



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS
UTILIZANDO EL PROGRAMA ETABS”**

AUTOR: Washington Joel Chimbo Chacha

TUTOR: Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

AMBATO – ECUADOR

Julio – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS UTILIZANDO EL PROGRAMA ETABS**”, elaborado por el Sr. **Washington Joel Chimbo Chacha**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0250012135, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2022

Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Washington Joel Chimbo Chacha**, con C.I. 0250012135, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS UTILIZANDO EL PROGRAMA ETABS”**, así como gráficos, tablas, recomendaciones y conclusiones son de mi exclusiva responsabilidad como autor, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2022



Washington Joel Chimbo Chacha

C.I.: 0250012135

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos como autor.

Ambato, Julio 2022



Washington Joel Chimbo Chacha

C.I.: 0250012135

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Washington Joel Chimbo Chacha de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS UTILIZANDO EL PROGRAMA ETABS”**.

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

Ing. M. Sc. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

Miembro calificador

Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

Miembro calificador

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón este trabajo de titulación a mis padres Reimundo y Concepción por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Me formaron con reglas estrictas y pocas libertades, me motivaron constantemente para alcanzar mis metas propuestas gracias a ello muchos de mis logros se los debo y este es uno de ellos.

A mis herman@s: Lisseth, Jenifer, Maykel y mi sobrino Zuhay quienes con su apoyo me dieron fuerzas para seguir adelante y no renunciar ante los problemas y dificultades que se presentaron a lo largo de mi vida enseñándome a afrontar los obstáculos sin perder la dignidad ni decaer en el intento.

A mi tío Edgar quien le considero como un hermano quien con su apoyo incondicional durante toda la carrera académica me enseñó a no rendirme a pesar de que pueda haber obstáculos siempre habrá una forma de resolver y superar las adversidades.

A mi familia en general quienes de una u otra manera me han ayudado guiándome y motivándome constantemente para alcanzar mis metas.

Washington Joel Chimbo Chacha.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por cuidarme y guiarme durante todo el camino y darme fuerzas para superar los obstáculos presentados a lo largo de mi vida.

A toda mi familia fuente de apoyo incondicional y constante durante toda mi vida y en especial quiero enmarcar mi más profundo agradecimiento a mis padres quienes sin su ayuda y sacrificio no hubiera sido posible terminar esta carrera.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil quienes me impartieron conocimientos necesarios para realizar este trabajo de titulación.

A mi tutor Ing, Wladimir Ramírez por darme apoyo con sus conocimientos y guiándome para tener mejoras hasta la culminación de este trabajo de titulación.

A mis amigos de la universidad que desde el inicio de la carrera siempre nos motivábamos y soñábamos en terminar la universidad.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
Introducción	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1 Sismicidad	3
1.1.1 Tipos de fallas.....	6
1.1.2 Ondas sísmicas.....	7
1.1.3 Ondas internas.....	8
1.1.4 Ondas superficiales	10
1.1.5 Efectos de los sismos en las estructuras.....	10
1.1.6 Edificios tradicionales de base fija	13
1.1.7 Respuestas de las estructuras en los sismos.....	14
1.1.8 Estructuras sismorresistentes	17
1.1.9 Filosofía de diseño sismo resistente.....	17
1.1.10 Filosofía de diseño sismorresistente NEC.....	19
1.1.11 Diseño basado en fuerzas (DBF).....	20
1.1.12 Sistema de protección sísmica	21
1.1.13 Clasificación.....	22
1.1.14 Aisladores sísmicos.....	23
1.1.15 Tipos y características de aisladores sísmicos	24
1.1.16 Beneficios de los aisladores sísmicos en las estructuras.....	27

1.1.17	Desventajas del uso de aisladores sísmicos	28
1.1.18	Estructuras con aislación sísmica de base	29
1.1.19	Filosofía de diseño para edificaciones con aislamiento sísmico de base 30	
1.1.20	Métodos análisis y diseño	31
1.1.21	Consideraciones para el diseño de fuerza lateral equivalente de los aisladores LRB.....	33
1.1.22	Ensayos requeridos.....	34
1.2	Objetivos.....	35
1.2.1	Objetivo General.....	35
1.2.2	Objetivos Específicos	35
CAPÍTULO II		36
2.1	Equipos y materiales.....	36
2.1.1	Recursos Institucionales	36
2.1.2	Recursos Materiales.....	36
2.2	Metodología.....	36
2.3	Descripción de la estructura	37
2.4	Pre dimensionamiento	39
2.4.1	Losas	39
2.4.2	Espectro NEC	42
2.5	Diseño de aisladores con núcleo de plomo (LRB)	44
2.5.1	Procedimiento de diseño.....	46
2.5.2	Características finales del aislador.....	54
CAPÍTULO III.....		63
3.1	Comparación del comportamiento dinámico de la estructura de base fija - base con aisladores.	63
3.1.1	Periodos de vibración.....	63
3.1.2	Participación de masas.....	64
3.1.3	Desplazamientos	65
3.1.4	Derivas.....	69

3.1.5	Aceleración	72
3.1.6	Cortantes	73
3.1.7	Reacciones	77
3.1.8	Índice de estabilidad	79
3.1.9	Desplazamiento de los aisladores	82
3.1.10	Curva histerética.....	84
3.1.11	Energía disipada.....	86
3.2	Resultados de la modelación de la cimentación	88
3.3	Costos de construcción	93
CAPÍTULO IV		96
4.1	Conclusiones.....	96
4.2	Recomendaciones	97
4.3	Bibliografía.....	98
4.4	Anexos.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Top 10 de los sismos más severos a nivel mundial [6].....	5
Tabla 2: Comportamiento de las estructuras diseñadas sísmicamente y no diseñadas sísmicamente – Transcrito Textualmente [9].....	16
Tabla 3: Estado límite para diseño sísmico [8].	18
Tabla 4: Sistemas activos ventajas y desventajas.	22
Tabla 5. Cuantificación de cargas de pared de un nivel.....	39
Tabla 6. Cargas de la estructura	40
Tabla 7. Espesor mínimo de losas no pre esforzadas (ACI 318-14).....	40
Tabla 8. Altura mínima de vigas - Fuente: ACI 318-14.....	41
Tabla 9. Datos de suelo.	42
Tabla 10. Parámetros utilizados para el diseño de espectro de respuestas (NEC-15)	43
Tabla 11. Coeficiente sísmico de desplazamiento NCH 2745-2003.....	44
Tabla 12. Factor de zonificación NCH 2745-2003	45
Tabla 13. Zonificación NCH 2369-2003.....	45
Tabla 14. Factor β_D y β_M NCH 2745 -2003	45
Tabla 15. Propiedades geométricas del aislador LRB.....	55
Tabla 16. Propiedades mecánicas del aislador LRB	55
Tabla 17. Propiedades mecánicas del aislador deslizante (SL).....	55
Tabla 18. Información de registro de aceleración ICA 2007	57
Tabla 19. Información de registro de aceleración ANCASH 1974.....	58
Tabla 20. Información de registro de aceleración LIMA 1970.....	59
Tabla 21. Periodos de vibración de la estructura de base fija – base aislada.	63
Tabla 22. Participación de masas de la estructura en base fija.	64
Tabla 23. Participación de masas de la estructura aislada.....	65
Tabla 24. Desplazamiento de la estructura aislada sentido X.	65
Tabla 25. Desplazamiento de la estructura aislada sentido Y	66
Tabla 26. Desplazamiento con respecto al base sentido X	67
Tabla 27. Desplazamiento con respecto la base sentido Y	68
Tabla 28. Derivas para la estructura de base fija y base aislada.	69
Tabla 29. Aceleraciones de la estructura de base fija y base aislada.	72

Tabla 30. Cortantes estáticos de la estructura de base fija.....	73
Tabla 31. Cortantes dinámicos de la estructura de base fija.	74
Tabla 32. Cortantes dinámicos de la estructura de Base Aislada.....	76
Tabla 33. Reacciones en la base de la estructura de base fija	78
Tabla 34. Reacciones en la base de la estructura de base con aislamiento	78
Tabla 35. Índice de estabilidad de la estructura de base fija sentido – X.....	80
Tabla 36. Índice de estabilidad de la estructura de base fija sentido – Y.....	81
Tabla 37. Desplazamiento de los aisladores - EW.....	82
Tabla 38. Desplazamiento de los aisladores -NS.	83
Tabla 39. Asentamientos diferenciales – Base Fija.....	89
Tabla 40. Asentamientos diferenciales – Base Aislada.....	90
Tabla 41. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados. (NEC -15)	90
Tabla 42. Costo de la estructura de base fija.....	93
Tabla 43. Costo de la estructura base aislada y sistema de aislamiento.....	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Sismos registrados en el siglo XX y XXI en la Costa Norte del Ecuador, con magnitud mayor o igual a Mw 7 [4].	4
Figura 2: Tipo de fallas [6].	7
Figura 3: Acelerogramas de tres movimientos sísmicos típicos [8].	7
Figura 4: Dirección de propagación de las ondas P [8].	8
Figura 5: Ondas Secundarias [6].	9
Figura 6: Ondas Rayleigh [6].	10
Figura 7: Propagación de las ondas Love [9].	10
Figura 8: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura [8].	11
Figura 9: Estados límite de comportamiento estructural [8].	12
Figura 10: a) daño en bardas, b) estructuras débiles y sin ingeniería, c) estructuras antiguas, d) grietas en acabados y elementos no estructurales, e) grietas pequeñas en muros, traveses o columnas, f) grietas importantes en muros, traveses o columnas, g) colapso de pisos superiores y h) colapso [10].	13
Figura 11: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura [8].	14
Figura 12: Método de análisis (NEC-SE-DS-15).	20
Figura 13: Diseño basado en Fuerzas (NEC-SE-DS-15).	21
Figura 14: Sistema de control activo [15].	22
Figura 15: Sistemas pasivos de control de respuesta [16].	23
Figura 16: (a) Estructura de base fija, (b) Estructura aislamiento en la base [17].	24
Figura 17: Estructura del aislador LRB [17].	26
Figura 18: Sistema de péndulo de fricción (FPS). (a) Vista exterior. (b) Componentes internos. (c) Esquema de una sección transversal. [18]	27
Figura 19: Disminución de la aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico [16].	27
Figura 20: Estructura de base fija (c), Estructura con aislamiento de base (i) [17].	28
Figura 21: Puente “Caras” – Manabí -Ecuador, construido en 2007.	29
Figura 22: Puente “Norte” (consta de 4 puentes) – Esmeraldas -Ecuador, aisladores FPS construido en 2010	29
Figura 23: Instituto de investigación de Obras Públicas – Japón 1998	29
Figura 24: Edificio de la UTEC -Perú 2012	30

Figura 25: San francisco City hall – EEUU- Aisladores elastoméricos	30
Figura 26: Puente Golden Gate – San Francisco - Aisladores elastoméricos.....	30
Figura 27: Vista en planta de la estructura	38
Figura 28: Vista en elevación de la estructura.....	38
Figura 29: Tipos de pared en la estructura.....	39
Figura 30: Espectro elástico y reducido NEC -2015	43
Figura 31: Espectro de respuestas MCE (Sismo máximo considerado).....	46
Figura 32: Componente de aceleración ICA 2007, sentido N-S.....	57
Figura 33: Componente de aceleración ICA 2007, sentido E-W	57
Figura 34: Componente de aceleración ANCASH 1974, sentido N-S.....	58
Figura 35: Componente de aceleración ANCASH 1974, sentido E-W	58
Figura 36: Componente de aceleración LIMA 1970, sentido N-S	59
Figura 37: Componente de aceleración LIMA 1970, sentido E-W	59
Figura 38: Filtrado de datos	60
Figura 39: Escalamiento de del acelerograma	61
Figura 40: Registro sísmico Escalado al espectro objetivo	61
Figura 41: Espectro objetivo, Registro sísmico.....	62
Figura 42: Sismo para análisis Tiempo Historia.....	62
Figura 43 Modos de vibración de la estructura.....	63
Figura 44: Desplazamiento de la estructura aislada sentido X.	66
Figura 45: Desplazamiento de la estructura aislada sentido Y	67
Figura 46: Desplazamiento con respecto al base sentido X.....	68
Figura 47: Desplazamiento con respecto al base sentido Y.....	69
Figura 48: Derivas para la estructura de base fija y base aislada.	71
Figura 49: Aceleraciones de la estructura de base fija y base aislada.	72
Figura 50: Cortantes estáticos de la estructura de base fija.	74
Figura 51: Cortantes dinámicos de la estructura de base fija.	75
Figura 52: Cortantes dinámicos de la estructura de Base Aislada	76
Figura 53: Cortantes de la estructura de Base Fija- Base aislada.	77
Figura 54: Espectro considerando el sismo máximo probable, con $\beta = 1.5$	84
Figura 55: Diagrama de curva de histéresis del aislador.	85
Figura 56: Porcentaje de disipación de energía del sismo sentido EW.	86
Figura 57: Porcentaje de disipación de energía del sismo sentido EW.	87

Figura 58: Ubicación de los aisladores de base	88
Figura 59: Presiones de la cimentación de la estructura con base fija.....	88
Figura 60: Presiones de la cimentación para la estructura aislada.....	89
Figura 61: Chequeo a Punzonamiento – Base Fija.....	91
Figura 62: Chequeo a Punzonamiento – Base Aislada.....	91
Figura 63: Chequeo a corte – Base Fija.....	92
Figura 64: Chequeo a corte – Base Aislada.....	92
Figura 65: Costo de la estructura de base fija vs base aislada.	94

RESUMEN

Para la elaboración de este proyecto se identificó la diferencia de comportamiento dinámico de estructuras de: base fija y con aislamiento, para ello se planteó como objetivo analizar y comparar el comportamiento sísmico entre ellas. Se evaluó esta investigación sobre el diseño de los aisladores de base, observando el comportamiento de los siguientes parámetros: derivas, participación de masas, periodo de vibración, aceleraciones y cortantes. A través del prediseño se procedió con el modelado de los dos edificios mediante el uso de un software apropiado para el análisis, realizando el análisis lineal modal espectral para la edificación de base fija mediante el uso del espectro de diseño NEC – 15; para el caso del sistema con aislamiento se realizó el análisis no lineal tiempo historia, considerando el sismo máximo probable para lo cual se utilizaron acelerogramas apropiados y ajustados de acuerdo a la zona y al tipo de suelo. Se concluye que la implementación de aisladores sísmicos a una estructura de base fija, proporciona un mejor comportamiento estructural durante un sismo debido al amortiguamiento brindado por estos dispositivos, obteniendo desplazamientos relativos de pisos mucho menores, por lo tanto, la estructura con aisladores de base puede permanecer operativa y con daños mínimos o nulos en comparación a una estructura con sistema estructural de pórticos de base fija.

Palabras Claves: Sismicidad, Aisladores Sísmicos, Estructuras Convencionales, Aisladores de base, Aisladores Elastoméricos.

ABSTRACT

For the development of this project, the difference in the dynamic behavior of fixed and isolated structures was identified. The difference in dynamic behavior of structures with: fixed base and with isolation, for this purpose, the objective was to analyze and compare the seismic behavior between them. This research was evaluated on the design of base isolators, observing the behavior of the following parameters: drifts, mass participation, vibration period, accelerations and shear. Through the pre-design, we proceeded with the modeling of the two buildings by using appropriate software for the analysis, performing the linear modal spectral analysis for the fixed base building by using the NEC - 15 design spectrum; for the system with isolation, the nonlinear time-history analysis was performed, considering the maximum probable earthquake, for which appropriate accelerograms were used and adjusted according to the area and type of soil. It is concluded that the implementation of seismic isolators to a fixed base structure, provides a better structural behavior during an earthquake due to the damping provided by these devices, obtaining much smaller relative displacements of floors, therefore, the structure with base isolators can remain operative and with minimum or null damages in comparison to a structure with a structural system of fixed base frames.

Keywords: Seismicity, Seismic Isolators, Conventional Structures, Base Isolators, Elastomeric Isolators.

Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, nuestro planeta ha experimentado un sin número de movimientos, poniendo a prueba la capacidad resistente de todas las edificaciones. Estos fenómenos naturales conocidos como sismos son causados por el movimiento de las placas tectónicas cuando liberan energía.

Ecuador está ubicado al noroccidente de Sudamérica, en el cinturón del fuego del Pacífico, una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica del mundo. En 1906 se registró un evento sísmico de magnitud Mw. 8.8 localizado en la región costa del país que causó grandes pérdidas humanas y materiales.

En las últimas dos décadas la ingeniería estructural sismorresistente ha desarrollado nuevas estrategias para proteger las construcciones de terremotos destructivos entre las que se destacan son los sistemas de aislamiento sísmico y disipación de energía. En los terremotos de Northridge (Los Ángeles, 1994) y Kobe (Kobe, 1995) se observó que las construcciones realizadas de forma tradicional quedaron al borde del colapso incluso algunos colapsaron sin embargo las estructuras aisladas tuvieron un excelente desempeño durante los sismos [1].

Con el paso del tiempo el concepto de aislación sísmica ha comenzado a ser considerado seriamente como una alternativa en el diseño sismorresistente de estructuras, especialmente en edificaciones que contienen equipos costosos, así como: hospitales y centros de investigación, dichos sistemas de protección sísmica garantizan los beneficios de esta alternativa en cuanto a aumentar considerablemente la operabilidad de las estructuras y la seguridad para las personas durante y después de un sismo.

En base a lo antes mencionado es indispensable profundizar el estudio y la aplicación de diseños estructurales con aisladores sísmicos encaminadas a mejorar el comportamiento de las estructuras frente a demandas sísmicas. Para ello en vez de crear estructuras muy rígidas se pueda diseñar estructuras con sistemas que reduzcan la velocidad con la que el sismo llega a la estructura reduciendo los esfuerzos y deformaciones.

Con este trabajo se procura establecer el cálculo y diseño de una estructura con aisladores sísmicos para que sea totalmente ocupacional durante y después de un evento sísmico, además conocer la aplicación y diseño de aisladores sísmicos para estructuras de mediana altura, específicamente aisladores LRB con núcleos de plomo debido a que estos sistemas son elementos de construcción innovadores de alta tecnología muy importantes ya que permiten disminuir la vulnerabilidad de las estructuras y tener un buen desempeño estructural frente a un sismo.

Es importante contribuir a la creación de infraestructuras más resilientes mediante el uso de sistemas de protección sísmica y disipación de energía ante este tipo de eventos para evitar pérdidas económicas y vidas humanas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Sismicidad

El sismo es un fenómeno natural producido por el movimiento brusco de la corteza terrestre, esto se debe a diversos factores tales como: actividad volcánica, experimento con bombas nucleares, impacto de meteoritos, entre otros. El movimiento del suelo se da cuando la fuerza de rozamiento es superada por la tensión acumulada liberando energía que viajan por diferentes capas de la tierra a través de ondas. La ocurrencia de desastres asociados a terremotos ha generado grandes pérdidas a la humanidad a lo largo de la historia.

En América del sur especialmente en la región costa del Ecuador se tiene principalmente el enfrentamiento de la Placa de Nazca o Placa Oceánica con la Placa de Sudamérica o Placa Continental ocasionando el fenómeno de subducción en el cual la placa de Nazca por ser más rígida y fuerte se introduce por debajo de la Placa Sudamericana y continúa moviéndose hacia el manto, este enfrentamiento es la principal fuente de generación de energía sísmica.

La subducción de la placa de Nazca debajo de la plaza Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador, a este hecho se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio Ecuatoriano, régimen Cortical

Ecuador presenta un complejo sistema de fallas local superficial activas causando sismos tales como: 1906 en Esmeraldas; 1942 en Guayaquil, Portoviejo, Bahía de Caráquez, Manta y Junín; 1944 en Cotopaxi; 1949 en Ambato, Píllaro, Salcedo, Latacunga y Guano; 1987 en el Oriente; 1996 Pujilí; 1998 Bahía de Caráquez. [2]. La sismicidad en Ecuador se reactiva cada 50 años y cada siglo ocurre la reactivación sísmica con una magnitud la cual es 35 veces más intensa que las que ocurren a mediado de siglo [3].

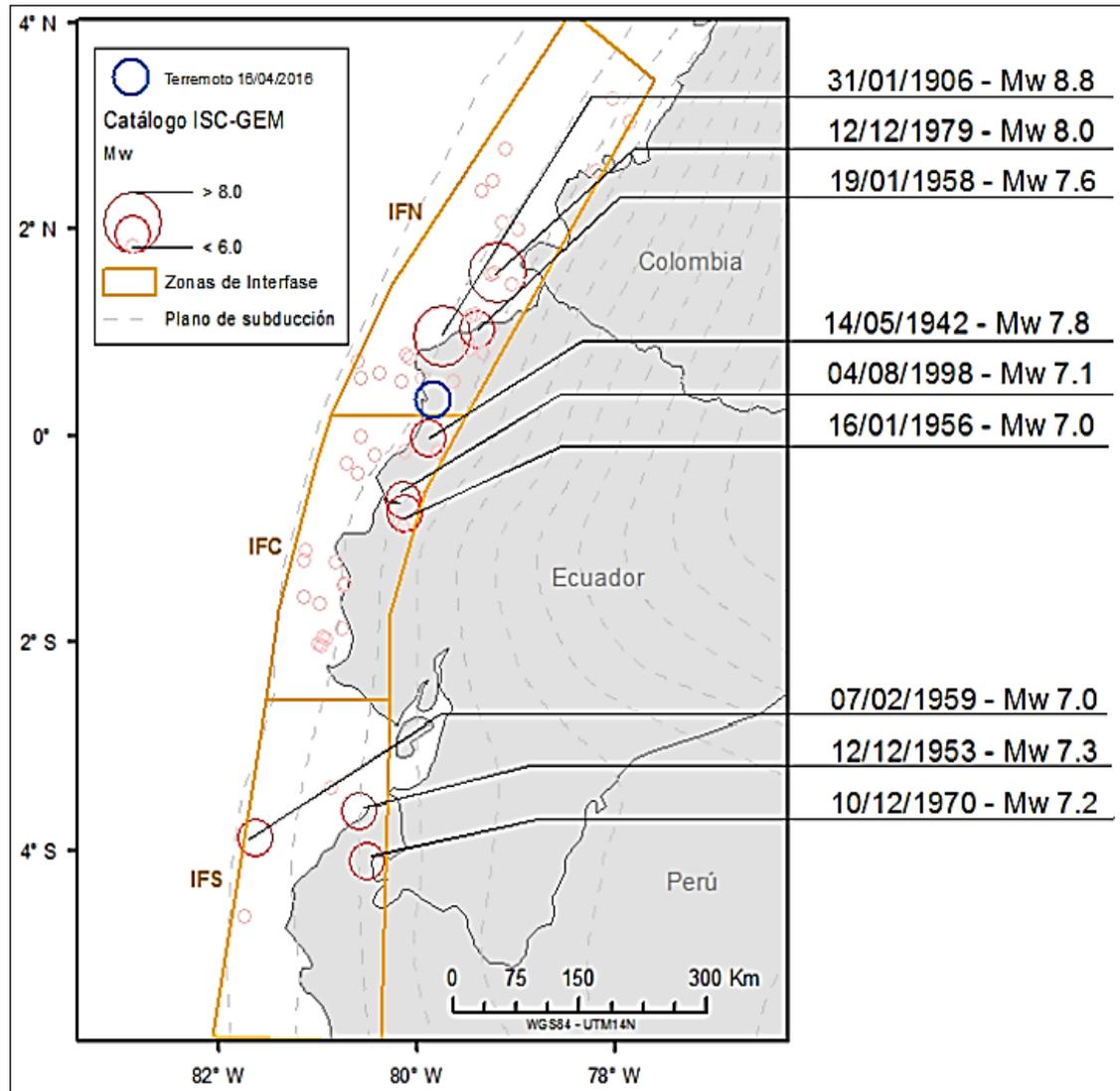


Figura 1: Sismos registrados en el siglo XX y XXI en la Costa Norte del Ecuador, con magnitud mayor o igual a Mw 7 [4].

Según Stuart Nishenko [5] un investigador estadounidense, basado en los análisis estadísticos de ocurrencia y periodos de retorno, afirmó en su reporte “Circum - Pacific Seismic Potencial” publicado en 1989 que desde el año 1999 al 2009 existe la posibilidad de que se produzca un terremoto con magnitud de 7.9 cuyo epicentro será las costas de Manabí y Esmeraldas por lo cual sitúa a las costas de Ecuador como uno de los lugares con alta potencialidad sísmica y pronostica la ocurrencia de un sismo severo de una magnitud igual o mayor a 7.7 con una probabilidad del 90% [5]. Los daños estructurales y pérdidas económicas debido a un terremoto con una escala mayor a 7.5 grados generarían pérdidas directas e indirectas de aproximadamente hasta dos

mil millones de dólares según los cálculos realizados por técnicos de la Universidad Católica y el Municipio de Guayaquil (Diario hoy, fecha de publicación 10/10/2000).

El desastre considerando el sismo más destructivo en los últimos treinta años fue el terremoto del 16 de abril de 2016 de 7.8 en la escala Richter que afectó directamente a las poblaciones de la costa del Ecuador principalmente a las provincias de: Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, Los Ríos y Santa Elena.

#	Lugar	Magnitud Mw	Fecha	Muertes
1	Valdivia, Chile	9.5	22 de mayo 1960	5 700 a 10 000
2	Sumatra, Indonesia	9.3	26 de diciembre de 2004	229 866
3	Alaska, USA	9.2	28 de marzo de 1964	128
4	Kamchatka, Rusia	9.0	4 de noviembre de 1952	22
5	Miyagi, Japón	9.0	11 de marzo de 2011	15 893
6	Arica, Perú (hoy Chile)	9.0	13 de agosto de 1868	25 000
7	Sumatra, Indonesia	8.8	24 de noviembre de 1833	sin registro
8	Cobquecura, Chile	8.8	27 de febrero de 2010	524
9	Esmeraldas, Ecuador	8.8	31 de enero de 1906	1000
10	Alaska, USA	8.7	26 de enero de 1700	25

Tabla 1: Top 10 de los sismos más severos a nivel mundial [6].

Ecuador y Perú se encuentran en América del Sur y su sismicidad son parecidas debido a su cercanía, sin embargo, Ecuador tiene etapas de mayor actividad conocidas como “Reactivación Sísmica” y otras de tranquilidad sísmica mientras que Perú muestra una actividad perenne [3].

Riobamba se encuentra ubicado en la región sierra – centro del Ecuador, según el mapa de Zonificación sísmica y factor z (NEC-SE-DS-15), se le atribuye un valor de aceleración sísmica menor en comparación a la aceleración en las costas del Ecuador donde ocurren eventos sísmicos de mayor intensidad, para ello es importante el diseño de estructuras sismorresistentes.

Para la siguiente investigación se plantea realizar el diseño de un edificio sismorresistente ubicado en la ciudad de Riobamba bajo los requerimientos de la NEC-15.

1.1.1 Tipos de fallas

Cada tipo de falla tiene características propias, algunas son muy peligrosos para las estructuras dependiendo la deformación. Unas generan sismos de mayor magnitud que otras.

1.1.1.1 Transcurrentes

Transcurrentes o también conocidas como rumbo presentan claras alteraciones en la morfología superficial los tipos de fallas presentan movimientos opuestos, pero no un cambio significativo en la topografía.

Son difíciles de distinguir puesto que se necesita una visión amplia del terreno en estudio para poder identificarlas, así como imágenes tomadas con satélites o en grandes áreas.

1.1.1.2 Cabalgamiento

Son fallas que presentan un movimiento vertical, las fallas normales presentan un ángulo menor a 45° grados, generalmente la subducción recibe el nombre de Thrust esta zona de subducción es considerada del tipo inversa.

1.1.1.3 Oblicua

Este tipo de falla es producido por el movimiento combinado: vertical y horizontal, estas fallas activas presentan componentes en las 3 direcciones.

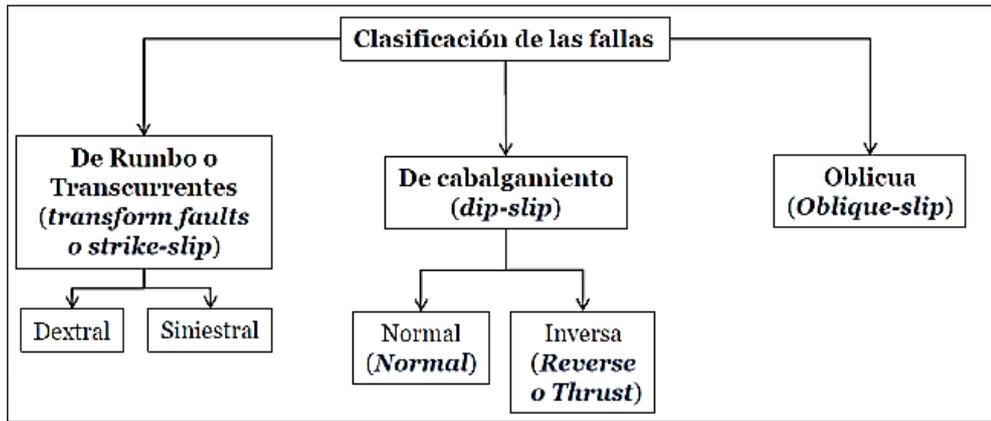


Figura 2: Tipo de fallas [6].

1.1.2 Ondas sísmicas

La energía que libera un sismo recorre desde el epicentro mediante distintos tipos de ondas que sacuden la corteza terrestre.

Los sismógrafos son instrumentos que registran las ondas sísmicas, estos aparatos registran movimientos del terreno: dos en dirección horizontal y una en dirección vertical. Estos pueden registrar desplazamientos, velocidades y aceleraciones del suelo, sin embargo, los acelerógrafos son los más utilizados en la ingeniería debido a que registran la variación de la velocidad con respecto al tiempo en el sitio donde se encuentran ubicados. [7]

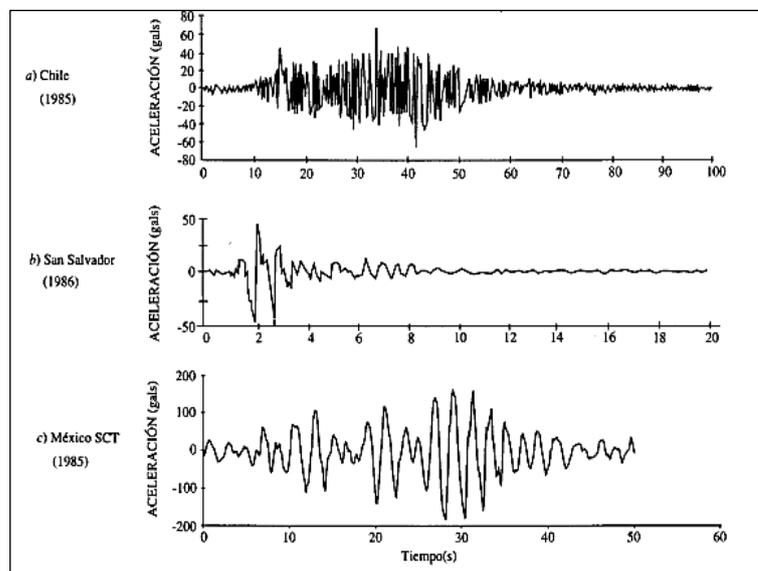


Figura 3: Acelerogramas de tres movimientos sísmicos típicos [8].

Las ondas sísmicas se generan en el epicentro del terremoto y viajan a través de las capas de la tierra hasta llegar a la superficie, la columna resonante de suelo de los primeros 30 metros influye en el comportamiento dinámico de las estructuras por lo tanto la velocidad a 30 metros de la superficie de la tierra refleja la amplificación de la onda sísmica Roca- Suelo [6], se pueden diferenciar dos tipos de ondas: Internas y superficiales.

1.1.3 Ondas internas

- **Primarias (P)**

También conocido como ondas P, son ondas compresionales o longitudinales la cual indica que la superficie es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación, experimentan un movimiento similar a la dirección de propagación. [8] Estas ondas viajan grandes distancias a través de cualquier material ya sea líquido o sólido con una velocidad de 1.73 veces más rápido que las ondas S.



Figura 4: Dirección de propagación de las ondas P [8].

Se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4\mu}{3}}{\rho}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

v_p : Velocidad de la onda primaria.

k : Módulo de compresibilidad.

ρ : Densidad del material.

μ : Módulo de corte.

- **Secundarias (S)**

Son ondas tipo S, estas ondas producen un desplazamiento transversal a la dirección de propagación. La velocidad de propagación por las capas de la tierra es menor que las ondas primarias. Estas ondas producen oscilaciones durante un evento sísmico produciendo mayores daños en las estructuras. Las ondas tipo S son las más destructivas y se propagan a través de elementos sólidos.

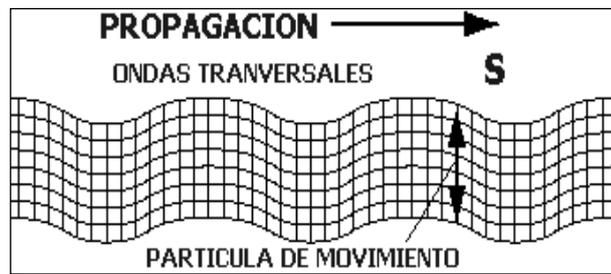


Figura 5: Ondas Secundarias [6].

Se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

v_p : Velocidad de la onda Secundaria.

μ : Módulo de corte.

ρ : Densidad del material.

1.1.4 Ondas superficiales

- **Rayleigh (R)**

Son ondas superficiales también conocidas como ground roll, son ondas más lentas que las ondas internas y la velocidad con la que viajan es casi un 90% de la velocidad con la que propagan las ondas S.

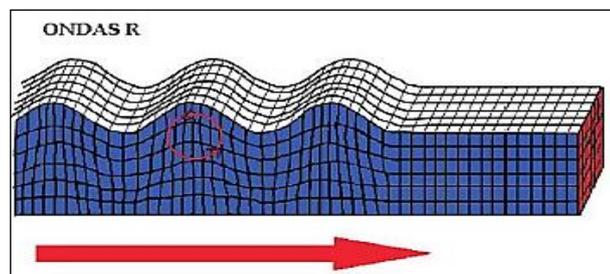


Figura 6: Ondas Rayleigh [6].

- **Love (L)**

Las ondas love producen movimientos horizontales en la superficie, se propagan con el movimiento de las partículas en dirección perpendicular, la velocidad de propagación es 90% de la velocidad de las ondas S, pero ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh.

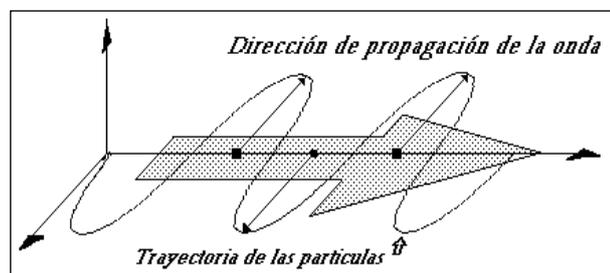


Figura 7: Propagación de las ondas Love [9].

1.1.5 Efectos de los sismos en las estructuras

El suelo transfiere a la estructura los desplazamientos y fuerzas producidas por el sismo, la estructura al estar en contacto con la superficie del terreno tiende a seguir el movimiento del mismo, razón por la cual es importante que el edificio tenga una distancia suficiente con respecto a los edificios vecinos para evitar que los elementos

choquen y causen daños a la estructura al vibrar el suelo. En los edificios existentes de gran altura se han mostrado casos de choques en movimientos horizontales del terreno para lo cual se debe rigidizar o colocar amortiguamiento de base.

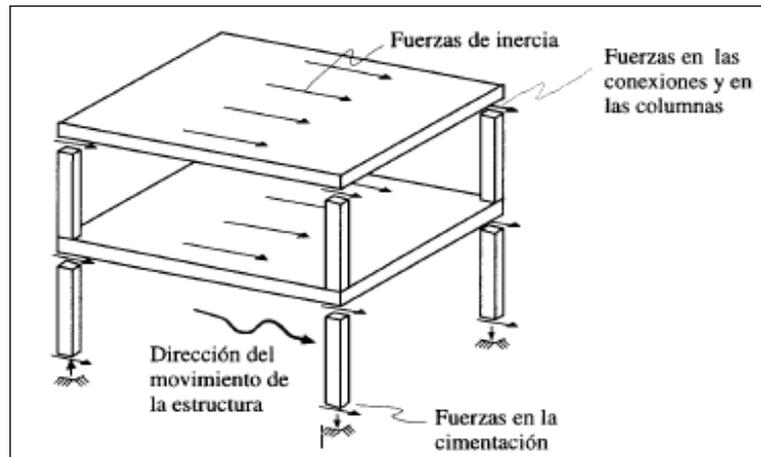


Figura 8: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura [8].

Para un diseño estructural es necesario realizar procesos de análisis y dimensionamiento, desde el punto de vista sísmico un edificio mal estructurado es imposible que se comporte satisfactoriamente frente a un sismo. **E. Bazán, y R. Meli** con la experiencia obtenida en varios temblores muestra en la publicación del libro realizada bajo el título de **“Diseño Sísmico de edificios”** que, los edificios bien concebidos estructuralmente y bien detallados han tenido un comportamiento adecuado durante un sismo [8].

El comportamiento de las estructuras durante un sismo en el rango no lineal está asociado a los daños producidos en elementos no estructurales y en la estructura misma, las evidencias son: deformaciones residuales, desprendimientos, agrietamientos, y pandeos locales en la edificación, para ello la ductilidad es una propiedad fundamental en las estructuras debido a que ayuda a resistir efectos sísmicos eliminando la posibilidad de una falla frágil.

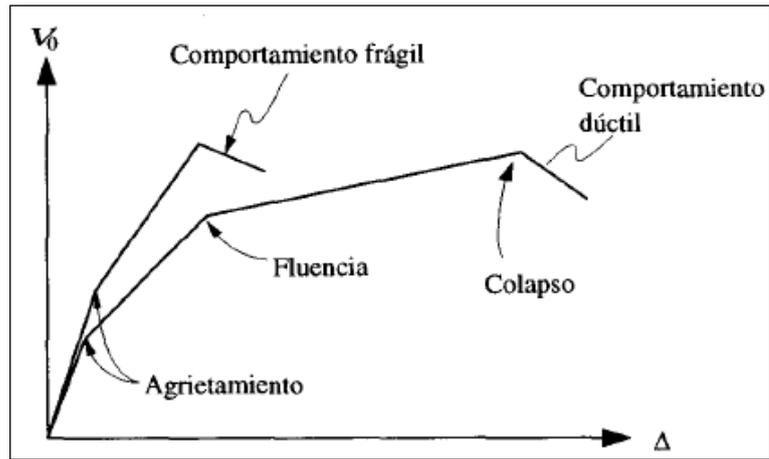


Figura 9: Estados límite de comportamiento estructural [8].

Los puntos que muestra la Figura 9 indica los estados límite del comportamiento estructural, el primero (Agrietamiento) puede considerarse que se rebasan las condiciones deseables de servicio de la construcción, en el segundo (Fluencia) se llega a daño estructural significativo y en el tercero ocurre el colapso [6].

Para el colapso, las patologías estructurales como: piso blando, columnas cortas, pesos de las terrazas, columnas esbeltas, irregularidad en elevación y en planta, viga fuerte – columna débil y nudo débil son problemas recurrentes frente a sismos severos [4], al mismo tiempo el nivel freático contribuye a la vulnerabilidad de las estructuras causando daños estructurales debido a la permanente filtración de aguas de alcantarillado y aguas lluvia.



Figura 10: a) daño en bardas, b) estructuras débiles y sin ingeniería, c) estructuras antiguas, d) grietas en acabados y elementos no estructurales, e) grietas pequeñas en muros, trabes o columnas, f) grietas importantes en muros, trabes o columnas, g) colapso de pisos superiores y h) colapso [10].

1.1.6 Edificios tradicionales de base fija

Los movimientos del suelo producidos por el sismo se transmiten a las estructuras que se apoyan sobre el mismo. La subestructura al estar unido al suelo tiende a seguir el movimiento del mismo, mientras que la masa del edificio se opone a ser desplazada y seguir el movimiento de su base debido a la inercia.

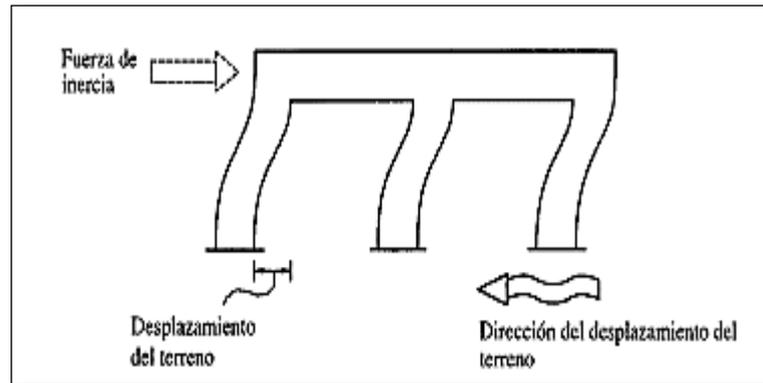


Figura 11: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura [8].

Teniendo en cuenta que al diseñar una estructura sismorresistente en Ecuador se hace uso de un espectro de diseño sísmico, sin embargo no se conoce con gran exactitud las características del sismo, su comportamiento en la estructura, ni los desplazamientos que producirá, para ello en los últimos 30 años se ha ocupado el diseño por desempeño la cual considera los desplazamientos máximos y cargas máximas a las que puede ser sometida una estructura antes del colapso, considerando la máxima ductilidad, Ecuador al situarse en una zona sísmica alta se deben realizar un diseño sismorresistente la cual garantice el adecuado comportamiento de las estructuras.

1.1.7 Respuestas de las estructuras en los sismos

Durante un terremoto la subestructura (base de la estructura) sigue los movimientos del terreno sobre el cual se encuentra, debido a la inercia y flexibilidad de estructuras con gran altura es más fácil para las partes superiores mantener el estado en reposo, provocando que la base se mueva con el sismo y las partes superiores obedezcan a la inercia que al desplazamiento de la base. En un evento sísmico el terreno presenta movimientos en todas direcciones con aceleraciones verticales y horizontales presentando valores altos en dirección horizontal, las acciones verticales son menos dañinas que las acciones horizontales, sin embargo, en Northridge - California, en 1994 se evidenció que las aceleraciones verticales del terreno contribuyeron de manera significativa al daño de las estructuras. [9]

El elemento que facilita la resistencia en una construcción es la rigidez la cual es proporcionada por columnas, trabes, muros y vigas.

Entre los primeros antecedentes se encuentra la investigación realizada a inicios del siglo XX realizados por J. de la Colina; H. Ramírez bajo el tema “Características de los sismos y sus efectos en las construcciones” donde considera el comportamiento de diferentes estructuras diseñados sísmicamente y diseñados no sísmicamente. Esta investigación tiene como objetivo principal la comparación del comportamiento estructural de las estructuras frente a un sismo. El análisis de la respuesta de una edificación durante un terremoto se puede obtener mediante el estudio de valores relativos de máximos desplazamientos.

COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS S (DISEÑADAS SÍSMICAMENTE) Y N (NO DISEÑADAS SÍSMICAMENTE)				
CASO	COMPORTAMIENTO OBSERVADO	ESTRUCTURA TIPO S	ESTRUCTURA TIPO N	COMENTARIOS
1	Movimiento lateral oscilatorio muy apreciable, particularmente en pisos superiores de edificios	Sí, pero controlado	Sí, pero puede crecer sin límite hasta el colapso	El movimiento oscilatorio controlado indica que la estructura a n responde ante las fuerzas de inercia
2	Asentamientos y/o desplomes de la estructura	No	Posibles	Una falla del terreno puede tener graves consecuencias
3	Agrietamiento en columnas y/o muros de concreto reforzado	Sí, pero mínimo. Puede ser reparado	Excesivo y difícil de reparar	La integridad de estos elementos generalmente es vital para la estabilidad de la construcción.

4	Agrietamiento en traveses de concreto reforzado	Sí, pero no excesivo	Excesivo	El nivel de agrietamiento debe ser menor en columnas que en traveses
5	Pandeo local o global de patines o almas de perfiles en columnas de acero	No	Posible	Estos modos de falla deben evitarse ya que usualmente conducen a modos de falla súbitos
6	Pandeo local de patines o almas de perfiles en traveses de acero	Es posible, pero debe ser mínimo	Excesivo	En general un diseño sísmico trata de concentrar el posible comportamiento inelástico en las vigas y no en las columnas
7	Agrietamiento de muros divisorios, rotura de vidrios, caída de plafones y/o desprendimiento de recubrimientos	Es posible, pero debe ser mínimo	Excesivo	Generalmente este comportamiento no refleja el comportamiento de la estructura

Tabla 2: Comportamiento de las estructuras diseñadas sísmicamente y no diseñadas sísmicamente – Transcrito Textualmente [9].

1.1.8 Estructuras sismorresistentes

Algunas estructuras de hormigón armado existentes en el Ecuador datan de los años 80 del siglo pasado diseñadas con requerimientos antiguos, estos fueron calculadas solamente para soportar cargas verticales y en muchos casos se han agregado pisos adicionales sin supervisión de un especialista, debido a la construcción de este tipo de estructuras es indispensable realizar la intervención en la edificación ejecutando un reforzamiento de los elementos estructurales.

El diseño de estructuras sismorresistentes toma relevancia en la investigación: **“Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016”** realizado por Roberto Aguiar en Ecuador donde la mayor cantidad de estructuras que colapsaron estaban situados en las esquinas de las calles, cercanos al margen del río Portoviejo y con poca rigidez a causa de las aberturas existentes en las ventanas.

Debido a la ordenanza municipal que obliga la construcción de mezanines y un estilo arquitectónico que suprimía las columnas de la parte frontal y de las esquinas causaron el colapso total de las estructuras, pérdidas humanas, graves daños materiales y desplazamientos de personas y comerciantes de la zona.

Las conclusiones de esta investigación establecen que Ecuador es un país con alta peligrosidad sísmica y es necesario realizar diseños de estructuras rígidas con muros de corte, que incorporen disipadores de energía y aisladores sísmicos así también realizar diseños de acuerdo a las normas actuales NEC.

1.1.9 Filosofía de diseño sismo resistente

En los países donde existe un riesgo sísmico alto así como en los países del cinturón del Pacífico, el diseño para resistir cargas incitadas por sismos es de vital importancia en cualquier estructura. El objetivo principal de la filosofía sismorresistente es diseñar estructuras que sean capaces de resistir sismos severos, evitar pérdidas humanas, generar daños mínimos en la estructura y mantener el comportamiento de la estructura en el rango elástico - lineal durante un sismo.

La mayoría de los reglamentos modernos de diseño sísmico tiene como objetivo evitar el colapso de la estructura aceptando daños mínimos ante sismos moderados que tengan una probabilidad significativa de presentarse. Para los objetivos se plantean los estados límite siguiente: [8].

<i>Estado límite</i>	<i>Intensidad sísmica</i>	<i>Período de retorno, años</i>
Servicio	Moderada	20-30
Integridad estructural	Severa	50-100
Supervivencia	Extraordinaria	500-1000

Tabla 3: Estado límite para diseño sísmico [8].

- a) **Estado límite de servicio**, para el cual no se exceden deformaciones que causen temor y pánico a los ocupantes, daños en elementos no estructurales, e interferencia en el funcionamiento de las instalaciones y equipos.
- b) **Estado límite de integridad estructural**, se puede presentar daños estructurales y no estructurales mínimos, así como agrietamientos.
- c) **Estado límite de supervivencia**, Puede haber daño significativo en la estructura, en ocasiones costos elevados de reparación o inoperativa, pero se mantiene estable y se evita el colapso.

En base a lo antes mencionado se puede establecer objetivos de diseño sísmico.

- i) Evitar exceder el estado límite de servicio para sismos que se puedan presentar muchas veces.
- ii) Que el estado límite de integridad estructural no exceda para sismos severos donde tenga la probabilidad de ocurrir en la vida de la estructura.
- iii) El estado límite de supervivencia no debe exceder para sismos extraordinarios que tengan una baja probabilidad de ocurrencia. [8]

1.1.10 Filosofía de diseño sismorresistente NEC

La filosofía de diseño sismorresistente NEC contiene los siguientes objetivos:

- Para sismos de servicio (sismo menor) ningún daño en elementos estructurales y no estructurales.
- Para sismos moderados prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales, además garantizar la funcionalidad de la estructura.
- Para sismos severos (terremoto que pueden ocurrir rara vez a lo largo de la vida útil de la estructura) evitar el colapso, cierto grado de daño en elementos estructurales y proteger la vida de los habitantes.

Para cumplir con la filosofía de diseño de estructuras sismorresistente es necesario seguir las normas de construcción del país donde se realice el análisis y diseño sísmico, por esa razón para realizar el diseño sismorresistente en Ecuador se aplica la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), su uso depende de la información que contiene.

- **NEC-SE-CG:** Cargas no sísmicas
- **NEC-SE-DS:** Peligro sísmico -Diseño sismo resistente
- **NEC-SE-GM:** Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- **NEC-SE-RE:** Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras
- **NEC-SE-AC:** Estructuras de Acero
- **NEC-SE-MD:** Estructuras de Madera
- **NEC-SE-HM:** Estructuras de Hormigón Armado
- **NEC-SE-MP:** Estructuras de Mampostería Estructural
- **NEC-SE-VIVIENDA:** Vivienda de hasta dos pisos con luces de hasta 5m

Para el presente trabajo de investigación en el análisis y diseño de una estructura se ampliarán las siguientes normas:

- **NEC-SE-CG:** Cargas no sísmicas
- **NEC-SE-DS:** Peligro sísmico - Diseño sismorresistente
- **NEC-SE-GM:** Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- **NEC-SE-HM:** Estructuras de Hormigón Armado

1.1.1.1 Tipos y métodos de análisis

La normativa NEC-15 proporciona los siguientes tipos de análisis.

Análisis estático

- Lineal
- No lineal

Análisis Dinámico

- Lineal –
- No lineal

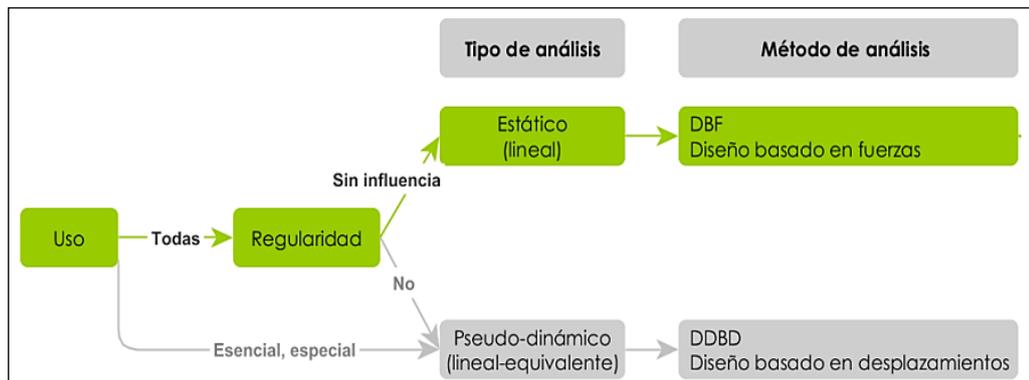


Figura 12: Método de análisis (NEC-SE-DS-15).

Para el diseño sísmico la NEC considera las siguientes metodologías.

- Diseño Basado en Fuerzas (DBF)
- Diseño Basado en Desplazamientos (DBD)

1.1.11 Diseño basado en fuerzas (DBF)

Este método consiste en encontrar fuerzas del sismo que actúan sobre la edificación y verificar parámetros modales y deformaciones máximas mediante las derivas de piso.

Se pueden realizar mediante los siguientes tipos de análisis.

- Estático
- Dinámico
 - Análisis espectral
 - Análisis paso a paso

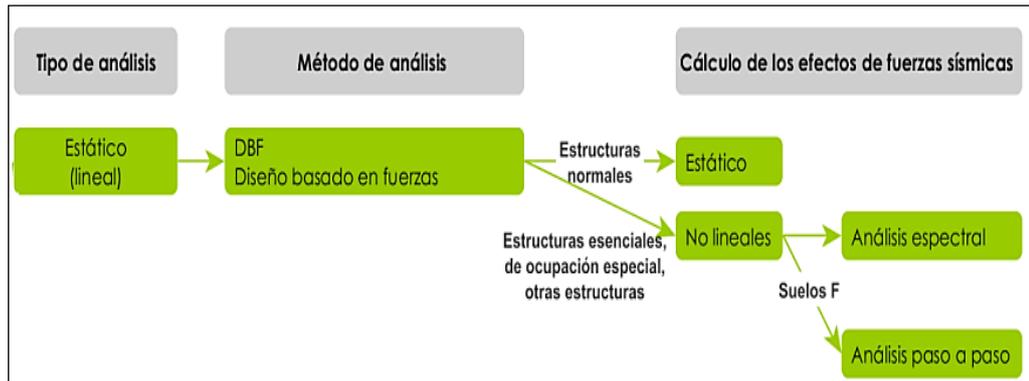


Figura 13: Diseño basado den Fuerzas (NEC-SE-DS-15).

El presente trabajo de investigación se limita a realizar el diseño de una estructura sismorresistente bajo condiciones de análisis sísmico estático y dinámico haciendo uso del espectro de respuesta, utilizando la metodología de diseño basado en fuerzas.

1.1.12 Sistema de protección sísmica

En los terremotos ocurridos en loma Prieta (1989), Northridge al oeste de Estados Unidos (1994) y Kobe en Japón (1995), se evidenció el excelente comportamiento y la notabilidad del estudio de aislación sísmica en estructuras importantes ubicadas en zonas de alta sismicidad protegiéndole de fuertes movimientos de suelo [11].

Desde hace más de un siglo la percepción de aislación sísmica ha sido desarrollado, sin embargo, durante los últimos 40 años se ha ido divulgando y su aplicación se ha incrementado de manera exponencial debido al buen desempeño que presentaron los pocos edificios aislados ante los sismos severos [12].

En la última década el aislamiento sísmico de base ha surgido como una elección estructural para disminuir las fuerzas de los sismos, durante los últimos treinta años se han realizado construcciones con aislamiento de base, particularmente en países como Nueva Zelanda, Estados Unidos, Perú, Chile y Japón [13].

En 2008 inició la construcción del puente con aisladores de base, este puente se encuentra sobre el estuario del río Chone que une las ciudades de Bahía de Caráquez con San Vicente, consta de una longitud de 1980 m., Ecuador ya inició con la construcción de estructuras con sistemas de control sísmica [14].

1.1.13 Clasificación

1.1.13.1 Sistemas activos

Desarrollados en EEUU y Japón. Estos sistemas tienen alta aplicabilidad en edificaciones de gran altura debido al limitado espacio de construcción que tiene Japón.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Monitorea en tiempo real para dar respuesta	Dependen de energía externa continua
Utilizados en edificios de gran altura	Costos elevados

Tabla 4: Sistemas activos ventajas y desventajas.

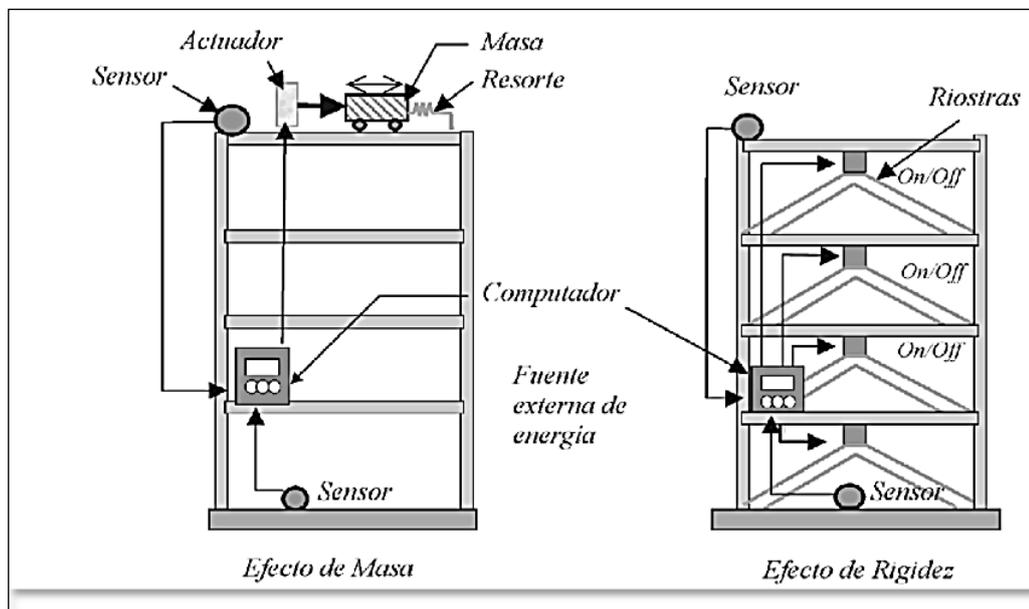


Figura 14: Sistema de control activa [15].

1.1.13.2 Sistemas pasivos

Los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía son sistemas pasivos que disipan energía a través de calor mediante sistemas mecánicos diseñados, estos permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras.

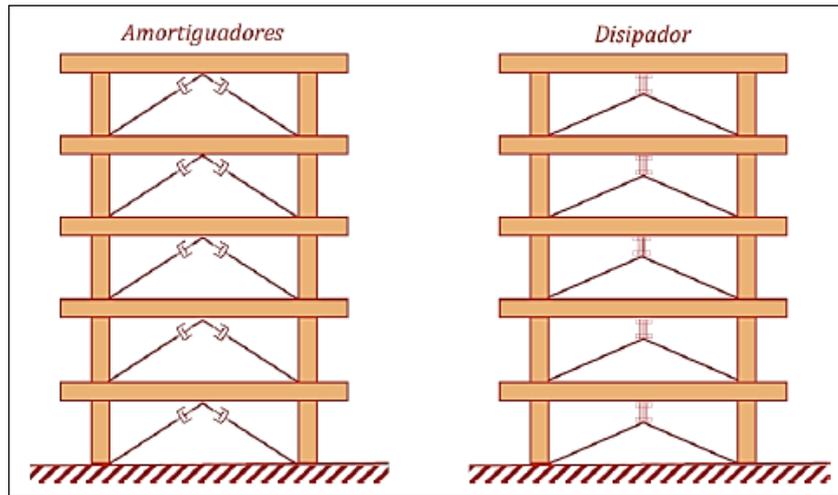


Figura 15: Sistemas pasivos de control de respuesta [16].

1.1.13.3 Disipadores de energía

Son dispositivos diseñados para disipar la energía del sismo, fuerza del viento u otras demandas de origen dinámico, se utilizan en estructuras nuevas y en estructuras existentes como refuerzo.

Los disipadores de energía aumentan el amortiguamiento de la estructura, reduciendo respuestas dinámicas de las estructuras por medio de energía; existen diversas configuraciones y se colocan en puntos estratégicos de la estructura.

1.1.14 Aisladores sísmicos

Los aisladores sísmicos son sistemas que se enfoca en separar la superestructura de los movimientos del suelo o de la subestructura limitando la entrada de energía de un sismo a la estructura mediante elementos flexibles ubicados en dirección horizontal. Estos elementos se ubican entre la estructura y su fundación sin embargo también se pueden ubicar en pisos superiores de una estructura, dichos componentes permiten a la estructura volver a su posición inicial después de un sismo.

Los aisladores de base son una herramienta con alta tecnología que protege a los elementos estructurales y no estructurales de los efectos destructivos de un sismo mediante el desacoplamiento de la superestructura del suelo, así, los movimientos del

suelo producido por un sismo o terremoto no se transmiten en su totalidad a la superestructura evitando daños en los elementos estructurales y no estructurales.

El uso de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el periodo de vibración de la estructura aislada sea aproximadamente tres veces mayor al periodo de la estructura con respecto a la estructura de base fija, estos dispositivos disminuyen la energía con la que el sismo llega a la estructura reduciendo ampliamente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada mediante el desplazamiento y deformación de los elementos que conforman los dispositivos: LRB, SL, HDR, FPS, razón por la cual la superestructura diseñada con aisladores de base debe tener la libertad de desplazamiento.

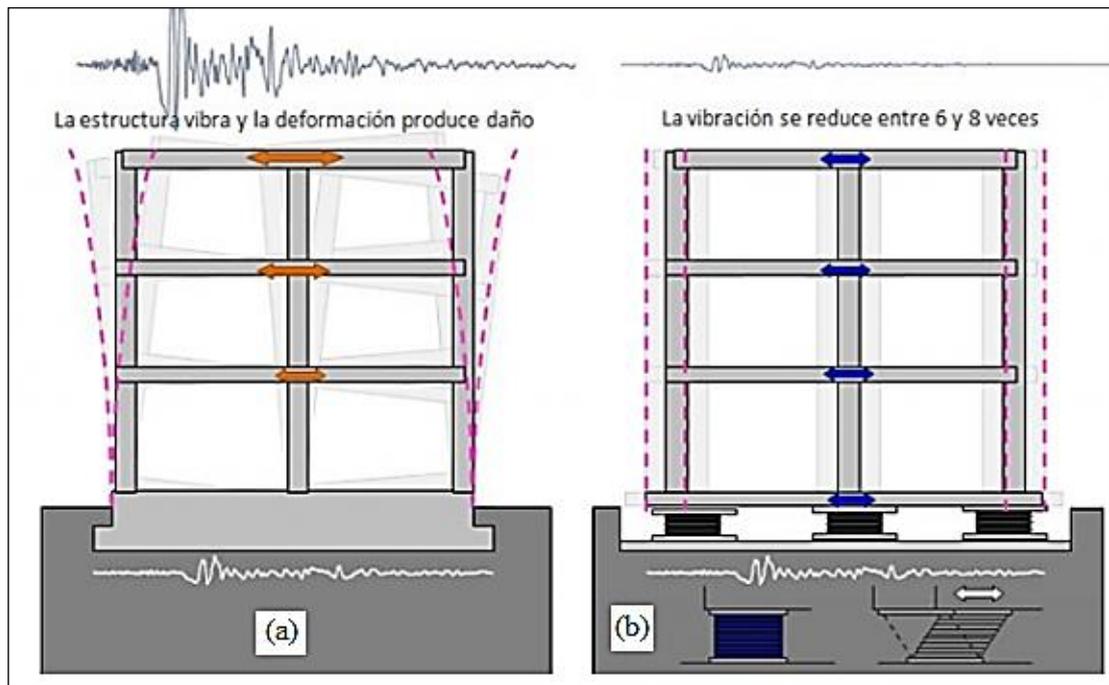


Figura 16: (a) Estructura de base fija, (b) Estructura aislamiento en la base [17].

Fuente: H, Huamaní, Aislamiento sísmico en edificios

1.1.15 Tipos y características de aisladores sísmicos

1.1.15.1 Aisladores elastoméricos convencionales - Deslizadores (SL)

Son aisladores que están compuestas por láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Estas láminas son vulcanizadas a las capas de acero, se presentan en sección cuadrada y mayormente de sección circular, dichos elementos proveen de

flexibilidad lateral necesaria a la estructura mediante la unión y distribución de los materiales lo que permite el desplazamiento horizontal entre la estructura aislada y el suelo logrando reducir deformaciones y desplazamientos en la estructura.

Los aisladores de tipo slider poseen alta rigidez vertical, este tiene un comportamiento similar a la rigidez de una columna de hormigón.

1.1.15.2 Aisladores elastoméricos (LRD)

Los aisladores de tipo LDR (Lead Down Rubber) son fáciles de fabricar, estos presentan bajo amortiguamiento de 2% al 5% como máximo, se utilizan con otro tipo de disipadores de energía que proporcionan amortiguamiento adicional al sistema.

1.1.15.3 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB (Lead Rubber Bearing) son dispositivos LDR que tiene en su centro un núcleo de plomo la cual permite aumentar el amortiguamiento del dispositivo entre un rango del 15% – 30 %. En un evento sísmico el núcleo de plomo se deforma lateralmente, este fluye incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía mediante calor. Al término de un evento sísmico, el núcleo de plomo recristaliza y la goma del aislador vuelve a su posición inicial listo para eventos sísmicos posteriores.

El aislador LRB está compuesto por las siguientes partes:

- **Recubrimiento del aislador:** protege las láminas de acero internas de la corrosión, ozono y UV.
- **Capas de caucho:** el caucho facilita la flexibilidad lateral, cumple la función de restaurar a la posición inicial a la estructura.
- **Núcleo de plomo:** provee amortiguamiento a la estructura, debe tener suficiente diámetro para evitar su deformación interna y reduce las fuerzas sísmicas mediante la disipación de energía.
- **Pernos de alta resistencia a la fuerza cortante:** conecta a la superestructura con el aislador y la subestructura.
- **Placas de acero Shim:** Provee de capacidad de carga vertical.

- **Placa de montaje inferior:** Conecta las estructuras que están encima y sobre el aislador.

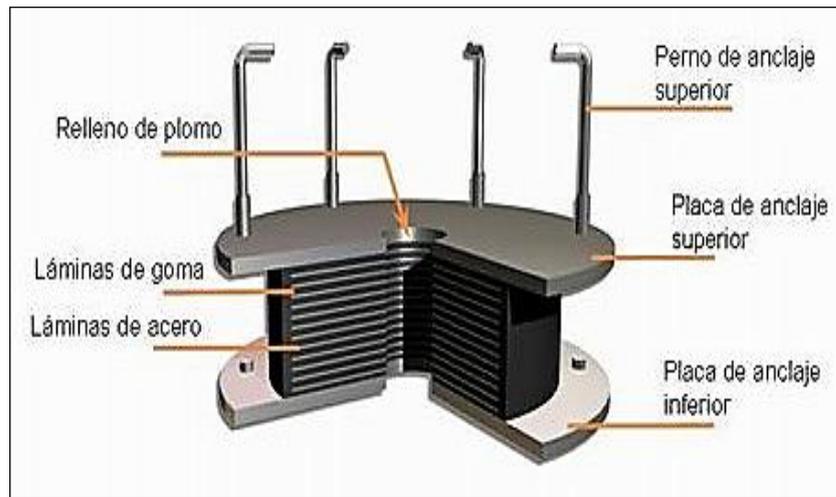


Figura 17: Estructura del aislador LRB [17].

1.1.15.4 Aisladores con alto amortiguamiento (HDR)

Los aisladores HDR (High Damping Rubber) están compuestas de láminas elastoméricas las cuales, con la adición de aceites, resinas, carbón aumentan el amortiguamiento de la goma de 10% a 15%. Estas presentan mayor rigidez en el primer ciclo de carga que por lo general en el tercer ciclo de carga se estabiliza, son muy sensibles a cambios de temperatura.

1.1.15.5 Péndulos friccionales (FPS)

Los péndulos friccionales están formados por un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava, Al término de un movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial, estos logran absorber enormes deformaciones alcanzando grandes desplazamientos.

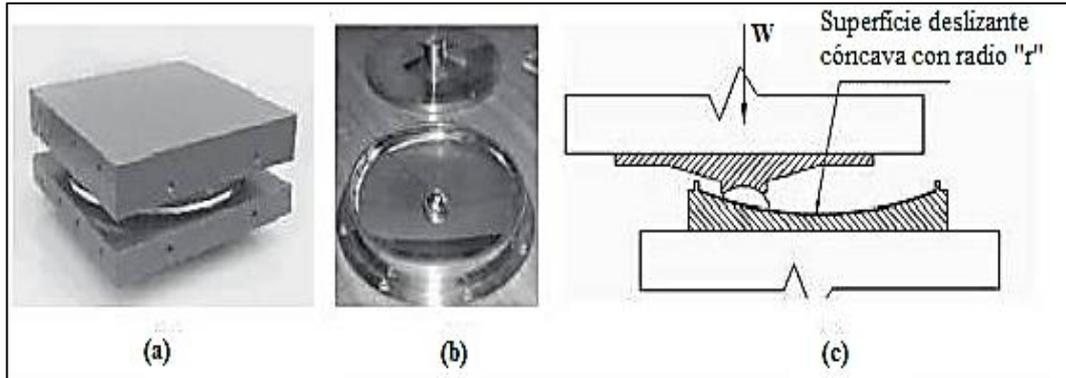


Figura 18: Sistema de péndulo de fricción (FPS). (a) Vista exterior. (b) Componentes internos. (c) Esquema de una sección transversal. [18]

1.1.16 Beneficios de los aisladores sísmicos en las estructuras

- Mayor seguridad para el usuario.
- Daños mínimos en elementos estructurales, no estructurales y contenidos que se encuentran en la edificación.
- Reducción de costos en reparación luego de un sismo severo.
- Mantiene a la estructura operativa durante un sismo y ocupacional luego de un sismo.
- Reducen hasta un 78% las aceleraciones y distorsiones de entre piso en comparación a una estructura de base fija, sin embargo, aumenta el periodo de vibración.

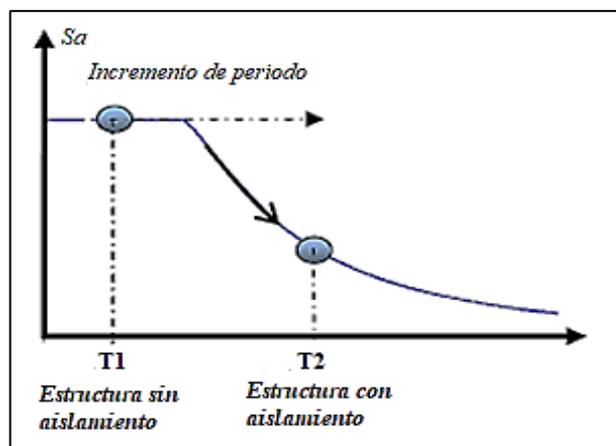


Figura 19: Reducción aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico [16].

El aislamiento sísmico reduce:

- Aceleración de entrepiso $A_c \gg A_i$
- Fuerza sísmica de entrepiso $F_c \gg F_i$
- Desplazamiento de entrepiso $D_c \gg D_i$
- Deformaciones de columnas y vigas $S_c \gg S_i$

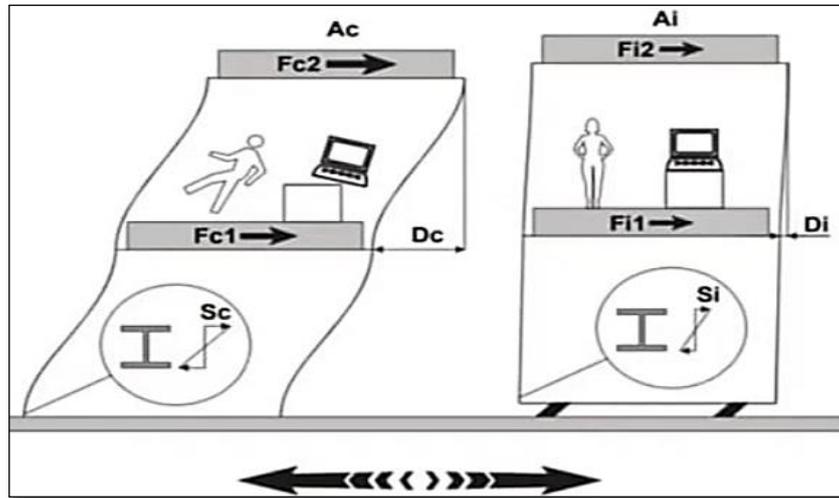


Figura 20: Estructura de base fija (c), Estructura con aislamiento de base (i) [17].

1.1.17 Desventajas del uso de aisladores sísmicos

- Presencia de grandes desplazamientos laterales en la base de la superestructura.
- Debido a la presencia de grandes desplazamientos pueden afectar las edificaciones vecinas, si no son bien calculadas podrían producir choques entre las estructuras causando mayores daños.
- Se debe considerar el espacio circundante en el sistema de aislación de tal manera que facilite el acceso a la revisión del sistema luego de un evento sísmico.
- Los grandes desplazamientos requieren flexibilidad en las conexiones de servicios tales como: agua potable, gas, electricidad, aguas servidas, telecomunicaciones.
- El diseño arquitectónico debe ser concebidas que tal manera que se adapten a los movimientos de los aisladores.

1.1.18 Estructuras con aislación sísmica de base



Figura 21: Puente “Caras” – Manabí -Ecuador, aisladores FPS construido en 2007



Figura 22: Puente “Norte” (consta de 4 puentes) – Esmeraldas -Ecuador, aisladores FPS construido en 2010



Figura 23: Instituto de investigación de Obras Públicas – Japón 1998

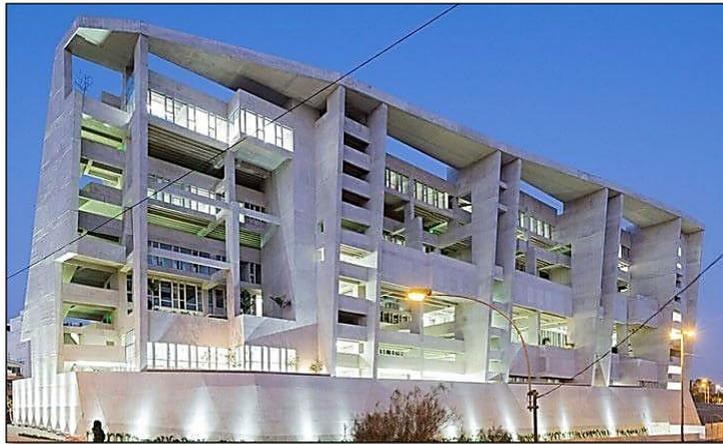


Figura 24: Edificio de la UTEC -Perú 2012



Figura 25: San francisco City hall – EEUU- Aisladores elastoméricos



Figura 26: Puente Golden Gate – San Francisco (EEUU) - Aisladores elastoméricos.

1.1.19 Filosofía de diseño para edificaciones con aislamiento sísmico de base

El objetivo principal de edificaciones con aislamiento sísmico de base es mantener la funcionalidad de la estructura, reducción de daño en la estructura y sus contenidos,

mejorar la comodidad de los ocupantes en el edificio en caso de terremotos y proveer protección sísmica adicional en la ocurrencia de eventos sísmicos severos.

Según la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia (FEMA 450-2003), para estructuras con aislamiento sísmico de base deben cumplir los siguientes objetivos de desempeño:

- a) Para sismos pequeños y moderados, mantener ileso los elementos estructurales, no estructurales y contenidos del edificio.
- b) Para sismos severos, mantener la estructura operacional sin que exista colapso o falla en el sistema de aislación sísmica, en el caso de existir fallas que no causen daños significativos en elementos estructurales.

Estos objetivos buscan mantener el comportamiento de la superestructura elástica durante el sismo, para lo cual el desplazamiento horizontal producida por el sismo debe ocurrir en el sistema de aislación; siendo la capacidad de desplazamiento total máximo del aislador la propiedad principal y se debe calcular con el sismo máximo considerado. Sin embargo, esta propiedad tiene una desventaja en el diseño arquitectónico debido a la reducción de espacios en el perímetro de la estructura.

Con el uso de sistemas de aislamiento de base se busca reducir los efectos dañinos en la estructura y sus elementos, con el propósito de no sólo de evitar el colapso ante terremotos y reducción de daños en sismos moderados sino también la inmediata recuperación de sus capacidades y prestación de servicios de sus instalaciones. [16]

1.1.20 Métodos análisis y diseño

El análisis de edificaciones aisladas sísmicamente se puede realizar por los siguientes métodos:

- a) Diseño basado en fuerzas: parte de un periodo inicial esperado la cual producirá fuerzas y desplazamientos en la estructura.
- b) Diseño basado en desplazamientos: inicia con un desplazamiento objetivo para el desempeño sísmico de la estructura para producir fuerzas de diseño.

El capítulo VI de La norma NCh 2745 permite utilizar modelos lineales o no lineales para el análisis de estructuras aisladas sísmicamente, las cuales se describen a continuación:

- **Análisis estático** con modelos lineales, establece valores mínimos de desplazamiento de diseño para el sistema de aislación, este procedimiento es recomendado utilizar para el prediseño de los aisladores y elementos de la superestructura.
- **Análisis Dinámico:**
 - **Modal espectral:** Se recomienda para estructuras que tienen:
 - Una estructura flexible
 - Una superestructura de planta irregular;
 - Aisladores con una relación constitutiva fuerza-deformación que puede ser representada por un modelo lineal equivalente.

La mayor ventaja de un análisis de respuesta espectral con superestructura flexible es que permite calcular en forma simple la distribución de fuerzas y deformaciones en los elementos.

Los procedimientos de análisis no lineal incluyen en general Análisis Estático No lineal, también conocido como Pushover, y Análisis Dinámico No-Lineal (ADNL).

El análisis no lineal de respuesta en el tiempo se debe utilizar en los casos siguientes:

- Sistemas con una razón de amortiguamiento modal mayor a un 30%.
- Sistemas sin capacidad autocentrante.
- Sistemas cuya deformación se espera exceda la distancia disponible de separación con estructuras adyacentes.
- Sistemas que son dependientes de la velocidad de deformación.
- Sistemas que experimentan levantamiento y/o impacto.
 - **Análisis de respuesta en el tiempo:** Se puede utilizar para el diseño de cualquier estructura con aislación sísmica y se debe utilizar para el diseño de todas las estructuras con aislación sísmica que no cumplan con los criterios de Análisis espectral.

- **Espectro de diseño específico del lugar:** Los espectros de movimiento del suelo se deben utilizar para el diseño y análisis de todas las estructuras aisladas.

En el ADNL, la superestructura se puede modelar como lineal provisto que se muestre que su respuesta se mantiene en el rango elástico durante el SMP (sismo máximo posible).

En el presente trabajo de investigación para el desarrollo de los aisladores sísmicos se utilizará el método basado en desplazamientos bajo el análisis estático y dinámico modal espectral.

1.1.21 Consideraciones para el diseño de fuerza lateral equivalente de los aisladores LRB

- Considerar el sismo máximo posible.
- La configuración estructural de la estructura debe ser regular en planta y elevación.
- El sistema de aislamiento debe tener la fuerza de restauración necesaria de tal manera que la fuerza lateral para el desplazamiento total de diseño sea por lo menos 2.5% del peso del edificio.
- Considerar la deformación máxima por corte del núcleo de plomo a un 250%.

De acuerdo a la norma de análisis y diseño de edificios con aislamiento sísmico NCh-2745 se revisarán los siguientes puntos:

- Desplazamientos mínimos laterales.
 - Desplazamiento traslacional.
 - Periodo efectivo al Desplazamiento máximo.
- Límites de desplazamiento de entrepiso.
 - Espectral < 0.003
 - Tiempo Historia < 0.0035
- El periodo de la estructura aislada debe ser al menos 3 veces el periodo de la estructura de base fija y menor a 5 segundos.
- Factor de seguridad contra volcamiento no debe ser menor a 1.

1.1.22 Ensayos requeridos

Conforme a la norma chilena NCh - 2745, para la validación de propiedades de los aisladores se enlistan los siguientes ensayos:

Los sistemas de aislación deben ser ensayados para confirmar las propiedades utilizadas en el cálculo y diseño de la estructura aislada. En general los sistemas de aislación que se consideran adecuados deben:

- Permanecer estables para el desplazamiento de diseño.
- Proveer de resistencia que no decrezca con un aumento en el desplazamiento.
- No degradarse en rigidez y resistencia bajo carga cíclica.
- Poseer una relación constitutiva fuerza deformación que esté bien definida y sea repetible.
- La restauración de la posición de la estructura luego de un evento sísmico debe ser mayor a 2.5% del peso de la estructura
- Considerar la deformación por corte del aislador máxima de 250%
- Las relaciones constitutivas fuerza-deformación y los valores de amortiguamiento del sistema de aislación sísmica utilizados en el análisis y diseño de edificaciones con aislamiento de base deben ser verificadas con anterioridad.
- Los fabricantes del sistema de aislamiento deben remitir los resultados de los ensayos de cuantificación para la aprobación del proyectista.
- Todos los elementos del sistema de aislamiento deben ser ensayados, incluyendo el sistema de restricción de viento.

Los ensayos de los aisladores son de dos tipos:

- Ensayos de aisladores prototipo; aisladores adicionales a los necesarios en obra, del mismo tipo y características
- Ensayos de cada uno de los aisladores a instalarse en la obra

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Analizar y comparar el comportamiento sísmico entre una estructura de hormigón armado diseñada de manera tradicional, frente a la estructura añadiendo aisladores sísmicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el diseño de los elementos estructurales para un edificio formado por pórticos resistentes a momento bajo los requisitos de la NEC-2015, y para un edificio con aisladores.
- Comparar la respuesta estructural entre el sistema con aislación sísmica y el sistema tradicional.
- Comparar la relación costo - beneficio al aplicar aisladores sísmicos, en la estructura.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Equipos y materiales

2.1.1 Recursos Institucionales

- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
- Biblioteca virtual de la Universidad Técnica de Ambato

2.1.2 Recursos Materiales

- Planos arquitectónicos. Planos estructurales.
- Equipos y materiales de oficina: Computador, Lápices, Impresora, Scanner, etc.

2.2 Metodología

El trabajo experimental se realiza mediante los siguientes tipos de investigación:

Investigación bibliográfica: investigar y recopilar información que ayuden a comprender el tema a investigar y describir su conceptualización para la buena comprensión del público.

Investigación aplicada: se utiliza los conocimientos adquiridos durante la carrera haciendo mayor énfasis en las asignaturas de Hormigón I, II, Estructuras II y Computación Aplicada.

Durante la primera etapa se efectúa la búsqueda y recolección de información en artículos, revistas, libros digitales, las cuales contengan estudios realizados referentes al tema de investigación que se encuentren dentro y fuera del país para obtener conceptos fundamentales y datos sobre la implementación de aisladores sísmicos.

En la segunda etapa se realiza el prediseño y diseño de los elementos estructurales de la estructura mediante el uso de la normativa: Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC 2015)

En la tercera etapa se modelará la estructura en un software apropiado para análisis de estructuras con las características obtenidas del diseño, así como: las dimensiones de los elementos estructurales y la cantidad de acero utilizado, para obtener los resultados

del comportamiento estructural del edificio diseñada de manera tradicional y la estructura con aisladores sísmicos.

Finalmente se efectuará el análisis y comparación de los resultados obtenidos en el ETABS del comportamiento estructural del edificio convencional frente al edificio aislado y analizar el costo de implementación de aisladores sísmicos.

2.3 Descripción de la estructura

La estructura a diseñar consta con las siguientes características: edificio de mediana altura (9 niveles considerando la azotea con una altura de entrepiso de 3.42 metros y la azotea con 4.10 metros) con una altura total de 31.46 m, el edificio es destinado para oficinas, comedor, gimnasio, salones para eventos públicos, contiene luces máximas entre 5 y 6 metros de longitud, el edificio tiene un área de construcción total de 2986.7488 m².

El edificio se encuentra ubicado en la provincia Chimborazo, al cual según la NEC – 15, Peligro Sísmico, diseño sismo resistente le corresponde un factor de riesgo sísmico V; y de acuerdo al estudio realizado por: Edgar Pánches y Francisco Gadgay bajo el título “Caracterización y Sectorización de las Propiedades Físicas y Mecánicas del suelo en los barrios La Libertad y la Florida de la Ciudad de Riobamba” el suelo donde se encuentra construido el edificio se considera el perfil de suelo S1 tipo D.

Parámetros a utilizar en el diseño de la estructura:

- Hormigón con resistencia a compresión del concreto de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.
- Acero de refuerzo corrugado mayores a 10mm.
- Acero con una resistencia a fluencia $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.
- Suelo tipo D (q admisible 30 ton/m²)

Para la verificación de datos de la simulación de los elementos de la subestructura y superestructura se utilizó softwares adecuados de análisis estructural.

La figura 27 - 28 muestra la vista en planta y elevación de la estructura, esto es de gran utilidad para realizar el prediseño de los elementos estructurales.

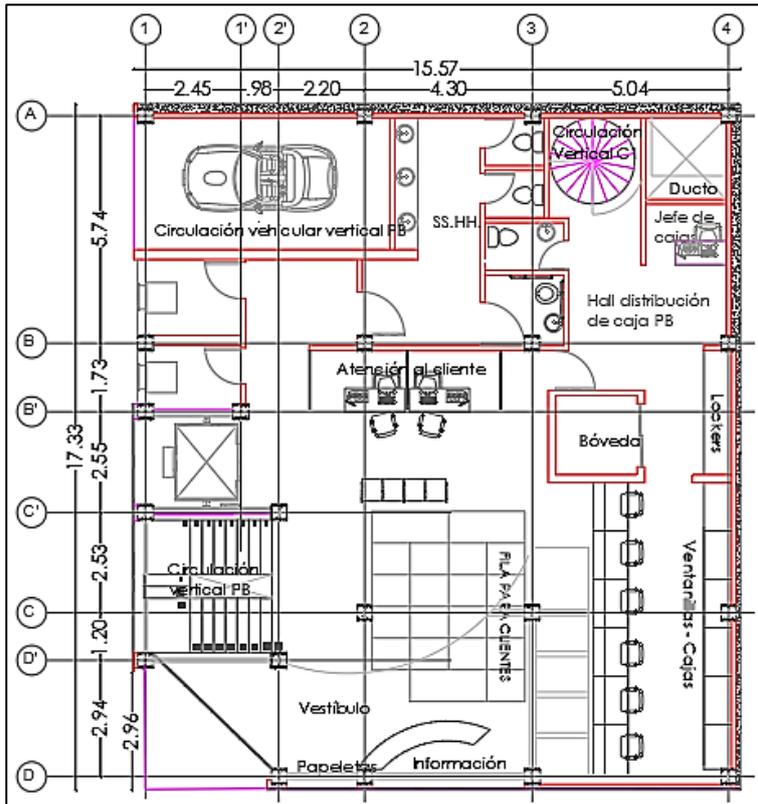


Figura 27: Vista en planta de la estructura

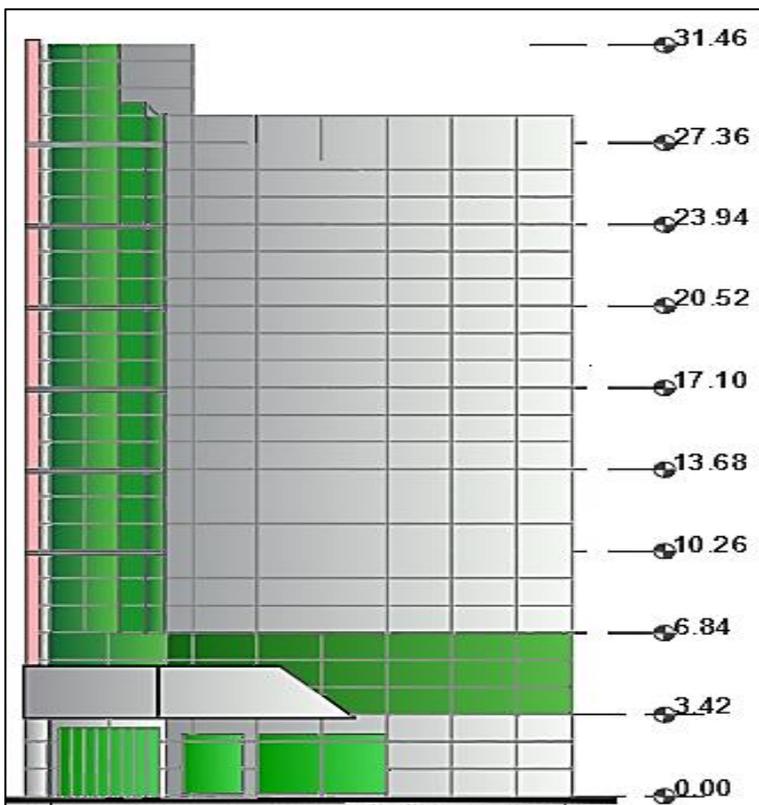


Figura 28: Vista en elevación de la estructura

2.4 Pre dimensionamiento

2.4.1 Losas

2.4.1.1 Cálculo de cargas: vivas y muertas

Tomando en cuenta el plano arquitectónico del edificio se realiza la cuantificación de cargas según el tipo de pared.

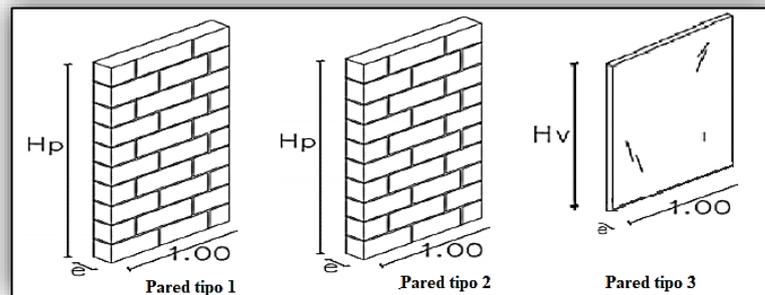


Figura 29: Tipos de pared en la estructura

Longitud	Sentido							
23.22	X	bloque 0.12	TIPO 1	Base	Altura	Espesor	Densidad	Peso kg-m
18.14	Y			m.	m.	m.	kg/m3	
3.46	X	bloque 0.25	TIPO 2	1.00	3.22	0.12	1300	20775.9552
10.81	Y							
15.47	X	vidrio	TIPO 3	1.00	3.22	0.035	2600.00	9611.056
17.33	Y							

Tabla 5. Cuantificación de cargas de pared de un nivel.

Carga Viva	kg/cm2
(NEC 15)	
Centro de cómputo, áreas de recepción, comedor, gimnasio, salones de uso público y Almacén	480
Terraza Accesible	100

Peso total de la carga muerta	45320.57	kg/m
Área total	257.93	m ²
Peso por m²	175.71	kg-m
Alivianamiento Enlucido Acabados	190.00	kg-m
Peso Propio de la Losa	365.71	Kg/m ²

Tabla 6. Cargas de la estructura

f_y MPa ⁽²⁾	Sin ábacos ⁽¹⁾			Con ábacos ⁽¹⁾		
	Paneles exteriores		Paneles interiores	Paneles exteriores		Paneles interiores
	Sin vigas de borde	Con vigas de borde ⁽⁴⁾		Sin vigas de borde	Con vigas de borde ⁽⁴⁾	
280	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{40}$	$\frac{l_n}{40}$
420	$\frac{l_n}{30}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$
520	$\frac{l_n}{28}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{34}$	$\frac{l_n}{34}$

Tabla 7. Espesor mínimo de losas no pre esforzadas (ACI 318-14)

Para determinar si losa debe ser diseñado unidireccional o bidireccionalmente, se utiliza la relación de la luz larga y luz corta.

$$B = \frac{Luz_{Larga}}{Luz_{corta}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$B = \frac{5.73m}{5.63m} < 2$$

1.01 < 2 ~ Losa nervada bidireccional

$$h = \frac{ln}{33} = \text{Losa de 25 cm}$$

2.4.1.2 Vigas

Condición de apoyo	Altura mínima, h ^[1]
Simplemente apoyada	$l/16$
Con un extremo continuo	$l/18.5$
Ambos extremos continuos	$l/21$
En voladizo	$l/8$

^[1] Los valores son aplicables al concreto de peso normal y $f_y = 420$ MPa. Para otros casos, la altura mínima h debe modificarse de acuerdo con 9.3.1.1.1 a 9.3.1.1.3, según corresponda.

Tabla 8. Altura mínima de vigas - Fuente: ACI 318-14

$$Altura\ mín = \frac{L}{13} \quad Ecuación\ (4)$$

$$Altura\ mín = \frac{5.75m}{13}$$

$$h\ mín = 0.45\ m$$

$$Base > 25\ cm$$

$$1.5 < \frac{h}{b} < 2$$

2.4.1.3 Columnas

Para el pre dimensionamiento de las columnas según el ingeniero Antonio Blasco recomienda utilizar la siguiente fórmula:

$$A_c = \frac{P_{Servicio}}{0.4 * f'_c} \quad Ecuación\ (5)$$

La NEC – 15 recomienda utilizar una cuantía de acero para columnas de $1\% < A_s < 3\%$

2.4.1.4 Zapatas

$$\text{Área} = \frac{P_{\text{Servicio}} * 1.25}{q_{\text{admisible}}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Espesor mínimo > 20 cm sobre el suelo

Espesor mínimo > 30 cm sobre pilotes

En la tabla 9 se encuentran los datos para el diseño de la cimentación, dichos datos fueron tomados del proyecto de investigación realizado por: **Edgar Pánches y Francisco Gadgay** bajo el título “**Caracterización y Sectorización de las Propiedades Físicas y Mecánicas del suelo en los barrios La Libertad y la Florida de la Ciudad de Riobamba**”

Datos de diseño

Esfuerzo neto	60	ton/m ²
Factor de seguridad	2	
Esfuerzo admisible	30	ton/m ²
Coefficiente de balasto	3600	ton/m ³

Tabla 9. Datos de suelo.

2.4.2 Espectro NEC

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos para el diseño del espectro de aceleraciones según la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – 2015) para un sismo de 475 años.

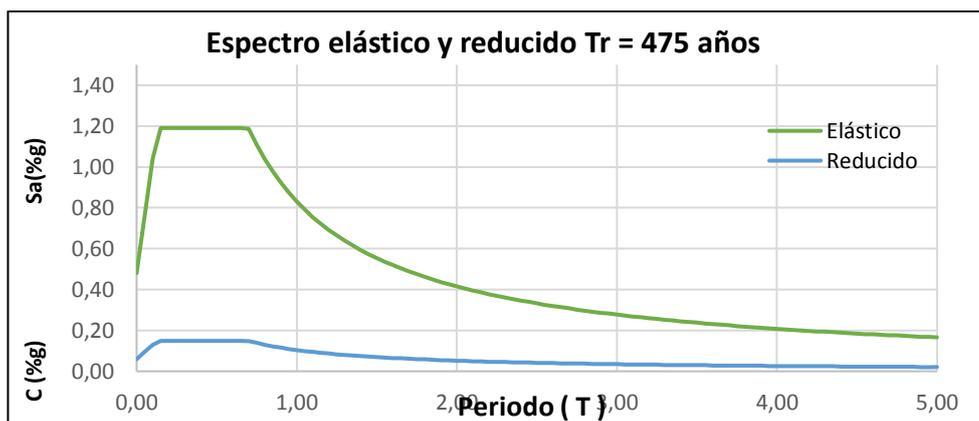


Figura 30: Espectro elástico y reducido NEC -2015

PARÁMETROS		VALOR	NEC-15	
DATOS ELÁSTICO			TABLA	PÁGINA
Zona sísmica	Zona Sísmica	V	3.1.1	27
Valor de factor Z	Z (%g)	0.40	3.1.1	27
Relación de amplificación espectral	η	2.48	3.3.1	34
Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	f_a	1.20	3.2.2- a)	31
Coefficiente de amplificación del espectro para diseño en roca	f_d	1.19	3.2.2-b)	31
Comportamiento no lineal de los suelos	f_s	1.28	3.2.2-c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r	1.00	3.3.1	34
Coefficiente de reducción de respuesta estructural	R	8.00	6.3.4-b)	64-65
Factor de importancia	I	1.00	4.1	39
Irregularidad en planta	Φ_p	0.90	5.2	48-52
Irregularidad en elevación	Φ_e	1.00	5.2	48-52
Altura de la estructura	hn (m)	31.46		
Coefficiente de tipo de estructura	Ct	0.055	6.3.3	62
	α	0.90	6.3.3	62

Tabla 10. Parámetros utilizados para el diseño de espectro de respuestas (NEC-15)

2.5 Diseño de aisladores con núcleo de plomo (LRB)

Para el presente trabajo de investigación se tomó como referencia la Norma Peruana E-031 y norma chilena NCH – 2745, debido a que cuentan con mayor alcance tecnológico en el diseño de estructuras con aisladores de base por estar situado en el cinturón del fuego de pacífico, Chile es un país con alto riesgo sísmico. La norma incorpora la utilización de sistemas de protección sísmica como un método de protección de estructuras ante sismos fuertes.

Para realizar el diseño de aisladores sísmicos se toma en cuenta el sismo máximo (MCE) la cual tiene un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Para el diseño de la estructura se debe considerar el sismo de diseño (DBE) – 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Coeficiente sísmico de desplazamiento		
Tipo de suelo	$C_D(mm)$	$C_M(mm)$
I	200 Z	200 MM Z
II	300 Z	300 MM Z
III	330 Z	330 MM Z

Tabla 11. Coeficiente sísmico de desplazamiento NCH 2745-2003

Para el pre diseño de los aisladores se utilizará el tipo de suelo II de la norma NCh – 2369-2003, tomando como referencia las características del suelo donde se encuentra ubicado nuestro proyecto: suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado S_u igual a 100 kPa, índice de penetración estándar N mayor que 40.

Factor de zonificación NCH 433	
Zona sísmica	Z
I	0.75
II	1.00
III	1.25

Tabla 12. Factor de zonificación NCH 2745-2003

La zona sísmica correspondiente a la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba es zona V con valor de aceleración 0.4g correspondiente a la zona sísmica III de la norma NCH 2369-2003.

Tabla 5.2 - Valor de la aceleración efectiva máxima A_0	
Zona sísmica	A_0
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

Tabla 13. Zonificación NCH 2369-2003

Amortiguamiento efectivo β_D y β_M como porcentaje del amortiguamiento crítico	Factor β_D y β_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

Tabla 14. Factor β_D y β_M NCH 2745 -2003

Consideraciones iniciales:

- Periodo efectivo de la estructura aislada.

T_M : 2.5 segundos o $3T$ estructura fija a la base.

- Considerar un amortiguamiento efectivo inicial.

β_M : 20%

Para el diseño del espectro de respuesta MCE, la norma NCH 2745 indica que se lo puede obtener aumentando el espectro DBE en un 20%, la norma peruana E031 y ACE7-16 indica un aumento del 50% del espectro DBE.

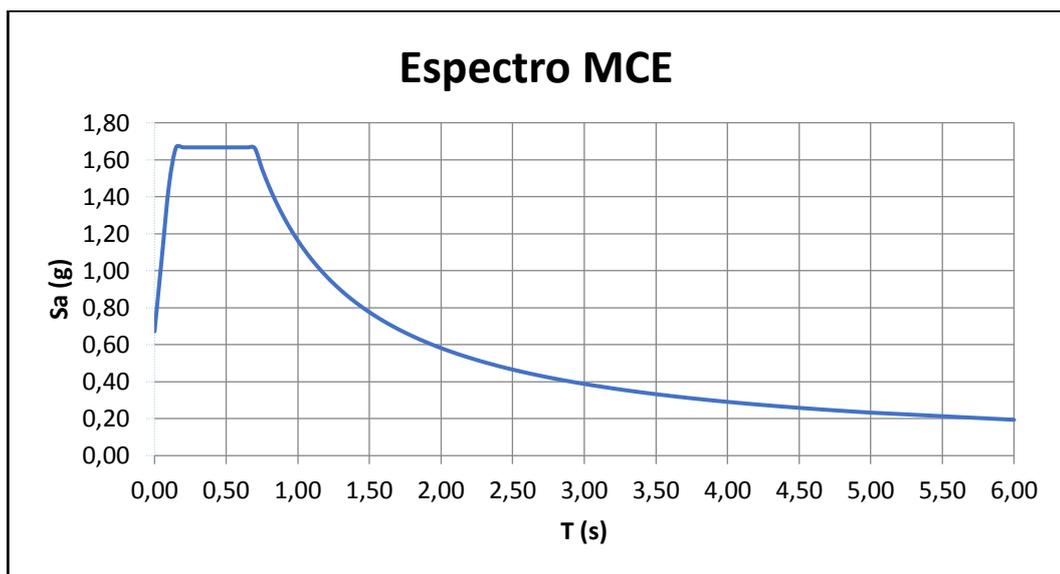


Figura 31: Espectro de respuestas MCE (Sismo máximo considerado)

2.5.1 Procedimiento de diseño

a. Cálculo de desplazamiento lateral

$$D_M = \frac{300 * M_M * Z}{B_M} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$D_D = 30 \text{ cm}$$

D_M : Desplazamiento lateral del aislador.

M_M : Factor de amplificación para el sismo máximo posible.

B_D : Factor de amortiguamiento crítico

Z: factor de zonificación

Para obtener el desplazamiento total de diseño se incrementa un 10% al desplazamiento de diseño.

$$D_{Dm\acute{a}x} = 1.1 * 30 \text{ cm} \quad \text{Ecuaci3n (8)}$$

$$D_{Dm\acute{a}x} = 33 \text{ cm} \sim 35 \text{ cm}$$

Con el valor obtenido de desplazamiento máximo del aislador de 33 cm se asume una junta de desplazamiento para la estructura aproximadamente de 35 cm para que el edificio se pueda desplazar durante un evento sísmico.

b. Cálculo de la rigidez total del sistema

$$k_{eff} = \left(\frac{4\pi^2}{Tb^2} \right) * \left(\frac{w}{g} \right) \quad \text{Ecuaci3n (9)}$$

$$k_{eff} = \left(\frac{4\pi^2}{1.2^2} \right) * \left(\frac{305.082}{9.81} \right)$$

$$k_{eff} = 983.19 \text{ Tn/m}$$

Tb^2 : tres veces el periodo de la estructura fija.

Una vez realizado el cálculo de la rigidez del sistema de aislamiento se procede a determinar la rigidez para cada aislador de la estructura.

$$k_{eff} = \left(\frac{983.19 \text{ tn/m}}{19} \right) \quad \text{Ecuaci3n (10)}$$

$$k_{eff} = 51.75 \text{ Tn/m}$$

c. Cálculo del diámetro del aislador

Luego de obtener la rigidez para cada aislador se procede a calcular el área mínima para el aislador.

$$D_{0 \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 * P_{max}}{\pi * \sigma_{adm}}} \quad \text{Ecuaci3n (11)}$$

$$D_{0\ min} = 55\ cm$$

σ : Esfuerzo admisible.

P_{max} : Carga vertical máxima

d. Cálculo del diámetro de núcleo de plomo

Para el cálculo del diámetro del núcleo de plomo se toma en cuenta que a mayor núcleo de plomo los aisladores serán más rígidos por lo cual es recomendable que el diámetro de núcleo de plomo se encuentre en el siguiente rango ($\frac{D_o}{6}$; $\frac{D_o}{3}$)

$$D_i = \frac{D_{0\ min}}{6} \text{ Ecuación (12)}$$

$$D_i = 9.5\ cm\ de\ plomo$$

Debido a factores externos tales como la humedad, temperatura y otros factores que afectan el comportamiento del aislador se agrega una capa de recubrimiento al aislador que va desde 0.5 a 2.5 cm de recubrimiento de caucho.

$$D_{neto} = D_i - 2\text{Recubrimiento}, \text{ Ecuación (13)}$$

$$D_{neto} = 55 - 2(0.75)$$

$$D_{neto} = 53.5\ cm$$

e. Cálculo de área del aislador

$$A = \frac{\pi D_o^2}{4} \text{ Ecuación (14)}$$

$$A = \frac{\pi(0.55)^2}{4}$$

$$A = 0.238\ cm^2$$

f. Cálculo de área neta

$$A = \frac{\pi D n^2}{4} \text{ Ecuación (15)}$$

$$A = \frac{\pi(0.535)^2}{4}$$

$$A = 0.225 \text{ cm}^2$$

g. Cálculo de área de plomo

$$A = \frac{\pi D i^2}{4} \text{ Ecuación (16)}$$

$$A = \frac{\pi(0.95)^2}{4}$$

$$A = 0.71 \text{ cm}^2$$

Se asume el espesor de una capa de goma $t_r = 0.5 \text{ cm}$

h. Cálculo de la altura del aislador

Altura de la capa de goma del aislador

$$T_r = \frac{D_D}{2.5} \text{ Ecuación (17)}$$

$$T_r = 12.2$$

Altura total de la goma del aislador

$$N_{tr} = \frac{T_r}{t_r} \text{ Ecuación (18)}$$

$$N_{tr} = \frac{12.2}{0.4}$$

$N_{tr} = 31 \text{ unidades de goma de caucho de espesor } 0.4 \text{ c}$

i. Cálculo del Factor forma

$$S = \frac{A_n}{\pi D_n tr} \text{ Ecuación (19)}$$

$$S = \frac{0.218}{\pi * 0.535 * 0.004}$$

$$S = 32.4 > 10 \text{ cumple.}$$

j. Cálculo de la deformación de corte de la goma

Deformación por corte máxima de la goma de 250 %.

$$\gamma = \frac{Tr}{D_D} \text{ Ecuación (20)}$$

$$\gamma = \frac{12.2}{30}$$

$$\gamma = 0.4 < 2.5 \text{ Cumple}$$

k. Cálculo de la rigidez secundaria del aislador Kd o k2

Para el cálculo de la rigidez secundaria del aislador se toma un valor para el módulo de corte de la goma del aislador que va desde $G = 0.4 - 0.7 \text{ MPa}$, estos valores se los puede obtener de la empresa fabricante de aisladores.

$$K_d = Ag * \frac{G}{Tr} \text{ Ecuación (21)}$$

$$K_d = 94.47 \text{ ton/m}$$

l. Cálculo de la fuerza característica

La fuerza característica (Qd), es fuerza axial de intersección de lazo de histéresis del aislador. Se refiere a la respuesta al amortiguamiento y a las cargas operativas del aislador.

$$Q_d = T_{py} * A ; \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$Q_d = 800 * 0.0071$$

$$Q_d = 5.67 \text{ ton}$$

m. Cálculo de esfuerzo de fluencia del plomo

El esfuerzo de fluencia del plomo se asume (T_{py}) = 8 MPa, este valor puede variar y va a depender del fabricante.

$$F_y = 1.1 * Q_d \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$F_y = 1.1 * 5.67$$

$$F_y = 6.24 \text{ tn}$$

$$K_1 = K_d * 10$$

$$K_1 = 944.65 \text{ ton/m}$$

n. Cálculo de desplazamiento de fluencia del aislador.

$$D_y = \frac{F_y}{K_d} \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$D_y = 0.67$$

El desplazamiento de fluencia debe estar entre $0.5 < 0.75 < 1 \sim \text{cumple}$.

o. Cálculo de la rigidez efectiva

La rigidez efectiva muestra la fuerza de fluencia del aislador con respecto al desplazamiento

$$K_{ef} = k_2 + \frac{Q_d}{D_D} \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$K_{ef} = 94.47 + \frac{5.67}{0.2796}$$

$$K_{ef} = 114.75 \text{ ton/m}$$

p. Cálculo de la energía de disipación del aislador

Luego de obtener la rigidez efectiva se procede a calcular la energía disipada del aislador.

$$EDC = 4Qd(Dm - Dy) \text{ Ecuación (26)}$$

$$EDC = 4 * 5.67(0.2796 - 0.0067)$$

$$EDC = 6.198 \text{ ton} - m$$

q. Cálculo de la carga crítica de pandeo

La carga crítica de pandeo nos ayudará a determinar la estabilidad de la estructura al momento de insertar aisladores de base.

$$P_{Crítico} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} G * S \frac{D_n}{N * tr} * A_g \text{ Ecuación (27)}$$

$$P_{Crítico} = 582.25 \text{ ton}$$

Finalmente se determina el factor de seguridad

$$F_S = \frac{P_{Crítico}}{P_{máx}} \text{ Ecuación (28)}$$

$$F_S = \frac{582.25}{551.7}$$

$$F_S = 1.1 > 1 \text{ cumple}$$

$$F_S = 1.1 < 3 \text{ cumple}$$

Para el volcamiento de la estructura la norma indica un factor de seguridad mínimo de 1, en el diseño se obtiene valor de 1.4 cumpliendo con la estabilidad de la estructura durante un sismo.

r. Cálculo de la fuerza de restitución de la estructura

La norma diseño de aisladores de base establece una fuerza restauradora mínima de $2.5\% * W$, la cual indica la restitución de la estructura a la posición inicial luego de un evento sísmico

$$F_R = \frac{\Sigma F}{W} \quad \text{Ecuación (29)}$$

$$F_R = \frac{116.2}{2839.01}$$

$$F_R = 4\% \text{ del } W_{\text{Edificio}}$$

$$F_R = 4\% * W > 2.5\% * W; \text{ cumple}$$

Aisladores deslizantes

s. Fuerza característica

$$Q_d = F_y = P_{\text{Servicio}} * \mu \quad \text{Ecuación (30)}$$

$$Q_d = 167 * 0.05$$

$$Q_d = 8.39 \text{ tn}$$

t. Rigidez efectiva

$$K_{\text{eff}} = \frac{F_y}{D_m} \quad \text{Ecuación (31)}$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{8.39}{0.2796}$$

$$K_{\text{eff}} = 30.03 \text{ ton}$$

$\mu =$ coeficiente de fricción del plato deslizante

El cálculo de los aisladores de base es un proceso interactivo por lo que con los datos obtenidos anteriormente se procede a realizar el cálculo final del desplazamiento de la estructura, periodo de vibración y el amortiguamiento final de la estructura.

$$T_F = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{Ecuación (32)}$$

$$T_F = 3.41 \text{ seg.}$$

$$D_M = \frac{g S_M T_f^2}{4\pi^2 \beta_M} \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$D_m = 30 \text{ cm}$$

$$\beta_M = \frac{EDC}{2\pi D_M^2} \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\beta_M = 19. \%$$

m : masa de la estructura

k : rigidez total de la estructura

g : aceleración de la gravedad

S_M : aceleración tomada en función del periodo

T_f : periodo de la estructura aislada

β_M : amortiguamiento

D_m : desplazamiento final de la estructura

2.5.2 Características finales del aislador

Propiedades Geométricas del Aislador Tipo LRB			
Propiedad	LRB 1	LRB 2	unidades
Diámetro Externo del aislador	55	46	cm
Diámetro del núcleo de plomo	9.5	8	cm
Espesor de placas metálicas (Shin)	0.03	0.03	cm

Espesor de goma de caucho	0.4	0.3	cm
Cantidad de capas de caucho	31	41	unidades
Altura de la placa del aislador	4	4	cm
Altura del aislador	21.33	21.53	cm

Tabla 15. Propiedades geométricas del aislador LRB

Propiedades Mecánicas del aislador Tipo LRB			
Propiedad	LRB 1	LRB 2	Unidades
Módulo de corte de goma G	50	50	ton/m ²
Esfuerzo de fluencia del plomo T _{py}	800	800	ton/m ²
Esfuerzo máximo (Carga axial) σ máx	551.70	225.48	ton
Stifnes (Rigidez efectiva)	944.65	660.51	ton/m
Fuerza de fluencia del aislador F _y	6.30	4.47	ton
Factor Forma S	32.4	35.9	
Energía de disipación en un ciclo	6.19	4.39	ton-m
% de área reducida del núcleo de plomo	31.1%	19.6%	
Deformación por corte γ_d	0.40	0.40	

Tabla 16. Propiedades mecánicas del aislador LRB

Propiedades Mecánicas del aislador Tipo SL		
Propiedad	SL1	Unidades
Stifness (Rigidez efectiva)	17.93	ton/m
Energía de disipación en un ciclo	5.6	ton

Tabla 17. Propiedades mecánicas del aislador deslizante (SL)

Para la modelación de los aisladores de base se utilizó el programa ETABS, realizando el análisis no lineal tiempo historia con el uso tres pares de registros sísmicos utilizando las componentes E-W y N-S, para los cuales se obtuvieron registros de suelos similares al de la zona de ubicación de la estructura.

La importancia de los espectros radica en que condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: la respuesta máxima (aceleración, velocidad, desplazamiento) lo cual es requerido para el diseño sismorresistente.

Elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento

De acuerdo a la norma NCh 2745, los elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento se deben diseñar y construir para resistir como mínimo una fuerza de corte, V_s (cortante de la superestructura) mediante la siguiente fórmula.

$$V_s = \frac{K_{Dm\acute{a}x} * D_D}{R_1} \text{ Ecuaci3n (35)}$$

Para el caso del diseo de la superestructura la norma NCh 2745 indica utilizar un factor de reducci3n de $R = 1 - 2$, para esta estructura el factor utilizado fue de $R = 1$

$$V_s = \frac{1190.42 * 0.3}{1}$$

$$V_s = 357.12 \text{ ton}$$

El valor de V_s obtenido no debe ser menor que:

- La fuerza lateral ssmica requerida para la estructura de base fija del mismo peso, W , y un periodo igual a la estructura de base aislada.

$$V_{Bfija} = \frac{IS_a(T_a) * W_{Estructura}}{\phi_p \phi_e R_1} \text{ Ecuaci3n (36)}$$

$$V_{Bfija} = 227.38 \text{ ton} < V_s \text{ Cumple}$$

- La fuerza requerida para activar completamente el sistema de aislamiento mayorada en 1.5 veces ($1.5Q_d$)

$$V_s > 1.5Q_d \text{ Ecuaci3n (37)}$$

$$V_s > 235.33 \text{ ton}; \text{ **cumple**}$$

- La fuerza de fluencia del sistema de aislamiento 1.5 veces ($1.5F_y$)

$$V_s > 1.5F_y \text{ Ecuaci3n (38)}$$

$$V_s > 74.57 \text{ Ton } \text{**Cumple**}$$

Registros sísmicos

- Sismo de 2007 ICA- Perú.

DATE	: October 17, 2007
ORIGIN TIME (Local)	: 16:41:00
LATITUDE	: -10.70
LONGITUDE	: -78.70
DEPTH (km)	: 24.00
MAGNITUDE	: 8.1 Mw
INFORMATION SOURCE	: IGP

Tabla 18. Información de registro de aceleración ICA 2007

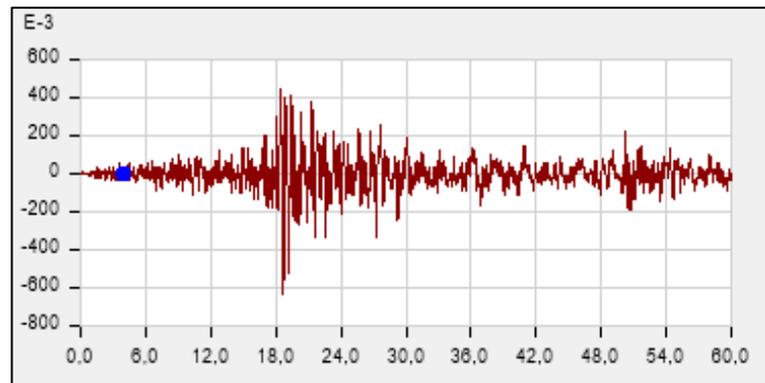


Figura 32: Componente de aceleración ICA 2007, sentido N-S

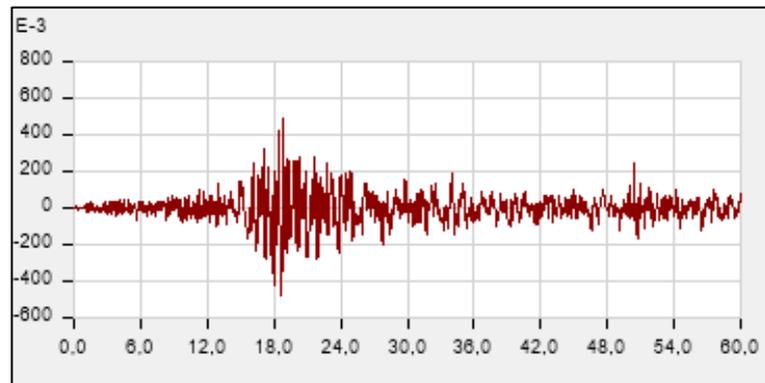


Figura 33: Componente de aceleración ICA 2007, sentido E-W

- Sismo de Ancash 1974

DATE	: October 03, 1974
ORIGIN TIME (Local)	: 09:21:00
LATITUDE	: -12.50
LONGITUDE	: -77.98
DEPTH (km)	: 13.00
MAGNITUDE	: 6.6 mb
INFORMATION SOURCE	: IGP

Tabla 19. Información de registro de aceleración ANCASH 1974

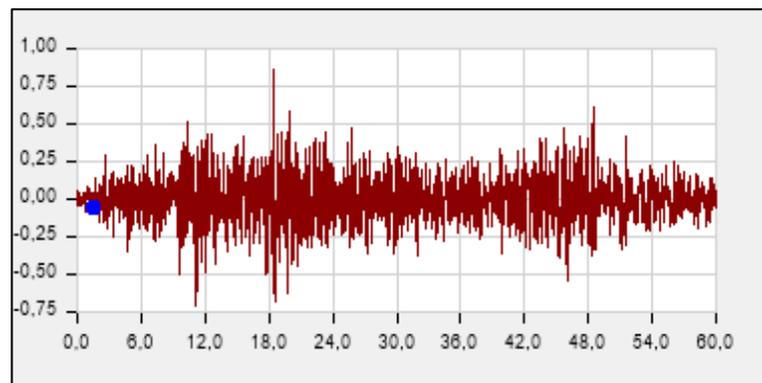


Figura 34: Componente de aceleración ANCASH 1974, sentido N-S

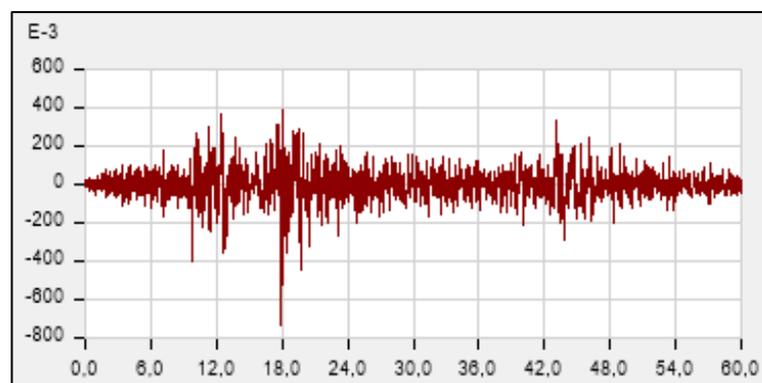


Figura 35: Componente de aceleración ANCASH 1974, sentido E-W

- Sismo Lima 1970

DATE	: May 31, 1970
ORIGIN TIME (Local)	: 15:23:00
LATITUDE	: -9.36
LONGITUDE	: -78.87
DEPTH (km)	: 64.00
MAGNITUDE	: 6.6 Mb
INFORMATION SOURCE	: IGP

Tabla 20. Información de registro de aceleración LIMA 1970

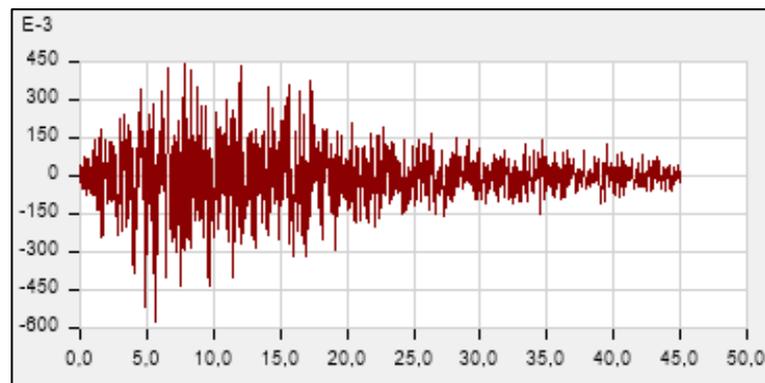


Figura 36: Componente de aceleración LIMA 1970, sentido N-S

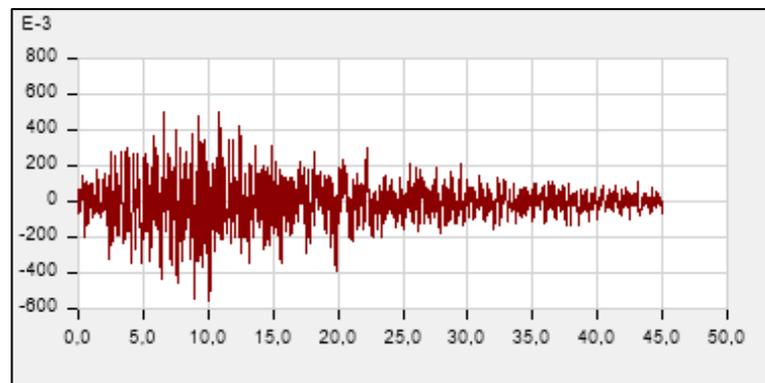


Figura 37: Componente de aceleración LIMA 1970, sentido E-W

Para el análisis no lineal tiempo historia se necesita datos de acelerogramas, estos acelerogramas deben pasar por un filtrado debido a que no todos los datos obtenidos por el acelerógrafo pertenecen al sismo ya que estos se pueden mezclar con la vibración

producida por el vehículo que estuvo cerca de la estación, por ello se realiza el filtrado de datos del acelerograma- corrección por línea base.

Luego de obtener los registros filtrados se procede a verificar si el registro del sismo es compatible con el espectro, para ello la norma NEC indica que los datos del acelerograma deben ser igual o superior al espectro de diseño MCE, se observa en la figura 40 el escalamiento de los registros sísmicos obtenidos debido a que los datos del registro sísmicos de periodos mayor a 1 segundo son menores al espectro para ello es necesario realizar el escalamiento para un rango de periodo de $0.2T$ a $1.5T$ de la estructura de base aislada.

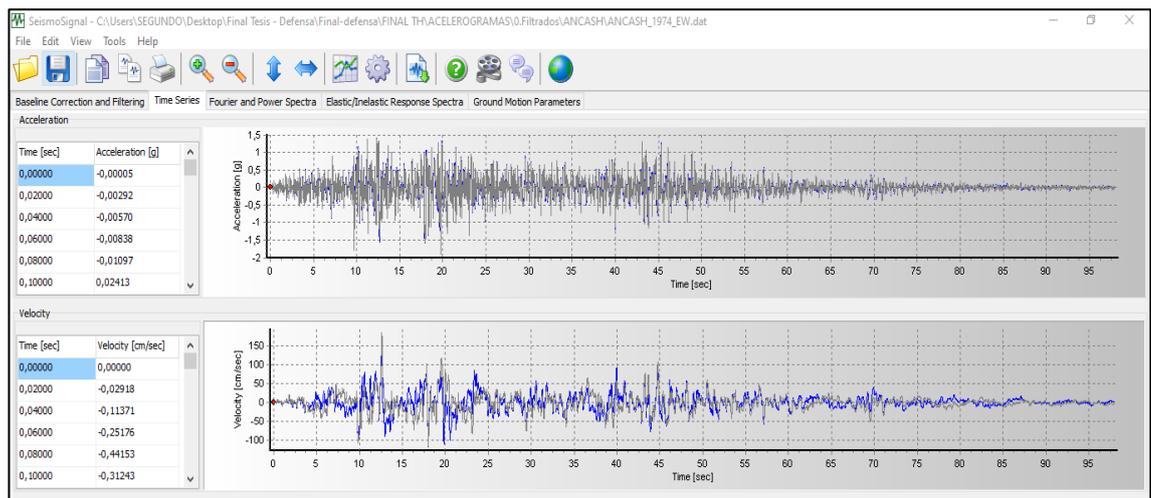


Figura 38: Filtrado de datos

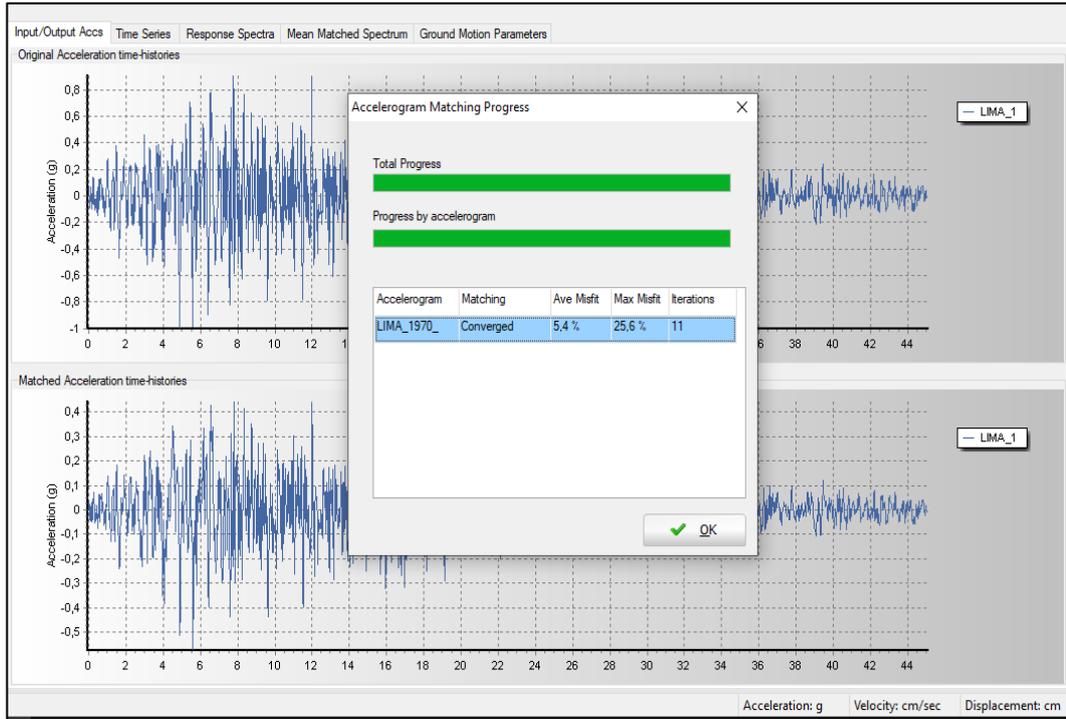


Figura 39: Escalamiento de del acelerograma

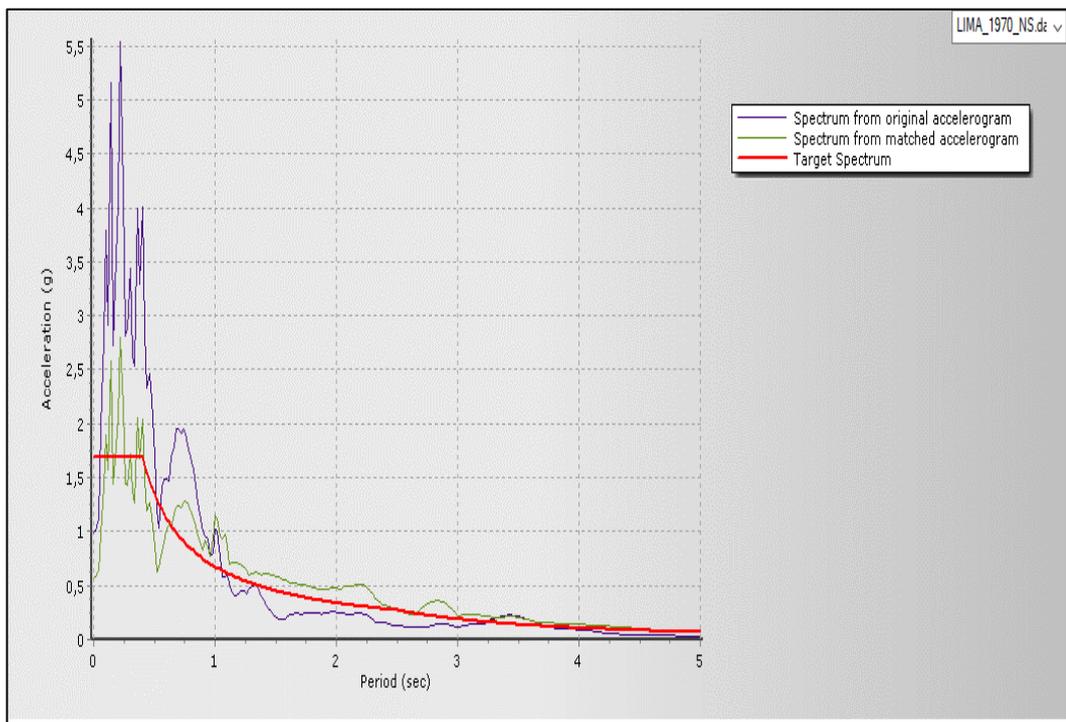


Figura 40: Registro sísmico Escalado al espectro objetivo

Se puede observar en la figura 40 que, el registro sísmico de color morado en $T = 1$ es inferior al espectro MCE, por lo tanto, se realiza el escalado al espectro objetivo dando

como resultado el color verde que contiene valores superiores al espectro objetivo MCE.

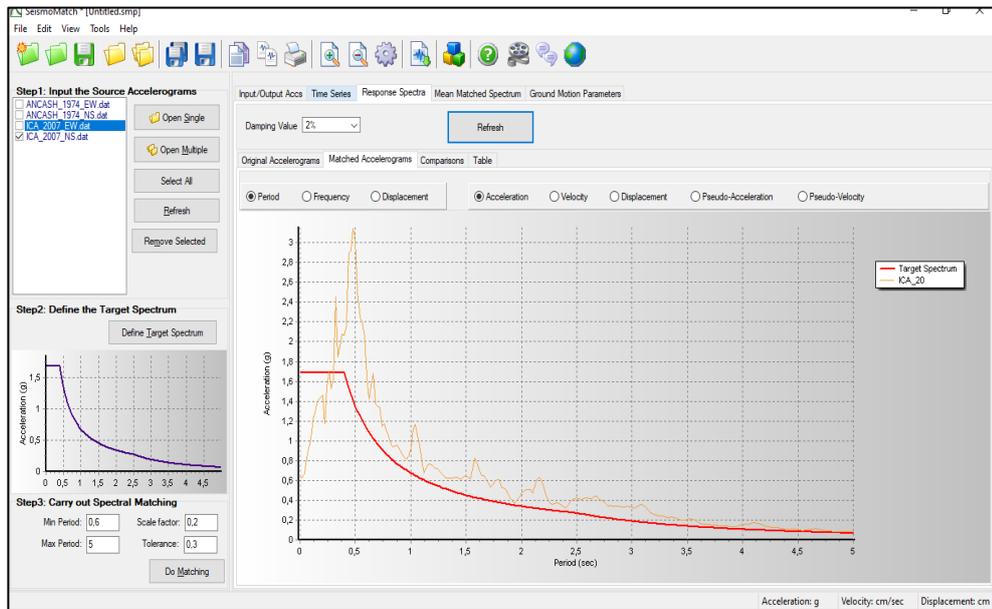


Figura 41: Espectro objetivo, Registro sísmico

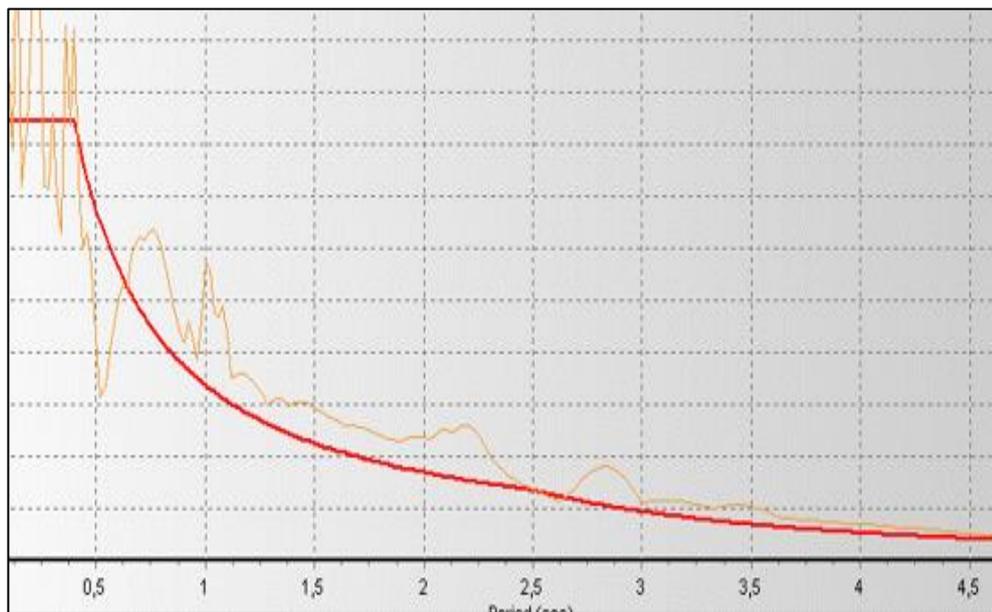


Figura 42: Sismo para análisis Tiempo Historia

Se puede observar en la figura 42 que los registros sísmicos son superiores al espectro de respuestas MCE, por lo tanto, son aptos para utilizar en el análisis tiempo historia.

CAPÍTULO III

RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 Comparación del comportamiento dinámico de la estructura de base fija - base con aisladores.

3.1.1 Periodos de vibración

Caso	Periodo	
	Base Fija	Base Aislada
Modal 1	1.145	3.413
Modal 2	1.130	3.383
Modal 3	0.932	2.878
Modal 4	0.351	0.521
Modal 5	0.344	0.495
Modal 6	0.291	0.411
Modal 7	0.182	0.244
Modal 8	0.179	0.236
Modal 9	0.158	0.201
Modal 10	0.120	0.155

Tabla 21. Periodos de vibración de la estructura de base fija – base aislada.

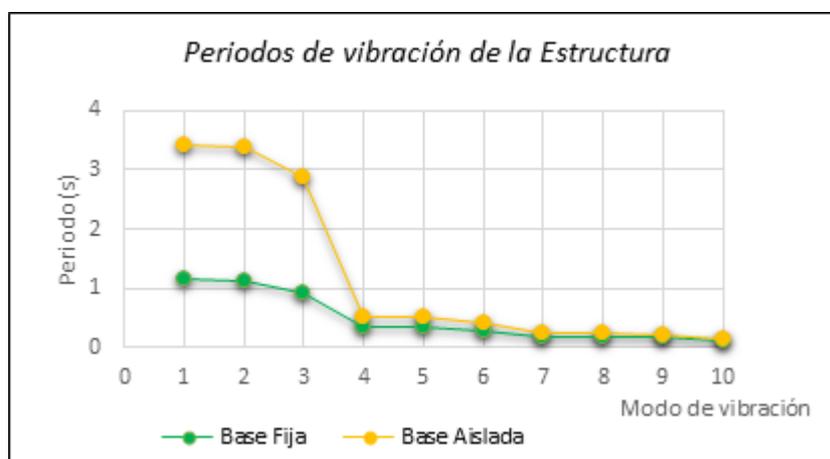


Figura 43: Modos de vibración de la estructura

La tabla 21 indica los periodos de vibración de la estructura de base fija vs. la estructura con aisladores de base, para el caso de la estructura con aislamiento de base el primer

periodo es mayor que tres veces el periodo de base fija, de igual manera el segundo modo de vibración es mayor a tres veces del periodo en base fija, el primero y segundo modo de vibración de la estructura pertenece a un movimiento traslacional, el tercer periodo tanto en la estructura de base fija como en la aislada su modo de vibración torsional.

En la figura 43 se puede observar el aumento de periodo de vibración entre la estructura de base fija con respecto a la estructura de base aislada.

3.1.2 Participación de masas

En la siguiente tabla se muestra la participación de masas para la estructura de base fija y base aislada. La norma indica que debe llegar a un 90% de masa participativa para estructuras de base fija lo cual se cumple en el modal 8, y para la estructura con aislamiento en la base se obtiene la masa participativa mayores al 93% en el primer modo de vibración lo cual indica que la estructura se mueve como un solo elemento.

Participación de masas Base Fija													
Case	Mode	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.00	0.78	0.00	0.00	0.78	0.00	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
Modal	2	0.78	0.00	0.00	0.78	0.78	0.00	0.00	0.24	0.00	0.25	0.24	0.00
Modal	3	0.00	0.00	0.00	0.78	0.78	0.00	0.00	0.00	0.79	0.25	0.24	0.79
Modal	4	0.00	0.11	0.00	0.78	0.89	0.00	0.47	0.00	0.00	0.72	0.25	0.79
Modal	5	0.11	0.00	0.00	0.89	0.89	0.00	0.00	0.48	0.00	0.72	0.72	0.79
Modal	6	0.00	0.00	0.00	0.89	0.89	0.00	0.00	0.00	0.10	0.72	0.73	0.90
Modal	7	0.00	0.04	0.00	0.89	0.93	0.00	0.08	0.00	0.00	0.80	0.73	0.90
Modal	8	0.04	0.00	0.00	0.94	0.93	0.00	0.00	0.08	0.00	0.81	0.81	0.90
Modal	9	0.00	0.00	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.04	0.81	0.81	0.94
Modal	10	0.01	0.01	0.00	0.94	0.95	0.00	0.03	0.02	0.00	0.84	0.83	0.94

Tabla 22. Participación de masas de la estructura en base fija.

Participación de masas Base Aislada													
Case	Mode	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.04	0.93	0.00	0.04	0.93	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03
Modal	2	0.96	0.04	0.00	1.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Modal	3	0.00	0.03	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	1.00
Modal	4	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.74	0.00	1.00
Modal	5	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.74	0.80	1.00
Modal	6	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.80	1.00
Modal	7	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.80	1.00
Modal	8	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.80	1.00
Modal	9	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.80	1.00
Modal	10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.76	0.80	1.00

Tabla 23. Participación de masas de la estructura aislada.

3.1.3 Desplazamientos

A continuación, se muestra el desplazamiento de la estructura con aislamiento en la base, se puede observar desplazamientos de 29 cm, pero este desplazamiento pertenece a los aisladores.

Piso N.	Desplazamiento Base Aislada – X (cm)
9	28.20
8	27.55
7	27.44
6	27.29
5	27.07
4	26.78
3	26.44
2	26.03
1	25.57
Aisladores	25.50

Tabla 24. Desplazamiento de la estructura aislada sentido X.

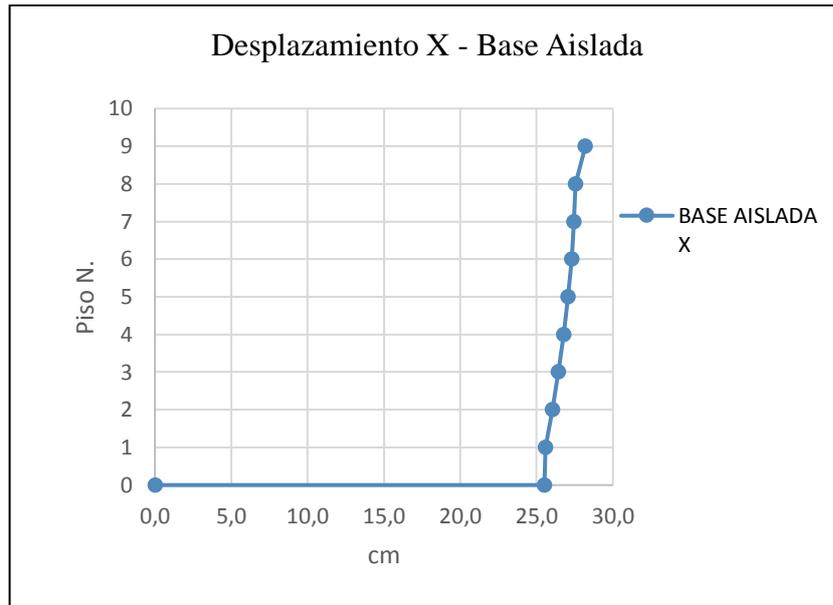


Figura 44: Desplazamiento de la estructura aislada sentido X.

Piso N.	Desplazamiento Base Aislada – Y (cm)
9	32.09
8	32.07
7	31.89
6	31.62
5	31.26
4	30.82
3	30.31
2	29.73
1	29.08
Aisladores	29.00

Tabla 25. Desplazamiento de la estructura aislada sentido Y

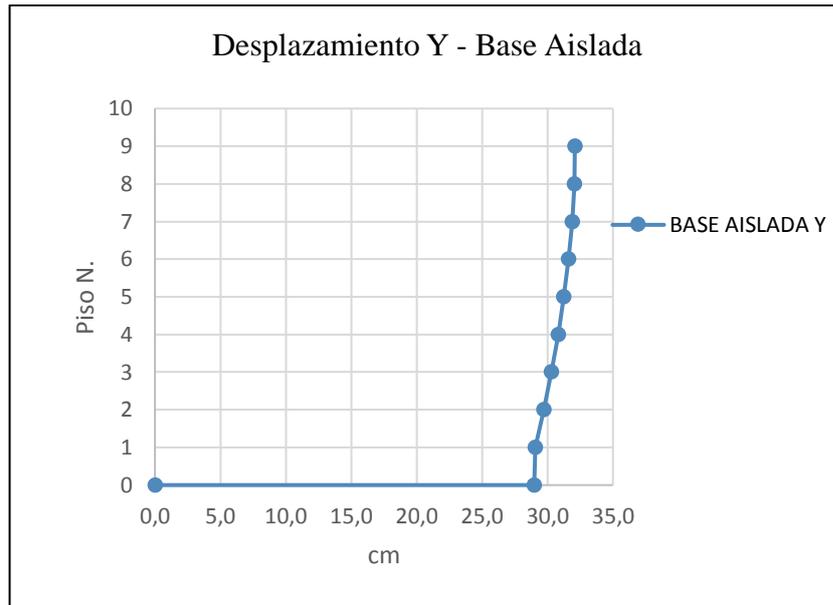


Figura 45: Desplazamiento de la estructura aislada sentido Y

Desplazamiento con respecto al base sentido X		
Piso N.	Base Fija	Base Aislada
9	4.68	2.70
8	4.47	2.05
7	4.17	1.94
6	3.76	1.79
5	3.21	1.57
4	2.56	1.28
3	1.82	0.94
2	1.05	0.53
1	0.36	0.07
Aisladores	0.00	0.00

Tabla 26. Desplazamiento con respecto al base sentido X

La siguiente tabla indica el desplazamiento relativo de las estructuras, el sistema aislado presenta mayores desplazamientos en la base, esto debido al desplazamiento de los aisladores dando como resultado desplazamiento de entresijos menores al de base fija.

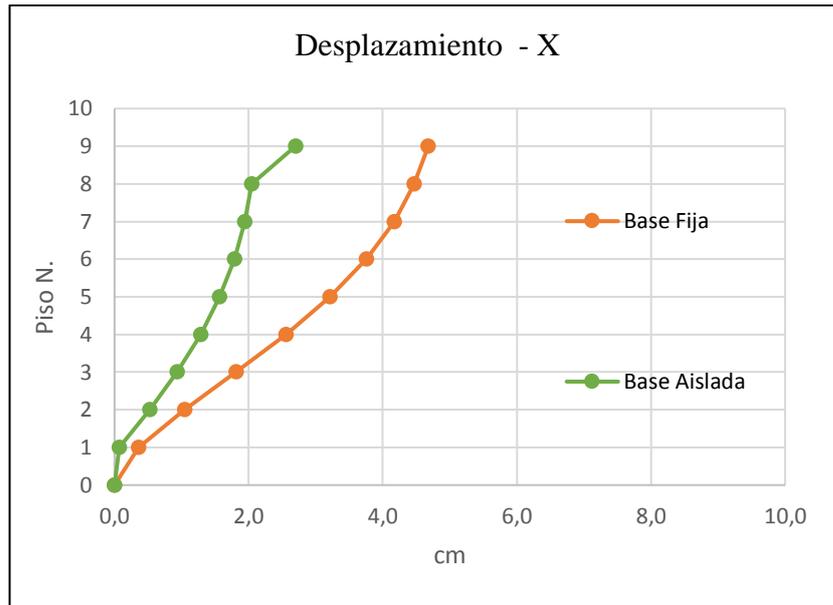


Figura 46: Desplazamiento con respecto al base sentido X

Desplazamiento con respecto a la base sentido Y		
Piso N.	Base Fija	Base Aislada
9	5.23	3.09
8	4.87	3.07
7	4.52	2.89
6	4.05	2.62
5	3.45	2.26
4	2.73	1.82
3	1.93	1.31
2	1.11	0.73
1	0.38	0.08
Aisladores	0.00	0.00

Tabla 27. Desplazamiento con respecto la base sentido Y

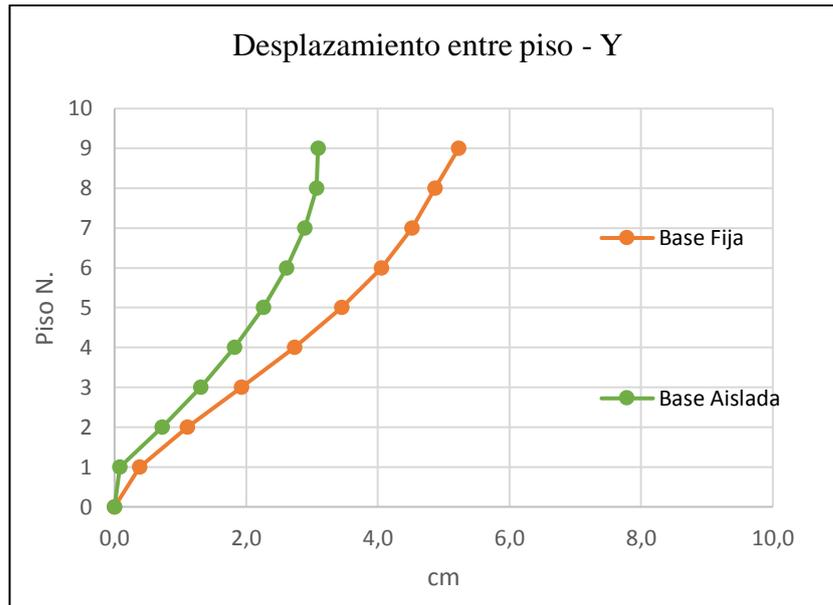


Figura 47: Desplazamiento con respecto al base sentido Y

3.1.4 Derivas

Piso N.	Base Fija		Base Aislada	
	ESPECTRAL X	ESPECTRAL Y	Tiempo Historia X	Tiempo Historia Y
9	0.00309	0.00528	0.00158	0.00004
8	0.00520	0.00606	0.00031	0.00054
7	0.00726	0.00820	0.00046	0.00080
6	0.00953	0.01055	0.00064	0.00104
5	0.01154	0.01261	0.00083	0.00128
4	0.01301	0.01408	0.00101	0.00150
3	0.01349	0.01447	0.00119	0.00171
2	0.01204	0.01278	0.00135	0.00188
1	0.00632	0.00663	0.00020	0.00024

Tabla 28. Derivas para la estructura de base fija y base aislada.

- **Deriva para estructura de base fija**

$$\delta = \frac{D_2 - D_1}{h} \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\delta = \frac{3.2144 - 2.556}{342}$$

$$\delta = 0.001923$$

$$\delta = \Delta * R * 0.75 \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$\delta = 0.001923 * 0.75 * 8$$

$$\delta = 0.01154 < 2\% - \text{Cumple}$$

- **Deriva para estructura de base Aislada**

$$\delta = \frac{D_2 - D_1}{h} \quad \text{Ecuación (36)}$$

$$\delta = \frac{1.57 - 1.28}{342}$$

$$\delta = 0.00082$$

$$\delta = 0.0008 < 3\text{‰} - \text{Cumple}$$

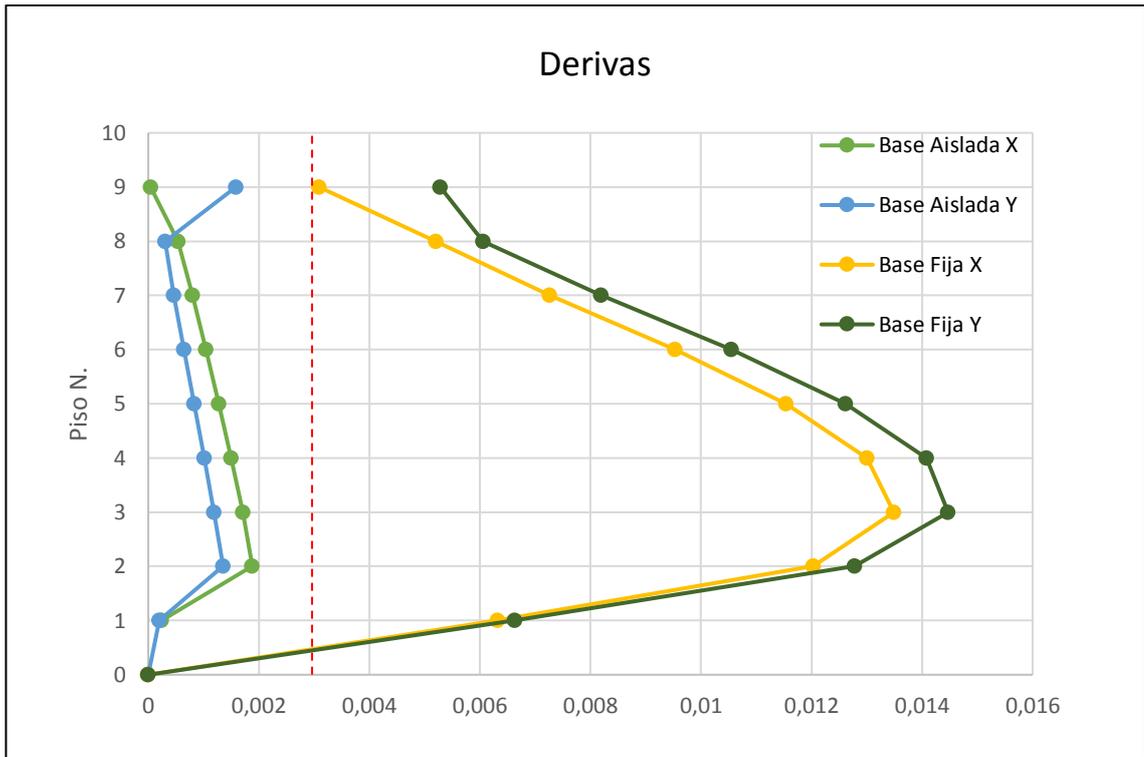


Figura 48: Derivas para la estructura de base fija y base aislada.

En la gráfica anterior se puede apreciar que las derivas de piso de la estructura de base con aislamiento son menores a las derivas de la estructura con base fija, siendo el sistema de protección sísmica más efectivo para evitar daños en las estructuras. Según la NEC-15 el límite de derivas permitidas para estructuras de base fija es máxima del 0.02, y para estructuras con aislamiento de base según la FEMA 450, E031 diseño de estructuras con aislamiento en base no debe exceder 0.0035 mediante el análisis modal espectral, y 0.005 para el análisis no lineal tiempo historia tiempo historia, sin embargo para la norma chilena NCH – 2745, las derivas permisibles son de 0.0025 para el análisis modal espectral y 0.003 cuando se utiliza el análisis no lineal tiempo historia.

Los resultados obtenidos de derivas para la estructura de base fijan son menores al 2%, siendo el valor máximo obtenido de 0.0144; para la estructura con aislamiento en la base se obtuvieron derivas máximas de 0.00188 menores a 3% cumpliendo con límites de derivas de la norma NCH-2745, norma E031.

3.1.5 Aceleración

ACELERACIÓN				
	BASE FIJA		BASE AISLADA	
Piso N.	UX	UY	UX	UY
9	1.649	1.800	0.147	0.215
8	1.471	1.426	0.139	0.182
7	1.212	1.180	0.131	0.158
6	1.096	1.073	0.118	0.125
5	1.034	1.019	0.100	0.114
4	0.974	0.966	0.078	0.102
3	0.910	0.909	0.077	0.101
2	0.754	0.767	0.089	0.117
1	0.458	0.452	0.130	0.131

Tabla 29. Aceleraciones de la estructura de base fija y base aislada.

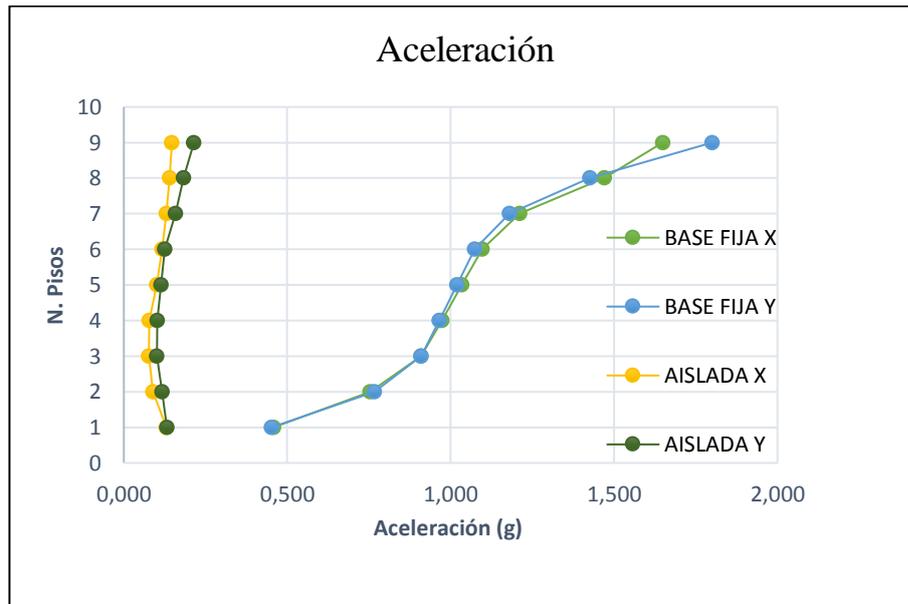


Figura 49: Aceleraciones de la estructura de base fija y base aislada.

La figura 49 muestra las aceleraciones obtenidas en los dos tipos de estructuras, este elemento es un parámetro fundamental para el diseño puesto que se relaciona directamente con los daños que puede causar un sismo en las estructuras en los elementos estructurales y no estructurales.

Los sistemas de protección sísmica con aisladores de base presentan un excelente comportamiento frente a un sismo reduciendo las aceleraciones de piso frente a una estructura convencional, como se puede observar en la figura 49, las aceleraciones se mantienen de forma lineal en una estructura con aisladores mientras que en la estructura de base fija las aceleraciones se incrementan con respecto al primer piso.

3.1.6 Cortantes

CORTANTES BASE FIJA		
Estáticas		
<i>Piso</i>	Sx	Sy
	Vx	Vy
9	31.676	31.676
8	516.123	516.123
7	973.568	973.568
6	1346.217	1346.217
5	1638.624	1638.624
4	1855.943	1855.943
3	2004.171	2004.171
2	2090.613	2090.613
1	2124.998	2124.997

Tabla 30. Cortantes estáticos de la estructura de base fija.

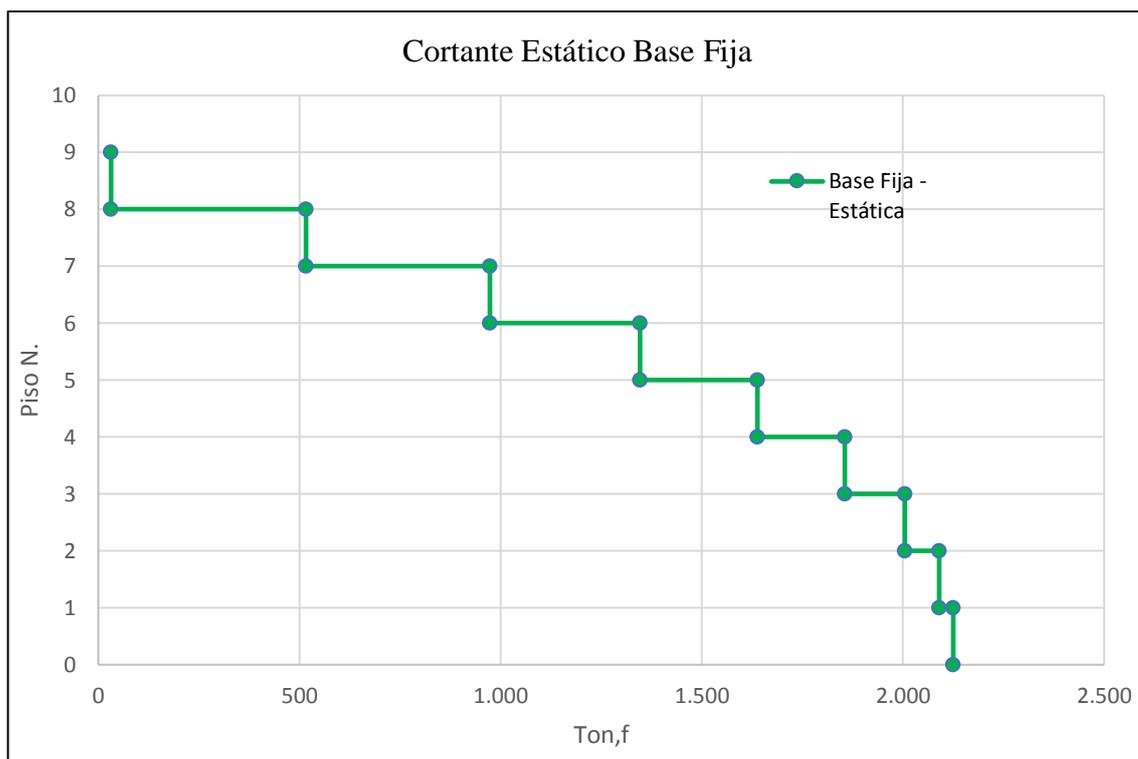


Figura 50: Cortantes estáticos de la estructura de base fija.

CORTANTES BASE FIJA		
Dinámicas		
<i>Piso</i>	Espectro X	Espectro Y
	Vx	Vy
9	39.560	41.078
8	432.622	450.273
7	785.637	810.078
6	1073.711	1100.049
5	1314.572	1341.102
4	1514.503	1541.720
3	1674.062	1703.634
2	1786.319	1818.797
1	1835.668	1869.724

Tabla 31. Cortantes dinámicos de la estructura de base fija.

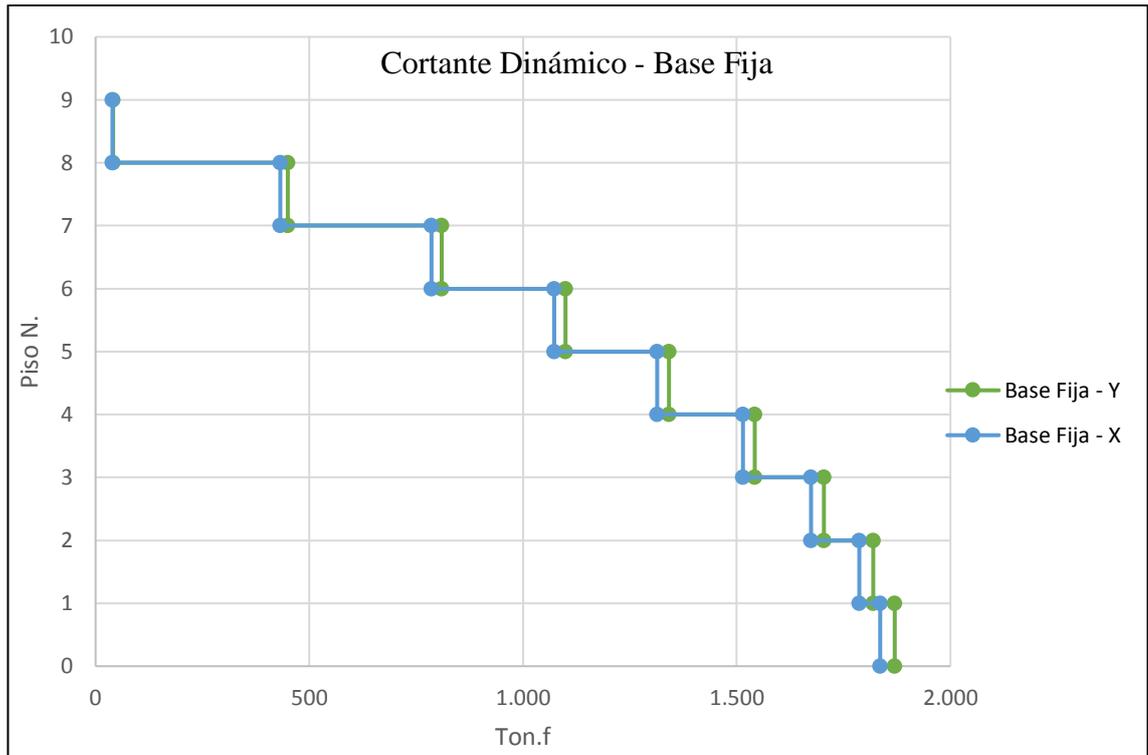


Figura 51: Cortantes dinámicos de la estructura de base fija.

Validación del estado dinámico para estructura de base fija: para estructuras irregulares > 85%

- $Dim. = \frac{V_{Dinámico\ x}}{V_{Estático\ x}}$ Ecuación (37)

$$Dim. = \frac{1835.67}{2125} = \mathbf{86.38\%}$$

- $Dim. = \frac{V_{Dinámico\ y}}{V_{Estático\ y}}$ Ecuación (38)

$$Dim. = \frac{1869.72}{2125.01} = \mathbf{87.99\%}$$

CORTANTES -BASE AISLADA		
Piso N.	Base Aislada - X	Base Asilada Y
	VX	VY
	tonf	tonf
9	2.782	3.209
8	29.107	38.819
7	56.640	76.178
6	84.174	113.541
5	111.707	150.9041
4	139.240	188.267
3	166.774	225.629
2	194.308	262.992
1	221.841	300.356

Tabla 32. Cortantes dinámicos de la estructura de Base Aislada

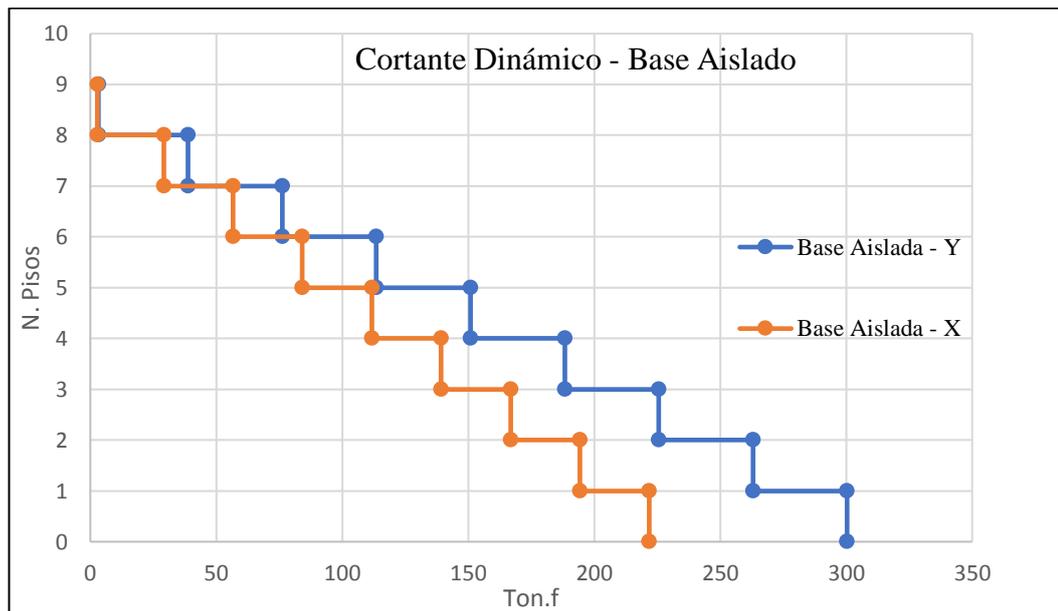


Figura 52: Cortantes dinámicos de la estructura de Base Aislada

Se puede observar la reducción del cortante basal en la estructura con aisladores de base. Estos aisladores permiten reducir el cortante entre un 70 % de la estructura de base fija.

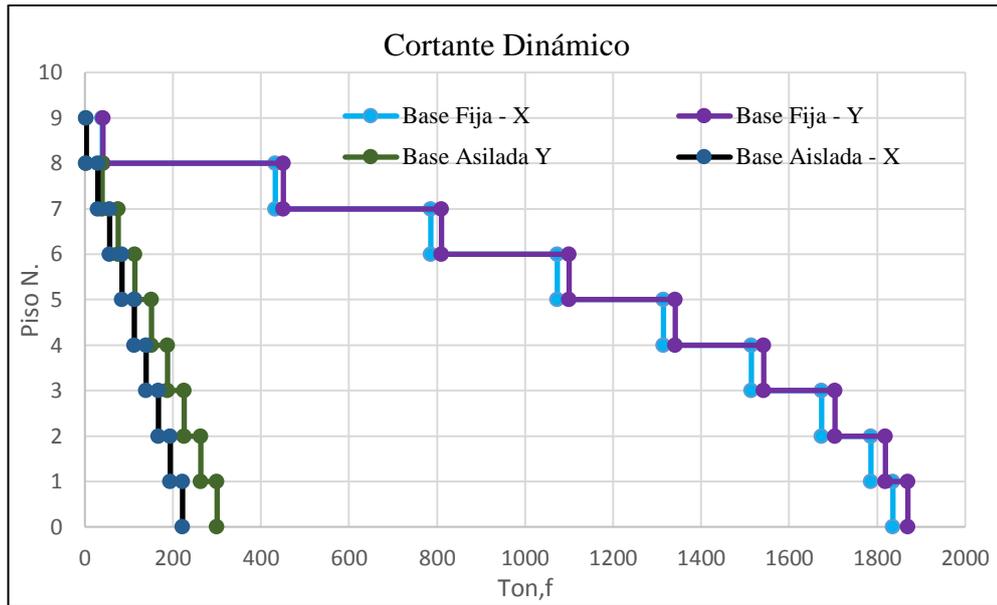


Figura 53: Cortantes de la estructura de Base Fija- Base aislada.

La cortante para el diseño de la super estructura debe ser mayor a la cortante de la estructura de base fija considerando el periodo aislado.

3.1.7 Reacciones

Reacciones Base Fija					
Story	Label	FZ	MX	MY	MZ
		tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
base	1	209.132	0.800	3.354	-0.016
base	4	134.279	1.200	2.079	-0.010
base	5	393.945	1.660	-2.494	-0.026
base	6	217.301	2.052	-1.256	-0.016
base	7	387.844	1.947	0.870	-0.026
base	8	205.409	2.657	0.726	-0.016
base	9	241.611	1.163	-1.640	-0.016
base	10	128.859	1.549	-1.117	-0.010
base	15	331.300	-3.791	0.580	-0.026
base	16	211.594	-2.218	-1.308	-0.016
base	19	162.688	-1.807	0.391	-0.016

base	20	105.755	-1.040	-1.046	-0.010
base	21	128.132	-1.646	0.742	-0.016
base	23	73.464	-0.822	-0.085	-0.010
base	24	117.332	-0.481	-0.027	-0.016
base	26	62.981	-0.160	0.472	-0.010
base	29	259.152	-3.364	0.865	-0.026
base	32	128.003	-0.511	-0.063	-0.016
base	34	98.352	-1.320	0.588	-0.010

Tabla 33. Reacciones en la base de la estructura de base fija

Reacciones Base Aislada					
Story	Label	FZ	MX	MY	MZ
		tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m
Base	1	145.372	-0.028	0.032	0
Base	3	234.598	-0.001	0.000	0
Base	5	257.877	0.000	0.000	0
Base	6	159.169	0.010	0.013	0
Base	13	182.861	0.000	0.000	0
Base	15	351.152	-0.018	-0.018	0
Base	17	388.533	0.002	-0.019	0
Base	18	222.732	0.026	-0.009	0
Base	19	169.736	-0.0001	0.000	0
Base	21	330.748	-0.017	0.010	0
Base	23	370.603	0.003	0.013	0
Base	24	211.728	0.025	0.005	0
Base	25	129.659	-0.013	-0.017	0
Base	27	203.831	0.00	0.000	0
Base	29	233.843	0.000	0.002	0
Base	30	149.483	0.012	-0.011	0

Tabla 34. Reacciones en la base de la estructura de base con aislamiento

3.1.8 Índice de estabilidad

La norma ecuatoriana de la construcción NEC–15 indica que para que una estructura sea estable, el índice de estabilidad (Q_i) debe ser menor a 0.30, caso contrario la estructura es inestable y se debe rigidizar para que la estructura sea estable y cumpla con los requerimientos de diseño sismorresistente establecidos.

Para la estructura de base fija del caso de estudio se realizó el cálculo de índice de estabilidad (Q_i) obteniendo valores permisibles por la norma lo cual indica que la estructura es estable y no se debe considerar efectos P Delta – Efectos de segundo orden.

SENTIDO X									
Piso	Área de Piso	(Dead+Scm +cv)	W piso	W acumulado	Altura de piso Hi	Deriva X (ETABS)	Cortante Vi X (ETABS)	Qi	Qi < 0.3
9	12.7939	0.070	0.896	0.8955	31.46	0.00309	31.6760	0.000002	OK
8	249.8493	1.557	389.015	389.9109	27.36	0.00520	516.1232	0.000143	OK
7	249.8493	1.557	389.015	778.9262	23.94	0.00726	973.5680	0.000121228	OK
6	249.8493	1.557	389.015	1167.9416	20.52	0.00953	1346.2168	0.000134202	OK
5	249.8493	1.557	389.015	1556.9570	17.1	0.01154	1638.6240	0.000160218	OK
4	249.8493	1.557	389.015	1945.9723	13.68	0.01301	1855.9432	0.000199294	OK
3	249.8493	1.557	389.015	2334.9877	10.26	0.01349	2004.1712	0.000255199	OK
2	249.8493	1.557	389.015	2724.0030	6.84	0.01204	2090.6136	0.000327453	OK
1	249.8493	1.557	389.015	3113.0184	3.42	0.00632	2124.9976	0.000338260	OK

Tabla 35. Índice de estabilidad de la estructura de base fija sentido – X

<i>SENTIDO Y</i>									
<i>Piso</i>	<i>Área de Piso</i>			<i>W</i>	<i>Altura de</i>	<i>Deriva Y</i>	<i>Cortante Vi</i>		
		<i>(Dead+Scm+cv)</i>	<i>W piso</i>	<i>acumulado</i>	<i>piso Hi</i>	<i>(ETABS)</i>	<i>Y (ETABS)</i>	<i>Qi</i>	<i>Qi < 0.3</i>
9	12.7939	0.070	0.896	0.8955	31.46	0.00528	31.676	0.000004746	OK
8	249.8493	1.557	389.015	389.9109	27.36	0.0060	516.1232	0.000166982	OK
7	249.8493	1.557	389.015	778.9262	23.94	0.00819	973.568	0.000136806	OK
6	249.8493	1.557	389.015	1167.941	20.52	0.01054	1346.2168	0.000148507	OK
5	249.8493	1.557	389.015	1556.957	17.1	0.01261	1638.624	0.000175100	OK
4	249.8493	1.557	389.015	1945.972	13.68	0.01407	1855.9432	0.000215664	OK
3	249.8493	1.557	389.015	2334.987	10.26	0.01447	2004.1712	0.000273786	OK
2	249.8493	1.557	389.015	2724.003	6.84	0.01278	2090.6136	0.000347785	OK
1	249.8493	1.557	389.015	3113.018	3.42	0.00663	2124.9976	0.000355070	OK

Tabla 36. Índice de estabilidad de la estructura de base fija sentido – Y.

3.1.9 Desplazamiento de los aisladores

Elemento Deformaciones - Links			Análisis no lineal Tiempo Historia EW			
Unique Name			U3	U2	SRSS	SRSS
Story			m	m	100% X- 100% Y	90% X- 40% Y
1	Aisladores	K1	0.256	0.007	0.256	0.231
2	Aisladores	K2	0.258	0.003	0.258	0.232
3	Aisladores	K3	0.258	0.006	0.258	0.232
4	Aisladores	K4	0.257	0.013	0.257	0.231
5	Aisladores	K5	0.254	0.006	0.254	0.228
6	Aisladores	K6	0.254	0.003	0.254	0.229
7	Aisladores	K7	0.254	0.006	0.254	0.228
8	Aisladores	K8	0.254	0.013	0.254	0.229
9	Aisladores	K13	0.247	0.007	0.248	0.223
10	Aisladores	K14	0.248	0.003	0.248	0.223
11	Aisladores	K15	0.248	0.006	0.248	0.223
12	Aisladores	K16	0.248	0.013	0.248	0.223
13	Aisladores	K18	0.243	0.003	0.243	0.218
14	Aisladores	K19	0.243	0.007	0.243	0.218
15	Aisladores	K20	0.242	0.014	0.243	0.218
16	Aisladores	K21	0.256	0.007	0.256	0.231
17	Aisladores	K22	0.254	0.006	0.254	0.228
18	Aisladores	K23	0.247	0.007	0.248	0.223
19	Aisladores	K25	0.242	0.007	0.242	0.218
Desplazamiento máx.			0.258	0.014	0.258	0.232

Tabla 37. Desplazamiento de los aisladores - EW.

Elemento Deformaciones - Links			Análisis no lineal Tiempo Historia NS			
Unique Name			U3	U2	SRSS	SRSS
Story			m	m	100% X- 100% Y	90% X- 40% Y
1	Aisladores	K1	0.017	0.275	0.275	0.248
2	Aisladores	K2	0.017	0.281	0.282	0.253
3	Aisladores	K3	0.017	0.286	0.286	0.257
4	Aisladores	K4	0.017	0.290	0.290	0.261
5	Aisladores	K5	0.009	0.277	0.277	0.249
6	Aisladores	K6	0.009	0.282	0.282	0.253
7	Aisladores	K7	0.009	0.285	0.286	0.257
8	Aisladores	K8	0.009	0.291	0.291	0.262
9	Aisladores	K13	0.008	0.277	0.277	0.249
10	Aisladores	K14	0.008	0.282	0.282	0.253
11	Aisladores	K15	0.008	0.285	0.286	0.257
12	Aisladores	K16	0.008	0.291	0.291	0.262
13	Aisladores	K18	0.023	0.281	0.282	0.253
14	Aisladores	K19	0.023	0.285	0.286	0.257
15	Aisladores	K20	0.023	0.290	0.291	0.261
16	Aisladores	K21	0.017	0.275	0.275	0.248
17	Aisladores	K22	0.009	0.277	0.277	0.249
18	Aisladores	K23	0.008	0.277	0.277	0.249
19	Aisladores	K25	0.023	0.276	0.277	0.249
Desplazamiento máx.			0.023	0.291	0.291	0.262

Tabla 38. Desplazamiento de los aisladores -NS.

Para la obtención de los desplazamientos de los aisladores LRB se utilizó el análisis no lineal tiempo historia con los tres pares de registros sísmicos dados utilizando la combinación SRSS en las componentes 100% en X, 100% en Y, tomando la combinación más crítica. Se puede observar que todos los aisladores tienen desplazamientos similares por lo que el sistema trabaja de forma conjunta a lo esperado.

Espectro considerando el sismo máximo considerado con un amortiguamiento del 20% efectuado por los aisladores de base, para lo cual corresponde un factor $\beta = 1.5$

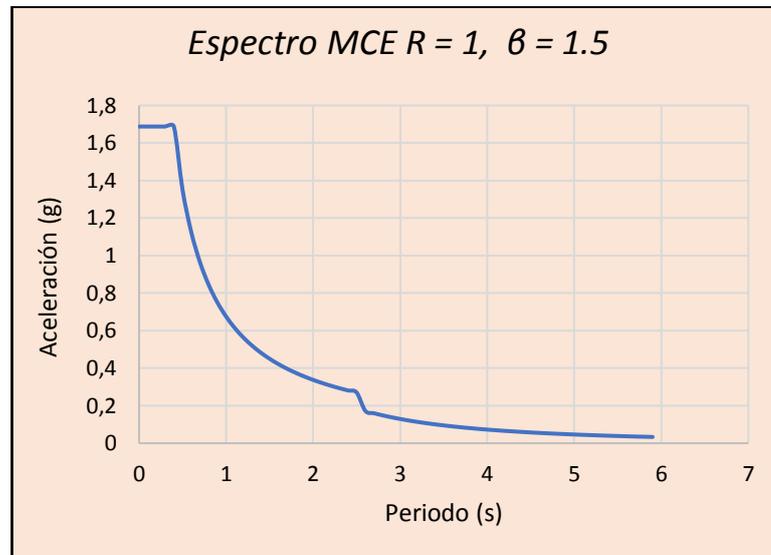


Figura 54: Espectro considerando el sismo máximo probable, con $\beta = 1.5$

La Figura 54 indica el espectro de diseño con el sismo máximo considerado implementando la reducción de 1.5 debido a la reducción por amortiguamiento proporcionados por los aisladores insertados en la base de la estructura.

3.1.10 Curva histerética

Los aisladores presentan una curva histerética, este modelo bilineal se basa principalmente en tres parámetros:

- Rigidez inicial
- Rigidez post fluencia
- La fuerza cero de deformación

Esta modelación de característica no lineal indica el comportamiento de los aisladores, desplazamientos máximos y mínimos del aislador, se lo puede obtener mediante el análisis Tiempo – Historia.

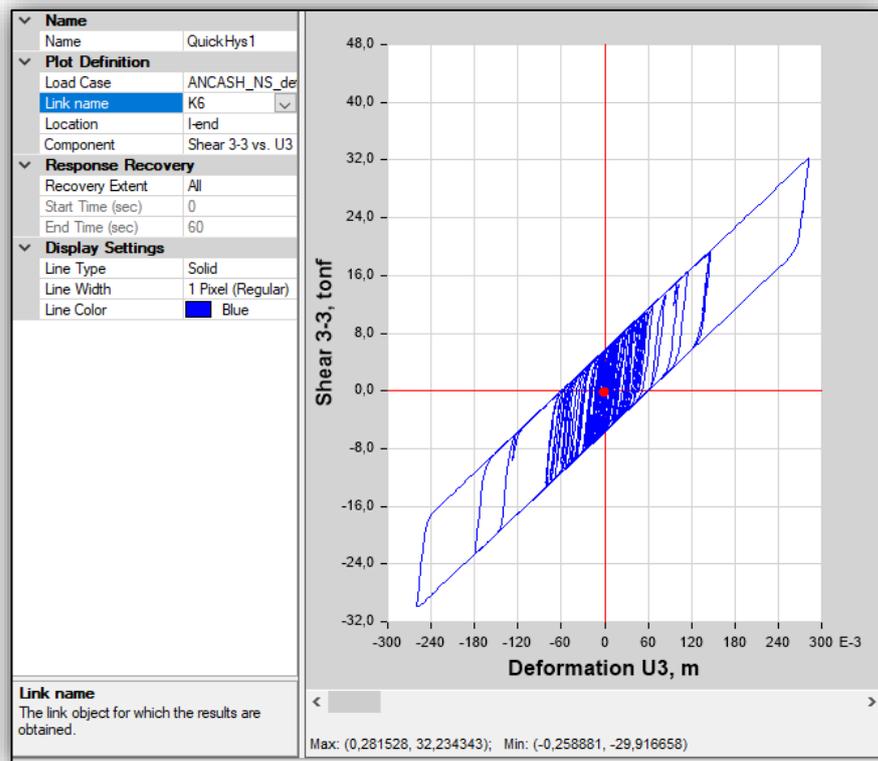


Figura 55: Diagrama de curva de histéresis del aislador.

La figura 55 muestra la curva histerética del aislador LRB, se puede observar que el aislador K- 14 obtiene desplazamientos máximos de 28.15 cm las cuales son menores al calculado, además todos los aisladores poseen un desplazamiento similar pues indica que el sistema de aislación posee un desplazamiento uniforme.

3.1.11 Energía disipada

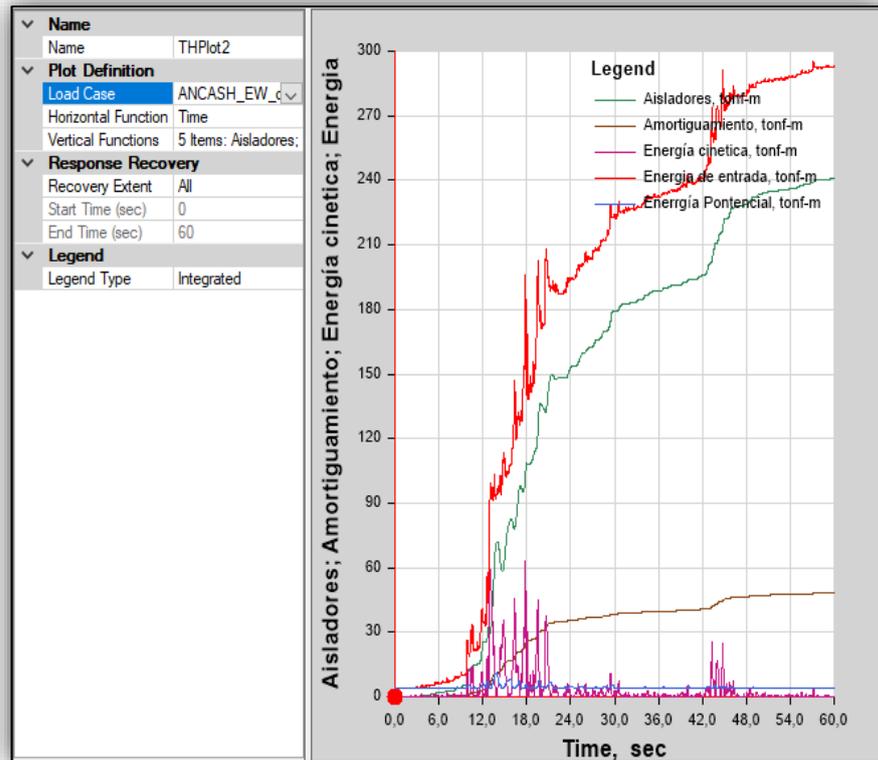


Figura 56: Porcentaje de disipación de energía del sismo sentido EW.

La fig. 56 muestra la energía entrada y la energía absorbida por los aisladores dando como resultado una reducción de energía del sismo en un 82.18%, con estos datos se puede evidenciar que el aislador cumple su función

Energía de entrada	292.89 Ton
Aisladores	240.69Ton
Reducción de energía	82.18%

$$\Delta \text{Energía} = \frac{\text{Energía de aisladores}}{\text{Energía del sismo}} \text{ Ecuación (39)}$$

$$\Delta \text{Energía} = \frac{292.89 \text{ ton}}{240.69 \text{ ton}}$$

$$\Delta \text{Energía} = 82.18\%$$

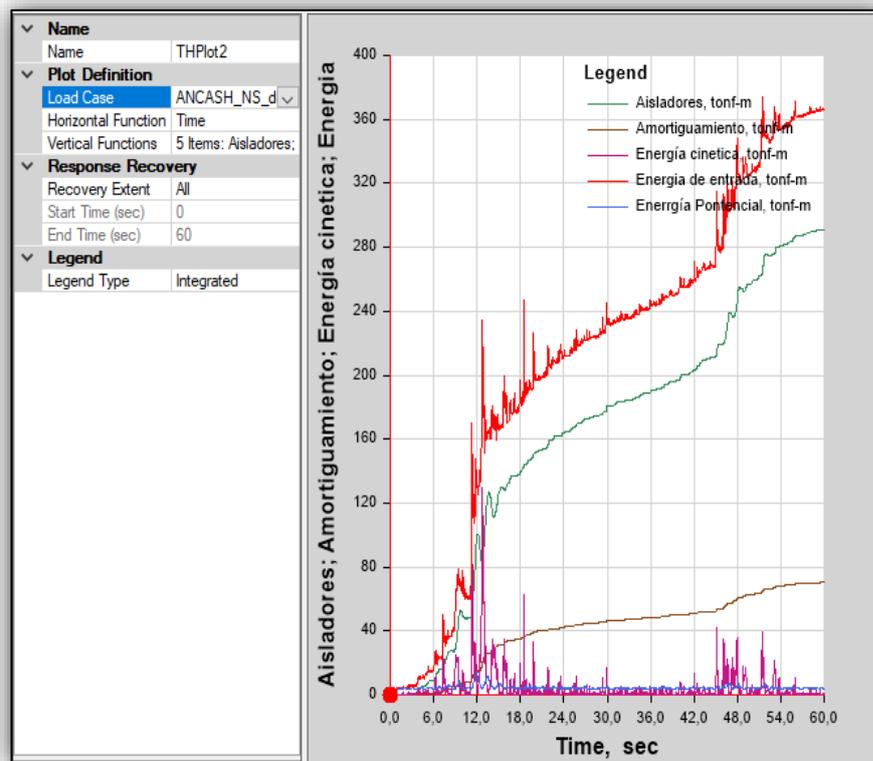


Figura 57: Porcentaje de disipación de energía del sismo sentido EW.

Para el sismo en dirección NS la energía absorbida por los aisladores es de 290.55 ton dando como resultado una reducción de energía del sismo en un 79.27%

Los aisladores de base LRB están ubicados en el sótano debajo de la superestructura, estos dispositivos serán ubicados en las columnas a una altura de 1.80m con la finalidad de que exista un espacio para poder verificar el comportamiento de los dispositivos luego de un evento sísmico.

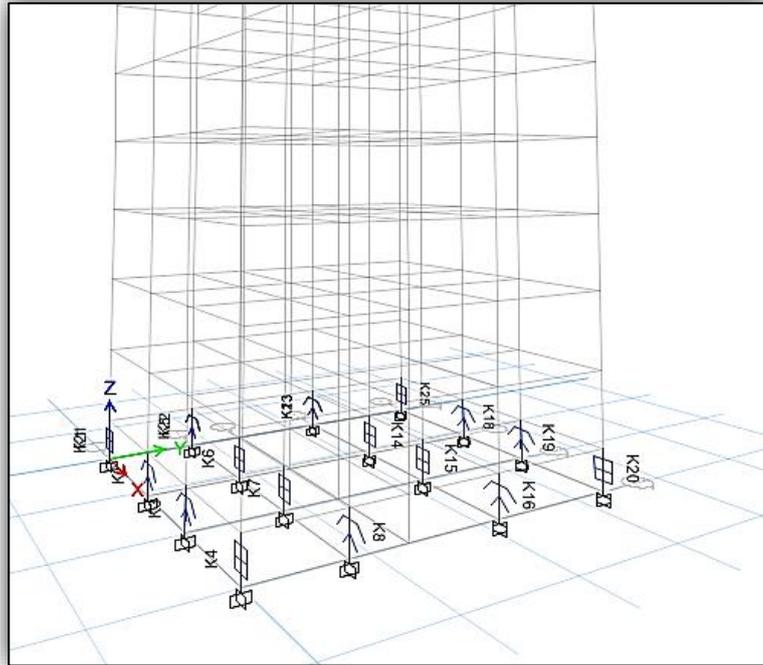


Figura 58: Ubicación de los aisladores de base

3.2 Resultados de la modelación de la cimentación

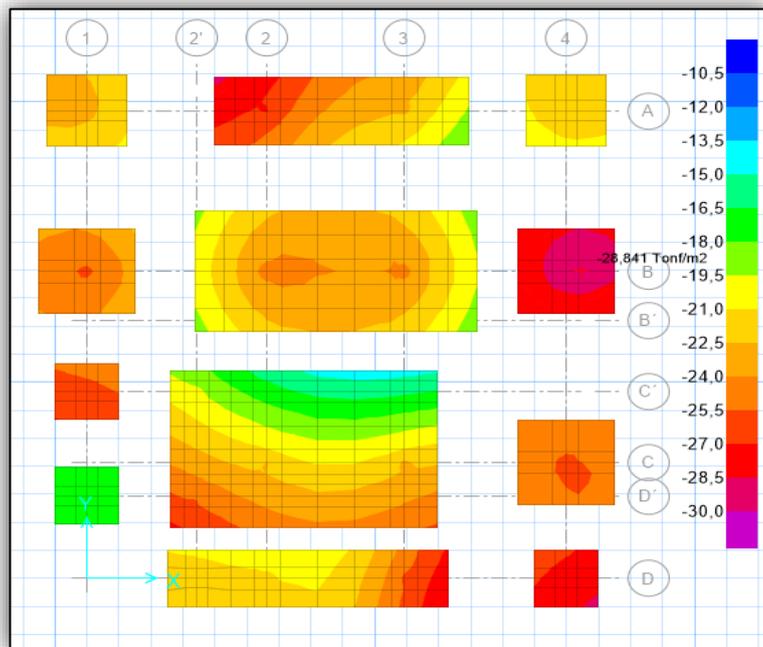


Figura 59: Presiones de la cimentación de la estructura con base fija
 Presión máx. 28.84 ton/m² < 30 ton /m² ~ cumple

Las presiones de la cimentación se revisaron bajo combinaciones de servicio, dando presiones menores al admisible.

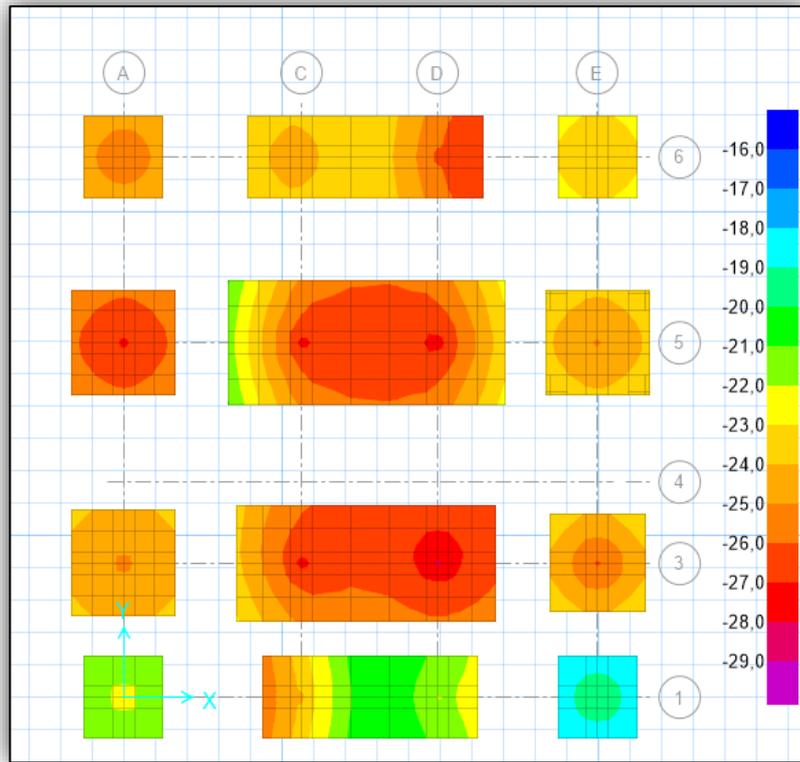


Figura 60: Presiones de la cimentación para la estructura aislada
 Presión máx. 28.07 ton/m² < 30 ton /m² ~cumple

L/1000	mm	mm	mm	mm	mm
Delta máx. (Longitud Apoyo)	5.63	5.63	5.74	5.74	4.14
Asentamiento 1	6.37	7.18	8.10	6.10	7.75
Asentamiento 2	7.53	6.94	5.40	8.21	7.24
Asentamiento diferencial	1.16	0.24	2.70	2.11	0.51
	¡OK...!	¡OK...!	¡OK...!	¡OK...!	¡OK...!

Tabla 39. Asentamientos diferenciales – Base Fija

L/1000	mm	mm	mm	mm	mm
Delta máx. (Longitud Apoyo)	5.74	4.30	6.80	5.74	4.14
Asentamiento 1	7.26	6.63	7.55	6.79	7.59
Asentamiento 2	8.21	6.14	7.65	7.51	5.54
Asentamiento diferencial	0.95	0.49	0.09	0.72	2.04
		¡OK...!	¡OK...!	¡OK...!	¡OK...!

Tabla 40. Asentamientos diferenciales – Base Aislada

TIPO DE CONSTRUCCION	Δ_{max}
(a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L /1000
(b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería	L /500
(c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L /300
(d) Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L /160

Tabla 41. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados. (NEC -15)

Los asentamientos diferidos en el tiempo se pueden calcular como tres veces del asentamiento instantáneo, Según la norma NEC-15- SE-GC- Geotecnia y cimentaciones considera el asentamiento máximo de 20 cm para construcciones aisladas y construcciones entre medianeros 10 cm.

Para realizar el diseño de la cimentación se realizó mediante combinaciones últimas revisando así el punzonamiento y corte, además se utilizó el método de las fajas (strip) mediante el programa para cimentaciones.

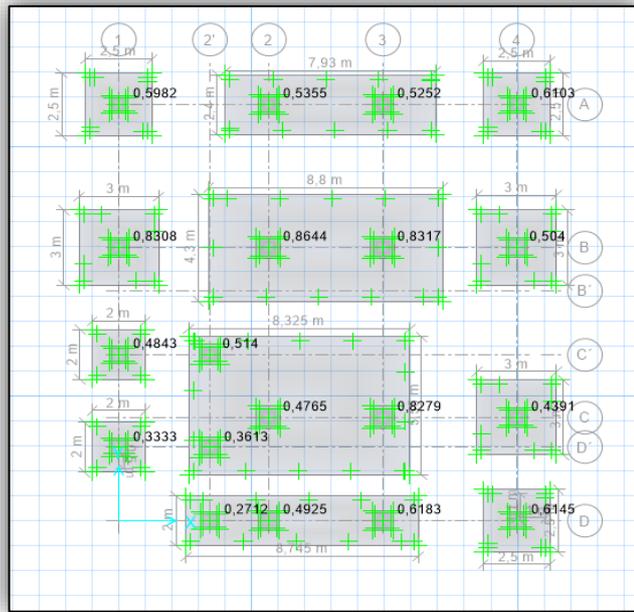


Figura 61: Chequeo a Punzonamiento – Base Fija

Valores de la cimentación en punzonamiento menores a 1 ~ *Cumple*

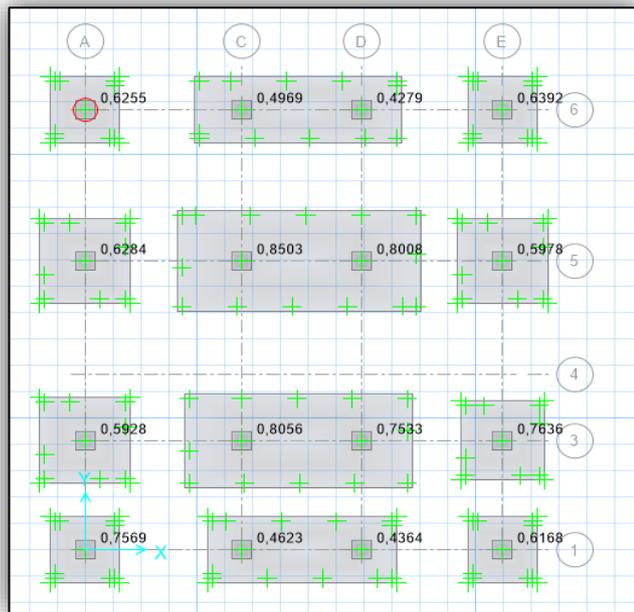


Figura 62: Chequeo a Punzonamiento – Base Aislada

Valores de la cimentación en punzonamiento menores a 1 ~ *Cumple*

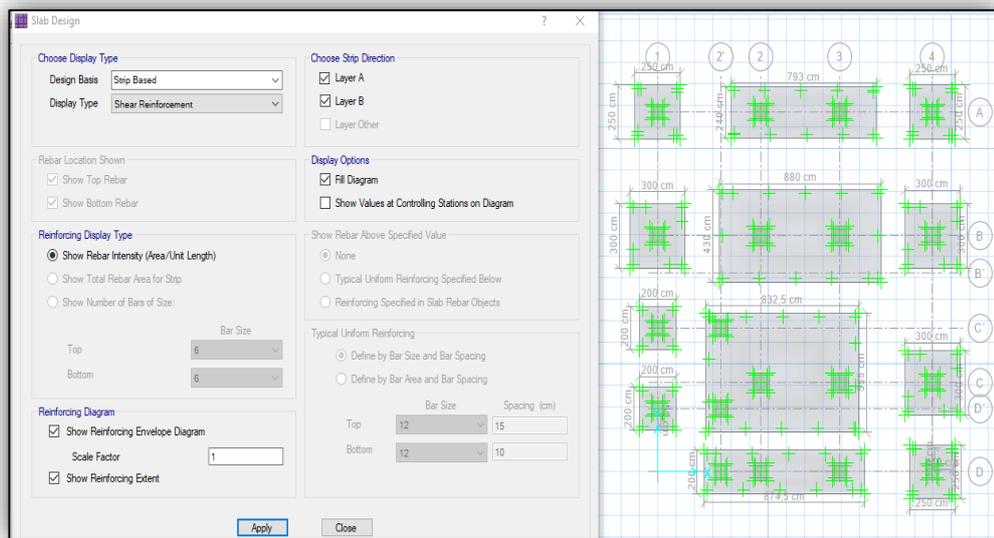


Figura 63: Chequeo a corte – Base Fija

Debido a que el hormigón es capaz de resistir fuerzas de corte, no se necesita refuerzo a corte en la cimentación

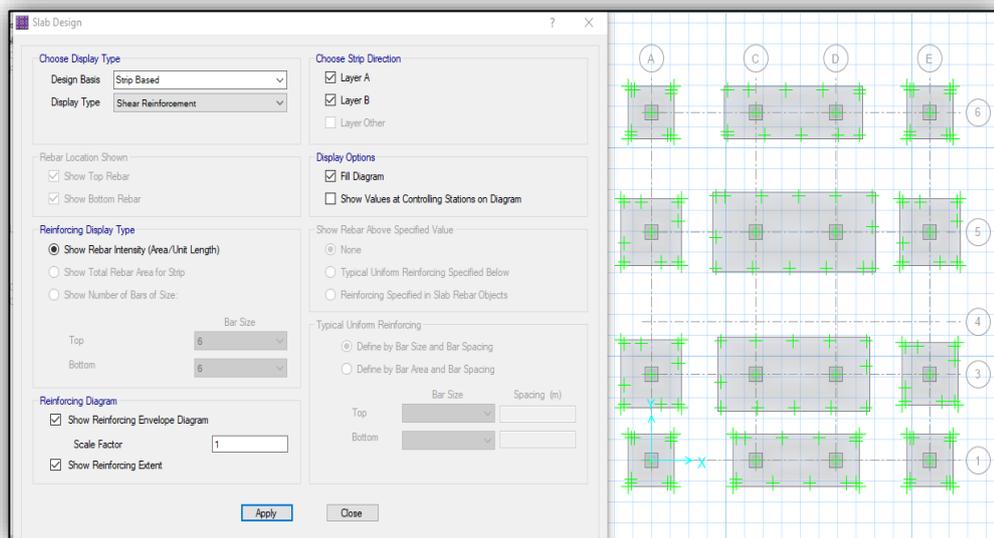


Figura 64: Chequeo a corte – Base Aislada.

Puesto que el hormigón es capaz de resistir fuerzas de corte, no se necesita refuerzo a corte en la cimentación.

3.3 Costos de construcción

Los costos directos se adquirieron de acuerdo a la información presentada en los planos arquitectónicos y estructurales. Para la estructura de base fija se tomaron en cuenta los materiales, sin embargo, para la estructura con aislamiento en la base no se tomaron en cuenta aspectos adicionales tales como:

- Costo de instalación
- Costos de fabricación y ensayo
- Costo en sistema de protección contra fuego de los dispositivos
- Costo de mantención e inspección
- Costo de proveer un espacio físico adicional

ESTRUCTURA DE BASE FIJA					
<i>No.</i>	<i>Rubro / Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Precio global</i>
<u>EXCAVACIÓN</u>					
1	Replanteo Y Nivelación	m2	269.83	2.21	596.32
2	Excavación A Mano	m3	1.00	6.25	6.25
3	Excavación Con Máquina	m3	149.15	4.69	699.51
4	Desbanque De Terreno	m3	149.15	8.79	1,311.03
<u>ENCOFRADO</u>					
5	Encofrado Con Tablero Contrachapado (Columna)	m2	438.69	25.94	11,379.57
6	Encofrado Con Tablero Contrachapado (Viga)	m2	484.00	25.94	12,555.08
7	Re plantillo De Hormigón Simple	m3	8.71	116.04	1,010.63
<u>ACERO</u>					
8	Acero En Vigas	Kg	40,869.34	1.43	58,443.16
9	Acero En Columnas	Kg	81,389.70	1.43	116,387.27
10	Acero En Cimentación	Kg	8,969.50	1.43	12,826.39
<u>HORMIGÓN</u>					
11	Hormigón En Columnas	m3	348.69	130.96	45,664.44
12	Hormigón En Vigas	m3	204.42	130.96	26,770.84
13	Hormigón En Cimentación	m3	149.15	130.96	19,532.68
		\$		TOTAL:	307,183.17

Tabla 42. Costo de la estructura de base fija

ESTRUCTURA DE BASE AISLADA					
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
<u>EXCAVACIÓN</u>					
1	Replanteo Y Nivelación	m2	269.83	2.21	596.32
2	Excavación A Mano	m3	1.00	6.25	6.25
3	Excavación Con Máquina	m3	605.53	4.69	2,839.94
4	Desbanque De Terreno	m3	605.53	6.10	3,693.73
<u>ENCOFRADO</u>					
5	Encofrado Con Tablero Contrachapado (Columna)	m2	321.40	25.94	8,337.06
6	Encofrado Con Tablero Contrachapado (Viga)	m2	656.67	29.76	19,542.35
7	Re plantillo De Hormigón Simple	m3	8.20	121.58	997.21
<u>ACERO</u>					
8	Acero En Vigas	kg	55,864.10	1.43	79,885.66
9	Acero En Columnas	kg	37,166.79	1.43	53,148.51
10	Acero En Cimentación	kg	5,546.73	1.43	7,931.82
<u>HORMIGÓN</u>					
11	Hormigón En Columnas	m3	244.98	130.96	32,082.58
12	Hormigón En Vigas	m3	261.80	130.96	34,285.33
13	Hormigón En Cimentación	m3	119.84	130.96	15,694.25
14	Losa Maciza E= 20CM f'c =120kg/cm2	m3	53.33	123.75	6,599.59
15	Aisladores De Base	unidad	16.00	5,000.00	80,000.00
		\$		TOTAL:	345,640.60

Tabla 43. Costo de la estructura base aislada y sistema de aislamiento.

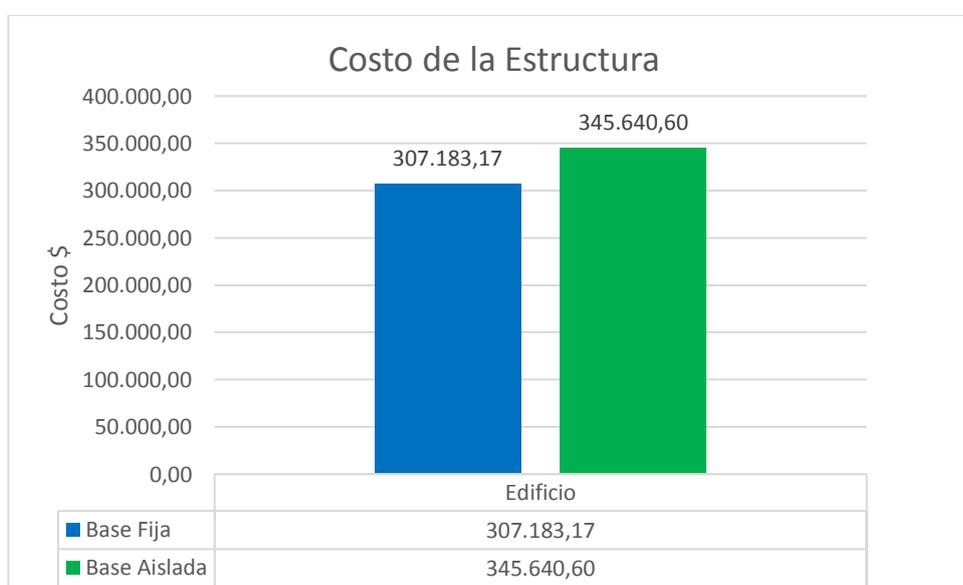


Figura 65: Costo de la estructura de base fija vs base aislada.

Las tablas 43-44 indica el resumen de costo considerando volúmenes de obra, acero, encofrados y excavación para el edificio de base fija, mientras que para el edificio de base aislada se incluye el presupuesto de los dispositivos de aislación, el costo de los dispositivos varía en función al diámetro del aislador, diámetro de núcleo de plomo, espesor de placas metálicas y espesor de goma.

Para la estructura con sistema de aislación en la base, el costo aumenta debido al costo de al costo del aislador que se encuentra en un rango de 5 mil a 20 mil dólares por aislador además hay que tener en cuenta el costo de mantenimiento, revisión de aisladores después de cada evento sísmico.

El costo directo para la estructura de base fija es de 307,183.17 \$, mientras que para la estructura de base aislada sin considerar el sistema de aislación es de 265,640.60 \$ obteniendo un ahorro de 13.52 % del costo total de la estructura, no obstante, incluyendo el sistema de aislación su costo aumentó a 345,650.60 \$, lo que equivale un aumento del 12.52% con respecto al costo de la estructura en base fija.

Según el PhD. Víctor Zayas inventor del aislador triple péndulo de fricción, durante la conferencia del 14 octubre del 2021 bajo el tema de “Estructuras de funcionalidad continua con aisladores de péndulo” afirmó que en edificios con un área aproximada a 10,000.00 m² no existe variación con respecto a la misma estructura con base aislada, sin embargo, para estructuras con áreas menores el costo aumenta de 10% hasta el 30% del costo total de la estructura en base fija.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos de la modelación en el programa de análisis estructural, la implementación de aisladores sísmicos a una estructura de base fija proporciona un mejor comportamiento estructural durante un sismo, debido al amortiguamiento brindado por estos dispositivos obteniendo desplazamientos relativos de pisos mucho menores que una estructura de base fija como se puede observar en la tabla N. 29, las derivas son mínimas por lo tanto la estructura con aisladores de base puede permanecer operativa y con daños mínimos o nulos en comparación a una estructura con sistema estructural de pórticos de base fija.

Se consiguió aumentar el periodo de vibración de la estructura a tres veces el periodo de base fija a través de la implementación de aisladores de base, teniendo como resultado que las aceleraciones bajas se alejan del pico de aceleraciones altas del espectro de aceleraciones NEC.

Con la implementación de aisladores de base su costo aumenta con respecto a la estructura de base fija en un 12.52%, además se observa una disminución de un 20% de las dimensiones de las columnas de base aislada con respecto a la estructura de base fija, es importante señalar que la reducción de secciones para la estructura de base aislada se realizó sin afectar el comportamiento de la estructura.

El comportamiento estructural del edificio con la implementación de sistemas de protección sísmica en estructuras, resulta ser beneficioso en Ecuador porque se espera que la estructura se comporte en el rango elástico y no se esperan daños estructurales en el rango inelástico.

Finalmente, el objetivo de diseño de una estructura con aisladores es que permanezca funcional y con daños imperceptibles durante un sismo severo, la adición de aisladores representa un costo adicional, sin embargo, el costo puede ser despreciable si se considera una estructura de gran importancia tales como: hospitales, estación de bomberos, refugios y centros de investigación, instituciones que se necesitan mantener

operativas debido al socorro que se necesita en situaciones de emergencia. Es decir, la relación costo beneficio en la implementación de aisladores de base representa un porcentaje pequeño considerando el beneficio que se llega a tener con estos sistemas a largo plazo.

4.2 Recomendaciones

De acuerdo a los resultados comparativos del comportamiento estructural de la estructura de base fija y aislada es importante realizar diseños con aisladores de base puesto que son sistemas que ayudan a mantener a la estructura 100% operativas y funcionales, durante y después de un evento sísmico.

La aplicación de aisladores se debe utilizar en suelos tipo S1 y S2 porque al aumentar el periodo de vibración las aceleraciones disminuyen. En suelos blandos tiene un comportamiento opuesto, su periodo aumenta con la cual las fuerzas del sismo crecen y por ello sufren daños, para realizar un diseño de aisladores para en un suelo blando se recomienda realizar un estudio de suelos más detallado y evitar tener periodos donde la aceleración sean altos.

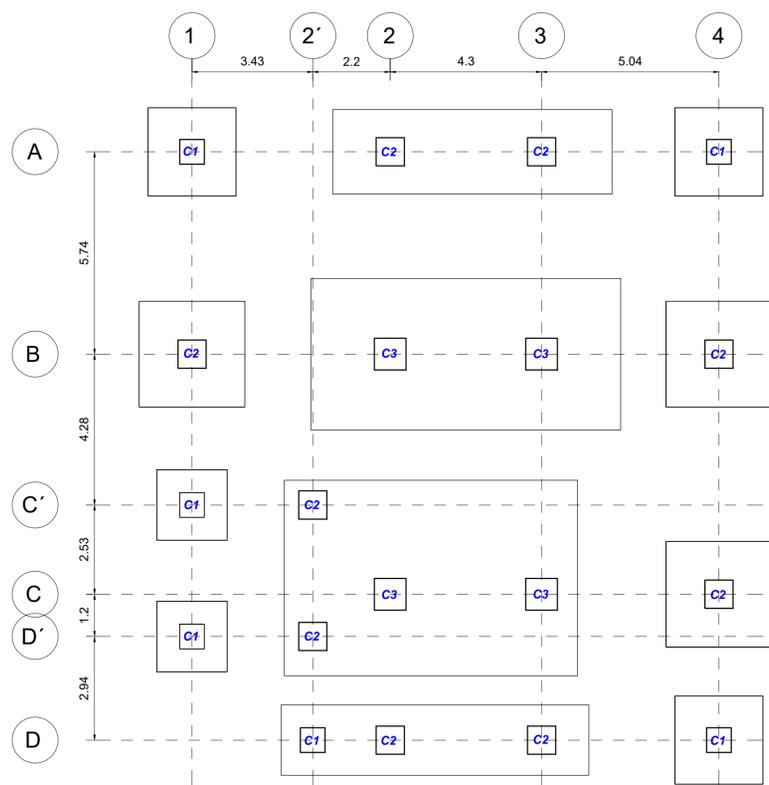
Ecuador no cuenta con una norma propia de diseño de edificaciones con aisladores de base por ello es importante utilizar la norma NCh 2745 de diseño sismorresistente con aisladores de base, puesto que existe regiones con alto riesgo sísmico y esto ayudará a evitar pérdidas materiales y humanas, así como ocurrió en Pedernales – Ecuador 2016.

4.3 Bibliografía

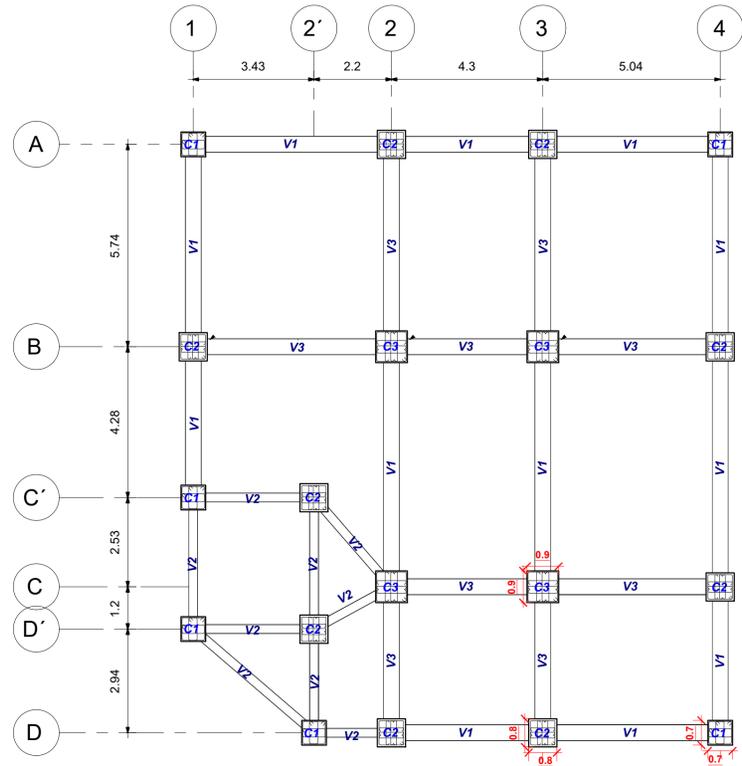
- [1] D. d. E. Geotécnia, «AISLACIÓN SÍSMICA Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA,» Ingeniería Civil UC, [En línea]. Available: <https://www.fiic.la/Documentos/LXV%20CONSEJO%20DIRECTIVO%20PANAMA/DELALLERA%203.pdf>. [Último acceso: 17 octubre 2021].
- [2] P. S. J. SANTIAGO, «DISEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO EN ACERO CON AISLADORES SÍSMICOS. MODELAMIENTO ETABS,» QUITO, 2014.
- [3] T. Moncayo, M. G. Velasco, C. Mora, M. Montenegro y J. Córdova, «Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970,» *Ingeniería*, vol. 2, n° 2, pp. 55-60, 2017.
- [4] R. Aguiar y Y. Mieles Bravo, «ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS QUE COLAPSARON EN PORTOVIEJO DURANTE EL TERREMOTO DE 16 DE ABRIL DE 2016,» *ResearchGate*, vol. 21, n° 3, pp. 5-28, 2016.
- [5] M. CruzDeHowitt, M. C. Acosta y N. E. Vásquez, «Riesgos por tsunami en la costa Ecuatoriana,» [En línea]. Available: <http://www.ipgh.gob.ec/documentos/recursos/Riesgos%20Tsunami%20Costa%20ecuatorialiana.pdf>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [6] C. Medina, *Introducción a la sismología*, Ambato, 2018.
- [7] A. H. Barbat, *Cálculo sísmico de las estructuras*, Barcelona - España: Técnicos Asociados S.A, 1983.
- [8] E. Bazám y R. Meli, de *Diseño Sísmico de Edificios*, México, Limusa, pp. 11-15.
- [9] J. De la Colina Martínez y H. Ramírez de Alba, «CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS Y SUS EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES,» *Ciencia Ergo Sum*, vol. 6, n° 2, p. 7, 1999.
- [10] E. Reinoso Angulo y L. M. Buendía Sánchez, «Análisis de los daños en viviendas y edificios comerciales durante la ocurrencia del sismo del 19 de septiembre de 2017,» *Scielo*, p. 5, 2020.

- [11] N. P. - M. Vásquez, «Diseño de aisladores sísmicos de base para edificio de oficina de 10 niveles con sistema estructural de pórticos rígidos de concreto reforzado,» Nicaragua, 2016.
- [12] P. E.-. J. R.-. P. Huaranga., ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN EL PERÚ, Lima- Perú: 2-4, 2012.
- [13] A. T. Colunga, «DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO MEDIANTE EL USO DE ESPECTROS DE DISEÑO POR CAPACIDAD,» vol. 1, pp. 49-50, 2001.
- [14] R. A. Falconí, «ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICIOS, PRIMERA EDICIÓN,» de ANÁLISIS SISMICO DE EDIFICIOS, Quito - Ecuador , Centro de Investigaciones científicas, 2008, pp. 13-16.
- [15] J. A. Ovideo y M. Duque, «SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES,» EIA, vol. 1, n° 1, p. 15, 2006.
- [16] C. Genatio y M. Lafuente, Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras, Caracas: CAF- Banco de Desarrollo de América Latina, 2016.
- [17] H. Huamani, *Aislamiento Sísmico en Edificios*, Lima, 2019.
- [18] L. R. Pradilla, «Uso de aisladores de base en puentes de concreto simplemente apoyados,» SCIELO, vol. 16, n° 34, p. 20, Oct. / Dec. 2012.
- [19] E. P. Lema Toapanta, «ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS,» vol. 1, p. 29, 2013.
- [20] D. J. Barahona Rivadeneira, «Requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo-resistente de estructuras de edificación de concreto reforzado en la ciudad de Riobamba,» vol. 1, n° 1, p. 138, 2009.

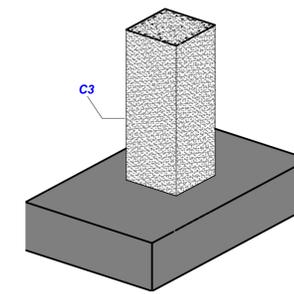
4.4 Anexos



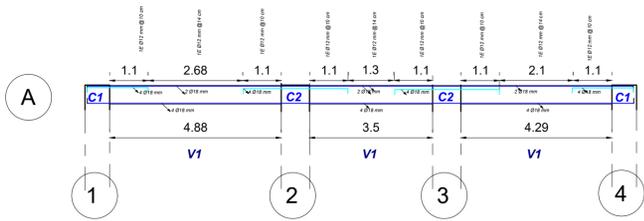
1 DF- 1.6 (Cimentaciones)
1 : 100



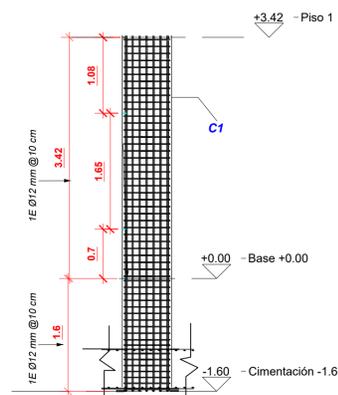
2 Planta baja
1 : 100



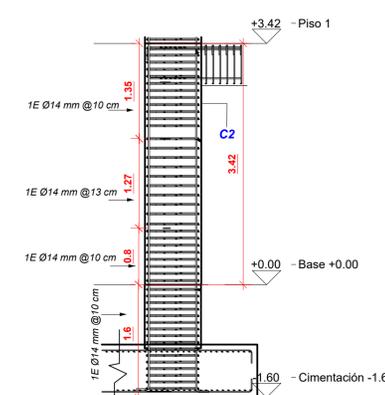
3 Isométrico



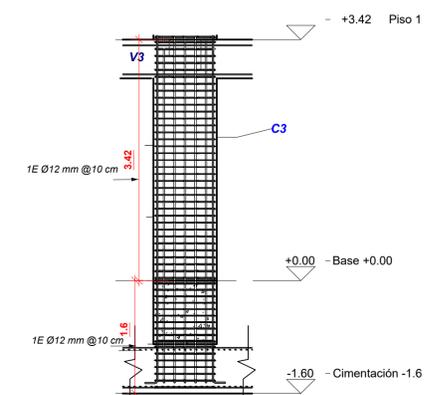
4 Detalle Viga
1 : 100



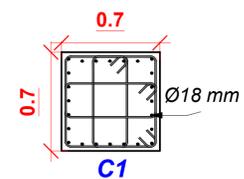
5 Detalles C1
1 : 50



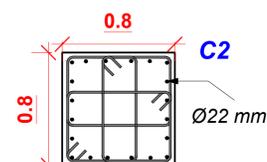
6 Detalles C2
1 : 50



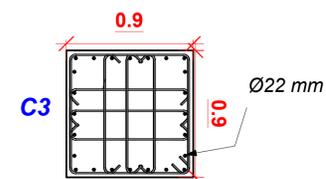
7 Detalle C3
1 : 50



8 Detalle C1-Corte
1 : 25



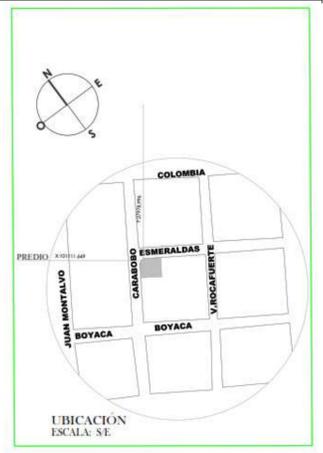
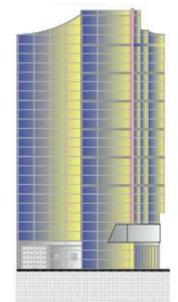
9 Detalle C2 - Corte
1 : 25



10 Detalle C3 - Corte
1 : 25



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil



Estructura de Base Fija

Detalle armado

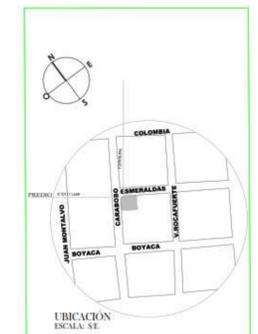
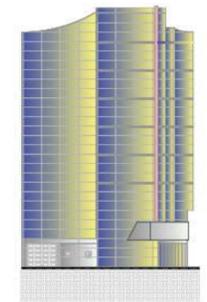
Número de proyecto	001
Fecha	Julio 2022
Dibujado por	Joel Chimbo
	Hoja 1 - 5

P. Estructurales

Escala Indicada



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil



Estructura de Base Fija

Cimentaciones

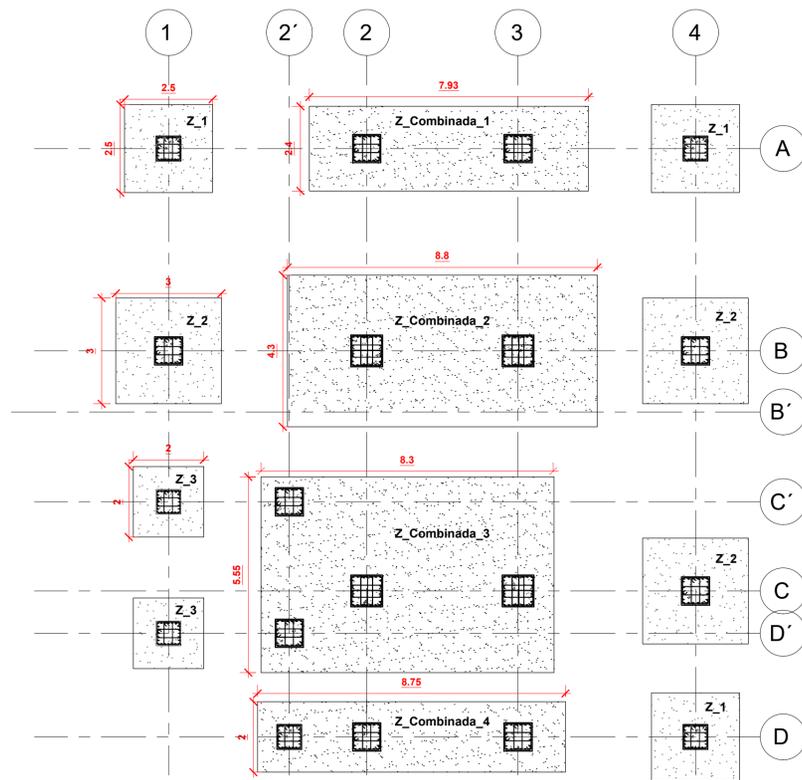
Número de proyecto 001

Fecha Julio 2022

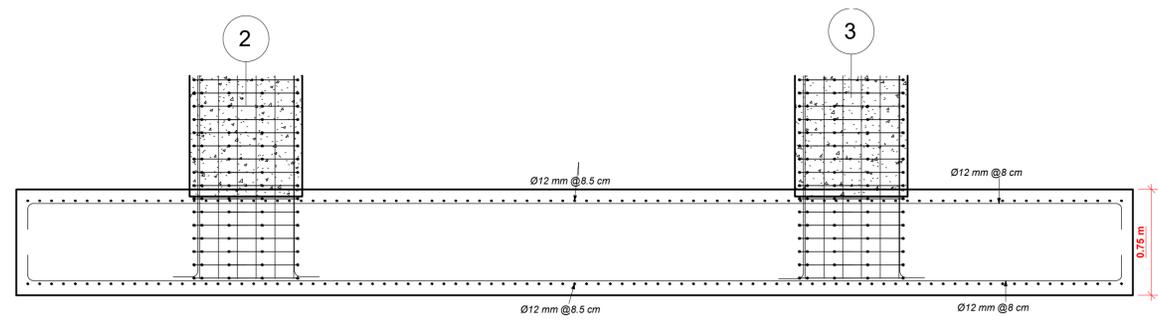
Dibujado por Joel Chimbo

Comprobado por Hoja 2 - 5

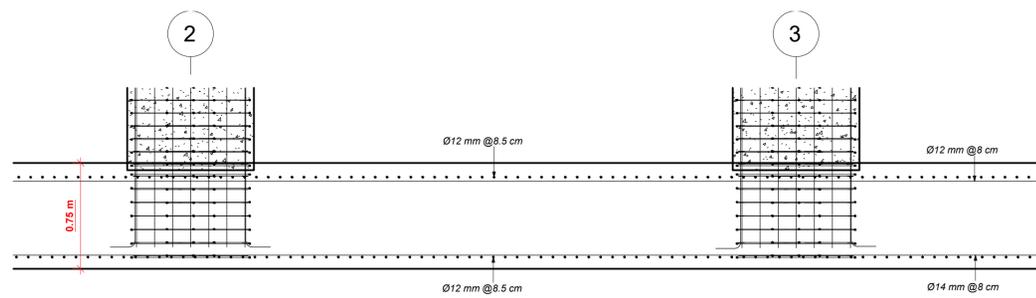
Escala Como se indica



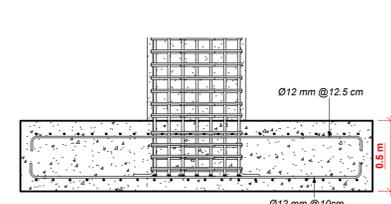
2. Cimentación
1 : 100



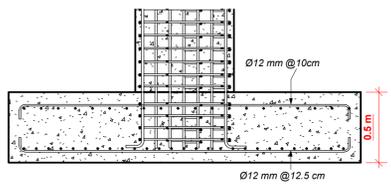
2 Z_Combinada_1
1 : 25



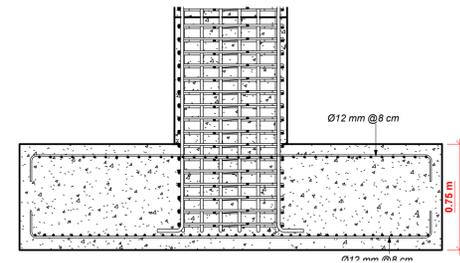
1 Z_Combinada_2
1 : 25



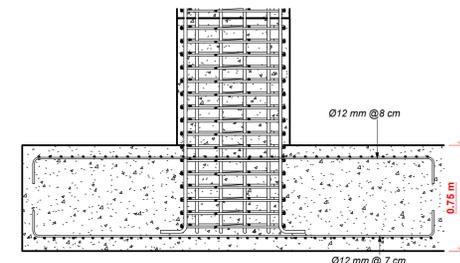
3 Z1_A-A.
1 : 25



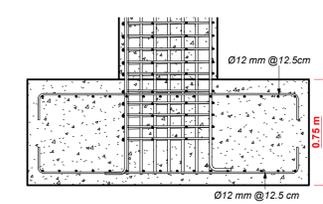
4 Z1_1-1
1 : 25



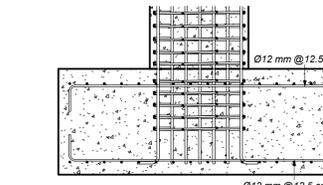
5 Z2_B-B
1 : 25



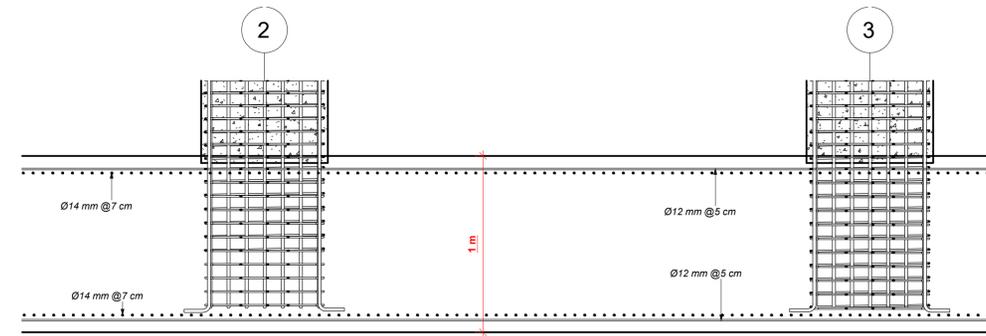
6 Z2_1-1
1 : 25



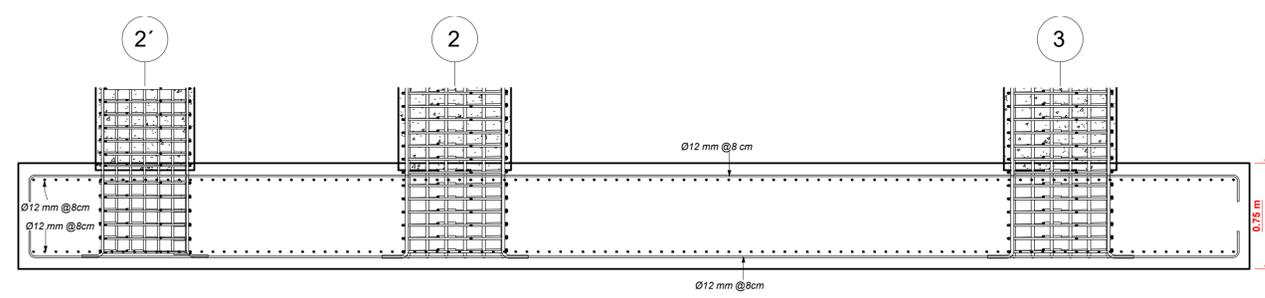
7 Z3_C-C
1 : 25



8 Z3_1-1.
1 : 25



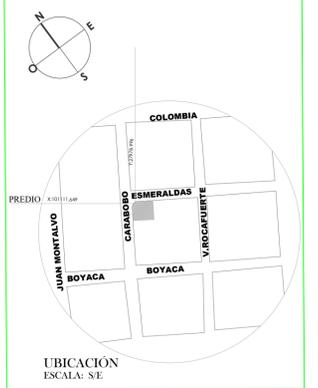
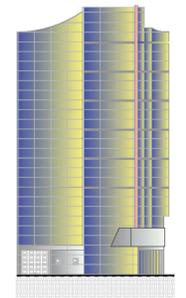
9 Z_Combinada_3
1 : 25



10 Z_Combinada_4
1 : 25



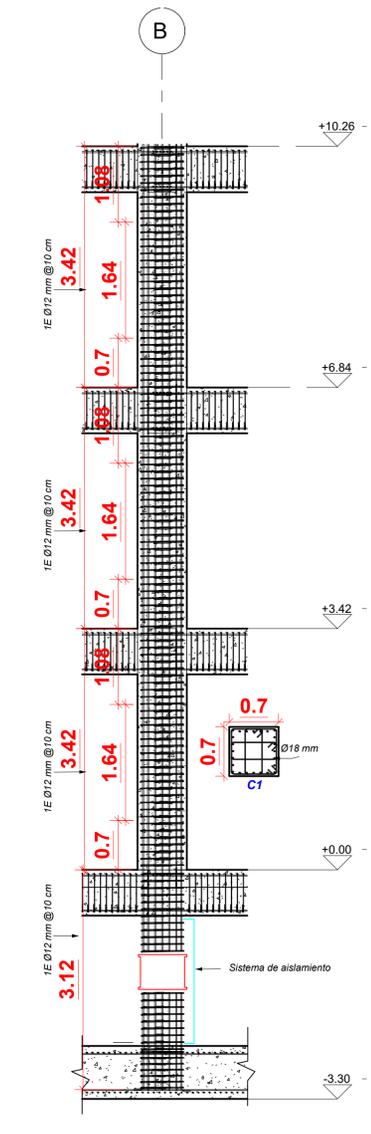
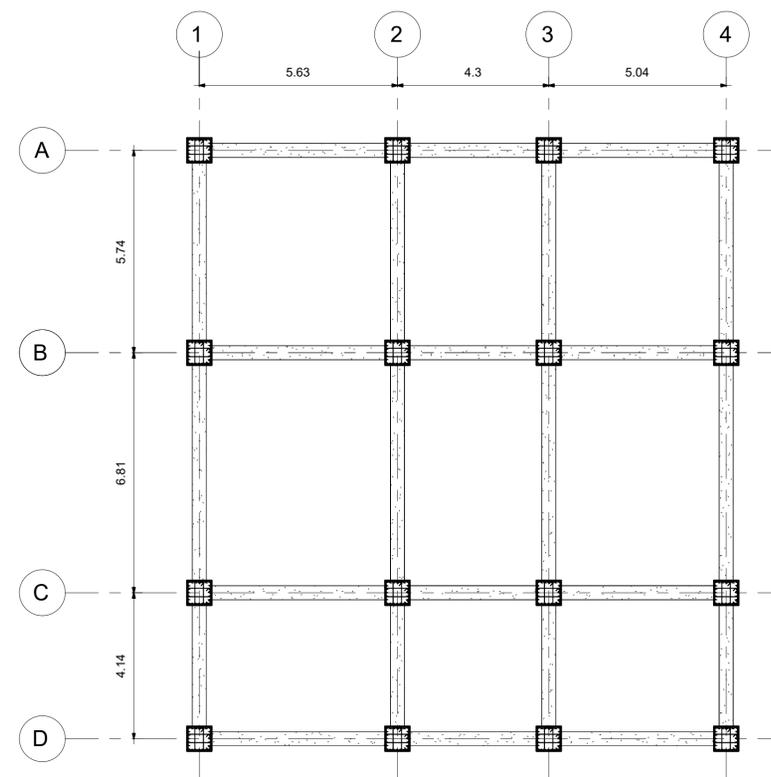
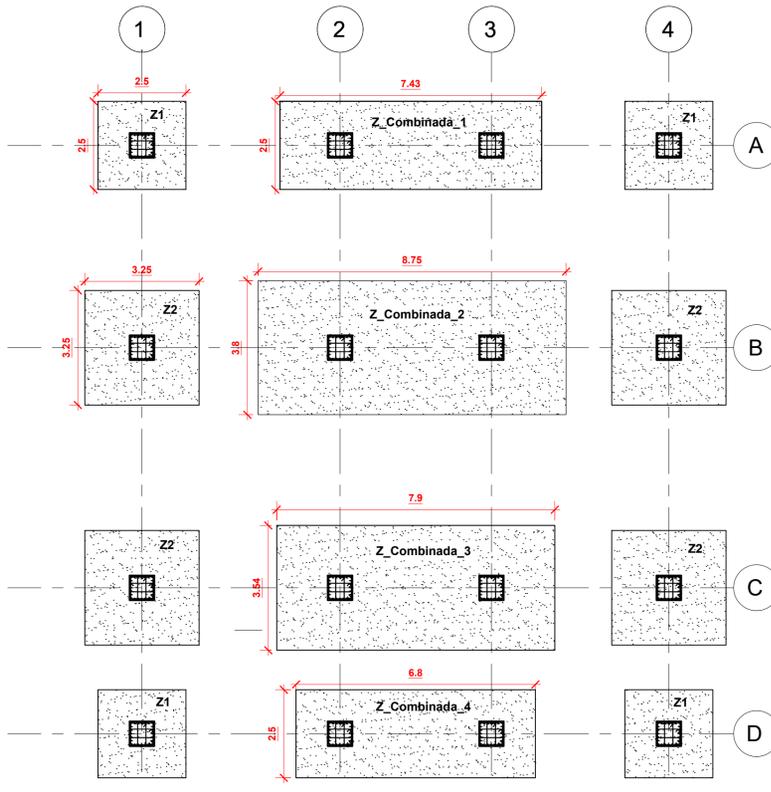
Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil



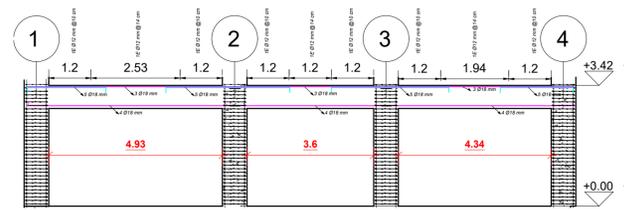
Estructura de Base Aislada

Detalles

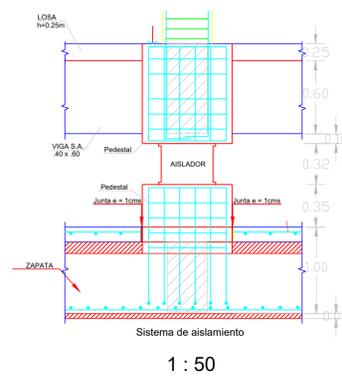
Número de proyecto	001
Fecha	Julio 2022
Dibujado por	Joel Chimbo
Hoja 3 - 5	
P. Estructurales	
Escala	Indicada



1 Cimentación -3.30_
1 : 100

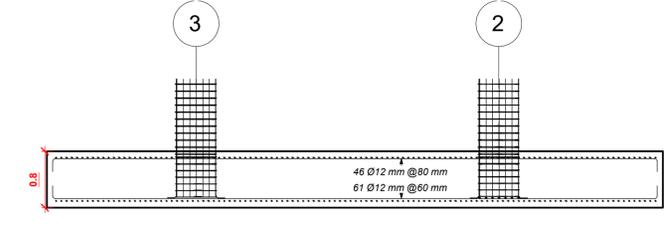
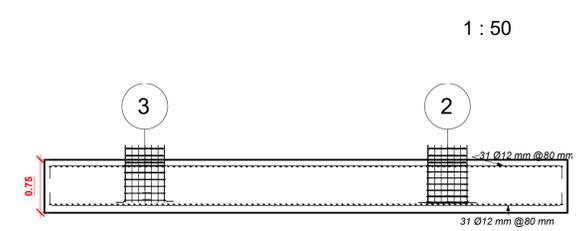
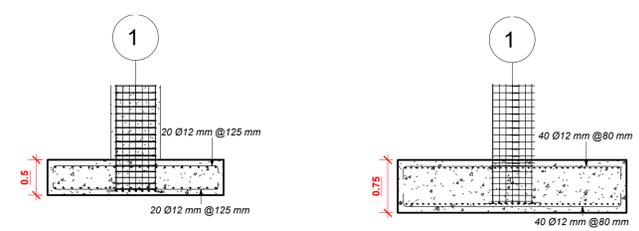


3 Planta baja
1 : 100

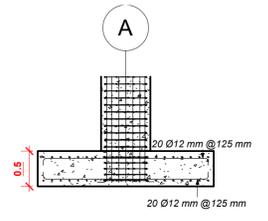


2 Detalle de columna
1 : 50

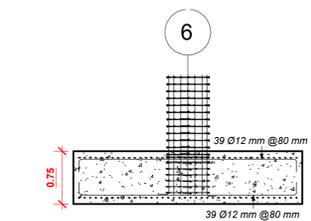
4 Pórtico A
1 : 100



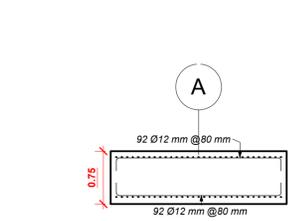
5 Z1_A-A
1 : 50



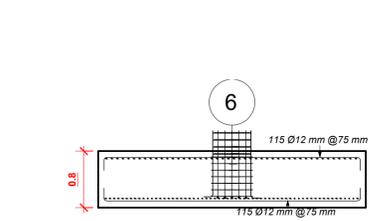
7 Z2_B-B
1 : 50



9 Z_Combinada_1
1 : 50



12 Z_Combinada_2
1 : 50



6 Z1_1-1
1 : 50



8 Z2_1-1
1 : 50

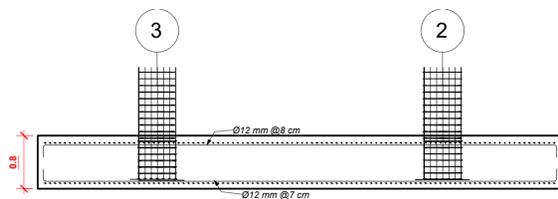


10 Z_Combinada 1_2-2
1 : 50

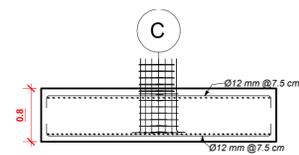


11 Z_Combinada 2_2-2
1 : 50

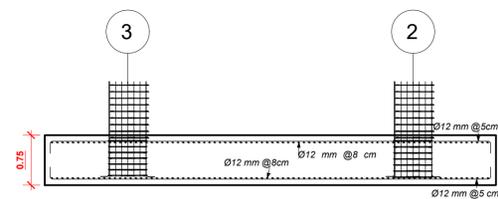




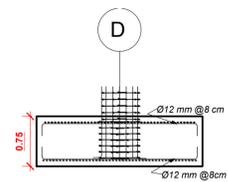
1 Z_Combinada_3
1 : 50



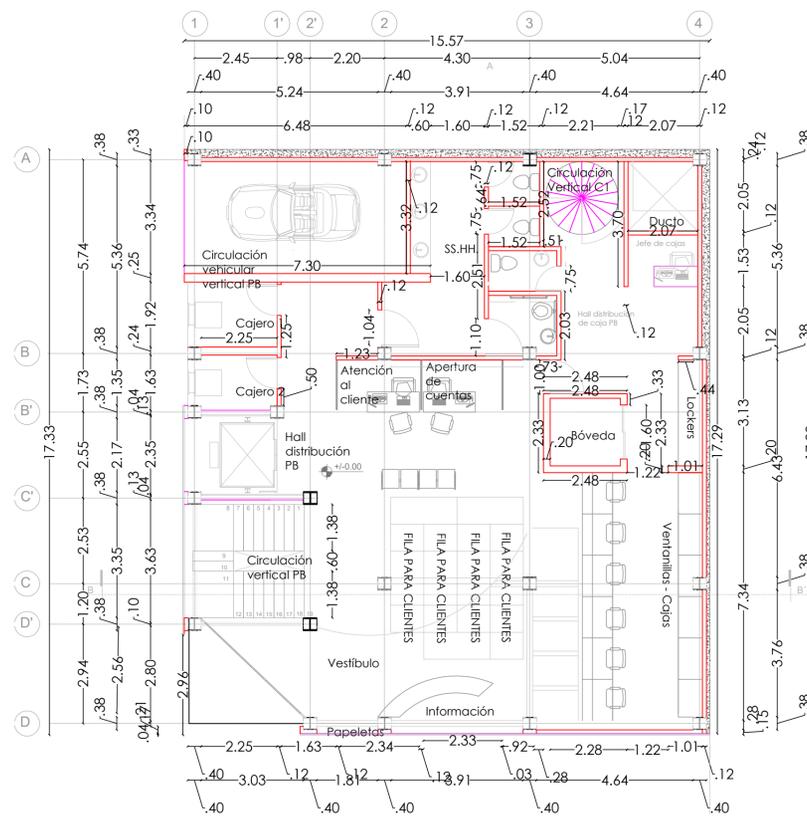
2 Z_Combinada_3_1-1
1 : 50



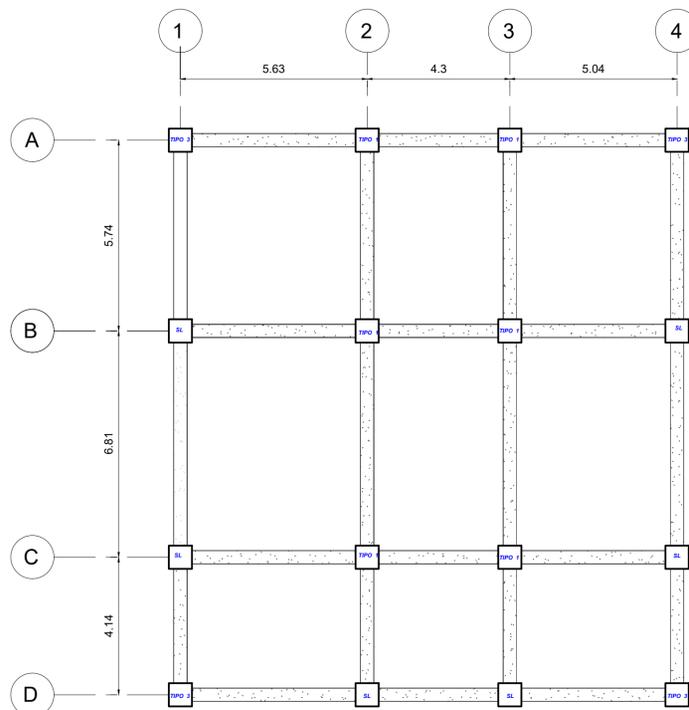
3 Z_Combinada_4
1 : 50



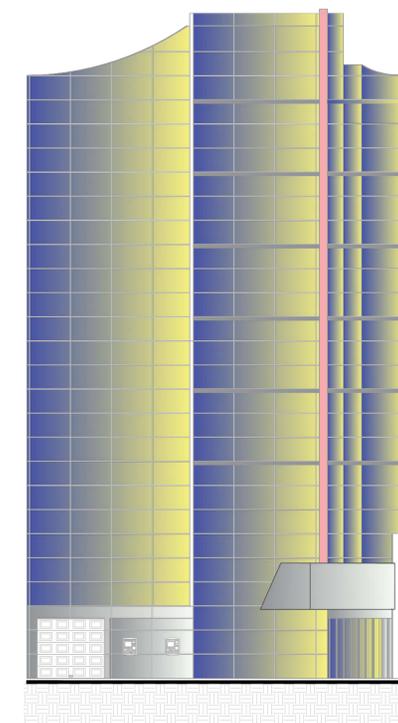
4 Z_Combinada_4_1-1
1 : 50



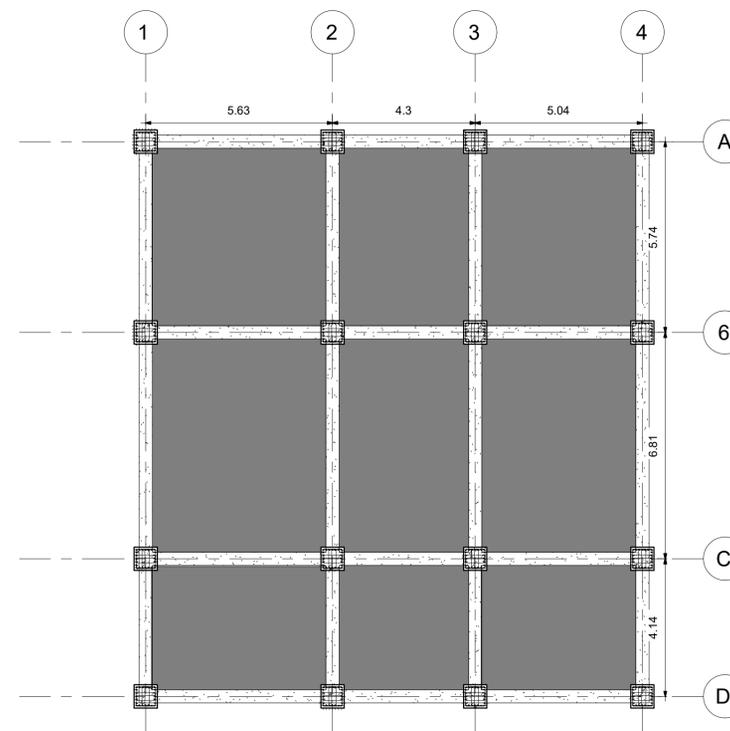
5 Detalle Arquitectónico
1 : 100



7 Aisladores de Base
1 : 100



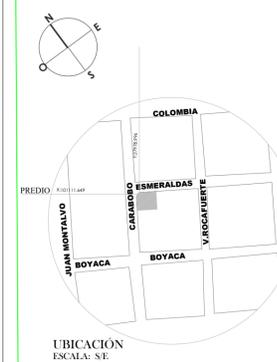
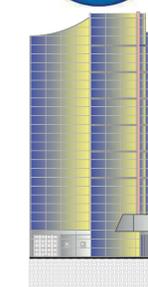
6 Vista Frontal
1 : 100



8 Losa Maciza 25 cm
1 : 100



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil



Estructura de
Base Aislada

Cimentación

Número de proyecto 001

Fecha Julio 2022

Dibujado por Joel Chimbo

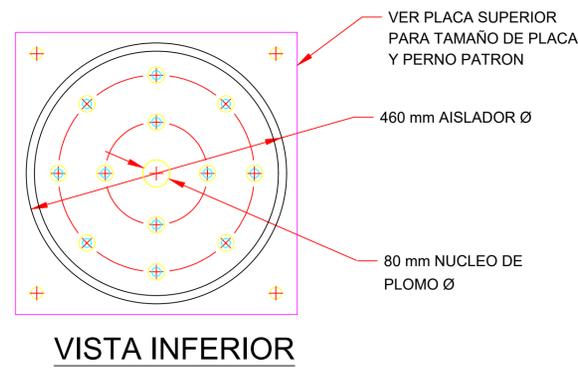
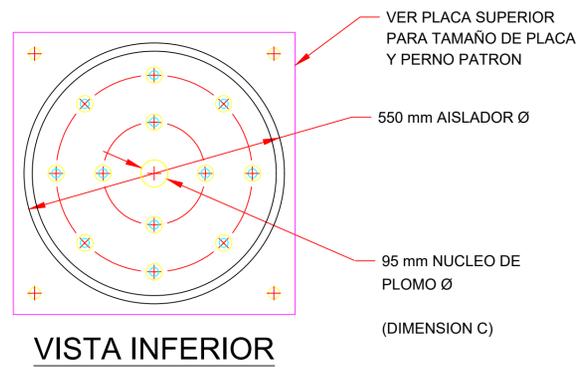
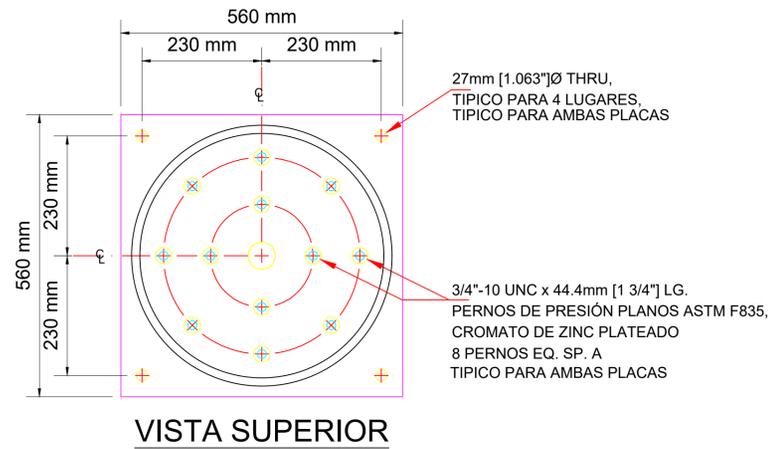
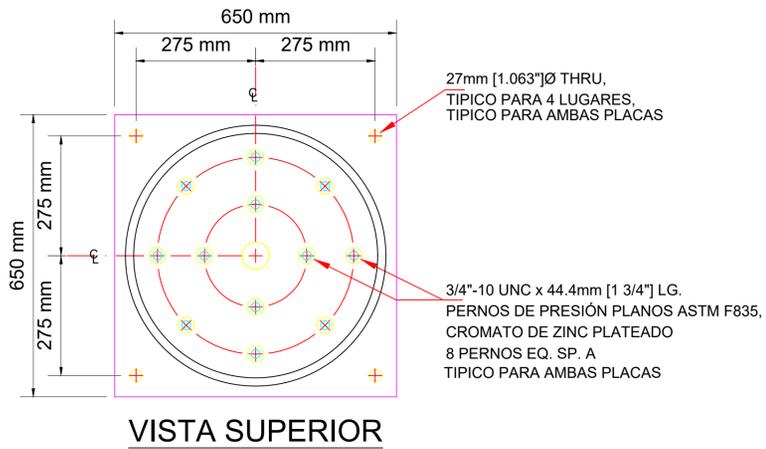
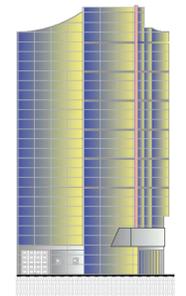
Hoja 4 - 5

Zapatas

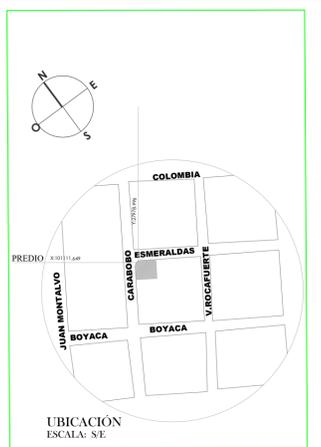
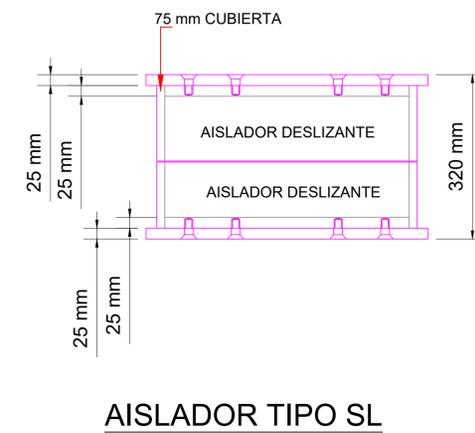
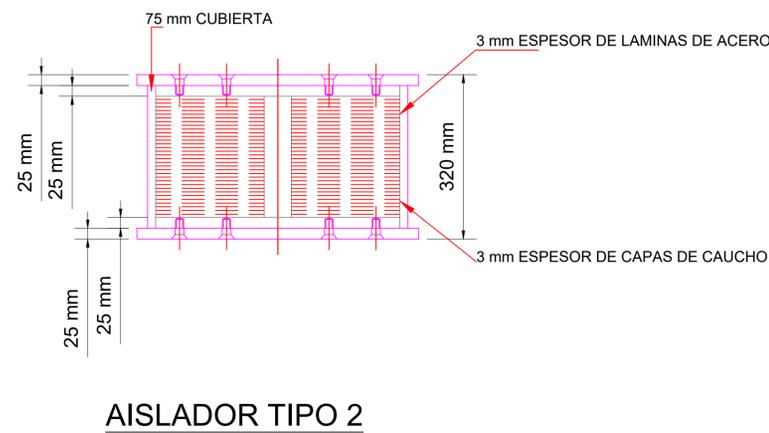
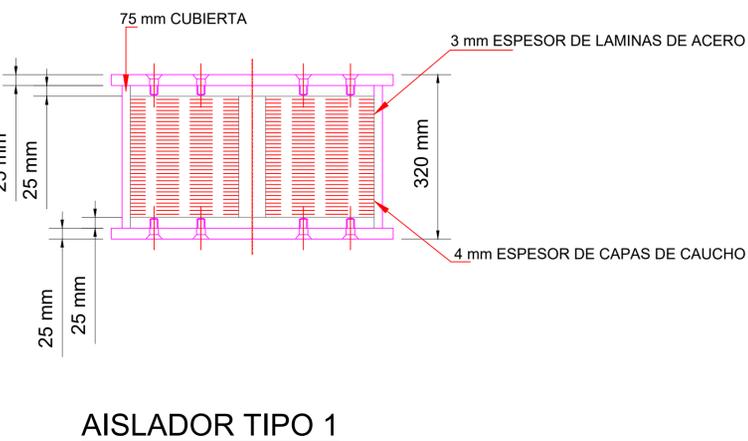
Escala Indicada



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil



- NOTAS:**
- MATERIALES:
TODAS LAS PLANCHAS SON DE ACERO ASTM A36.
TODAS LAS CAPAS SON DE ACERO ASTM A1011 GR. 36.
EL CAUCHO INTERNO ES DE 0.38MPa.
EL CAUCHO EXTERNO TIPO E100S.
 - LAS DIMENSIONES ESTAN EN UNIDADES CONOCIDAS.
 - ESTE DIBUJO NO ESTA A ESCALA
 - FINALMENTE:
PRIMER- AMERCOAT 68HS, DFT 3 MILS (75 MICRAS).
2 CAPAS- AMERCOAT 450HS, DFT 4 MILS (100 MICRAS) EA.
TOTAL DFT: 11 MILS (275 MICRAS).



Estructura de Base Aislada

Aisladores

Número de proyecto	001
Fecha	Julio 2022
Dibujado por	Joel Chimbo
Hoja 5 - 5	

Detalles

Escala	N/S
--------	-----