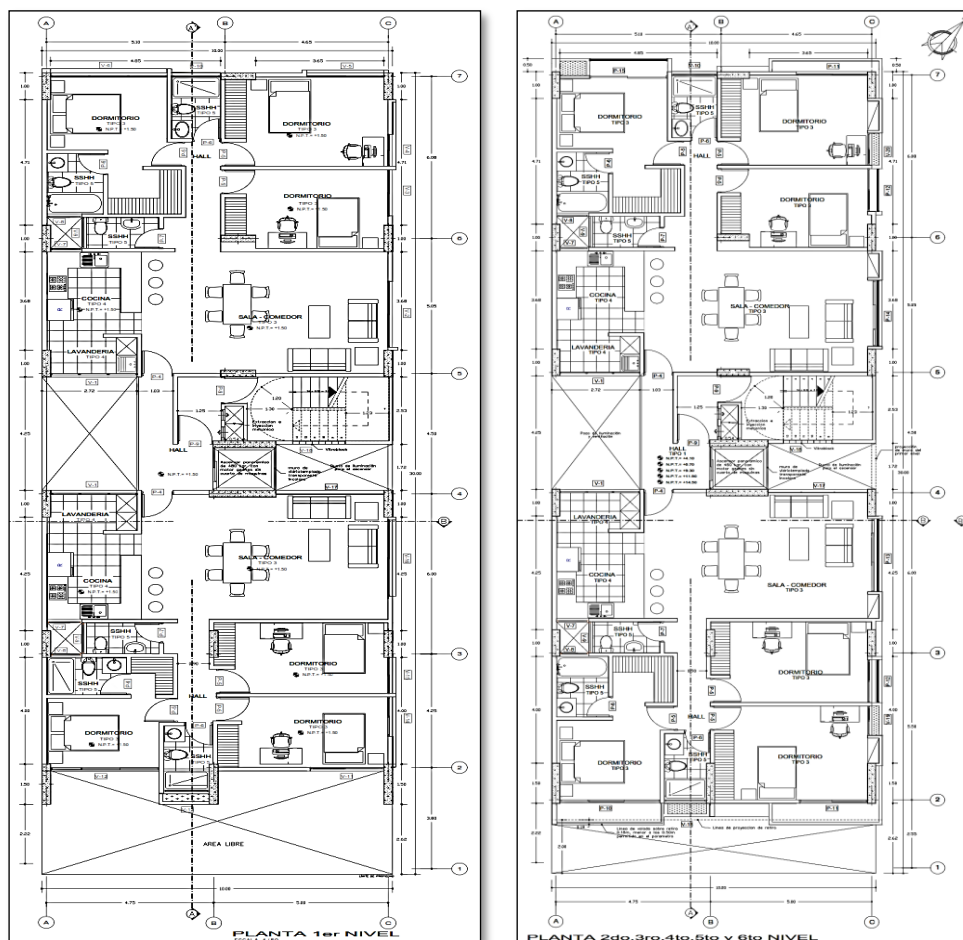


Figura 43: Vista en planta de la distribución estructural



3.5.4. Modelo estructural de la edificación “Modelo 1-Diseño tradicional”

Se elaboró un modelo estructural de la construcción denominada edificio “Residencial Santa Rosa” a partir de la recolección de datos de los planos de arquitectura y estructuras del expediente técnico elaborado por la Empresa Constructora “Grupo Kintu” y la inspección in situ para corroborar las dimensiones de los elementos estructurales.

Se procedió a utilizar el Software Etabs 2016 para el modelado respectivo, configurando las unidades de medición a utilizar, definiendo los ejes horizontales principales eje X (Ejes A-I) y eje Y (Ejes 1-17) así como también los niveles contemplados en la edificación. Se utilizó el sistema grillado que ofrece el software.

3.5.4.1. Propiedades de los materiales empleados

Se definió los materiales a usar en el modelo. Para la “Residencial Santa Rosa” se consideró el uso de concreto y acero de refuerzo en los elementos estructurales que lo conforman: Muros de corte, vigas peraltadas, losas aligeradas de entrepiso y escaleras. Materiales que tienen las siguientes propiedades físicas.

Tabla 16: Propiedades de los materiales usados en el proyecto

Propiedades de los materiales empleados		
Propiedades del concreto		
Propiedad	Unidad	Valor
Resistencia a la compresión del concreto	$f'c$ (kg/cm ²)	210.00
Peso específico del concreto	γ (kg/m ³)	2400.00
Módulo de elasticidad del concreto	E_c (kg/cm ²)	= $15000 \cdot \sqrt{f'c}$
		217370.65
Coefficiente de Poisson del concreto	μ	0.2
Módulo de corte del concreto	G (kgf/cm ²)	= $E_c / 2(1 + \mu)$
		90571.10
Propiedades del acero		
Propiedad	Unidad	Valor
Esfuerzo de fluencia del acero	f_y (kg/cm ²)	4200.00
Módulo de elasticidad del acero	E_s (kg/cm ²)	2000000.00

Fuente: Expediente Técnico

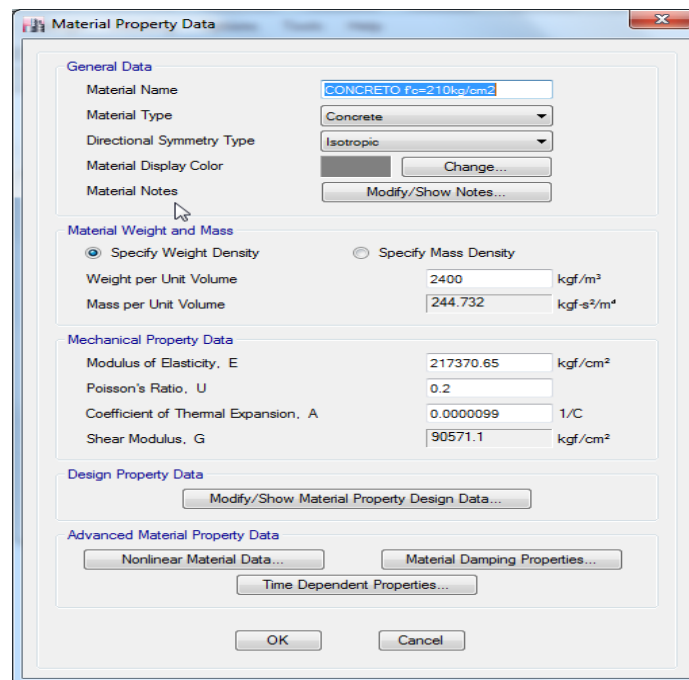


Figura 44: Definición de los materiales en el software Etabs

3.5.4.2. Secciones de los elementos estructurales

Se definió las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales, los muros de corte como elementos Wall, las vigas como elementos Frame, las escaleras y losas (aligeradas y maciza) como elementos Shell, según los planos de estructuras del proyecto.

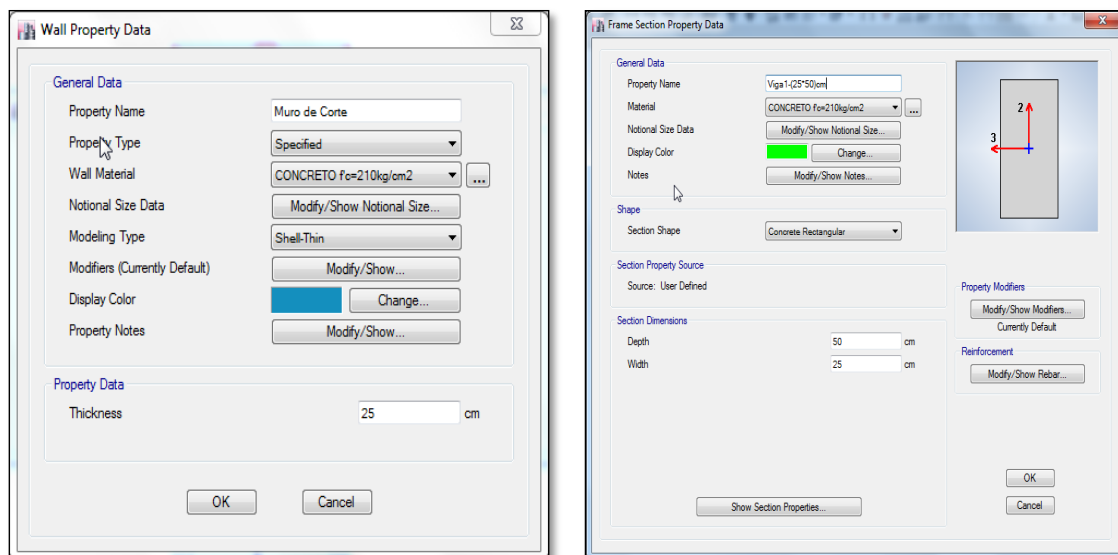


Figura 45: Elaboración de las secciones de los elementos estructurales

Para definir la losa aligerada se hizo uso del elemento Slab tipo Ribbed, para así poder especificar las dimensiones de una losa típica en una dirección. Se determinó la transmisión de cargas en el eje X.

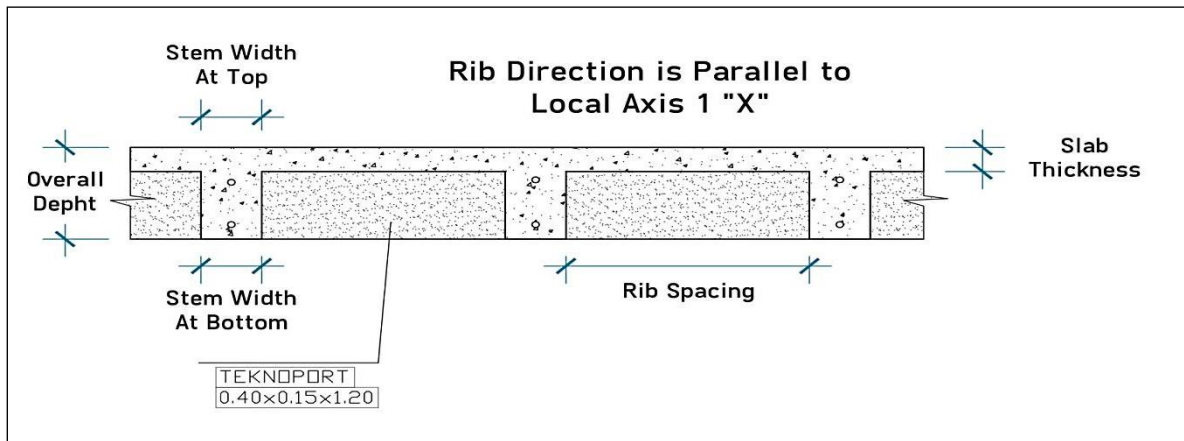


Figura 46: Características losa aligerada típica en una dirección.

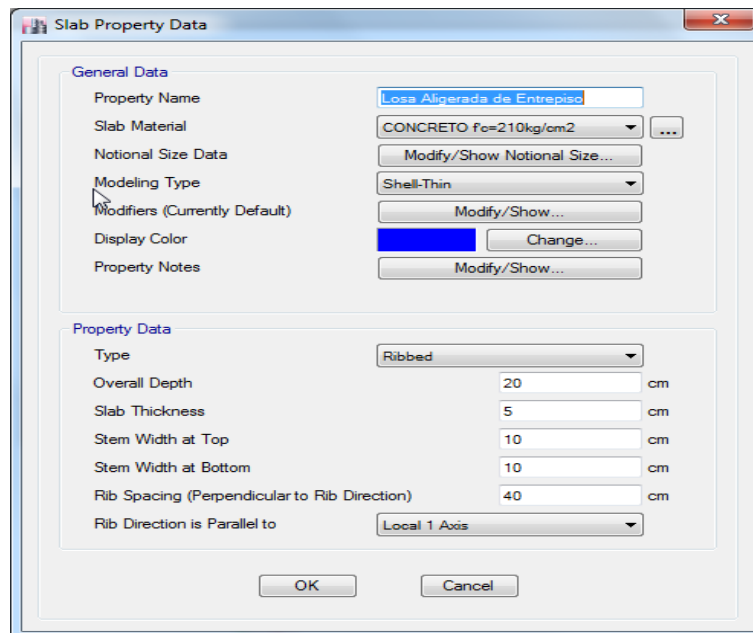


Figura 47: Ingreso de información elemento Slab-Tipo Ribbed

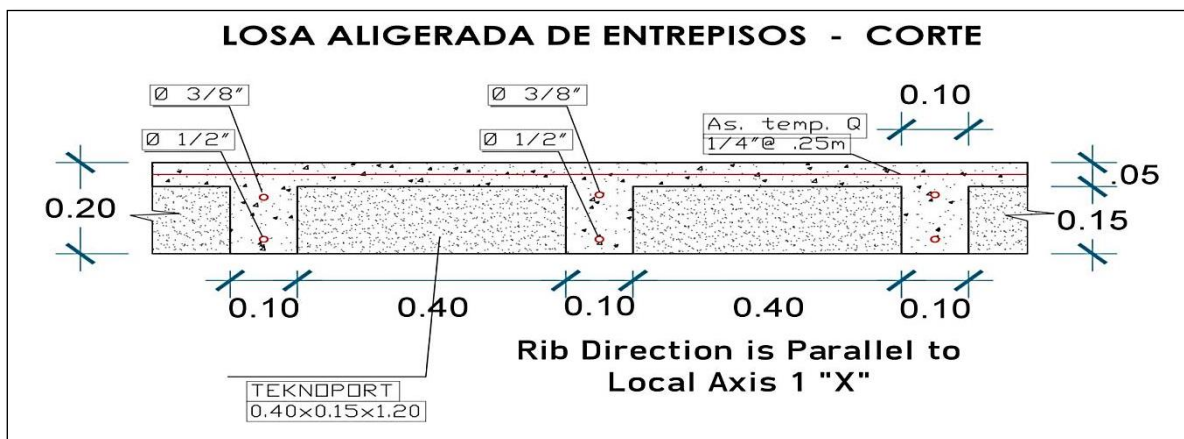


Figura 48: Detalle típico losa aligerada en dirección X

3.5.4.3. Dibujo de la estructura

Se procedió a dibujar la estructura, representando los elementos estructurales en su correcta ubicación, utilizando el sistema grillado ya establecido y también el uso de algunos ejes adicionales.

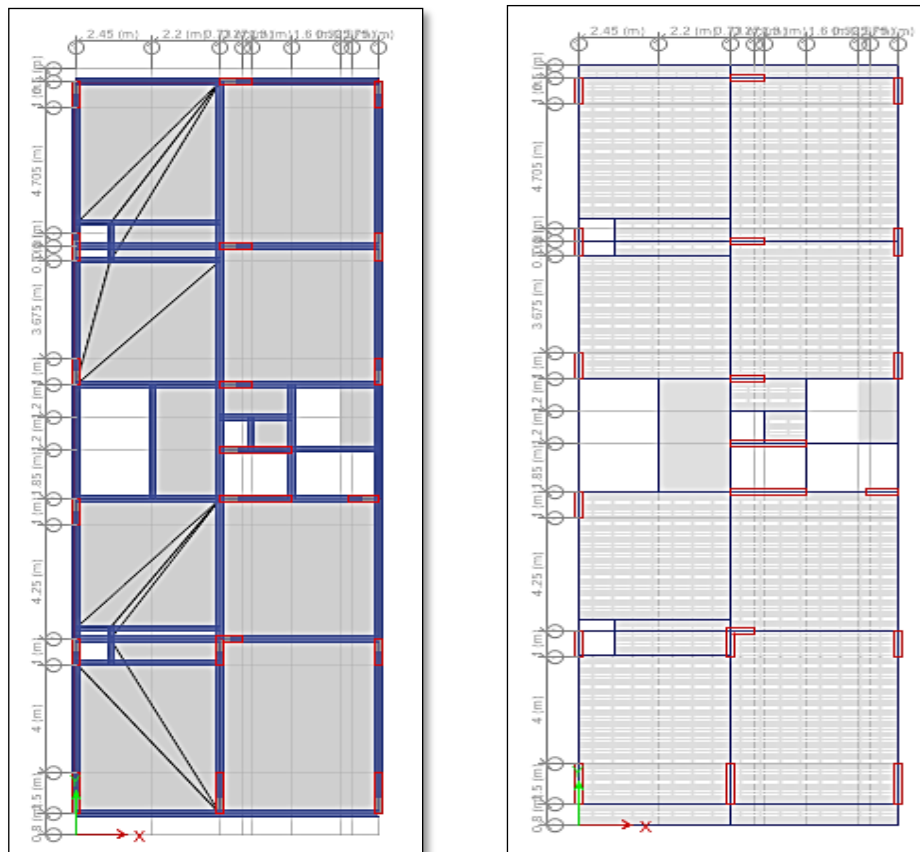


Figura 49: Modelamiento estructural del edificio “Residencial Santa Rosa”

3.5.4.4. Discretización de muros de corte, implementación de brazos rígidos y asignación de diafragmas rígidos.

Ya modelado la estructura se procedió a discretizar los muros de corte en cada altura de entrepiso, dividiendo aproximadamente a segmentos de $\frac{1}{4}$ de la altura de entrepiso ($2.60\text{m}/4$) $\approx 0.65\text{m} \rightarrow 0.70\text{m}$. Posteriormente se implementó brazos rígidos a las uniones (con superposición de elementos) de muros de corte y vigas, se usó un factor de zona rígida de 0.5. A continuación, se definió y asignó diafragmas rígidos (D1) a cada entrepiso de la edificación. Considerando el movimiento de los nudos de una manera dependiente por nivel del centro de masa del nivel respectivo.

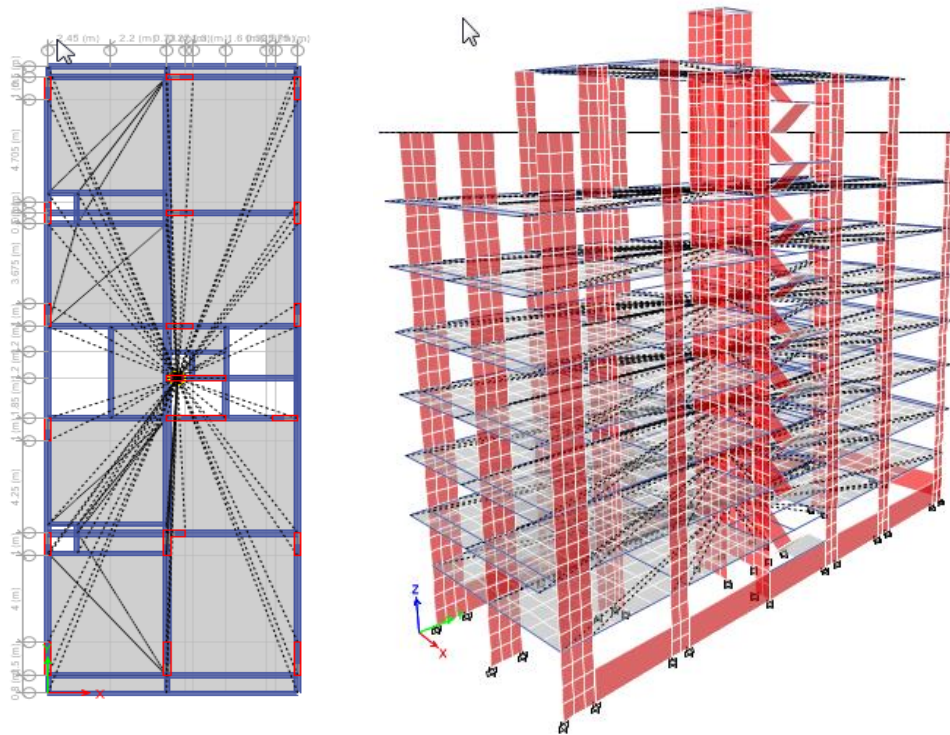


Figura 50: Creación de diafragmas rígidos en cada nivel contemplado

3.5.4.5. Asignación de restricciones

Se procedió a asignar restricciones a los apoyos en la base, considerando restricciones del tipo empotrado.

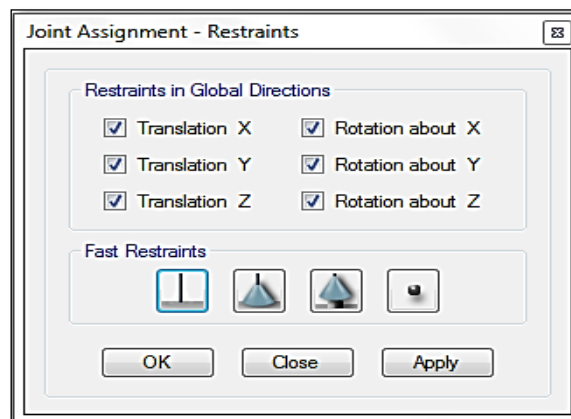


Figura 51: Asignación de restricciones en la base

3.5.4.6. Asignación de patrones de cargas consideradas para el análisis

Se definieron los respectivos patrones de carga, y se procedió a asignar a los elementos estructurales, para las losas y escaleras se asignaron cargas distribuidas por área, para vigas se asignaron cargas puntuales y cargas distribuidas por metro.

- **Carga muerta.** - Se consideró solamente el peso de los elementos estructurales (muros de corte, muros de contención, vigas, losas de entrepiso, escaleras). Calculado internamente por el propio Software Etabs y corroborado con el respectivo metrado de cargas. Se detalla el proceso en el Anexo 2.

Tabla 17: Metrado de carga muerta – peso propio

CARGA MUERTA (CM)							
Nivel	Unidad	Carga					Total
		Muros de Corte	Vigas	Losas	Escaleras	Muros de Contención	
Terraza	tonf	33.01	17.10	38.35	4.94	0.00	93.41
Nivel 8	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 7	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 6	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 5	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 4	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 3	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 2	tonf	39.87	27.438	67.66	4.94	0.00	139.91
Nivel 1	tonf	39.61	27.438	63.76	5.05	47.28	183.15
Peso Propio de la Estructura (tonf)=							1255.94

- **Sobre carga permanente.** - Se determinó el peso por m² del muro de albañilería, considerando unidades de arcilla cocidas huecas. Según el expediente técnico se usaron los ladrillos panderetas, se aprecia sus características en el siguiente gráfico.

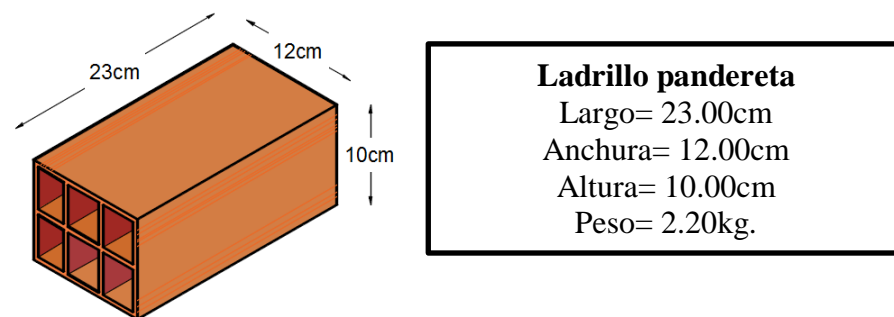


Figura 52: Dimensiones y peso del ladrillo pandereta

Considerando una junta de mortero de 1cm (horizontal y vertical), se calculó la cantidad de unidades de albañilería que entra en 1m² de muro, y así obtenemos el peso total de los ladrillos pandereta. Luego se calculó el volumen de mortero en las juntas, para poder determinar el peso de este. El siguiente gráfico muestra el armado de 1m² de muro.

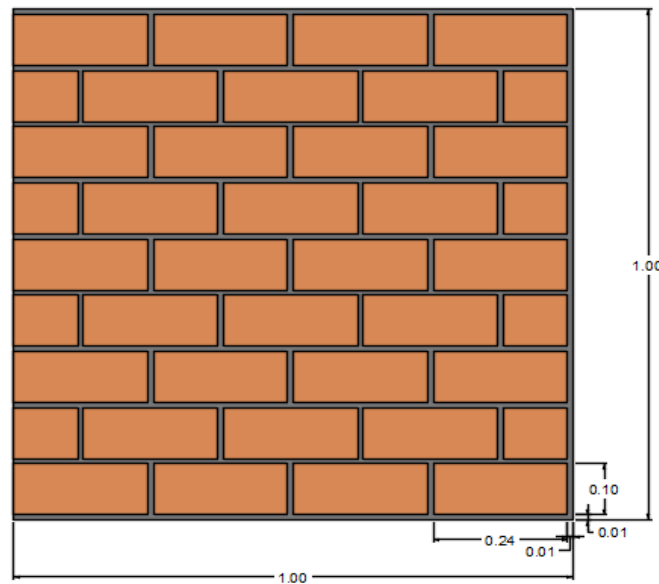


Figura 53: Detalle de 1m2 de muro con ladrillo pandereta

$$(10\text{cm}+1\text{cm}) \cdot (24\text{cm}+1\text{cm}) = 275.00\text{cm}^2 = 0.0275\text{m}^2$$

Cantidad de ladrillos por 1m2 de muro $\longrightarrow 1\text{m}^2 / 0.0275\text{m}^2 = 36.3636$ und.

Peso de ladrillos por 1m2 de muro = **80.00kgf**

Junta horizontal $\longrightarrow V_{\text{mortero}} = 25\text{cm} \cdot 13\text{cm} \cdot 1\text{cm} = 325\text{cm}^3 = 0.000325\text{m}^3$

Junta horizontal = $36\text{und} \cdot 0.000325 = 0.0117\text{m}^3$

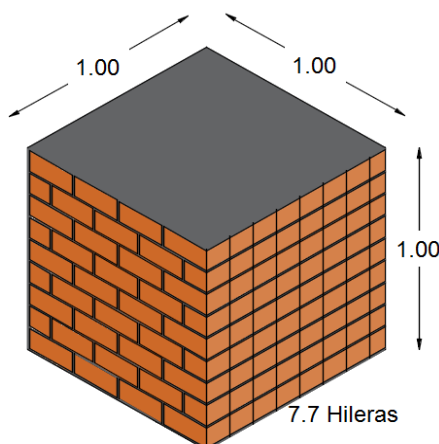
Junta vertical $\longrightarrow V_{\text{mortero}} = 10\text{cm} \cdot 13\text{cm} \cdot 1\text{cm} = 130\text{cm}^3 = 0.000130\text{m}^3$

Junta vertical = $40\text{und} \cdot 0.000130 = 0.0052\text{m}^3$

Volumen total de motero en 1m2 de muro = $0.0169\text{m}^3 + 0.0013\text{m}^3 = 0.0182\text{m}^3$

Peso de mortero por 1m2 de muro = **36.4kgf**

Peso total de 1m2 de muro = 115.60kgf



1m3 de muro de ladrillo pandereta

Peso total de 1m2 (1hileras) = 115.60kgf
Peso total de 1m3 (7.7hileras) = 890.12kgf/m3

Peso unitario según E.020

Unidades de arcillas cocidas huecas = 1350 kgf/m3

Figura 54: Peso volumétrico de muro de albañilería (1m3)

Conociendo el peso volumétrico de las unidades de albañilería se realizó un metrado exhaustivo de los muros de albañilería, generando cargas puntuales y distribuidas, que fueron cargados a las respectivas vigas. Además de considerar una carga de 100kg/m² para acabados. El proceso de metrado de muros de albañilería y proceso de cálculo se detalla en el Anexo 3. El siguiente gráfico representa el asentado de muro en un pórtico del edificio, se puede observar el muro lleno (asentado desde el piso hasta el techo) y el muro de alfeizar que tiene una altura de 0.60m. Se aprecia también el método de carga (distribuida por metro) en las vigas, considerando el ancho y la altura de muro.

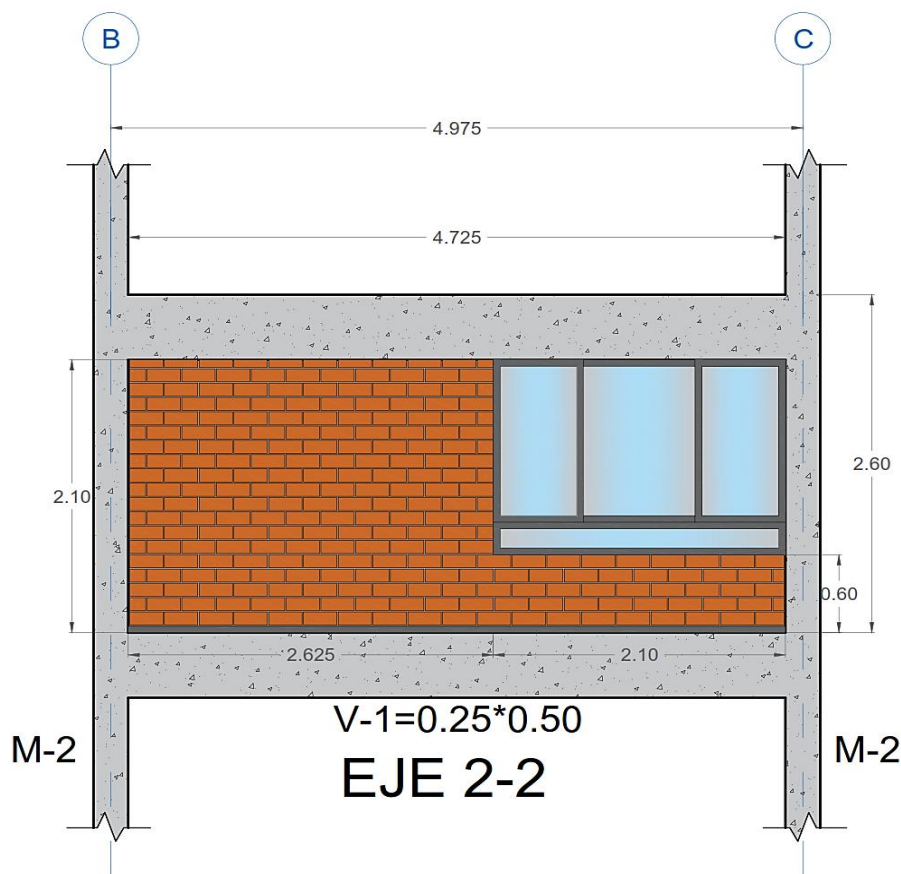


Figura 55: Detalle de muro asentado en portico

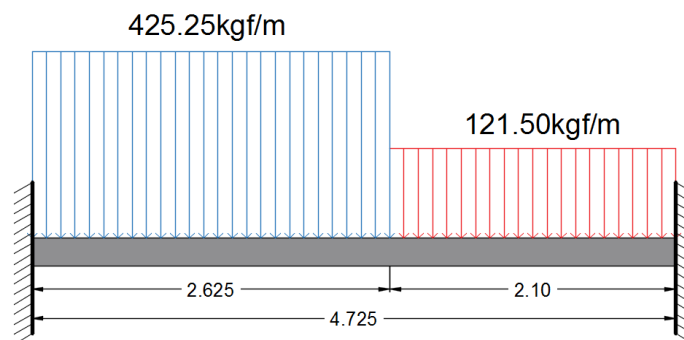


Figura 56: Cargas distribuidas en las vigas

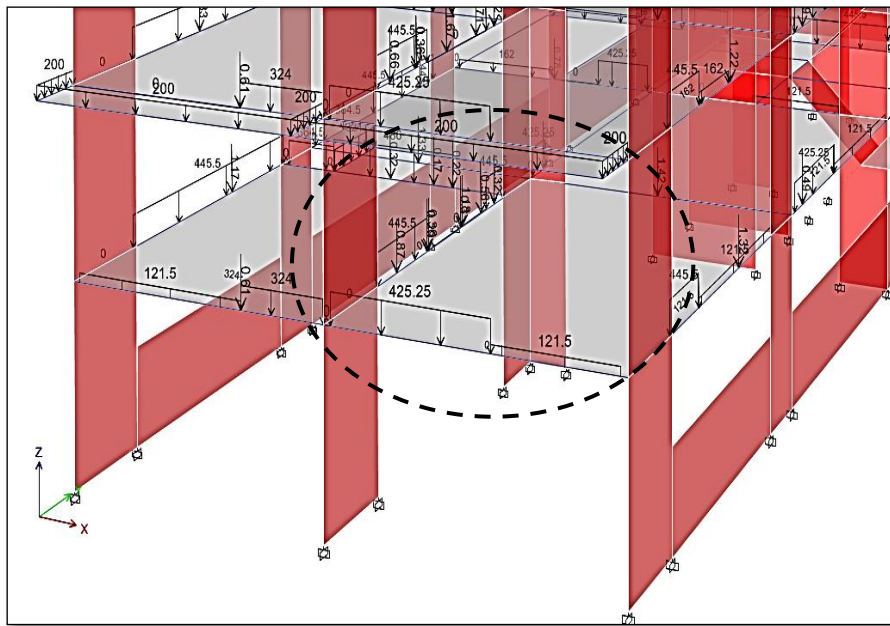


Figura 57: Introducción de cargas distribuidas por metro lineal en viga al software

Se realiza el mismo proceso para todos los muros existentes, cargando el peso por metro lineal y puntual a las vigas y el peso por metro cúbico a las losas.

Posteriormente se procede a obtener el peso total de sobrecarga permanente por cada nivel, verificando siempre el cálculo manual con el resultado del software.

Tabla 18: Metrado de sobrecarga permanente-albañilería y acabados

SOBRE CARGA PERMANENTE (SCP)		
Nivel	Unidad	Carga
Terraza	tonf	13.037
Nivel 8	tonf	73.37
Nivel 7	tonf	75.25
Nivel 6	tonf	83.38
Nivel 5	tonf	83.38
Nivel 4	tonf	83.38
Nivel 3	tonf	83.38
Nivel 2	tonf	83.38
Nivel 1	tonf	83.20
Peso Total Carga Viva (tonf)		661.75

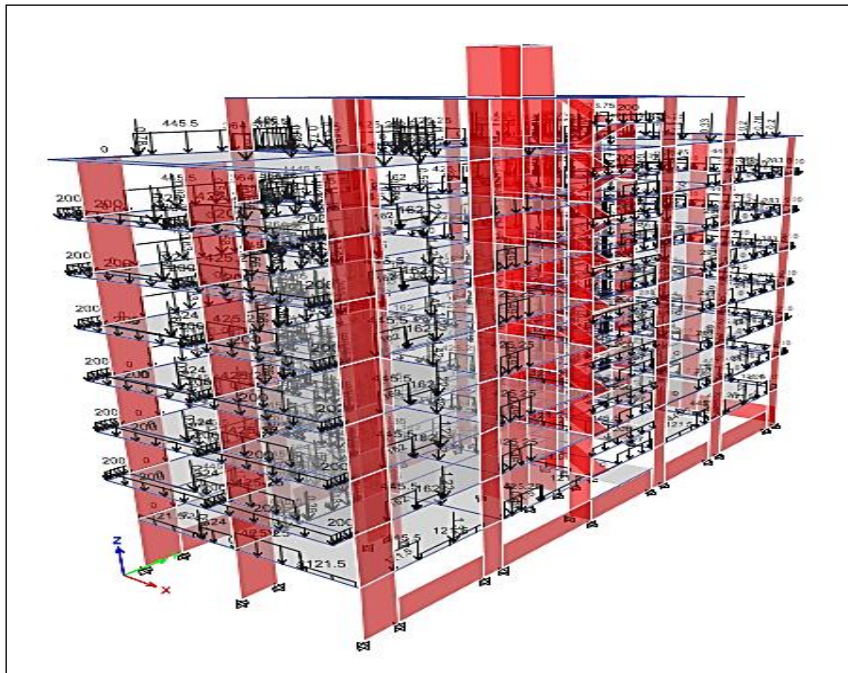


Figura 58: Cargas distribuidas y puntuales en las vigas

- **Carga viva (CV).** - Se empleó las cargas mínimas repartidas que establece el RNE E.020 Cargas, considerando el uso y ocupación de las áreas que mandan los planos de arquitectura. El proyecto contempla el uso de los ambientes a vivienda, considerando una carga de 200.00kgf/m², para corredores y escaleras también se utilizó una carga de 200.00kgf/m² y para el techo que cuenta con una inclinación menor a 3° se tomó una carga de 100.00kgf/m². El proceso se detalla en el Anexo 4.

Tabla 19: *Metrado de cargas vivas-vivienda*

Carga viva (CV)		
Nivel	Unidad	Carga
Terraza	tonf	13.06
Nivel 8	tonf	51.53
Nivel 7	tonf	51.53
Nivel 6	tonf	51.53
Nivel 5	tonf	51.53
Nivel 4	tonf	51.53
Nivel 3	tonf	51.53
Nivel 2	tonf	51.53
Nivel 1	tonf	48.94
Peso Total Carga Viva (tonf)		422.71

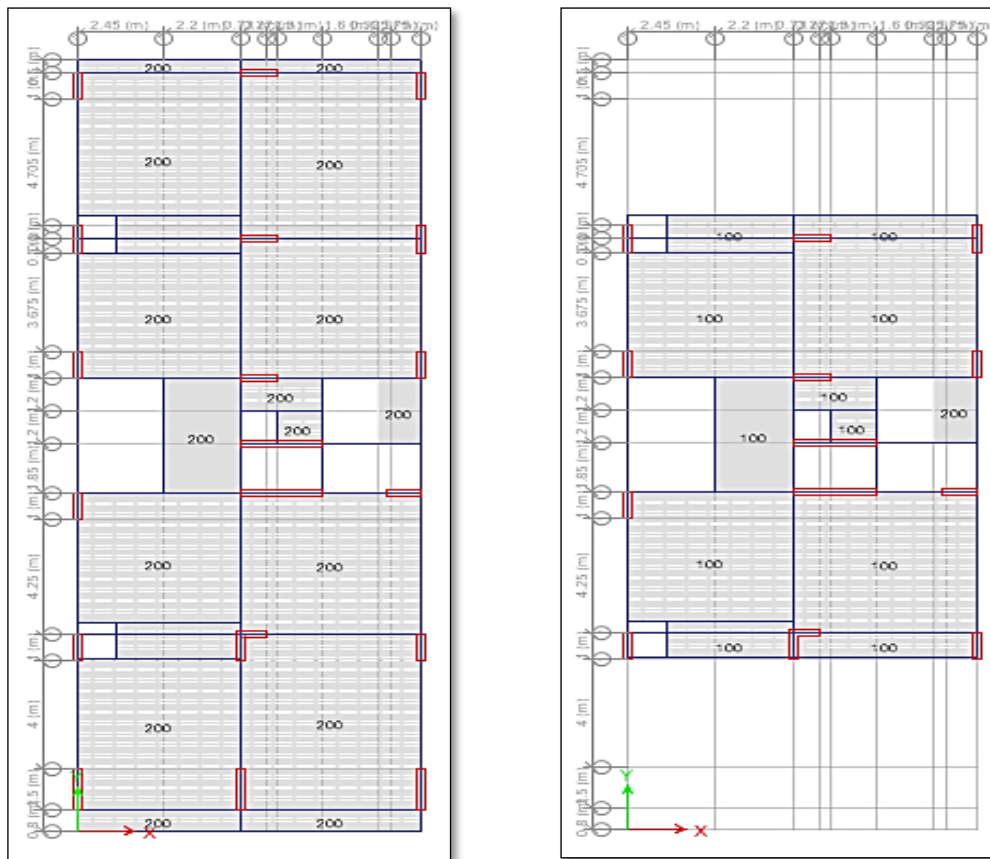


Figura 59: Cargas vivas distribuidas por áreas en losas

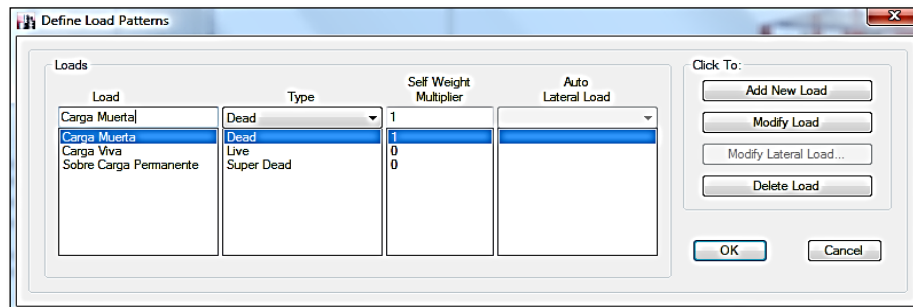


Figura 60: Definición de los patrones de carga en el software Etabs

3.5.4.7. Definición del peso sísmico de la edificación (Mass Source)

Para estimar el Peso sísmico de la edificación se consideró el 100% de la Carga Muerta (Peso propio) más el 100% de la Sobre Carga Permanente (Albañilería y Acabados) y añadiendo un 25% de la Carga Viva, según el RNE E.030 Diseño sismorresistente Artículo 26.

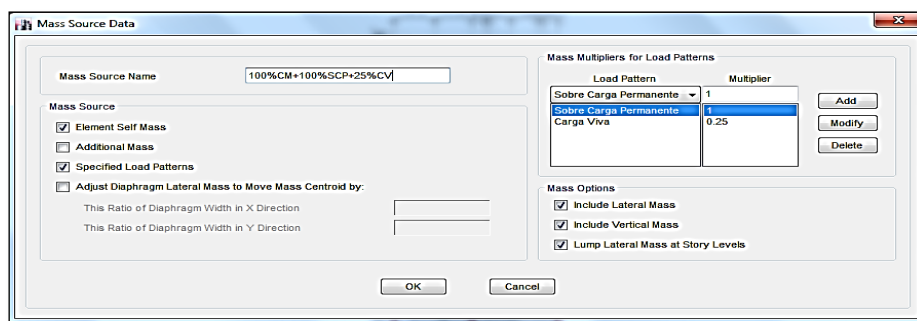


Figura 61: Definición del pesosísmico en el Software Etabs

3.5.5. Análisis estructural de la edificación

3.5.5.1. Análisis sísmico estático o de fuerzas laterales equivalentes

El Reglamento Nacional de Edificaciones-Norma Técnica Peruana E.030 Diseño sismorresistente propone realizar un análisis estático para edificaciones que se encuentren en las zonas 2,3 y 4, y para estructuras regulares que no exceden los 30 m de altura.

Se aplica una fuerza al centro de masa final de cada entrepiso, análisis donde solamente intervienen la fuerza vs la rigidez lateral, y tiene como fin determinar el sistema estructural, determinar la regularidad estructural (planta y altura) y determinar la cortante estática para la comparación con la cortante dinámica.

3.5.5.2. Identificación de los parámetros sísmicos

- **Factor de zona “Z”.** - Teniendo en cuenta la Norma E.030 obtuvo el factor de zona “Z” para el edificio “Residencial Santa Rosa” ubicado en la ciudad del Cusco se encuentra en la zona sísmica 2, correspondiéndole un valor de **Z=0.25**.
- **Categoría de la edificación y factor de uso “U”.** - El uso del edificio “Residencial Santa Rosa” está destinado para vivienda, perteneciendo al grupo C – Edificios comunes, otorgándole un valor de **U=1.0** según las categorías de la Norma E.030.
- **Perfil de suelo “S”.** - Según el estudio de mecánica de suelos del expediente técnico, se cuenta con estratos de apoyo: Estratos gravosos (*GM* y *GP-GM*), estratos finos (*ML*, *CL* y *CL-ML*), y con una capacidad de carga admisible de 1.40kg/cm². Clasificando el perfil de suelo como S2 - Suelos intermedios.
- **Parámetros de sitio “S, Tp-Tl”.** - Con el factor de zona y el perfil de suelo se obtuvo el factor de amplificación del suelo **S=1.20**, el periodo **Tp=0.6** y el periodo **Tl=2.0**, según las tablas que ofrece la Norma E.030.
- **Periodo fundamental de vibración “T”.** - Se procedió a calcular un periodo natural de vibración referencial mediante la expresión brindada por la Norma E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad \dots (35)$$

h_n = Altura total de la edificación desde el nivel de terreno = 24.80m

C_T = Edificio de concreto armado - Muros estructurales = 60

$$T = 0.413\text{sg}$$

- **Coefficiente de amplificación sísmica “C”**. - Para realizar el cálculo se consideró los periodos de terreno obtenidos anteriormente (T_p - T_l) y conociendo el valor referencial del periodo fundamental de vibración obtenemos el valor **C=2.5**. Mediante el siguiente gráfico.

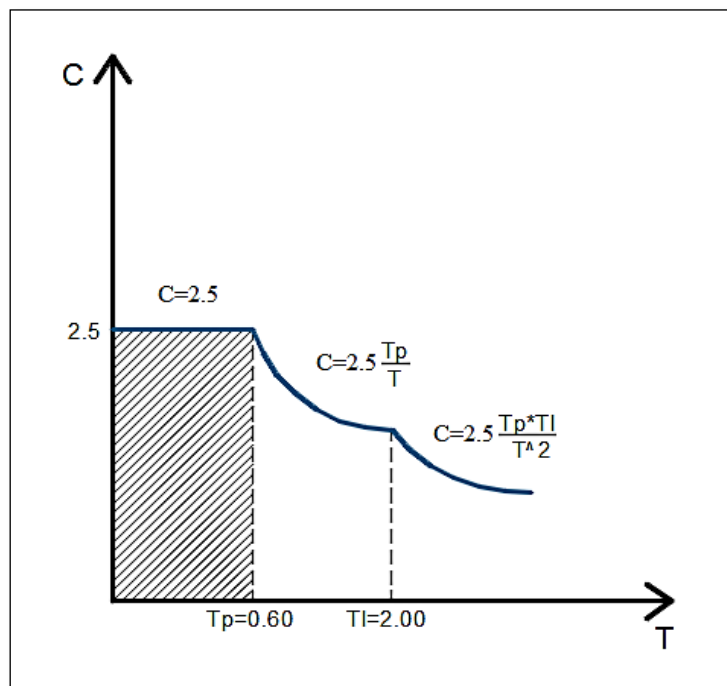


Figura 62: Espectro de aceleraciones C=2.5

- **Coefficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas “Ro”**. - El edificio “Residencial Santa Rosa” cuenta con un sistema estructural conformado por muros de corte de concreto armado tanto en el eje X como en el eje Y, adquiriendo un coeficiente de reducción **Ro=6** para ambas direcciones. De existir alguna irregularidad el valor R_o sería afectado por coeficientes de Irregularidad de altura y/o planta.

Tabla 20: *Parámetros sísmicos Norma E.030 “Diseño sismorresistente”*

Parámetros sísmicos Norma E030			
Factor	Nomenclatura	Clasificación categórica tipo	Valor
Factor de zona	Z	Zona 2-Cusco	0.25
Factor de uso	U	Categoría C-Vivienda	1
Factor de suelo	S	S2-Suelos intermedios	1.2
	Tp	Periodo P	0.6
	Tl	Periodo L	2.0
Periodo fundamental	$T_{xy}=h_n/C_t=$	T_{xy} (sg)	0.413
Factor de amplificación sísmica	C=	$T < T_p$	2.5
Factor de reducción	Rx	Dirección X-C°A° Muros estructurales	6
	Ry	Dirección Y-C°A° Muros estructurales	6

- **Fuerza cortante en la base “V”.** - Se calculó la fuerza cortante total en la base de la estructura, para ambas direcciones, se utilizó la expresión que establece la Norma E.030.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} * P \quad \dots (36)$$

$$V = 0.125 * P$$

Se procede a realizar el cálculo manual de la cortante basal para poder comparar con el resultado generado por el software.

$$\text{Peso total de la edificación} = 100\%CM + 100\%SCP + 25\%CV$$

$$\text{Peso total} = 2023.3675 \text{tonf}$$

$$V_x = 183.924 \text{tonf}$$

$$V_y = 220.891 \text{tonf}$$

- **Periodos naturales de vibración “Tx-Ty”.** - Se realizó el análisis estático en el Software Etabs, y se procedió a extraer los periodos naturales de vibración reales.

Tabla 21: Peridos Naturales de Vibración Obtenidos del Análisis Estático

Periodos naturales de vibración				
Modo de vibración	Periodo natural de vibración (sg)	UX	UY	RZ
1	0.825	0.455	0.009	0.286
2	0.784	0.273	0.001	0.462
3	0.687	0.003	0.724	0.006

$$T_x = 0.825 \text{sg}$$

$$T_y = 0.687 \text{sg}$$

- **Corrección por periodo real sísmico.** - Se asumió un factor $C=2.5$, tomando como referencia el periodo fundamental $T=0.413\text{sg}$, con los periodos reales sísmicos obtenidos por el análisis estático se procedió a la corrección de los factores de amplificación.

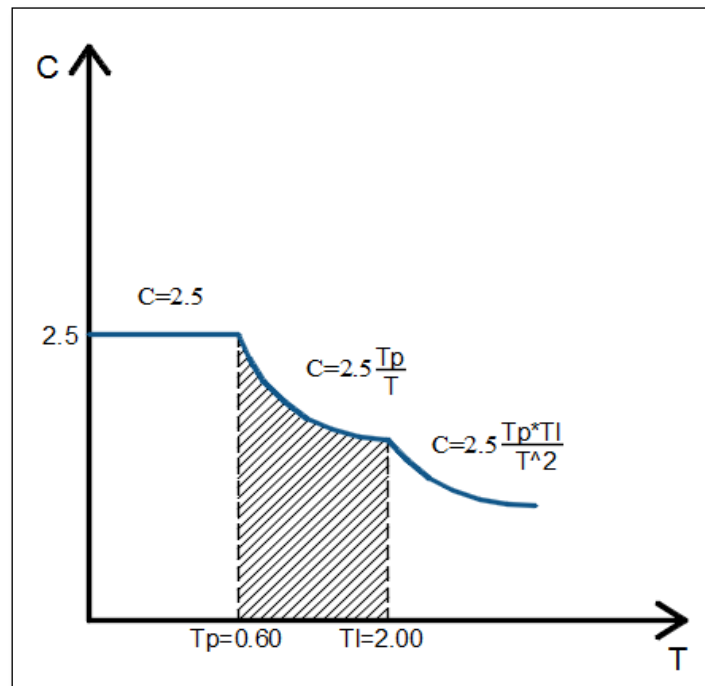


Figure 63: Espectro de aceleraciones $C=2.5(T_p/T)$

$$X-T_x=0.825\text{sg}, C_x=1.818$$

$$Y-T_y=0.687\text{sg}, C_y=2.183$$

- **Exponente por altura del edificio “K”.** - Los periodos reales de vibración obtenidos superan los 0.5sg , siguiendo lo establecido en la Norma E.030 el factor “K” se obtuvo mediante las siguientes expresiones.

$$\text{Para } T > 0.5\text{sg}, k = (0.75 + 0.50T) \leq 2.0$$

$$k_x = 1.1625 \leq 2.0 \text{ Ok!}$$

$$k_y = 1.0935 \leq 2.0 \text{ Ok!}$$

- **Factor C' y cortante basal.** - Se procedió a obtener el coeficiente de cortante basal C' para poder ingresar los datos corregidos al software Etabs, realizar el análisis estático y obtener la fuerza cortante basal en ambas direcciones.

$$\frac{Z * U * C * S}{R} = C'$$

$$C'_x = 0.090909$$

$$C'_y = 0.109170$$

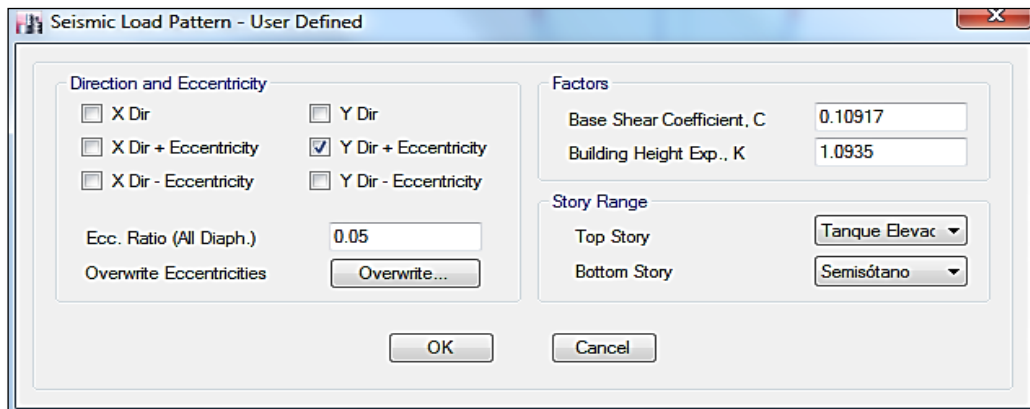
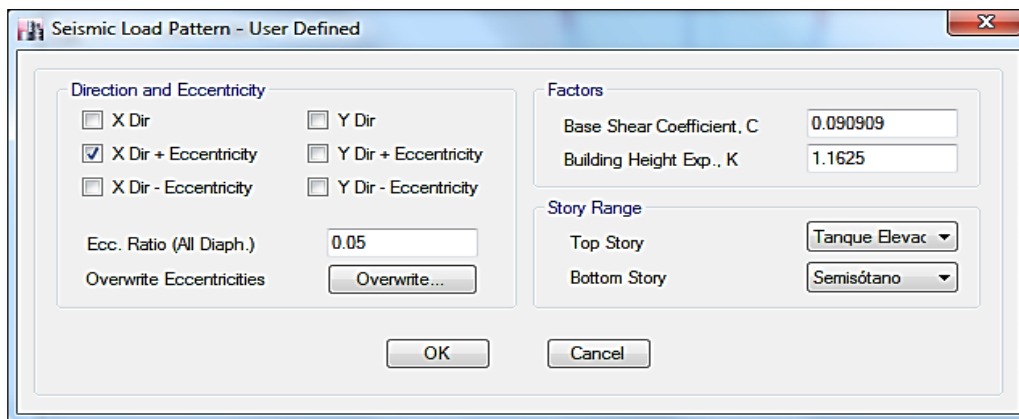


Figura 64: Corrección de los valores C'y k en ambas direcciones de análisis

$$V_x = 166.85 \text{ tonf}$$

$$V_y = 200.36 \text{ tonf}$$

3.5.5.3. Periodos traslacionales

Se procedió a calcular los periodos traslacionales de la edificación, para poder comparar con los periodos obtenidos en ambas direcciones de análisis.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i}}$$

Dónde:

P_i = Peso por nivel

f_i = Fuerza lateral por nivel en la dirección ortogonal de análisis

d_i = Desplazamiento lateral del centro de masa por nivel en traslación pura

g = Aceleración de la gravedad

Tabla 22: Periodo traslacional en dirección X

Periodo traslacional en X-X					
Nivel	Peso P (ton)	Fuerza lateral f (ton)	Desplazamiento d (m)	$P*d^2$	$f*d$
Terraza	207.9	18.67	0.022	0.101	0.412
8vo Nivel	211.73	33.58	0.020	0.087	0.681
7mo Nivel	217.12	29.32	0.018	0.072	0.534
6to Nivel	217.12	25.19	0.016	0.054	0.397
5to Nivel	217.12	20.44	0.013	0.036	0.264
4to Nivel	217.12	15.84	0.010	0.021	0.155
3er Nivel	217.12	11.42	0.007	0.009	0.075
2do Nivel	218.1	7.26	0.004	0.003	0.026
1er Nivel	219.77	3.41	0.001	0.000	0.004
Sumatoria				0.383	2.547

Periodo Traslacional T_x (seg)= 0.778

Tabla 23: Periodo traslacional en dirección Y

Periodo traslacional en Y-Y					
Nivel	Peso P (ton)	Fuerza lateral f (ton)	Desplazamiento d (m)	$P*d^2$	$f*d$
Terraza	207.90	21.71	0.023	0.113	0.507
8vo Nivel	211.73	39.37	0.022	0.102	0.865
7mo Nivel	217.12	34.69	0.020	0.087	0.695
6to Nivel	217.12	30.12	0.018	0.067	0.529
5to Nivel	217.12	24.74	0.015	0.046	0.359
4to Nivel	217.12	19.47	0.011	0.026	0.215
3er Nivel	217.12	14.31	0.007	0.012	0.105
2do Nivel	218.10	9.35	0.004	0.003	0.035
1er Nivel	219.77	4.59	0.001	0.000	0.004
Sumatoria				0.457	3.314

Periodo Traslacional T_y (seg) = 0.745

3.5.5.4. Verificación de deriva estáticas

Se procede a evaluar las derivas estáticas con el objetivo, no se considerarán para el análisis, pero si para verificar irregularidades.

Tabla 24: Derivas estáticas de entrepiso – Dirección X

Verificación de las derivas estáticas de entrepiso					
Dirección X					
Piso	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Distorsión elástica	Distorsión inelástica	Verificación
Terraza	0.24	260	0.000923077	0.00415	Bien
8vo Nivel	0.27	260	0.001020769	0.00459	Bien
7mo Nivel	0.32	260	0.001217415	0.00548	Bien
6to Nivel	0.37	260	0.001404354	0.00632	Bien
5to Nivel	0.40	260	0.001536231	0.00691	Bien
4to Nivel	0.41	260	0.001576919	0.00710	Mal
3er Nivel	0.38	260	0.001475631	0.00664	Bien
2do Nivel	0.30	260	0.001171088	0.00527	Bien
1er Nivel	0.14	280	0.000483046	0.00217	Bien

Tabla 25: Derivas estáticas de entrepiso – Dirección Y

Verificación de las derivas estáticas de entrepiso					
Dirección Y					
Piso	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Distorsión elástica	Distorsión inelástica	Verificación
Terraza	0.14	260	0.000538462	0.00242	Bien
8vo Nivel	0.19	260	0.000743746	0.00335	Bien
7mo Nivel	0.25	260	0.000954081	0.00429	Bien
6to Nivel	0.30	260	0.001166862	0.00525	Bien
5to Nivel	0.35	260	0.001337392	0.00602	Bien
4to Nivel	0.37	260	0.001431027	0.00644	Bien
3er Nivel	0.36	260	0.001391915	0.00626	Bien
2do Nivel	0.29	260	0.001100419	0.00495	Bien
1er Nivel	0.08	280	0.000302175	0.00136	Bien

3.5.5.5. Regularidad estructural

Según la Norma E.030 se evaluó las posibles irregularidades que puedan existir en el edificio “Residencial Santa Rosa”, para estos análisis no se consideró el semisótano ni la azotea.

3.5.5.6. Irregularidad en altura

Tabla 26: Irregularidad de rigidez - Piso blando X-X

Irregularidades estructurales en altura							
Irregularidades de rigidez - Piso blando							
Dirección X							
Nivel	Fuerza Cortante V (Tonf)	Desplazamiento Relativo del Centro de Masa (cm)	Rigidez Lateral $K=F/d$ (Tonf/cm)	Rigidez (K1) / Rigidez piso superior (K2)	Existe irregularidad si $K1/K2 < 70\%$	Existe irregularidad si $K1/Prom(K2, K3, K4) < 80\%$	Existe irregularidad si $K1/K2 < 70\%$
Terraza	20.400	0.24	86.52	-	-	-	-
8vo Nivel	53.970	0.27	203.35	235.03%	Regular	-	-
7mo Nivel	83.290	0.32	263.14	129.40%	Regular	-	-
6to Nivel	108.480	0.37	297.10	112.91%	Regular	161%	Regular
5to Nivel	128.920	0.40	322.77	108.64%	Regular	127%	Regular
4to Nivel	144.760	0.41	353.07	109.39%	Regular	120%	Regular
3er Nivel	156.170	0.38	407.05	115.29%	Regular	126%	Regular
2do Nivel	163.440	0.30	536.78	131.87%	Regular	149%	Regular
1er Nivel	166.850	0.14	1233.61	229.82%	Regular	285%	Regular

Tabla 27: Irregularidad de rigidez - Piso blando Y-Y

Irregularidades estructurales en altura							
Irregularidades de rigidez - Piso blando							
Dirección Y							
Nivel	Fuerza Cortante V (Tonf)	Desplazamiento Relativo del Centro de Masa (cm)	Rigidez Lateral K (Tonf/cm)	Rigidez (K1) / Rigidez piso superior (K2)	Existe irregularidad si $K1/K2 < 70\%$	Existe irregularidad si $K1/Prom(K2, K3, K4) < 80\%$	Existe irregularidad si $K1/K2 < 70\%$
Terraza	23.710	0.14	173.45	-	-	-	-
8vo Nivel	63.080	0.19	326.21	188.07%	Regular	-	-
7mo Nivel	97.770	0.25	394.14	120.82%	Regular	-	-
6to Nivel	127.890	0.30	421.54	106.95%	Regular	141%	Regular
5to Nivel	152.640	0.35	438.97	104.13%	Regular	115%	Regular
4to Nivel	172.100	0.37	462.55	105.37%	Regular	111%	Regular
3er Nivel	186.410	0.36	515.09	111.36%	Regular	117%	Regular
2do Nivel	195.770	0.29	684.25	132.84%	Regular	145%	Regular
1er Nivel	200.360	0.08	2368.07	346.08%	Regular	427%	Regular

Tabla 28: Irregularidad de resistencia - Piso debil X-X

Irregularidades estructurales en altura			
Irregularidades de resistencia - Piso débil			
Dirección X			
Nivel	Resistencia F. Cortante Vc (Tonf)	Resistencia (Vc1)/ Resistencia piso superior (Vc2)	Existe irregularidad si Vc1/Vc2<80%
Terraza	185.482	-	-
8vo Nivel	234.45	126.40%	Regular
7mo Nivel	234.45	100.00%	Regular
6to Nivel	234.45	100.00%	Regular
5to Nivel	234.45	100.00%	Regular
4to Nivel	234.45	100.00%	Regular
3er Nivel	234.45	100.00%	Regular
2do Nivel	234.45	100.00%	Regular
1er Nivel	234.45	100.00%	Regular

Tabla 29: Irregularidad de resistencia - Piso debil Y-Y

Irregularidades estructurales en altura			
Irregularidades de resistencia - Piso débil			
Dirección Y			
Nivel	Resistencia F. Cortante Vc (Tonf)	Resistencia (Vc1)/ Resistencia piso superior (Vc2)	Existe irregularidad si Vc1/Vc2<80%
Terraza	192.97	-	-
8vo Nivel	338.42	175.37%	Regular
7mo Nivel	338.42	100.00%	Regular
6to Nivel	338.42	100.00%	Regular
5to Nivel	338.42	100.00%	Regular
4to Nivel	338.42	100.00%	Regular
3er Nivel	338.42	100.00%	Regular
2do Nivel	338.42	100.00%	Regular
1er Nivel	338.42	100.00%	Regular

Tabla 30: Irregularidad de masa o peso

Irregularidades estructurales en altura						
Irregularidad de masa o peso						
Nivel	Masa de nivel (Tonf-s2/m)	Peso de nivel (Ton)	Variación con piso adyacente superior (Var. Psup.)	Variación con piso adyacente inferior (Var. Pinf.)	Existe irregularidad Ia=0.90, si:	
					Var. Psup.>1.5	Var. Pinf.>1.5
8vo Nivel	21.20	207.90	-	0.982	-	Regular
7mo Nivel	21.59	211.73	1.018	0.975	Regular	Regular



6to Nivel	22.14	217.12	1.025	1.000	Regular	Regular
5to Nivel	22.14	217.12	1.000	1.000	Regular	Regular
4to Nivel	22.14	217.12	1.000	1.000	Regular	Regular
3er Nivel	22.14	217.12	1.000	0.996	Regular	Regular
2do Nivel	22.24	218.10	1.005	0.992	Regular	Regular
1er Nivel	22.41	219.77	1.008	-	Regular	-

Tabla 31: Irregularidad de geometría vertical X-X

Irregularidades estructurales en altura					
Irregularidad geometría vertical					
Dirección X					
Nivel	Dimensión en planta eje X-X	Variación con piso adyacente superior (Var. Psup.)	Variación con piso adyacente inferior (Var. Pinf.)	Existe irregularidad Ia=0.90, si:	
				Var. Psup.>1.3	Var. Pinf.>1.3
8vo Nivel	10.00	-	1.000	-	Regular
7mo Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
6to Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
5to Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
4to Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
3er Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
2do Nivel	10.00	1.000	1.000	Regular	Regular
1er Nivel	10.00	1.000	-	Regular	-

Tabla 32: Irregularidad de geometría vertical Y-Y

Irregularidades estructurales en altura					
Irregularidad geometría vertical					
Dirección Y					
Nivel	Dimensión en planta eje Y-Y	Variación con piso adyacente superior (Var. Psup.)	Variación con piso adyacente inferior (Var. Pinf.)	Existe irregularidad Ia=0.90, si:	
				Var. Psup.>1.3	Var. Pinf.>1.3
8vo Nivel	28.68	-	1.000	-	Regular
7mo Nivel	28.68	1.000	1.000	Regular	Regular
6to Nivel	28.68	1.000	1.000	Regular	Regular
5to Nivel	28.68	1.000	1.000	Regular	Regular
4to Nivel	28.68	1.000	1.000	Regular	Regular
3er Nivel	28.68	1.000	1.000	Regular	Regular
2do Nivel	28.68	1.000	1.047	Regular	Regular
1er Nivel	27.38	0.955	-	Regular	-

Tabla 33: Irregularidad de sistemas resistentes

Irregularidades estructurales en altura
Discontinuidad en los sistemas resistentes Ia=0.80
No existe desalineamiento vertical en ningún elemento que resista más del 10% de la Fuerza Cortante=Regular

Tabla 34: Irregularidad extrema de sistemas resistentes

Irregularidades estructurales en altura	
Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes $I_a=0.60$	
No existe desalineamiento vertical en ningún elemento que resista más del 25% de la Fuerza Cortante=Regular	

3.5.5.7. Irregularidad en Planta

Sólo se verificará la irregularidad torsional si la distorsión máxima elástica de entrepiso es mayor que el 50% de la distorsión permisible según la Norma E.030. Se extraen las derivas elásticas obtenidas en el análisis estático.

Tabla 35: Irregularidad torsional X-X

Irregularidades estructurales en planta					
Irregularidad torsional					
Dirección X					
Nivel	Derivas elásticas de entrepiso (Delas.)	Deriva máx. en $C^\circ A^\circ$ Según E030	50% de Deriva máx. en $C^\circ A^\circ$ según E030	Existe irregularidad $I_p=0.75$, si	
				Delas.>50% $D_{máx}C^\circ A^\circ$	
8vo Nivel	0.001021	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
7mo Nivel	0.001217	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
6to Nivel	0.001404	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
5to Nivel	0.001536	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
4to Nivel	0.001577	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
3er Nivel	0.001476	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
2do Nivel	0.001171	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
1er Nivel	0.000483	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular

Tabla 36: Irregularidad torsional Y-Y

Irregularidades estructurales en planta					
Irregularidad torsional					
Dirección Y					
Nivel	Derivas elásticas de entrepiso (Delas.)	Deriva máx. en $C^\circ A^\circ$ según E030	50% de Deriva máx. en $C^\circ A^\circ$ según E030	Existe irregularidad $I_p=0.75$, si	
				$D>50\%D_{máx}$	
8vo Nivel	0.000744	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
7mo Nivel	0.000954	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
6to Nivel	0.001167	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
5to Nivel	0.001337	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
4to Nivel	0.001431	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
3er Nivel	0.001392	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
2do Nivel	0.001100	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular
1er Nivel	0.000302	0.007	0.0035	No se Aplica	Regular



Tabla 37: Irregularidad de discontinuidad del diafragma

Irregularidades estructurales en planta				
Irregularidad discontinuidad del diafragma				
Nivel	Área del diafragma AD(m ²)	Área de aberturas AA(m ²)	% de Variación de áreas (% Var.)	Existe irregularidad Ia=0.85, si:
				% Var > 50%
9no Nivel	143.26	23.59	16.47%	Regular
8vo Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
7mo Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
6to Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
5to Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
4to Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
3er Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
2do Nivel	223.65	23.59	10.55%	Regular
1er Nivel	210.65	23.59	11.20%	Regular

Tabla 38: Irregularidad de esquinas entrantes

Irregularidades estructurales en planta
Irregularidad esquinas entrantes Ip=0.90
No existe esquinas entrantes en la edificación = No existe Irregularidad por Esquinas Entrantes

Tabla 39: Irregularidad de sistemas no paralelos

Irregularidades estructurales en planta
Irregularidad sistemas no paralelos Ip=0.90
Los elementos resistentes a fuerzas laterales son paralelos entre si = Regular

No se detectaron irregularidades, tanto en altura como en planta, en la edificación, por ende los coeficientes de Irregularidad serán 1.

Irregularidad en altura Ia=1.00 - Irregularidad en planta Ip=1.00

3.5.5.8. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas “R”

Se determinó el coeficiente de reducción en ambas direcciones que se empleará en el Análisis Modal Espectral, calculando a partir del coeficiente básico de reducción (R_0), los coeficientes de irregularidad (I_a-I_p) y usando la expresión que establece la Norma E.030.

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

$$R_{xy} = 6$$



3.5.5.9. Análisis sísmico dinámico modal espectral.

Concluyendo el análisis estático se procede a realizar el análisis sísmico con un modelo dinámico por el método modal espectral, aplicando una fuerza externa de excitación producida por un espectro inelástico de aceleración vs periodo. El análisis dinámico se interpreta como: La interacción entre la rigidez y la masa, la obtención del porcentaje mínimo del 90% de masa participativa, modos de vibración libre del edificio y periodos inelásticos definidos.

3.5.5.10. Verificación del sistema estructural

Según la Norma E.030 “Diseño sismorresistente” dependiendo del porcentaje de absorción de la fuerza cortante basal que tienen los elementos estructurales se define el sistema estructural.

La Norma indica que para que se considere un sistema de muros de corte, al menos el 70% de la fuerza cortante en la base será absorbida por los elementos estructurales verticales (placas), en caso en porcentaje de absorción se encuentre en un intervalo de 20% al 70% se considerará un sistema estructural dual, combinación de columnas y placas.

Para este caso ya no se hizo el análisis respectivo, puesto que el sistema estructural planteado está conformado por muros de corte, por consiguiente, se considera que las placas son las encargadas de absorber la fuerza cortante basal. Se define el sistema como muros de corte.

3.5.5.11. Aceleración espectral

Para cada dirección ortogonal de análisis del edificio “Residencial Santa Rosa” se empleó un espectro de pseudo-aceleraciones definido por la siguiente expresión que plantea el RNE Norma E.030 Diseño sismorresistente.

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Se utilizó una hoja de cálculo para poder determinar los valores del espectro de respuesta variando el periodo.

Tabla 40: Parámetros sísmicos espectro de respuestas

Parámetros sísmicos espectro de respuesta - Norma E030			
Factor	Nomenclatura	Clasificación categórica tipo	Valor
Factor de zona	Z	Zona 2-Cusco	0.25
Factor de uso	U	Categoría C-Vivienda	1
Factor de suelo	S	S2-Suelos intermedios	1.2
	Tp	Periodo P	0.6
	Tl	Periodo L	2.0
Factor de amplificación sísmica	C=	$T < T_p = 2.5$ $T_p < T < T_l = 2.5 * T_p / T$ $T > T_l = 2.5 * ((T_p * T_l) / T^2)$	
Factor de reducción	Rx	Dirección X-C°A° Muros estructurales	6
	Ry	Dirección Y-C°A° Muros estructurales	6

Tabla 41: Espectro de pseudo-aceleraciones R=6

T(sg)	C	ZUCS/R
0.00	2.50	0.1250
0.02	2.50	0.1250
0.04	2.50	0.1250
0.06	2.50	0.1250
0.08	2.50	0.1250
0.10	2.50	0.1250
0.12	2.50	0.1250
0.14	2.50	0.1250
0.16	2.50	0.1250
0.18	2.50	0.1250
0.20	2.50	0.1250
0.25	2.50	0.1250
0.30	2.50	0.1250
0.35	2.50	0.1250
0.40	2.50	0.1250
0.45	2.50	0.1250
0.50	2.50	0.1250
0.55	2.50	0.1250
0.60	2.50	0.1250
0.61	2.46	0.1232
0.65	2.31	0.1154
0.70	2.14	0.1071



0.72	2.07	0.1037
0.75	2.00	0.1000
0.80	1.88	0.0938
0.85	1.76	0.0882
0.90	1.67	0.0833
0.95	1.58	0.0789
1.00	1.50	0.0750
1.10	1.36	0.0682
1.20	1.25	0.0625
1.30	1.15	0.0577
1.40	1.07	0.0536
1.50	1.00	0.0500
1.60	0.94	0.0469
3.00	0.33	0.0167
4.00	0.19	0.0094
5.00	0.12	0.0060
6.00	0.08	0.0042
7.00	0.06	0.0031
8.00	0.05	0.0023
9.00	0.04	0.0019
10.00	0.03	0.0015

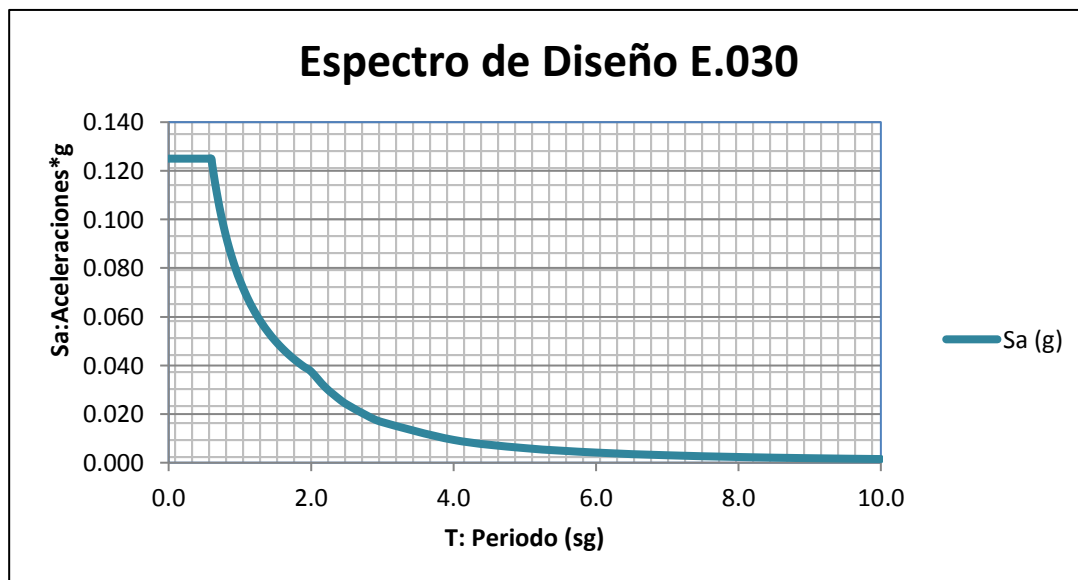


Figura 65: Espectro de diseño R=6

3.5.5.12. Casos de carga de respuesta espectral.

Se consideró los siguientes aspectos para poder definir la respuesta de la estructura. Se consideró el CQC (Combinación Cuadrática Completa) como método de combinación modal y SRSS (Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados) como tipo de combinación direccional. Se consideró también la componente vertical del sismo (U3), se utilizó los 2/3 de la componente horizontal. Se utilizó una excentricidad **accidental de 5%**.

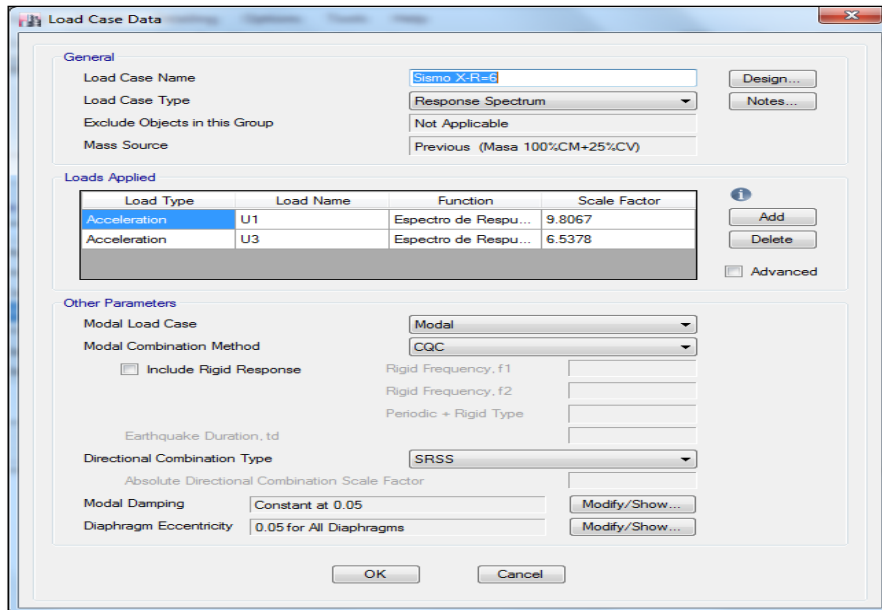


Figura 66: Definición de casos de carga análisis dinámico modal espectral X-X

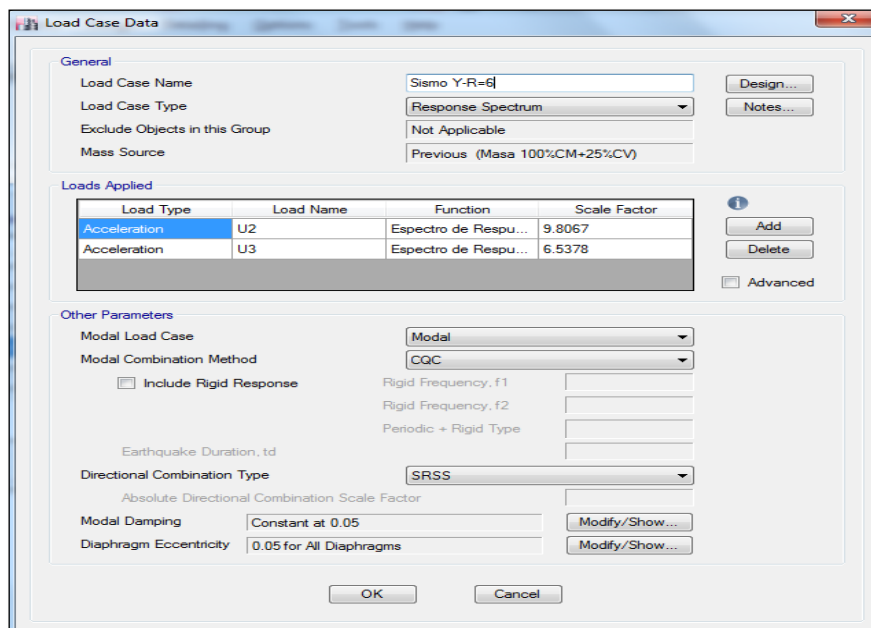


Figura 67: Definición de casos de carga análisis dinámico modal espectral Y-Y

3.5.5.13. Porcentaje de masa participativa

Según la Norma E.030 se deberá considerar aquellos modos de vibración cuya sumatoria de masas efectivas sea al menos el 90% de la masa total de la estructura y se tomará en cuenta por lo menos los 3 primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

Tabla 42: Porcentaje mínimo de masa participativa

Masa participativa			
Modo	Periodo T(sg)	Sumatoria UX	Sumatoria UY
1	0.825	45.46%	0.85%
2	0.784	72.78%	0.93%
3	0.687	73.09%	73.32%
4	0.252	74.55%	73.41%
5	0.237	86.17%	73.47%
6	0.211	86.31%	84.21%
7	0.137	86.32%	84.23%
8	0.119	91.30%	84.49%
9	0.113	91.64%	88.38%
10	0.108	91.66%	88.51%
11	0.096	91.66%	88.51%
12	0.095	91.66%	88.51%
13	0.094	91.66%	88.51%
14	0.093	91.67%	88.52%
15	0.093	91.67%	88.52%
16	0.093	91.68%	88.54%
17	0.092	91.68%	88.55%
18	0.091	91.68%	88.55%
19	0.091	91.70%	88.55%
20	0.089	91.70%	88.56%
21	0.086	91.70%	88.56%
22	0.084	91.70%	89.03%
23	0.084	91.72%	89.05%
24	0.083	91.72%	89.05%
25	0.083	91.72%	89.05%
26	0.083	91.72%	89.06%
27	0.083	91.72%	89.06%
28	0.083	91.72%	89.08%
29	0.083	91.72%	89.13%
60	0.070	94.43%	89.74%
61	0.070	94.43%	89.76%
62	0.069	94.46%	90.13%

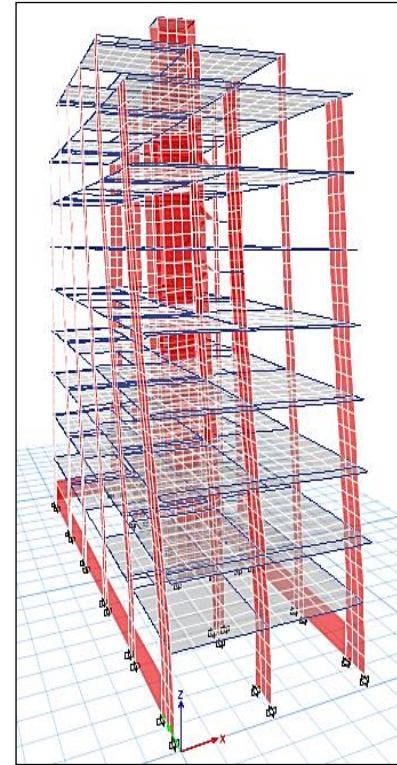
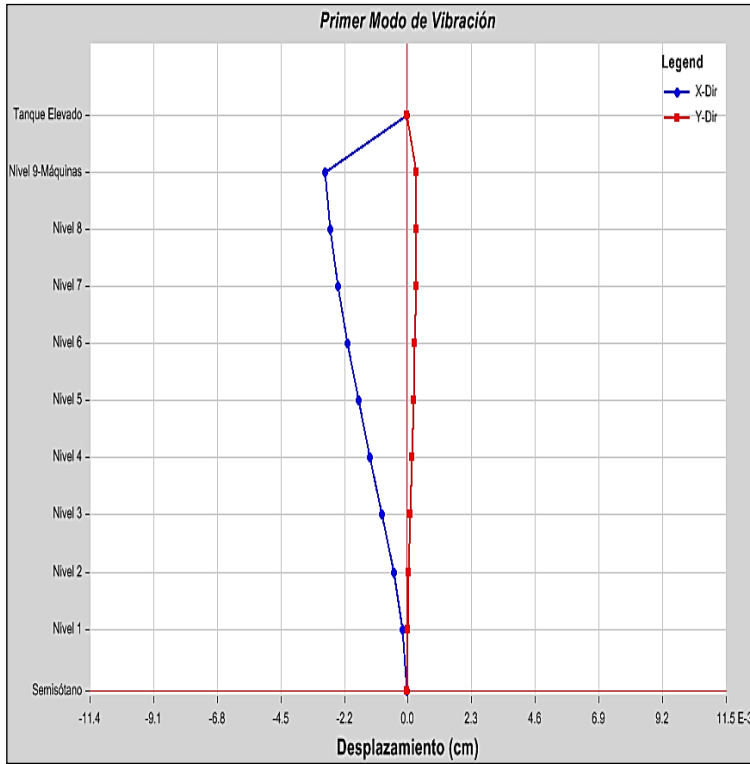


Figura 69: Modo de vibración 1 - X

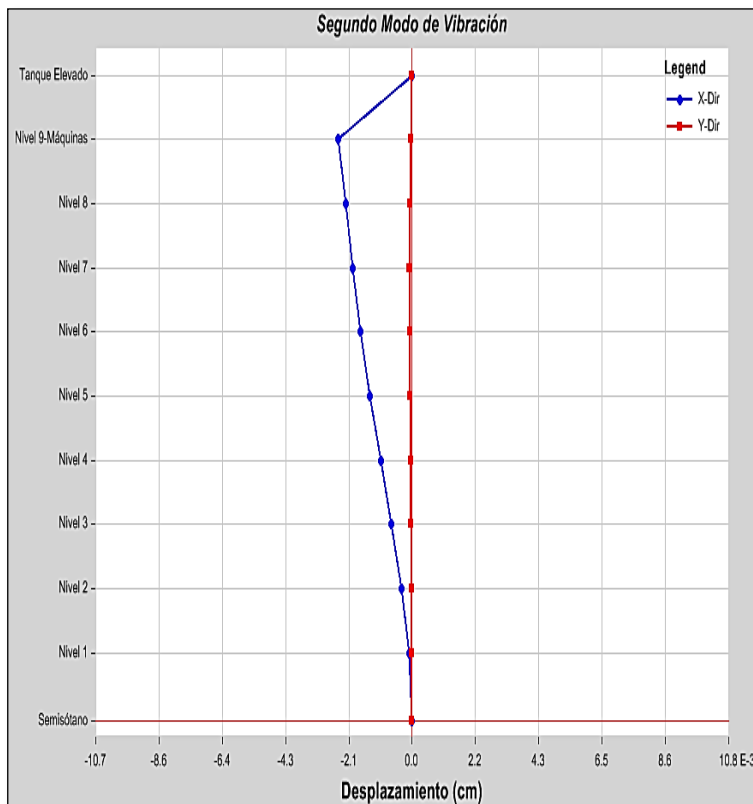


Figura 68: Modo de vibración 2 - torsional

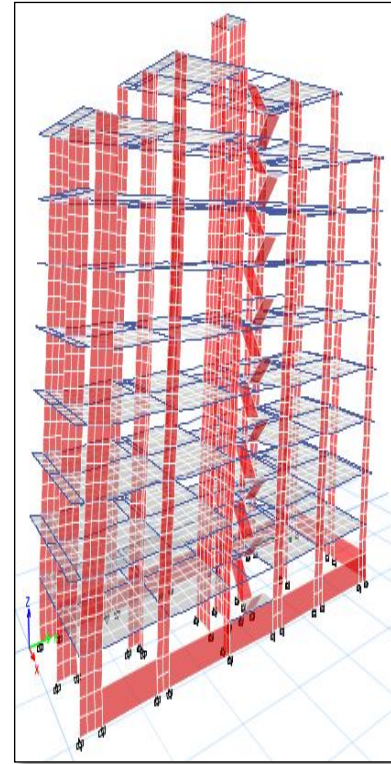
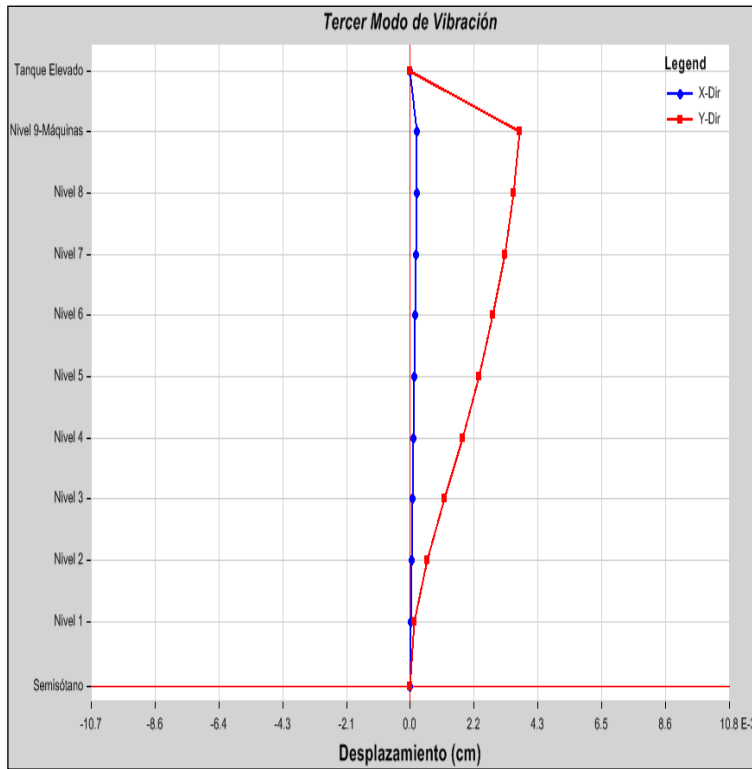


Figura 70: Modo de vibración 3 - Y

3.5.5.14. Cortante dinámica en la base

Del modelo asistido por el software Etabs se procedió a extraer la cortante dinámica en las dos direcciones de análisis.

Tabla 43: Obtención de fuerzas cortante en la base

Sismo	V _x (Tnf)	V _y (Tnf)
Sismo X-R=6	122.56	-
Sismo Y-R=6	-	148.15

- Fuerza cortante mínima**

Luego de obtener el valor de la cortante dinámica en la base, se determinó el porcentaje de absorción de la cortante de un análisis dinámico frente a la cortante de un análisis estático. La Norma R.030 establece que para estructuras regulares y para cada una de las direcciones, la fuerza cortante dinámica que actúa en la base no debe ser menor que el 80% del valor de fuerza cortante calculado en el análisis estático.

Tabla 44: Cálculo del factor de escala para corrección de cortante mínima

Sismo	V _x (tnf)	V _y (tnf)
Sismo estático X	166.85	-
Sismo estático Y	-	200.36
Sismo X-R=6	122.56	-
Sismo Y-R=6	-	148.15
Porcentaje de absorción	73%	74%
Factor de escala	1.089	1.082

Al no cumplir el porcentaje de absorción mínima se procede a calcular un factor de corrección para luego introducir al software y calcular la fuerza cortante dinámica. Factor que se introduce en el respectivo caso de carga y multiplica a la fuerza de gravedad. Escalando proporcionalmente todos los resultados obtenidos del análisis, excepto los desplazamientos.

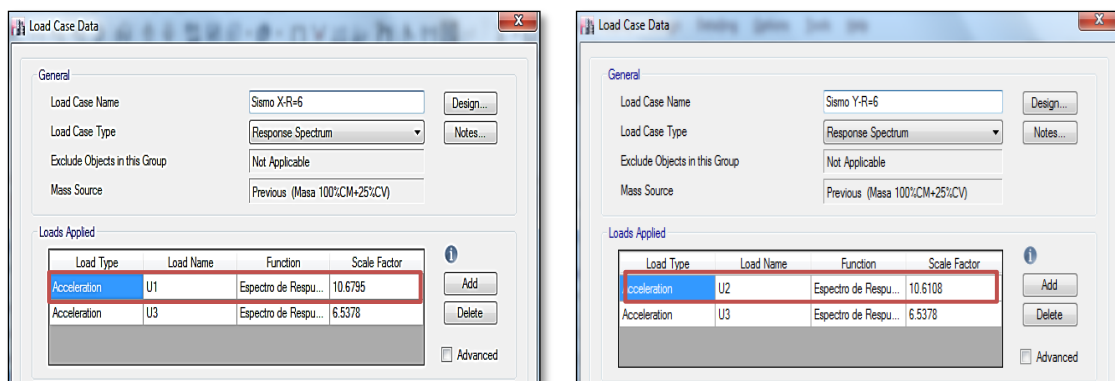


Figure 71: Introducción del factor de escala para corrección

Tabla 45: Fuerza cortante en la base corregida

Sismo	V _x (tnf)	V _y (tnf)
Sismo estático X	166.85	-
Sismo estático Y	-	200.36
Sismo X-R=6	133.48	-
Sismo Y-R=6	-	160.29
Porcentaje de absorción	80%	80%

3.5.5.15. Control de desplazamientos y derivas

Al concluir el modelo dinámico-matemático completo se procedió a evaluar los desplazamientos de entrepiso y calcular las derivas elásticas en las dos direcciones ortogonales de análisis. Posteriormente se amplificó las derivas elásticas multiplicando por el 75% del factor de reducción sísmico. Según la Norma E.030 estas derivas inelásticas deberán ser como máximo 0.007 para edificaciones de concreto armado.

Tabla 46: Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección X-X análisis dinámico modal espectral R=6

Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección X-X análisis dinámico modal espectral R=6						
Nivel	Desplazamiento absoluto del centro de masa (cm)	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Deriva elástica	Deriva inelástica	Verificación Dinel.<0.007
Terraza	2.7348	0.2300	260.00	0.00088	0.00398	Bien
8vo Nivel	2.5049	0.2669	260.00	0.00103	0.00462	Bien
7mo Nivel	2.2380	0.3062	260.00	0.00118	0.00530	Bien
6to Nivel	1.9317	0.3432	260.00	0.00132	0.00594	Bien
5to Nivel	1.5885	0.3709	260.00	0.00143	0.00642	Bien
4to Nivel	1.2176	0.3808	260.00	0.00146	0.00659	Bien
3er Nivel	0.8368	0.3623	260.00	0.00139	0.00627	Bien
2do Nivel	0.4746	0.3016	260.00	0.00116	0.00522	Bien
1er Nivel	0.1730	0.1730	280.00	0.00062	0.00278	Bien

Tabla 47: Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección Y-Y análisis dinámico modal espectral R=6

Desplazamientos laterales y derivas inelásticas dirección Y-Y Análisis dinámico modal espectral R=6						
Nivel	Desplazamiento absoluto del centro de masa (cm)	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Deriva elástica	Deriva inelástica	Verificación Dinel.<0.007
Terraza	2.4099	0.1652	260.00	0.00064	0.00286	Bien
8vo Nivel	2.2446	0.2109	260.00	0.00081	0.00365	Bien
7mo Nivel	2.0337	0.2560	260.00	0.00098	0.00443	Bien
6to Nivel	1.7778	0.3016	260.00	0.00116	0.00522	Bien
5to Nivel	1.4762	0.3386	260.00	0.00130	0.00586	Bien
4to Nivel	1.1376	0.3594	260.00	0.00138	0.00622	Bien
3er Nivel	0.7782	0.3519	260.00	0.00135	0.00609	Bien
2do Nivel	0.4264	0.2895	260.00	0.00111	0.00501	Bien
1er Nivel	0.1369	0.1369	280.00	0.00049	0.00220	Bien

Las derivas resultantes de un análisis dinámico son menores a las derivas obtenidas de un análisis estático, ya que presenta un análisis más real, debido a que a que se introduce una aceleración en la base, aplicando así la segunda ley de Newton= $f=m*a$, el análisis dinámico si es considerado para realizar un correcto diseño estructural.

3.5.6. Cálculo del presupuesto del modelo 1 – Diseño tradicional

Concluido el modelo estructural, se procedió a realizar el cálculo del presupuesto de ejecución del edificio “Residencial Santa Rosa”, para lo cual se consideró 5 especialidades, 1. Obras provisionales, trabajos preliminares, 2. Estructuras, 3. Arquitectura, 4. Instalaciones sanitarias, 5. Instalaciones eléctricas, 6. Instalaciones especiales; realizando el proceso de metrado respectivo y el análisis de precios unitarios, conjuntamente con la información del expediente técnico otorgado por la empresa “Kimpu”. Información que se encuentra detalla en el anexo 3.

Calculado el costo directo, se utilizaron porcentajes para poder determinar el costo de gastos generales, utilidad, IGV. Dando un total de dos millones, ochocientos treinta y siete mil, ochocientos diecisiete con 99/100 céntimos.

El presupuesto se encuentra detalladamente en el anexo 3.

Tabla 48: Cuadro resumen de presupuesto - Modelo 1

Residencial Santa Rosa	
Resumen de presupuesto modelo 1 - Diseño tradicional	
Especialidades	Presupuesto
1. Obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud	S/. 150,964.97
2. Estructuras	S/. 572,333.04
3. Arquitectura	S/. 1,000,370.25
4. Instalaciones sanitarias	S/. 80,029.62
5. Instalaciones eléctricas	S/. 103,068.45
6. Instalaciones especiales	S/. 114,183.68
Costo directo	S/. 2,020,950.00
Gastos generales (11%)	S/. 222,304.50
Utilidad (8%)	S/. 161,676.00
Sub total	S/. 2,404,930.50
IGV (18%)	S/. 432,887.49
Total	S/. 2,837,817.99

3.5.7. Modelo 2 - Diseño estructural implementando disipadores de fluido viscoso

Habiendo cumplido con las disposiciones que manda la Norma E.030 (mínima fuerza cortante en la base, distorsión de entrepiso máxima permisible) se puede implementar un sistema de disipación de energía. Para el edificio “Residencial Santa Rosa” se consideró el diseño estructural incorporando disipadores de fluido viscoso.

3.5.7.1. Análisis sísmico dinámico modal espectral

Primero se realizó un análisis dinámico modal espectral tomando como coeficiente de reducción $R=1$, con el objetivo de introducir a la estructura a un comportamiento en el rango no lineal (con respecto a materiales) ante la fuerza de un sismo severo. Posteriormente se obtendrá las derivas para contrastar con un análisis dinámico tiempo-historia y así poder definir el sismo de diseño a emplear.

Para el análisis se consideran los mismos parámetros usados en el análisis dinámico modal espectral anterior ($R=6$), cambiando solamente el valor del factor de reducción $R=1$. Luego se procedió a crear un nuevo espectro de pseudo-aceleraciones de objetivo o diseño.

Tabla 49: Parámetros sísmicos espectro de respuesta $R=1$

Parámetros sísmicos espectro de respuesta - Norma E030			
Factor	Nomenclatura	Clasificación categórica tipo	Valor
Factor de zona	Z	Zona 2-Cusco	0.25
Factor de uso	U	Categoría C-Vivienda	1
Factor de suelo	S	S2-Suelos intermedios	1.2
	Tp	Periodo P	0.6
	Tl	Periodo L	2.0
Factor de amplificación sísmica	C=	$T < T_p = 2.5$ $T_p < T < T_l = 2.5 * T_p / T$ $T > T_l = 2.5 * ((T_p * T_l) / T^2)$	
Factor de reducción	Rx	Dirección X-C°A° Muros estructurales	1
	Ry	Dirección Y-C°A° Muros estructurales	1

Tabla 50: Espectro de pseudo-aceleraciones $R=1$

T(s)	C	ZUCS/R
0.00	2.50	0.7500
0.02	2.50	0.7500
0.04	2.50	0.7500
0.06	2.50	0.7500
0.08	2.50	0.7500
0.10	2.50	0.7500
0.12	2.50	0.7500
0.14	2.50	0.7500
0.16	2.50	0.7500
0.18	2.50	0.7500
0.20	2.50	0.7500
0.25	2.50	0.7500
0.30	2.50	0.7500
0.35	2.50	0.7500
0.40	2.50	0.7500



0.45	2.50	0.7500
0.50	2.50	0.7500
0.55	2.50	0.7500
0.60	2.50	0.7500
0.61	2.46	0.7389
0.65	2.31	0.6923
0.70	2.14	0.6429
0.72	2.07	0.6224
0.75	2.00	0.6000
0.80	1.88	0.5625
0.85	1.76	0.5294
0.90	1.67	0.5000
0.95	1.58	0.4737
1.00	1.50	0.4500
1.10	1.36	0.4091
1.20	1.25	0.3750
1.30	1.15	0.3462
1.40	1.07	0.3214
1.50	1.00	0.3000
1.60	0.94	0.2813
1.70	0.88	0.2647
1.80	0.83	0.2500
1.90	0.79	0.2368
2.00	0.75	0.2250
2.20	0.62	0.1860
2.40	0.52	0.1563
2.50	0.48	0.1440
2.80	0.38	0.1148

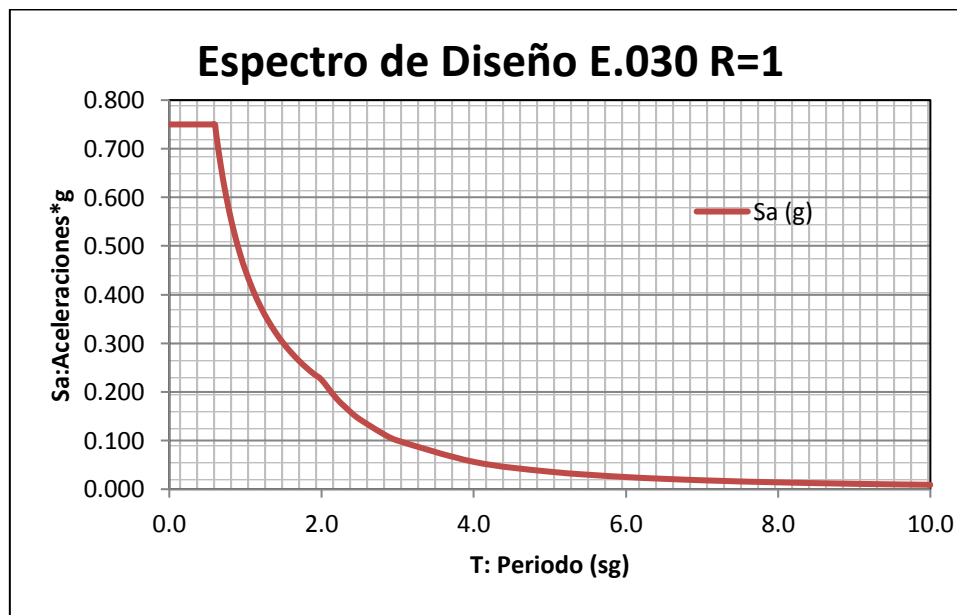


Figure 72: Espectro de diseño R=1 – Análisis dinámico modal espectral

- **Obtención de derivas del análisis dinámico modal espectral R=1**

Se procedió a ingresar la información al software para el respectivo análisis, obteniendo los desplazamientos absolutos del centro de masa. Con la información recolectada se calculó las derivas inelásticas respectivas.

Tabla 51: Derivas de entrepiso - Análisis dinámico modal espectral R=1 Dirección X-X

Derivas de entrepiso – Análisis dinámico modal espectral R=1 dirección X-X					
Nivel	Desplazamiento absoluto del centro de masa (cm)	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Deriva inelástica	Verificación Dinel.<0.007
Terraza	14.5326	1.2064	260.00	0.00464	Bien
8vo Nivel	13.3262	1.4118	260.00	0.00543	Bien
7mo Nivel	11.9144	1.6276	260.00	0.00626	Bien
6to Nivel	10.2868	1.8330	260.00	0.00705	Mal
5to Nivel	8.4538	1.9838	260.00	0.00763	Mal
4to Nivel	6.4700	2.0384	260.00	0.00784	Mal
3er Nivel	4.4316	1.9370	260.00	0.00745	Mal
2do Nivel	2.4946	1.6042	260.00	0.00617	Bien
1er Nivel	0.8904	0.8904	280.00	0.00318	Bien

Tabla 52: Derivas de entrepiso - Análisis dinámico modal espectral R=1 Dirección Y-Y

Derivas de entrepiso – Análisis dinámico modal espectral R=1 dirección X-X					
Nivel	Desplazamiento absoluto del centro de masa (cm)	Desplazamiento relativo del centro de masa (cm)	Altura de entrepiso (cm)	Deriva inelástica	Verificación Dinel.<0.007
Terraza	10.4219	0.5970	260.00	0.00230	Bien
8vo Nivel	9.8249	0.8496	260.00	0.00327	Bien
7mo Nivel	8.9752	1.0979	260.00	0.00422	Bien
6to Nivel	7.8773	1.3510	260.00	0.00520	Bien
5to Nivel	6.5263	1.5580	260.00	0.00599	Bien
4to Nivel	4.9683	1.6739	260.00	0.00644	Bien
3er Nivel	3.2944	1.6301	260.00	0.00627	Bien
2do Nivel	1.6644	1.2852	260.00	0.00494	Bien
1er Nivel	0.3792	0.3792	280.00	0.00135	Bien



Se pudo apreciar la existencia de un incremento de desplazamientos conllevando a un incremento de derivas inelásticas en ambas direcciones de análisis, en la dirección X se observó que en algunos niveles las distorsiones de entrepiso están por encima de lo permitido para estructuras de concreto armado según la Norma E.030. Concluyendo en que ante la demanda de un sismo severo el edificio “Residencial Santa Rosa” presentaría fallas.

3.5.7.2. Registros sísmicos

Se consideró emplear registros sísmicos para reflejar la realidad del proyecto. La Norma E.030 establece el uso de al menos 3 registros sísmicos en sus dos componentes horizontales. Los registros utilizados fueron debidamente escalados a un espectro de diseño, el espectro de pseudo-aceleraciones se calculó con el factor de reducción sísmica $R=1$.

Estos registros fueron obtenidos del REDACIS (Red Nacional de Acelerógrafos del CISMID).

Tabla 53: Registros sísmicos, ubicación y nombre de archivo

SISMO	UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN	NOMBRE DE ARCHIVO
15 de agosto de 2007	Universidad Nacional San Luis Gonzaga (Ica)	ICA2-0708151840
3 de octubre de 1974	Parque de la Reserva (Lima)	PRQ-7410030921
17 de octubre de 1966	El centro-California	PRQ_6610171641F

Tabla 54: Aceleración máxima de registros sísmicos considerados

ESTACIÓN ACELEROMÉTRICA	FECHA	COMPONENTES	ACELERACIÓN MÁXIMA (cm/sg ²)	DURACIÓN (seg)
Universidad Nacional San Luis Gonzaga (Ica)	15 de agosto de 2007	E-O	334.1	218.06
		N-S	-272.2	
Parque de la Reserva (Lima)	3 de octubre de 1974	E-O	179	97.96
		N-S	-192.5	
Parque de la Reserva (Lima)	17 de octubre de 1966	E-O	-180.59	197.64
		N-S	-269.34	



Los registros sísmicos se encuentran en unidades Gal (cm/seg^2), se tomó en consideración para el proceso de escalamiento modificar el espectro de diseño transformando la aceleración de la gravedad de m/seg^2 a cm/seg^2 . El proceso de escalado se hizo mediante el software SeismoMatch.

Tabla 55: Espectro de pseudo-aceleraciones multiplicado por la aceleración de la gravedad para introducir al SeismoMatch

T(s)	C	Sa (cm/s ²)
0.00	2.50	735.5025
0.02	2.50	735.5025
0.04	2.50	735.5025
0.06	2.50	735.5025
0.08	2.50	735.5025
0.10	2.50	735.5025
0.12	2.50	735.5025
0.14	2.50	735.5025
0.16	2.50	735.5025
0.18	2.50	735.5025
0.20	2.50	735.5025
0.25	2.50	735.5025
0.30	2.50	735.5025
0.35	2.50	735.5025
0.40	2.50	735.5025
0.45	2.50	735.5025
0.50	2.50	735.5025
0.55	2.50	735.5025
0.60	2.50	735.5025
0.61	2.46	724.6330
0.65	2.31	678.9254
0.70	2.14	630.4307
0.72	2.07	610.3755
0.75	2.00	588.4020
0.80	1.88	551.6269
0.85	1.76	519.1782
0.90	1.67	490.3350
0.95	1.58	464.5279
1.00	1.50	441.3015
1.10	1.36	401.1832
1.20	1.25	367.7513
1.30	1.15	339.4627
1.40	1.07	315.2154
1.50	1.00	294.2010
1.60	0.94	275.8134
1.70	0.88	259.5891



1.80	0.83	245.1675
1.90	0.79	232.2639
2.00	0.75	220.6508
2.20	0.62	182.3560
2.40	0.52	153.2297
2.50	0.48	141.2165
2.80	0.38	112.5769
3.00	0.33	98.0670
4.00	0.19	55.1627
5.00	0.12	35.3041
6.00	0.08	24.5168
7.00	0.06	18.0123
8.00	0.05	13.7907
9.00	0.04	10.8963
10.00	0.03	8.8260

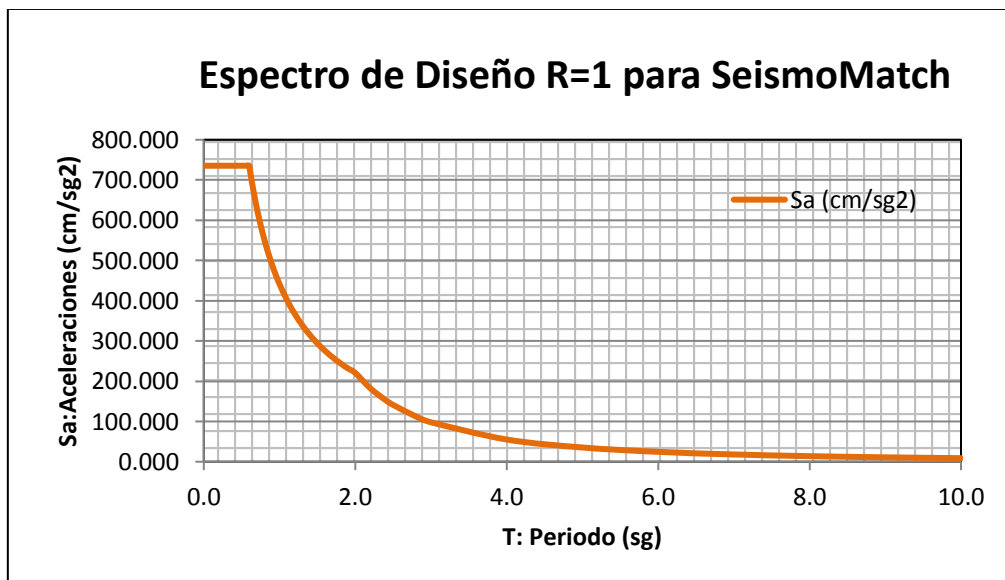


Figure 73: Espectro de diseño R=1 (cm/sg²) para SeismoMatch

3.5.7.3. Escalamiento de acelerogramas

El objetivo del escalamiento es modificar las amplitudes de los movimientos sísmicos para poder excitar la estructura con distintos niveles de intensidad sísmica. Primero se adaptó el archivo de texto de los registros sísmicos considerados, separando la información necesaria para cada caso. Luego se configuró las unidades a usar Gal (cm/s²), se procedió a importar la componente ortogonal del registro sísmico, configurando sus parámetros como el intervalo de muestreo, muestreo de datos, orden del caso correspondiente a los datos de aceleración.

Posteriormente se importó el espectro de diseño, se añadió la información espectral con $R=1$ para SeismoMatch en un archivo de texto y se configuraron sus parámetros tales como factor de escala, indicador de columna para el periodo y las aceleraciones respectivamente. Se consideró el periodo con un valor mínimo de 0.05, con un valor máximo de 4 y una tolerancia de 0.15. Finalmente se procedió a escalar cada componente de cada registro.

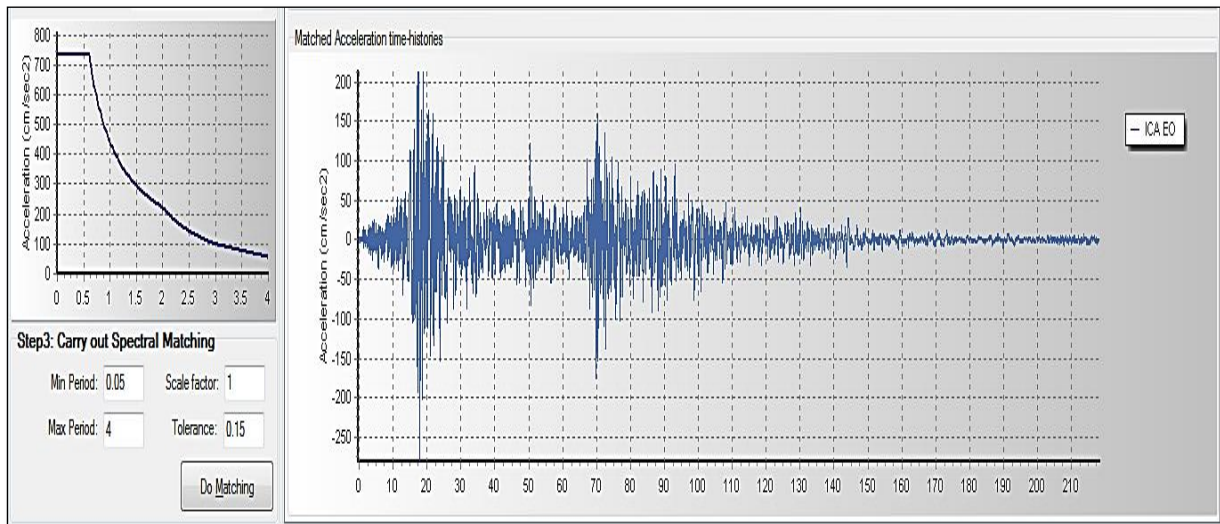


Figure 74: Proceso de escalado del registro sísmico – Ica 2007

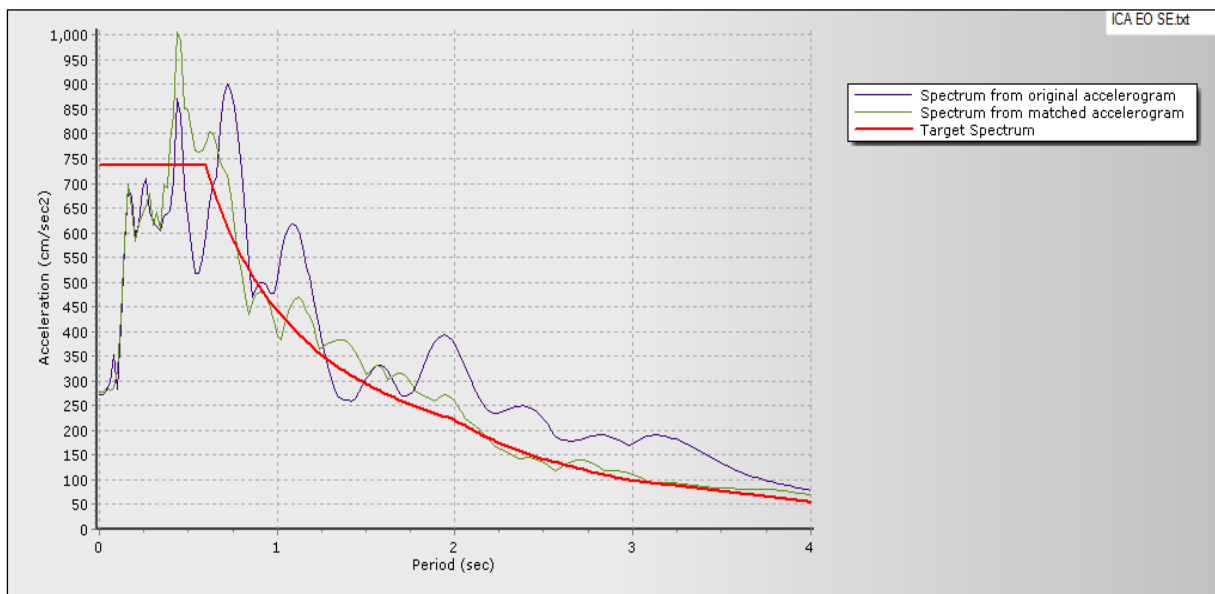


Figure 75: Registro sísmico escalado al espectro de diseño $R=1(\text{cm}/\text{sg}^2)$ - Ica 2007

3.5.7.4. Análisis sísmico dinámico Tiempo-Historia

Para realizar el análisis dinámico tiempo-historia se tomaron consideraciones de la Norma ASCE/SEI 7-16 capítulo 18 (Requerimientos de diseño para estructuras con sistemas de disipación). El objetivo es determinar un sismo de diseño que se empleará en el diseño y

cálculo de los parámetros de los disipadores de fluido viscoso. Se procedió a ingresar al software Etabs los acelerogramas debidamente escalados al espectro de diseño ante sismo severo, se consideró los registros sísmicos tomados en dos componentes (E-O y N-S) en las direcciones de análisis.

Para cada registro sísmico que se emplea en el análisis tiempo-historia, se realizó dos casos por separado:

- Caso 1 cuando el componente E-O del registro actúa sobre la dirección de análisis X de la estructura y el componente N-S actúa sobre la dirección de análisis Y de la estructura.
- Caso 2 cuando el componente N-S del registro actúa sobre la dirección de análisis X de la estructura y el componente E-O actúa sobre la dirección de análisis X de la estructura,

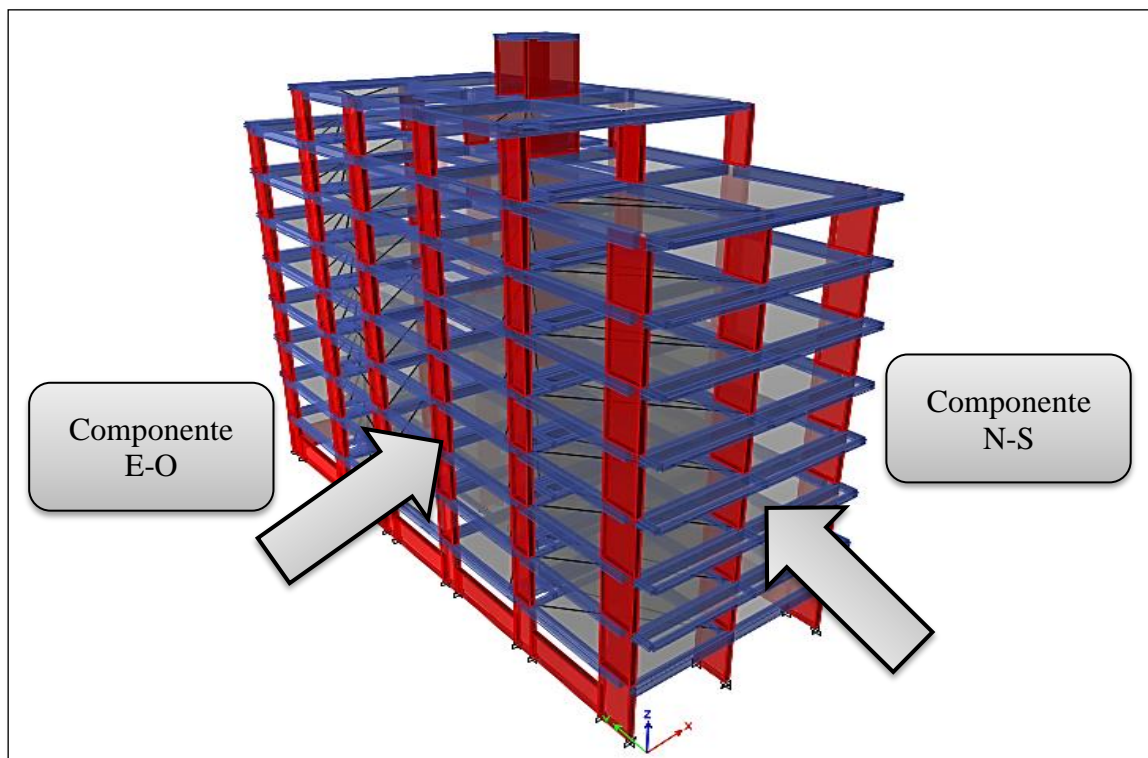


Figura 76: Registro sísmico Caso 1 (E-O=X)(N-S=Y) – Ica 2007

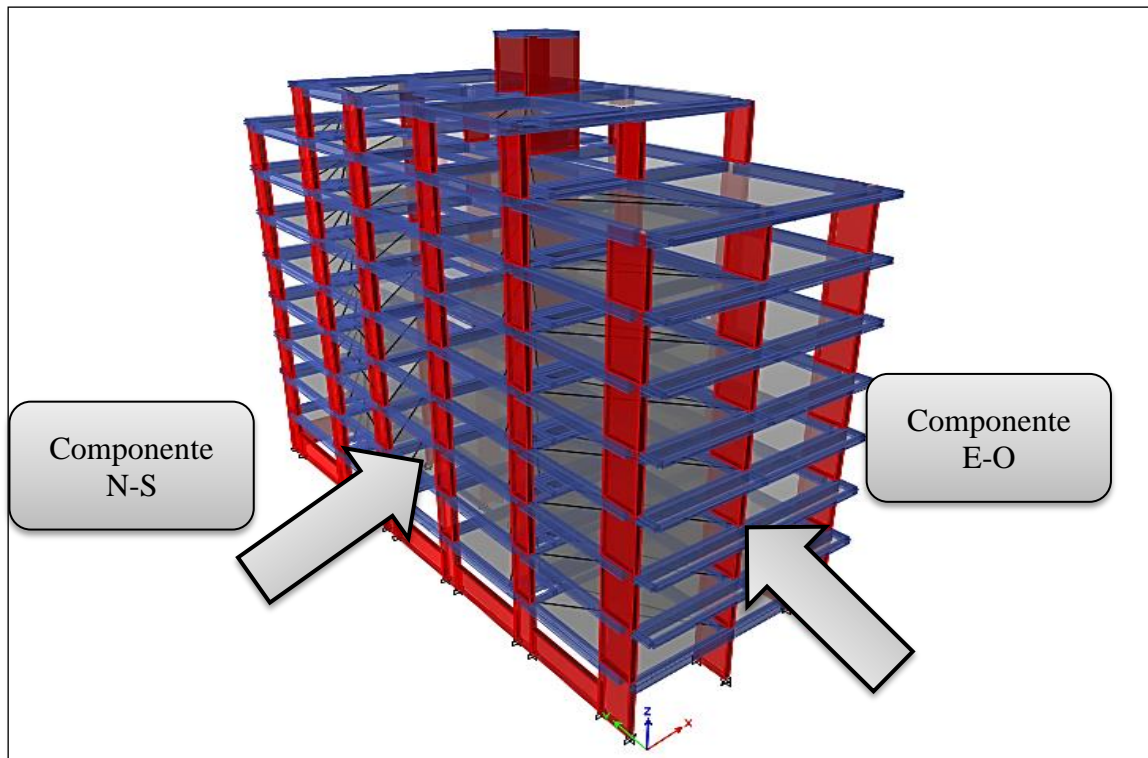


Figure 77: Registro sísmico Caso 2 (E-O=Y)(N-S=X) – Ica 2007

Se generaron los respectivos casos de análisis en los casos de carga para cada registro sísmico.

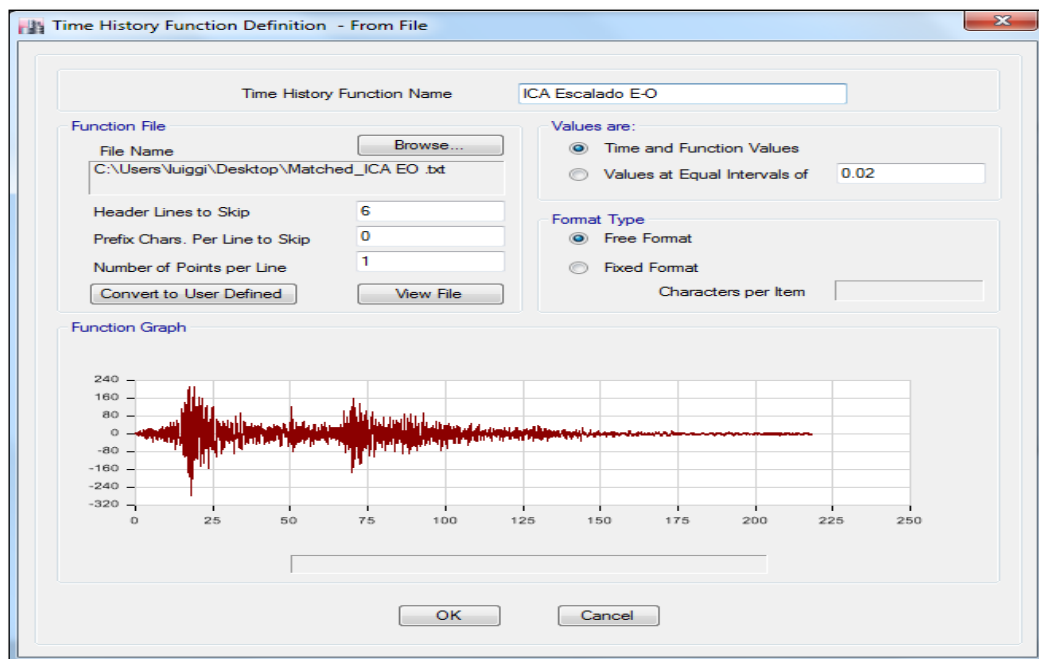


Figure 78: Definición del análisis Tiempo-Historia con los registros sísmicos E-O

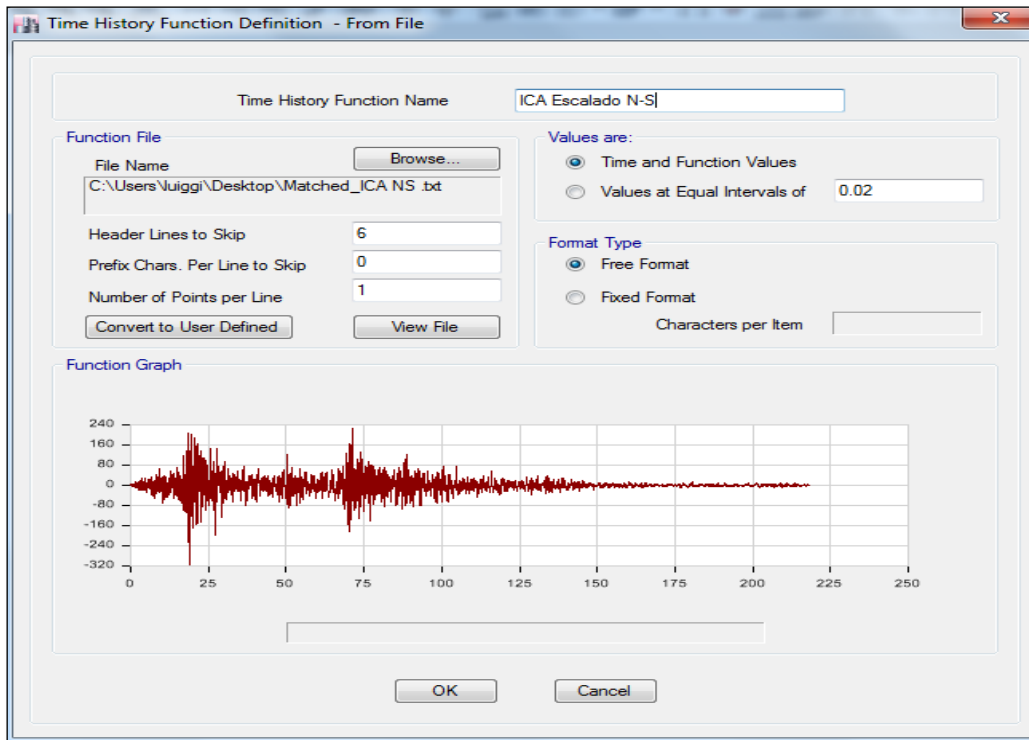


Figure 79: Definición del análisis Tiempo-Historia con los registros sísmicos N-S

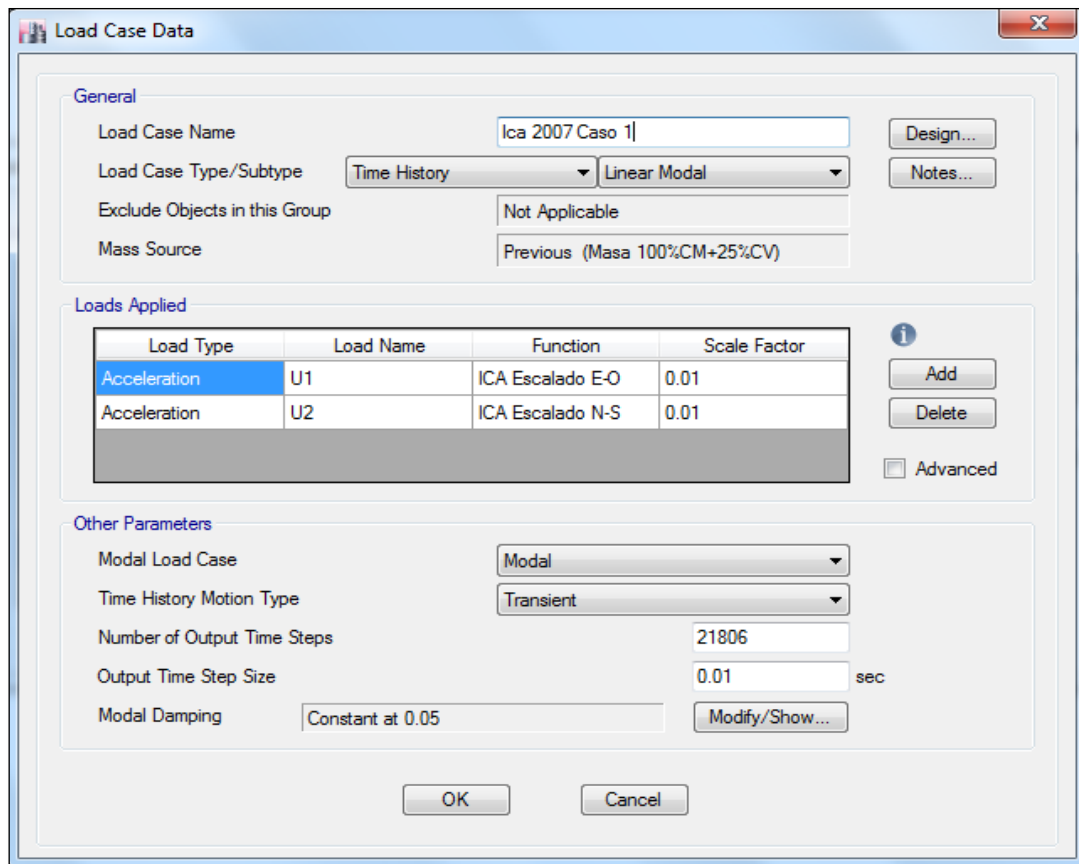


Figure 80: Definición de los casos de carga para análisis el Tiempo-Historia Caso 1

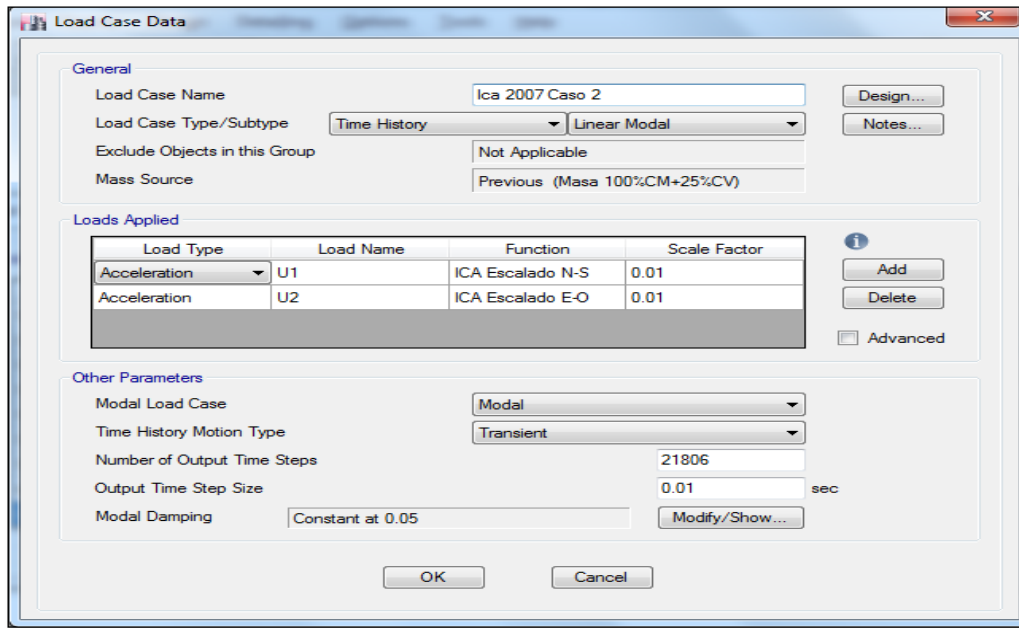


Figure 81: Definición de los casos de carga para el análisis Tiempo-Historia Caso 2

El valor de 0.01 en el factor de escala es para corregir las unidades, el registro sísmico está importado en cm/s^2 y las unidades del software para aceleración traslacional se encuentran en m/s^2 .

3.5.7.5. Sismo de diseño

Después de correr el software, se procedió a recolectar las derivas resultantes de cada caso evaluado en todos los registros considerados para el análisis ante sismo severo. Se evaluó con el objetivo de determinar el sismo de diseño a usar, con el cual se calculará los parámetros del dissipador de fluido viscoso. A continuación, se puede apreciar las derivas calculadas y las variaciones que presentan con respecto al análisis dinámico modal espectral.

Tabla 56: Derivas inelásticas análisis Tiempo - Historia con registros sísmicos X-X

Análisis dinámico Tiempo Historia con registros sísmicos – Derivas inelásticas						
Dirección X-X						
Nivel	ICA 2007		LIMA 1974		LIMA 1966	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Terraza	0.00430	0.00354	0.00495	0.00377	0.00524	0.00428
8vo Nivel	0.00510	0.00449	0.00549	0.00491	0.00606	0.00483
7mo Nivel	0.00597	0.00563	0.00633	0.00595	0.00706	0.00549
6to Nivel	0.00702	0.00686	0.00701	0.00679	0.00798	0.00633
5to Nivel	0.00785	0.00788	0.00765	0.00739	0.00862	0.00697
4to Nivel	0.00827	0.00848	0.00782	0.00756	0.00859	0.00725
3er Nivel	0.00801	0.00831	0.00726	0.00707	0.00814	0.00692
2do Nivel	0.00648	0.00675	0.00597	0.00574	0.00672	0.00572
1er Nivel	0.00349	0.00257	0.00304	0.00294	0.00343	0.00293

Tabla 57: Derivas inelásticas análisis Tiempo-Historia con registros sísmicos Y-Y

Análisis dinámico Tiempo Historia con registros sísmicos - Derivas inelásticas						
Dirección Y-Y						
Nivel	ICA 2007		LIMA 1974		LIMA 1966	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Terraza	0.00396	0.00387	0.00239	0.00146	0.00233	0.00231
8vo Nivel	0.00442	0.00452	0.00337	0.00231	0.00338	0.00329
7mo Nivel	0.00503	0.00535	0.00423	0.00321	0.00440	0.00424
6to Nivel	0.00564	0.00608	0.00520	0.00421	0.00544	0.00521
5to Nivel	0.00603	0.00653	0.00599	0.00511	0.00628	0.00596
4to Nivel	0.00613	0.00656	0.00640	0.00567	0.00676	0.00633
3er Nivel	0.00579	0.00600	0.00619	0.00562	0.00659	0.00607
2do Nivel	0.00468	0.00463	0.00485	0.00447	0.00520	0.00473
1er Nivel	0.00198	0.00192	0.00132	0.00124	0.00142	0.00127

De determinó la variación existente entre las derivas calculadas (Análisis Dinámico Tiempo-Historia VS Análisis Dinámico Modal Espectral R=1) mediante un cociente, los cocientes que se encontraron debajo del 80% automáticamente fueron descartados, ya que no cuentan con la similitud mínima requerida.

Se evaluó y determinó aquellos valores que se encuentren más próximos a la unidad, garantizando así la mayor similitud de severidad sísmica posible, el caso elegido pasará a considerarse como el sismo de diseño.

Tabla 58: Variaciones de derivas con respecto al análisis dinámico modal X-X R=1

Análisis dinámico Tiempo Historia con registros sísmicos – Variaciones de derivas inelásticas						
% de Variación - Dirección X-X						
Nivel	Ica 2007		Lima 1974		Lima 1966	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Terraza	0.9272	0.7627	1.0671	0.9918	1.1293	0.9222
8vo Nivel	0.9388	0.8275	1.0119	0.9388	1.1152	0.8887
7mo Nivel	0.9539	0.8988	1.0118	0.9504	1.1274	0.8775
6to Nivel	0.9954	0.9726	0.9946	0.9629	1.1325	0.8974
5to Nivel	1.0289	1.0322	1.0023	0.9682	1.1292	0.9140
4to Nivel	1.0555	1.0818	0.9971	0.9637	1.0958	0.9243
3er Nivel	1.0750	1.1153	0.9744	0.9490	1.0920	0.9284
2do Nivel	1.0505	1.0947	0.9675	0.9311	1.0884	0.9270
1er Nivel	1.0970	0.8083	0.9565	0.9246	1.0784	0.9221

Tabla 59: Variaciones de derivas con respecto al análisis dinámico modal Y-Y R=1

Análisis dinámico Tiempo Historia con registros sísmicos – Variaciones de derivas inelásticas						
% de Variación - Dirección Y-Y						
Nivel	Ica 2007		Lima 1974		Lima 1966	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Terraza	1.7231	1.6875	1.0418	0.6377	1.0153	1.0059
8vo Nivel	1.3535	1.3821	1.0311	0.7067	1.0356	1.0068
7mo Nivel	1.1916	1.2673	1.0009	0.7591	1.0418	1.0048
6to Nivel	1.0848	1.1709	1.0005	0.8111	1.0464	1.0025
5to Nivel	1.0058	1.0905	0.9992	0.8522	1.0484	0.9951
4to Nivel	0.9526	1.0189	0.9942	0.8801	1.0499	0.9830
3er Nivel	0.9235	0.9570	0.9872	0.8959	1.0512	0.9686
2do Nivel	0.9473	0.9371	0.9815	0.9046	1.0528	0.9567
1er Nivel	1.4628	1.4169	0.9776	0.9126	1.0459	0.9410

Se eligió como Sismo de Diseño el registro sísmico de Ica 2007 Caso 1, por poseer la mayor similitud posible con el espectro de pseudo-aceleraciones, además de considerar un factor de seguridad del 3er al 6to nivel, niveles donde se observa mayor deriva, como se aprecia en la Tabla 58.

3.6. Procedimientos de análisis de datos

3.6.1. Diseño de los disipadores de fluido viscoso

Al exponer la “Residencial Santa Rosa” ante el movimiento de un sismo severo se pudo apreciar que las distorsiones inelásticas exceden lo permitido por la Norma E.030 para estructuras de concreto armado. Ante la necesidad de reducir las distorsiones se optó por implementar un sistema de disipación de energía, mediante disipadores de energía de fluido viscoso, dispositivos que solamente aportan amortiguamiento mas no rigidez a la estructura, de esta manera conseguiremos reducir las derivas y no alterar el periodo de la edificación.

Se proyectó la instalación de disipadores solamente en la dirección X, la dirección Y no cuenta con derivas inelásticas que sobrepasen lo permitido por la Norma E.030, por lo que no sería factible incorporar disipadores en la dirección Y, caso contrario incrementaríamos el costo total.

3.6.1.1. Nivel de amenaza sísmica

Según el Comité VISION los movimientos sísmicos de diseño son expresados en intervalos de ocurrencia y en función de a la probabilidad de excedencia. Se presentan los 4 niveles de severidad para cada uno de los movimientos sísmicos.

Tabla 60: Elección del nivel de amenaza sísmica

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia
Sismos Frecuentes	43 años	50% en 30 Años
Sismos Ocasionales	72 años	50% en 50 Años
Sismos Raros	475 años	10% en 50 Años
Sismos Muy Raros	950 años	10% en 100 Años

Se consideró los Sismos Raros como Movimiento Sísmico de Diseño, presenta un periodo de retorno de 475 años.

3.6.1.2. Niveles de desempeño sísmico

El nivel de desempeño que mostrará una edificación ante demandas sísmicas, describe un estado límite de daño, presentando una condición en función a posibles daños estructurales que pueda sufrir la estructura, el riesgo de vida de sus ocupantes y la funcionalidad del edificio posterior al evento sísmico. El comité VISION 2000 del SEAOC plantea cinco niveles de desempeño en función al daño tolerable.

Tabla 61: Elección del nivel de desempeño sísmico

Nivel de desempeño	Descripción de daños	Estado de daño
Totalmente Operativo	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo, todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo	Despreciable
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales, las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación	Leve
Seguridad	Daños estructurales y no estructurales moderados, la estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso, el edificio podría repararse, aunque no siempre sea económicamente aconsejable	Moderado
Pre - Colapso	Daño estructural severo de elementos no estructurales, la seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso	Severo
Colapso	Colapso estructural, no es posible reparar la edificación	Completo

El nivel de desempeño sísmico de una estructura está en función al estado estructural habitacional en la que se encontrará una edificación luego de sufrir desplazamientos considerables luego de ingresar al rango no lineal, el estado de daño estará en función al deterioro estructural que presente. Se tiene un estado de daño Leve.

3.6.1.3. Sismo de diseño y comportamiento esperado

El edificio será diseñado para comportarse según la categoría que tenga. El desempeño sísmico está representado por una matriz propuesta por el Comité VISION 2000, representando el comportamiento esperado para cada categoría.

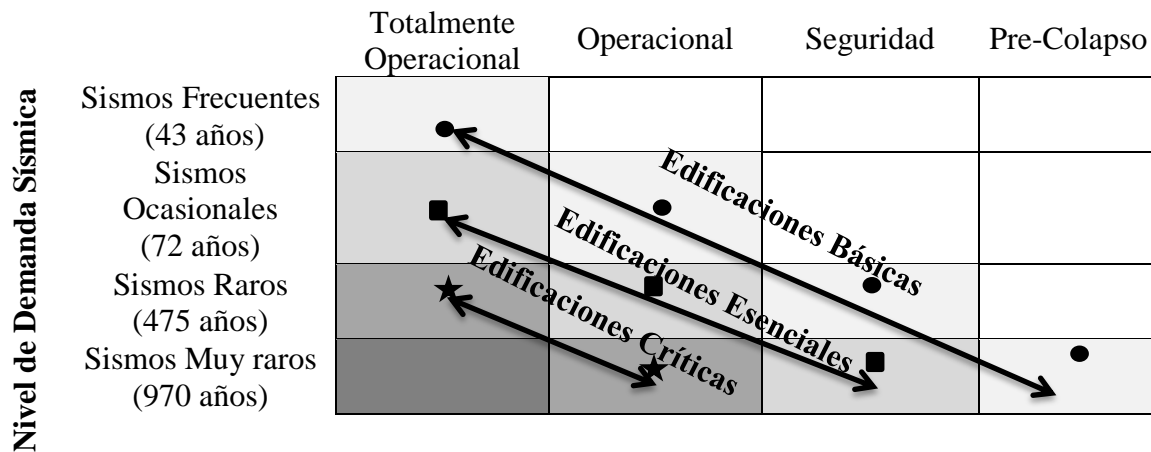


Figure 82: Elección del comportamiento esperado

3.6.1.4. Deriva objetivo

Se procedió a determinar la deriva máxima que se desea conseguir al incorporar los disipadores de fluido viscoso a la edificación. Se hizo uso de las tablas de daño-deriva establecida por la metodología HAZUS en función al estado de daño, características del sistema estructural empelado y los niveles considerados en la edificación.

Tabla 62: Tabla indicativa para la obtención de la deriva objetivo

CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA			DERIVA LÍMITE SEGÚN EL ESTADO DE DAÑO			
Estructura	Tipo	Niveles	Leve	Moderado	Extenso	Completo
Pórticos de acero a momento	Bajo	1-3	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
	Medio	4-7	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
	Alto	8+	3.0000	0.0052	0.0118	0.0300
Pórticos de acero arriostrados	Bajo	1-3	5.0000	0.0087	0.0233	0.0600
	Medio	4-7	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
	Alto	8+	0.0250	0.0043	0.0117	0.0300
Pórticos de concreto armado	Bajo	1-3	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
	Medio	4-7	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
	Alto	8+	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
Muros de corte de concreto armado	Bajo	1-3	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
	Medio	4-7	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
	Alto	8+	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300

Al contar con un edificio de 01 semisótano, 08 niveles y 01 terraza, con un sistema estructural de muros de corte y un estado de daño moderado, se determinó que la deriva objetivo a usar para el diseño de los disipadores es 0.0042.