



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DISEÑO DE SISTEMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO EN LA BASE CON DISPOSITIVOS LRB PARA UN CENTRO HOSPITALARIO APORTICADO SEGÚN NORMA EN LA CIUDAD DE TRUJILLO 2020.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Br. Jorge Luis Mendoza Vargas

Br. Juan Osmar Sanchez Guevara

Asesor:

Mg. Roger Estuardo Ramírez Mercado

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios por brindarme paz, salud y tranquilidad en situaciones difíciles.

A mi Madre Aurelia por su gran apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A la memoria de mi Padre Celso por haberme protegido y estar siempre conmigo.

Jorge Luis Mendoza Vargas

La presente tesis está dedicada a DIOS por que me dio la fuerza y perseverancia de seguir adelante con mis estudios por encontrar destrezas y habilidades que se desarrollaron en mí, en el transcurso del tiempo.

A mis padres por su amor infinito, por la confianza que ellos me brindan, por sus consejos y su apoyo incondicional para seguir adelante con mis logros.

A mi familia en general, quienes sin esperar nada a cambio me motivaron para seguir alcanzando mis sueños.

Juan Osmar Sanchez Guevara

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a nuestras familias por su constante apoyo y motivación para ser profesionales.

Especial gratitud al Ingeniero Mg. Roger Ramírez Mercado, quien es un destacado profesor y referente de la Ingeniería Civil, por haber asesorado el desarrollo inicial de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad de la problemática	14
1.1.1. Sistema de Aislamiento Antiguo	15
1.1.2. Sistema de Aislamiento en el Mundo	18
1.1.3. Sistema de Aislamiento en el Perú	21
1.1.4. Antecedentes.....	22
1.1.5. Bases Teóricas	26
1.1.6. Estructuración de Concreto Armado	77
1.1.7. Parámetros de Diseño Sismorresistente NTP E.030.....	107
1.2. Formulación del Problema	119
1.3. Objetivos.....	119
1.3.1. Objetivo General.....	119
1.3.2. Objetivos Específicos	119
1.4. Hipótesis	120
1.4.1. Hipótesis General	120
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	121
2.3 Procedimiento.....	121
2.3.1 Modelamiento Estructural	121
CAPÍTULO III. RESULTADOS	168
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	198
REFERENCIAS.....	201
ANEXOS.....	203

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones del Aislador y placas de montaje.....	48
Tabla 2: Propiedades y Desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador.....	49
Tabla 3: Valor de f_1 para un Aislador Circular.....	65
Tabla 4: Valor de f_2 para un Aislador Circular.....	66
Tabla 5: Controles que debe cumplir el espesor de Goma.....	67
Tabla 6: Factor de zonas Sísmicas “Z”.....	103
Tabla 7: Factor de zonas Sísmicas “Z”.....	105
Tabla 8: Factor “S”.....	105
Tabla 9: Periodo “TP” y “TL”.....	106
Tabla 10: Categoría de las Edificaciones y Factor “U”.....	107
Tabla 11: Categoría y Sistema Estructural de las Edificaciones.....	108
Tabla 12: Categoría y Sistema Estructural de las Edificaciones.....	109
Tabla 13: Límites para la Distorsión del Entrepiso.....	112
Tabla 14: Predimensionamiento de Columnas.....	121
Tabla 15: Espesores mínimos para luces de losa aligerada.....	123
Tabla 16: Factor de Zona “Z”.....	128
Tabla 17: Condiciones Geotécnicas.....	128
Tabla 18: Factor de Suelo “S”.....	129
Tabla 19: Periodos "TP" y "TL".....	129
Tabla 20: Categoría de las Edificaciones y Factor "U".....	130
Tabla 21: Coeficiente básico de Reducción R_o	131

Tabla 22: Cortante Estático.....	140
Tabla 23: Cortante Dinámico.....	141
Tabla 24: Verificación del Cortante Dinámico > que el 90% que el cortante Estático.....	141
Tabla 25: Casos de Modales y Periodos.....	143
Tabla 26: Derivas de modelamiento Empotrado Dirección XX.....	147
Tabla 27: Derivas de modelamiento Empotrado Dirección YY.....	149
Tabla 28: Dimensiones del Aislador - Dynamic Isolation Systems.....	151
Tabla 29: Propiedades de diseño del Aislador - Dynamic Isolation Systems.....	152
Tabla 30: Propiedades dinámicas del aislador LRB.....	153
Tabla31: Datos de entrada de Espectro.....	154
Tabla 32: Datos de Entrada del Aislador.....	154
Tabla 33: Propiedades dinámicas del aislador LRB y Espectros de aceleraciones E.030 - 2016.....	154
Tabla 34: Propiedades dinámicas de diseño para el aislador LRB en Etabs.....	155
Tabla 35: Descripción de la cantidad de ejes y la longitud entre ejes en la dirección X...161	
Tabla 36: Descripción de la cantidad de ejes y la longitud entre ejes en la dirección Y...162	
Tabla 37: Descripción de Pisos y altura.....	162
Tabla 38: Dimensiones de los elementos estructurales del modelamiento empotrado.....	163
Tabla 39: Dimensiones de los elementos estructurales del modelamiento Aislado.....	163
Tabla 40: Parámetros de Análisis sísmico en el modelamiento Empotrado.....	164
Tabla 41: Derivas en dirección X del Sistema Empotrado.....	165
Tabla 42: Derivas en dirección Y del Sistema empotrado.....	165
Tabla 43: Predimensionamiento del aislador.....	169

Tabla 44: Características de los materiales para el Aislador LRB.....	169
Tabla 45: Parámetros de análisis sísmico del sistema aislado.....	170
Tabla 46: Propiedades dinámicas para el espectro de aceleraciones.....	170
Tabla 47: Resultados de Periodos Naturales de Vibración.....	176
Tabla 48: Resultados de Aceleraciones Espectrales.....	177
Tabla 49: Resultados de Factores de participación modal en dirección X.....	178
Tabla 50: Resultados de Fuerzas en el centro de masas.....	178
Tabla 51: Resultados de Desplazamientos en el centro de masas.....	179
Tabla 52: Derivas de entrepiso de los diferentes sismos.....	179
Tabla 53: Cargas Axiales, Desplazamientos y Rotaciones.....	180
Tabla 54: Deformaciones angulares de compresión, rotación y corte.....	181
Tabla 55: Control de Deformaciones.....	182
Tabla 56: Espesor de placa SHIM.....	182
Tabla 57: Controles por Pandeo.....	183
Tabla 58: Datos de entrada para el diseño de placas Exteriores.....	183
Tabla 59: Espesor de placas Exteriores.....	184
Tabla 60: Derivas de modelamiento de aislador en dirección X.....	184
Tabla 61: Derivas de modelamiento de aislador en dirección Y.....	185

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Las siete Placas tectónicas principales y ocho secundarias.....	27
Figura 2: Hipocentro y Epicentro	29
Figura 3: Esquema de estructura con sistemas de control activo.....	31
Figura 4: Esquema de estructura con sistema de control Semi Activo.....	32
Figura 5: Aislador LDRB.....	37
Figura 6: Aislador LRB.....	38
Figura 7: Aislador HDRB.....	39
Figura 8: Apoyo deslizante Plano.....	41
Figura 9: Combinación de Apoyo Deslizante y Aislador Elastomérico.....	42
Figura 10: Péndulo Friccional.....	43
Figura 11: Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB).....	45
Figura 12: Dimensiones de un Aislador con Núcleo de Plomo.....	47
Figura 13: Comportamiento Histerético de un aislador Elastomérico.....	50
Figura 14: Geometría de una Goma.....	58
Figura 15: Distribución por mosaico de cargas.....	60
Figura 16: Cargas, desplazamiento y giro actuando en un caucho parte del aislador.....	62
Figura 17: Área reducida de un aislador Elastomérico.....	64
Figura 18: Método del área reducida para determinar el espesor de placas externas.....	74
Figura 19: kl_u distancia entre los puntos de inflexión.....	79
Figura 20: Diagrama de Momento de primer y segundo orden de una columna sometida a flexo – compresión.....	80
Figura 21: Factor de Longitud Efectiva k	81

Figura 22: Columna sometida a carga con excentricidades cada vez mayores.....	84
Figura 23: Forma típica de un diagrama de interacción para una columna con estribos....	86
Figura 24: Superficie de interacción para Flexo compresión Biaxial.....	90
Figura 25: Tipos de Fallas de una Sección en Flexión.....	94
Figura 26: Sección Rectangular. Deformaciones y fuerzas internas en la falla.....	95
Figura 27: Condiciones de apoyo y de aplicación de las cargas externas en las cuales se puede reducir la fuerza V_u de diseño a d de la cara.....	93
Figura 28: Condiciones de apoyo y de aplicación de las cargas externas en las cuales No se puede reducir la fuerza V_u de diseño a d de la cara.....	94
Fuente 29: Tipos de agrietamiento en vigas de concreto armado.....	95
Fuente 30: Casos en los cuales la resistencia a la torsión es indispensable para el equilibrio de la estructura (Torsión de Equilibrio)	98
Fuente 31: Casos en los cuales la resistencia a la torsión NO es indispensable para el equilibrio de la estructura (Torsión de Equilibrio.....	98
Figura 32: Zonas Sísmicas.....	103
Figura 33: Modelamiento Estructural Empotrado.....	116
Figura 34: Definición de Materiales Concreto y Acero.....	117
Figura 35: Definición de propiedades del Concreto.....	118
Figura 36: Definición de propiedades del Acero.....	119
Figura 37: Configuración de Secciones Estructurales.....	123
Figura 38: Configuración de Losa Aligerada y Maciza.....	124
Figura 39: Modelamiento de Losa Aligerada.....	124
Figura 40: Configuración de Muros de Ascensor y escalera.....	125

Figura 41: Configuración de patrones de cargas.....	126
Figura 42: Configuración de excentricidad de sismo estático X.....	127
Figura 43: Configuración de excentricidad de sismo estático X.....	127
Figura 44: Espectro de respuesta de la edificación.....	132
Figura 45: Configuración del peso sísmico según Norma E.030.....	133
Figura 46: Configuración de cargas en la losa Aligerada según Norma E.020.....	134
Figura 47: Configuración de cargas en la Losa Maciza según Norma E.020.....	135
Figura 48: Configuración del Sismo Dinámico X y Y.....	13
Figura 49: Combinaciones Según Norma E.060.....	138
Figura 50: Grafico del cortante Estático X.....	139
Figura 51: Grafico del cortante Dinámico X.....	140
Figura 52: Periodos Modal 1.....	144
Figura 53: Periodos Modal 2.....	145
Figura 54: Periodos Modal 3.....	146
Figura 55: Grafico de Derivas Sismo Dinámico XX.....	148
Figura 56: Grafico de Derivas Sismo Dinámico YY.....	149
Figura 57: Definiciones de Aisladores LRB.....	153
Figura 58: Definiciones de propiedades de Aisladores LRB.....	156
Figura 59: Definición de Kv del Aisladores LRB.....	157
Figura 60: Definición de Kef, K1, Fy y r del Aisladores LRB.....	158
Figura 61: Definición de Kef, K1, Fy y r del Aisladores LRB.....	159
Figura 62: Grafico de Espectro de Diseño en dirección X.....	164
Figura 63: Grafico de Derivas en dirección X.....	166

Figura 64: Grafico de Desplazamientos en X.....	167
Figura 65: Grafico de Cortantes en X.....	168
Figura 66: Diagrama de Histéresis DE_LB.....	171
Figura 67: Espectro de Respuesta DE_LB.....	171
Figura 68: Diagrama de Histéresis DE_UB.....	172
Figura 69: Espectro de Respuesta DE_UB.....	172
Figura 70: Diagrama de Histéresis MCE_LB.....	173
Figura 71: Espectro de Respuesta MCE_LB.....	173
Figura 72: Diagrama de Histéresis MCE_UB.....	174
Figura 73: Espectro de Respuesta MCE_UB.....	174
Figura 74: Diagrama de Histéresis del Aislador LRB.....	175
Figura 75: Modelamiento de Aislador LRB.....	186
Figura 76: Corte de Elevación de Aislador LRB.....	187
Figura 77: Detalles de diseño de Aislador LRB en planta y Corte.....	187

RESUMEN

La presente investigación nace por realizar el diseño sísmico con dispositivos LRB según nueva Norma Técnica E.031 de “Aislamiento Sísmico”, aprobado mediante el decreto supremo N° 030-2019 – Vivienda. La investigación tiene como objetivo comparar el comportamiento estructural con y sin aisladores sísmicos de un sistema esencial aporticado. La construcción de Hospitales con aisladores sísmicos es importante en nuestro país ya que protege la estructura de los efectos de movimiento del suelo mediante la separación de la base, siendo un edificio esencial que cuya función no debería ser interrumpida después de un sismo. Por eso se planteó diseñar las propiedades de los dispositivos del sistema de aislamiento LRB cuya metodología consiste en revisión teórica donde se estudió el comportamiento dinámico con base aislada. Se realizó el predimensionamiento y estructuración de los elementos estructurales, se pre diseñaron las propiedades de los dispositivos del sistema de aislamiento, el diseño definitivo de los dispositivos se realizó a través de un análisis dinámico lineal donde se calcularon las máximas repuestas del edificio en términos de derivas, aceleraciones, desplazamientos y fuerzas. Luego se desarrolló el análisis de los elementos estructurales, obteniendo como resultado un daño leve de los elementos estructurales después de un sismo extremo.

Palabra Clave: Aisladores Sísmicos, Diseño Estructural, Análisis Dinámico, Dispositivos LRB.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad de la problemática

Nuestro país, está ubicado dentro del “Cinturón de Fuego” y casi al borde del encuentro de dos placas tectónicas. La Sudamericana y la de Nazca, entre las dos provocan un efecto llamado subducción, por lo cual en los últimos años habido un gran número de sismos de gran poder destructivo en la parte occidental de nuestro territorio. Los sismos locales y regionales tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales. Estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, han tenido un gran poder destructor. Al reconocer la presencia de este peligro en el Perú es por eso que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento publica una Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico” y la incorporación al índice del Reglamento Nacional de Edificaciones (Decreto Supremo N° 030-2019-Vivienda) la cual dispone que los nuevos establecimientos de salud pública y privada del nivel II y III, según la clasificación del Ministerio de Salud, Categorizados como edificios esenciales A1, deben contar con sistema de aislamiento sísmico en la base cuando se encuentran en la zona sísmica 4 y 3; también es permitido utilizar aislamiento sísmico en otros tipos de edificaciones con el fin de proteger la estructura, operatividad y salvaguardar las vidas de personas después de un siniestro.

El sistema de aislamiento protege la estructura mediante dispositivos sísmicos (LRB) que absorben gran parte de la energía del sismo, disminuyendo notablemente las deformaciones en los pisos superiores. Logrando controlar el daño de la estructura

mediante las restricciones de desplazamientos y aceleraciones relativos de entrepiso según NT E031 y normas Extranjeras.

El Aislamiento en Base es la herramienta más potente de la ingeniería sísmica permitiendo un valor pasivo de la vibración de la estructura. Esta herramienta es capaz de proteger la estructura del efecto devastador de impacto sísmico a través de un diseño inicial apropiado. Contrariamente a la creencia popular el aislamiento de base no hace al edificio a prueba de terremotos, aunque su eficacia en la protección de las estructuras contra los terremotos ha sido ampliamente demostrada también por pruebas en mesa vibratoria a escala real, que constituyen los ensayos más representativos en las investigaciones de ingeniería sísmica. En la actualidad la técnica está conseguida para cualquier tipo de edificio, incluso edificios más altos y flexibles.

1.1.1. Sistema de Aislamiento Antiguo

Existe un amplio número de edificios históricos protegidos con algún sistema de aislamiento. La historia de los aisladores sísmicos se remonta al año 2000 a.C. en el Palacio de Knossos, Creta – Grecia. El sistema consistía en ubicar una capa de arena fina debajo de la cimentación del Palacio, cuyo resultado era un aislamiento de base de tipo friccional.

En el año 550 a.C. en la Tumba de Ciro, ubicado en Irán, está constituido por varias capas de piedra lisa y sin ningún tipo de mortero o material pegajoso entre ellos forman una especie de aislamiento de la base. En el año 447 a.C. en el templo Partenón, ubicado en Grecia, la construcción fue sobre la base y parte de un lecho de piedra para que la fundación fuera flexible durante un terremoto.

Esta técnica de tres capas de piedra cortada y sin mortero, es conocida como sistema de fundación ‘Orthostat’. Para asegurar un adecuado comportamiento, los entornos de la fundación son dejados libres sin entrar en contacto con otras zonas del suelo u otras estructuras. Por otro lado, Kirikov señala que la tumba de Ciro es una estructura que satisface todos los principios de construcción sismorresistente: simetría, bajo centro de gravedad, dimensiones apropiadas. El uso de la técnica de las capas de piedra destaca también en otros casos de interés, como pudiera ser el Partenón. El ingeniero Kirikov resalta la importancia de las técnicas utilizadas por los griegos en la concepción y construcción de sus edificaciones; una de ellas es la compactación de las bases del suelo y la elaboración de fundaciones con diversas capas de materiales. Al estudiar casos de estructuras con adecuado comportamiento antisísmico en las costas del mar Negro, Kirikov menciona que encontró varios casos antiguos en los que los griegos usaron, como una de las capas de fundaciones, algas marinas, las cuales mostraron una durabilidad excepcional, inclusive mayor que la madera. Esta capa genera un comportamiento elástico en la base y un deslizamiento que permite aislamiento sísmico. Otro caso de fundaciones con capas y aislamiento sísmico, de origen griego, fue encontrada por el ingeniero Kirikov en excavaciones en el mar de Azov, en un pueblo llamado Chokrak. Kirikov menciona que encontró que las ruinas de las fundaciones de una edificación importante (muy posiblemente un templo) del siglo III A.C., mostraban huellas dejadas por el fuego, y de acuerdo con información histórica, se supone que fue sometida a la ocurrencia de un severo terremoto. En las ruinas de las fundaciones, pudo determinar la presencia de una gruesa capa de arcilla, luego una

capa de piedras de formas naturales, encima de ello una capa nivelación con piedras pequeñas, sobre las que se colocaron los bloques de fundación.

El uso de fundaciones de madera es otra manera tradicional de generar aislamiento sísmico. El caso de vivienda en la zona del mar Caspio, con fundaciones exteriores de madera. La incorporación y uso cada vez más difundido de aisladores sísmicos en edificaciones en la actualidad, constituye una innovación en el campo de la ingeniería sísmica, pero, como ha podido verse en esta breve referencia histórica, el esfuerzo por generar mecanismos de aislamiento no es una idea reciente. En el presente trabajo se hace un amplio análisis ingenieril y actual, del uso y perspectivas de los aisladores sísmicos y de los disipadores de energía, en la prevención de pérdidas de vida y disminución de consecuencias económicas causadas por terremotos.

La primera vez en utilizar un sistema de aislamiento en edificaciones se dio en la Escuela Heinrich Pestalozzi, en Skopje, actual Macedonia, en 1969, mediante un método suizo denominado “Aislamiento total de la base en tres direcciones” utilizando vigas de caucho natural sin reforzar. El edificio cuenta con 54 aisladores de goma natural, de 70 x 70 cm, 20 cm de alto. En la actualidad, en el Perú la primera experiencia en diseño con aisladores sísmicos fue en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y está en construcción la nueva biblioteca de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) usando este tipo de sistema.

1.1.2. Sistema de Aislamiento en el Mundo

La primera patente de aislamiento en la base se presentó en EEUU por el ciudadano alemán Jacob Bechtold en el año 1906 y corresponde a un aislamiento por fricción. El sistema propuesto separa el movimiento del terreno y la cimentación mediante una junta con esferas metálicas.

En 1929, Robert Wladislas de Montalk de Wellington, Nueva Zelanda, presentó una patente para un edificio apoyado en resortes que minimizaban y adsorbían impactos.

Un primer edificio de 7 pisos construido con un sistema de aislamiento por fricción ha sido uno de hormigón armado en Sevastopol, Criméa, que soportó satisfactoriamente un terremoto intenso de 1977.

En 1974 se construyó una escuela de 4 pisos en la ciudad de México, cada columna estaba apoyada en dos placas metálicas con más de 100 esferas metálicas en su interior y un dispositivo que limita el desplazamiento lateral a 12 cm. No hubo evidencia que el aislador se activara durante el terremoto de México en 1985, porque la aceleración medida en el desplazamiento de la escuela fue sumamente baja.

La alta sismicidad en Japón ha contribuido mucho al empleo y desarrollo de aisladores dinámicos. En el año 1991 ya existían en Japón más de 58 edificios construidos con neopreno reforzado (Apoyos compuestos de capas intercaladas de Elastómero o Gomas de Caucho y acero) de varios tipos. En noviembre de 1995 este número se incrementó a 125 edificios y ha continuado su crecimiento como consecuencia de un buen resultado durante el terremoto de Kobe en 1995.

El aislamiento en base fue propuesto inicialmente para la construcción de edificios nuevos, sin embargo, su empleo ha tenido mucho éxito en la rehabilitación sísmica de

edificios históricos. Esta técnica a sido empleada en EEUU en la reparación de edificios Salt Lake City and County y Masonic Hall, ambos en la ciudad de Salt Lake, Utah y de la escuela de minas de Mackay en Reno, Nevada.

El sistema de neopreno reforzado es el más empleado, puesto que de los más de 75 edificios con aislamiento sísmico que existen en EEUU 72 son de esta clase. Sin embargo, el aislamiento por fricción a ganado terreno en los últimos años, desde que el edificio más grande y pesado de todos los rehabilitados, la corte de apelaciones de San Francisco fuese aislado sísmicamente mediante un sistema de fricción.

En 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho: la escuela Pestalozzi de tres pisos hecha de concreto en Skopje, Yugoslavia.

En 1978 se construyó en viaducto de Toe-toe en North Island, en Nueva Zelanda. Fue la primera estructura con aisladores sísmicos hechos con capas intercaladas de caucho y acero con un núcleo de plomo en el centro para que ayude a disipar la energía. Este tipo de aisladores llamados LRB (Lead Rubber Bearing) son de amplio uso actualmente.

Un pequeño número de edificios aislados fueron construidos en nueva Zelanda e Italia principalmente por ser muy importantes. En 1981 se terminó el primer edificio aislado con LRB: Edificio William Clayton en Wellington, Nueva Zelanda.

El primer edificio aislado en los Estados Unidos es Foothills Communities Law and Justice Center (FCLJC) ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles. Este edificio construido a inicios de 1984 y terminado a mediados de 1985 fue hecho sobre aisladores elaborados con caucho de alto amortiguamiento natural. El mismo sistema

de aisladores de alto amortiguamiento fue empleado en el Fire Command and Control Facility (FCCF).

En Estados Unidos el proceso de la elaboración de códigos que incluyeran pautas para el diseño con aisladores sísmicos empezó con una simple publicación de la Asociación de Ingenieros estructurales del Norte de California llamada “Tentative Seismic Isolation Design Requirements” (SEAOC 1986), la cual, se basaba principalmente en el diseño con métodos estáticos. En las últimas versiones el diseño se basa fundamentalmente en el análisis dinámico de las estructuras. Por otro lado, por encargo del Consejo de Seguridad Sísmica para Edificios, se incorporaron los requerimientos para el diseño de estructuras con aislación sísmica y disipación de energía en los requerimientos de NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) en el año 1995. Esos requerimientos fueron modificados en la versión del año 1997, en los documentos del SEAOC (Asociación de ingenieros Estructurales de California).

En el caso de Sudamérica, Chile ha sido uno de los primeros países en incorporar aisladores sísmicos a sus estructuras. Cuenta además con su norma NCh2745 – 2013. Entre los edificios actualmente aislados en Chile se tiene: un bloque del conjunto habitacional Comunidad Andalucía construido entre los años 1991 y 1992 para un estudio hecho por la Universidad Católica de Chile, el centro médico San Carlos de Apoquindo de la Universidad Católica de Chile construido en el año 2000 y el Hospital Militar inaugurado en el año 2008.

1.1.3. Sistema de Aislamiento en el Perú

Uno de los primeros edificios aislados en el Perú fue la biblioteca del Campus Villa en Chorrillos – Lima (2012) de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), tiene 3 pisos, 26 aisladores Elastoméricos y 15 deslizadores. El edificio de ciencias de la salud de la UPC (2013), también cuenta con sistema de aislamiento Elastomérico con un total de 18 dispositivos.

El edificio de la Universidad UTEC – Barranco, Lima (2012-2013) cuenta con sistema de aislamiento 145 dispositivos Elastoméricos y 04 deslizadores.

La Pontificia Universidad Católica del Perú cuyo campus Aulario (CIA) de 7 pisos y 3 sótanos cuenta con 28 dispositivos Elastoméricos, así como también la Biblioteca – campus PUCP de 4 pisos y 2 sótanos que cuenta con 45 dispositivos Elastoméricos HDR, LRB y Deslizadores.

La primera edificación tipo oficina con aisladores sísmicos fue Edificio Corporativo GyM de la empresa Graña y Montero (2012). Esta oficina cuenta con 7 pisos y 4 sótanos, empleando 28 aisladores Elastoméricos y 8 Deslizadores.

El Hospital Regional de Moquegua (2014) fue el primero en la categoría establecimiento de salud con aislación sísmica, cuenta con 216 dispositivos Elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores.

El Hospital Santa Gema en Yurimaguas - Loreto (2014) fue el primer edificio en la selva con aisladores sísmicos, 172 dispositivos Elastoméricos HDR y Deslizadores.

El Hospital Regional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco (2015) cuenta con aisladores sísmicos, 186 dispositivos Elastoméricos HDR y Deslizadores.

El uso de los aisladores sísmicos en el Perú aún no presenta gran demanda, debido a que hay una carencia de información e investigación en la aplicación de este mecanismo.

1.1.4. Antecedentes

La tesis de Jacobo, Y., & Quispe, Juan. (2014). DISEÑO ESTRUCTURAL COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DUAL Y CON AISLAMIENTO SISMICO EN LA BASE PARA UNA CLINICA DE 8 PISOS EN LA CIUDAD DE TRUJILLO. Universidad Privada Antenor Orrego Trujillo, Perú. En la presente tesis se dice que “Los eventos sísmicos son un fenómeno natural que nos ha acompañado desde siempre y que inevitablemente nos seguirá acompañando en el futuro”.

En Trujillo se registraron varios eventos sísmicos, siendo el de mayor consideración el producido en el año 1619, actualmente la ciudad presenta un silencio sísmico de aproximadamente 100 años. Las edificaciones de salud son de vital importancia después de producido los eventos sísmicos, ya que estas son las instituciones encargadas de dar atención a todas las personas afectadas, por eso este tipo de edificaciones no debería colapsar ni presentar daños importantes en su estructura ni en los elementos que contiene (equipo médico). Por la alta vulnerabilidad que presenta el país ante eventos sísmicos, esta Tesis está orientada a la implementación de un sistema de aislamiento sísmico en la base para las edificaciones de salud en la ciudad de Trujillo. Perú forma parte de la zona conocida como “Cinturón de Fuego del Pacífico” (zona altamente sísmica y volcánica) y está prácticamente ubicado sobre una falla geológica, el encuentro de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Razón por lo

cual el país ha experimentado en los últimos 50 años importantes eventos sísmicos, que han provocado pérdidas humanas y materiales, siendo el de mayor envergadura en 1970 en el departamento de Huaraz

La tesis realizada por Korswagen, P., Arias, J., & Huaranga, P. (2012). ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN EL PERÚ, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. En su presente trabajo de investigación define que la aislación de edificaciones consiste en colocar un dispositivo flexible entre el suelo y la estructura de forma que se reduzcan considerablemente las solicitaciones sísmicas a las que ésta estaría sometida. Así, se puede optar por un diseño con un factor de reducción de fuerza sísmica menor y se puede obtener como resultado una edificación que no sufrirá daños y permanecerá totalmente operativa durante y después de un evento sísmico. Las reducidas aceleraciones también protegen a los elementos no estructurales y a los contenidos de la edificación. Los aisladores son dispositivos que cuentan con una elevada rigidez a cargas verticales, pero son flexibles frente a solicitaciones laterales. Por consiguiente, las fuerzas transmitidas a la estructura por un sismo severo generan desplazamientos del orden de 25 centímetros en la interfase de aislación, pero derivas significativamente menores en la superestructura. Esta tesis se enfoca en el uso de aisladores Elastoméricos, los cuales aprovechan la flexibilidad de un material similar al caucho para conseguir una baja rigidez lateral, pero lo combinan con planchas de acero para elevar la rigidez vertical. Se concluyó que la aislación sísmica de edificaciones en el Perú resulta beneficiosa en la mayoría de los casos, debido a que las frecuencias predominantes de los sismos son altas, lo que implica que

estructuras con periodos altos, como es el caso de las estructuras con aislación, no amplifican las aceleraciones. No obstante, la frecuencia de vibración de los suelos debe tenerse en cuenta, por lo que los suelos del tipo S3, por lo general con frecuencias bajas de amplificación, resultan indeseables. La eficiencia del diseño se logra cuando las fuerzas finales son como máximo iguales a las que se obtendrían con un diseño sin aislación, con la diferencia, de que el diseño aislado no se espera daños por comportamiento inelástico de la estructura.

La tesis realizada por José Soriano Chaco (2014). COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL PABELLÓN A DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CON AISLADORES SÍSMICOS ELASTOMÉRICOS Y SIN AISLADORES SÍSMICOS, sobre la comparación de la respuesta estructural del pabellón A de la Universidad Privada del Norte con aisladores sísmicos Elastomérico y sin aisladores sísmicos. Demostró que para la estructura con aisladores sísmicos, la respuesta estructural tiene un mejor comportamiento que el edificio sin aisladores sísmicos, debido a que las derivas y fuerzas en la base son minimizados, aunque los aisladores presentan un mayor desplazamiento a nivel de diafragmas y diferentes valores de desplazamientos absolutos para el análisis tiempo-historia, para la estructura con aisladores respecto de la estructura convencional las derivas de entrepiso se han disminuido en varios porcentajes. Al evaluar dichos resultados, podemos concluir que los aisladores de base Elastomérico proporcionan un mejor desempeño sísmico, reduciendo las fuerzas de diseño en la estructura, producto de los desplazamientos relativos (derivas) que son significativos.

El Libro de R. Aguiar, J.L. Amazan, P. Dechent, V. Suarez, AISLADORES DE BASE ELASTOMÉRICOS Y FPS, nos brinda un desarrollo completo para el diseño de aisladores Elastoméricos, pero tomando en cuenta la norma FEMA 450 (FEMA2003). Tiene como primer objetivo resistir movimientos sísmicos menores y moderados sin daño a los elementos estructurales, elementos no estructurales, o a los contenidos del edificio, y como segundo objetivo resistir movimientos sísmicos mayores sin que el sistema de aislamiento colapse, sin daño significativo a los elementos estructurales y no estructurales, para no interrumpir el funcionamiento del edificio.

Hernández Morales, Hernán Martín en su investigación ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO AISLADO SÍSMICAMENTE Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE AISLAMIENTO realiza un análisis sísmico basado en los métodos Estático Equivalente y Dinámico Modal Espectral usando el programa computacional ETABS. Las conclusiones son: las cortantes por piso se reducen en un 50% llegando a valores cercanos a 70% de disminución en el último nivel del edificio y las derivas se pueden reducir más del 75% llegando a valores que sobrepasan el 90%. Han considerado la norma E.030. No han considerado placas ni muros portantes.

La tesis de F. Cando, C. Monroy, J. Ortega, O. Puerres, de la Universidad Central de Ecuador, AISLACIÓN SÍSMICA DE UN EDIFICIO (ANÁLISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO TRADICIONAL), realizan una comparación de diferentes estructuras haciendo aplicación de aisladores Elastoméricos y del tipo friccionante, considerando un análisis dinámico no lineal

según la NEC-11, y para la estructura aislada la Nch 2745. Llegando a la conclusión finalmente que los esfuerzos en columnas, vigas y diafragmas son notoriamente menores, disminuyendo las cuantías en 40% aproximadamente, y haciendo uso de un periodo de diseño de 2 segundos.

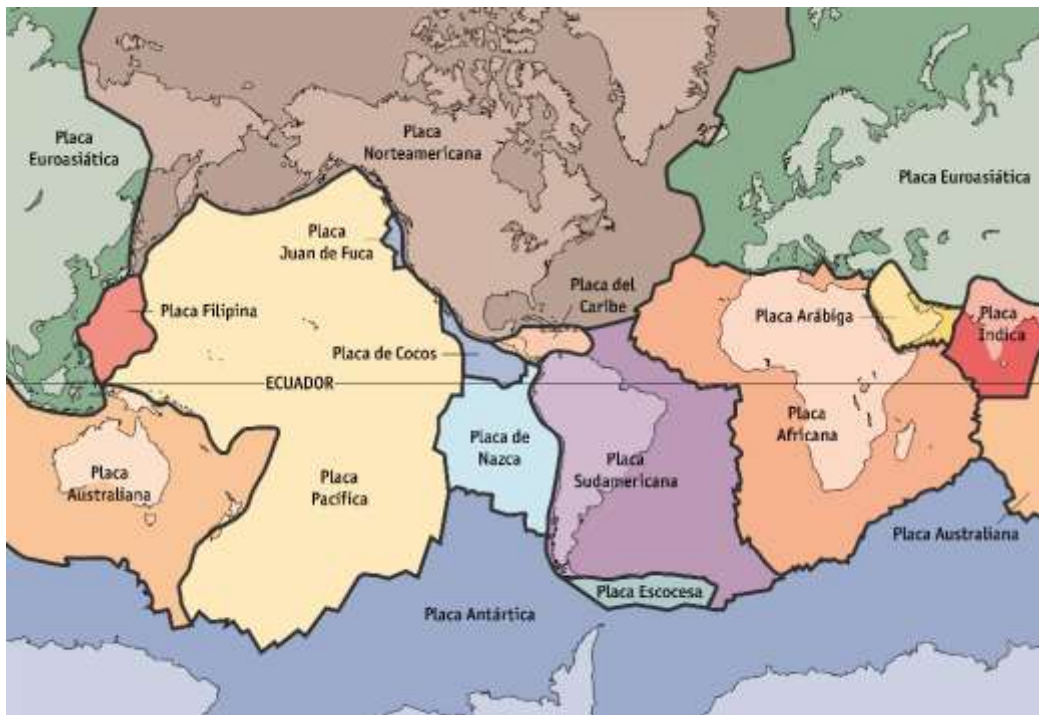
1.1.5. Bases Teóricas

1.1.5.1. Introducción

Para comprender el funcionamiento de los sistemas de aislamiento sísmico, es conveniente recordar cómo se producen los terremotos. Un terremoto es el movimiento brusco de la Tierra, causado por la brusca liberación de energía acumulada durante un largo tiempo. La corteza de la Tierra está conformada por una docena de placas de aproximadamente 70 km de grosor, cada una con diferentes características físicas y químicas. Estas placas ("tectónicas") se están acomodando en un proceso que lleva millones de años y han ido dando la forma que hoy conocemos a la superficie de nuestro planeta, originando los continentes y los relieves geográficos en un proceso que está lejos de completarse.

Figura 1:

Las siete Placas tectónicas principales y ocho secundarias.



Fuente: Wikipedia.org.

El terremoto se produce cuando se acumula un nivel de esfuerzos y deformaciones de tal intensidad, que se genera una ruptura brusca en la falla. Al ocurrir un terremoto, se libera energía acumulada, con lo que se producen desplazamientos en las zonas de contacto y un reacomodo de las placas. Los terremotos son, por lo tanto, consecuencia de fracturas en la corteza terrestre, las cuales se originan por ruptura de fallas geológicas, por fricción en el borde de las placas tectónicas o por procesos volcánicos. Los terremotos también pueden ser generados o inducidos por actividades humanas, como por ejemplo detonaciones nucleares y por los efectos de la construcción de

embalses de agua. Sólo el 10 % de los terremotos ocurren alejados de los límites de estas placas.

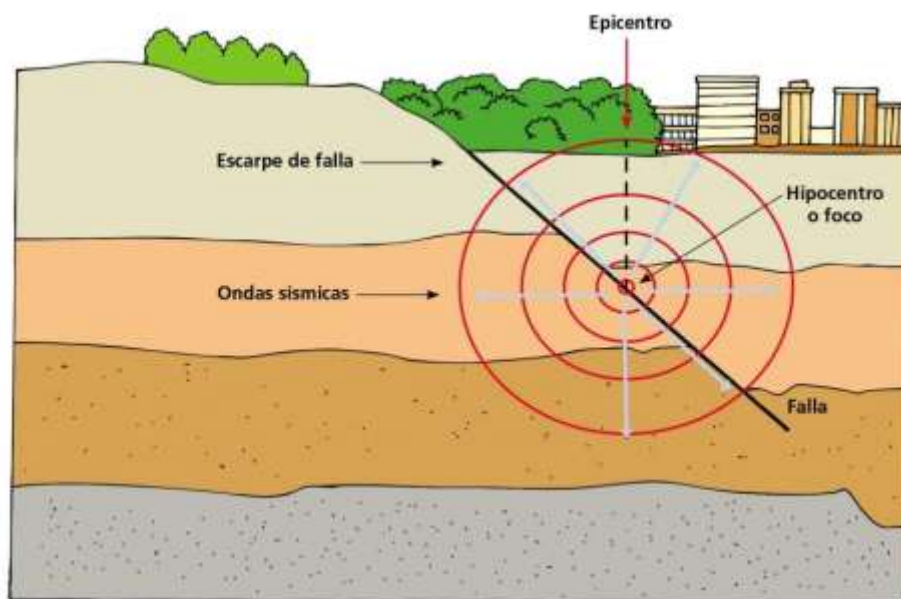
En algunos casos, las fallas se hacen muy visibles en la superficie terrestre, como es el caso de la falla de San Andrés, California. En el momento en que se produce la ruptura de la corteza y se libera la energía acumulada por las deformaciones de las placas en contacto, se genera un terremoto: un movimiento vibratorio complejo del terreno, que incluye varios tipos de ondas, con distintas amplitudes, frecuencias y tiempos de ocurrencia. Estas ondas de movimiento llegan a la base de la estructura y producen un movimiento. Una vez que el movimiento del terreno llega a la estructura, es transmitido al resto de esta y la hace oscilar. Dependiendo de las características de las ondas que llegan y de las propiedades mecánicas de la estructura (tanto desde el punto de vista de los materiales que la componen, como de su geometría), la estructura se moverá de distintas formas, con un movimiento irregular. Este movimiento es caracterizado por los desplazamientos, las velocidades y las aceleraciones de los distintos puntos de la estructura. Los desplazamientos de los distintos puntos de la estructura generarán fuerzas en elementos que la componen (vigas, columnas, muros, paredes). Estas fuerzas pueden superar la resistencia de algunos de los elementos, y eso puede producir el colapso de algunos elementos y desplazamientos importantes en la estructura, lo cual se traduce en el agotamiento o colapso parcial o total de la estructura.

En fin, la energía liberada por el terremoto (en forma de movimiento en la corteza terrestre), es transmitida como movimiento vibratorio a la estructura, lo que, según su intensidad, puede conducir al colapso parcial o total de la misma. Parte de la energía

sísmica transmitida a la estructura es disipada por mecanismos de amortiguamiento y de deformación inelástica de los materiales.

Una forma de reducir los niveles de energía que introduce el sismo a la estructura es a través del uso de sistemas de aislamiento.

Figura 2:
Hipocentro y Epicentro



Fuente: Wikipedia.org

HIPOCENTRO

Es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía en un terremoto. Cuando ocurre en la corteza de ella (hasta 70 km de profundidad) se denomina superficial. Si ocurre entre los 70 y los 300 km se denomina intermedio y si es de mayor profundidad: profundo (recordemos que el centro de la Tierra se ubica a unos 6.370 km de profundidad).

EPICENTRO

Es el punto de la superficie de la Tierra directamente sobre el hipocentro, desde luego donde la intensidad del terremoto es mayor.

1.1.5.2. Sistemas de Protección Sísmica

Los sistemas de protección sísmica de estructuras utilizados en la actualidad incluyen diseños relativamente simples hasta avanzados sistemas totalmente automatizados.

Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en tres categorías: Sistemas activos, sistemas semi-activos y sistemas pasivos. El presente documento se concentra fundamentalmente en los sistemas pasivos de protección sísmica.

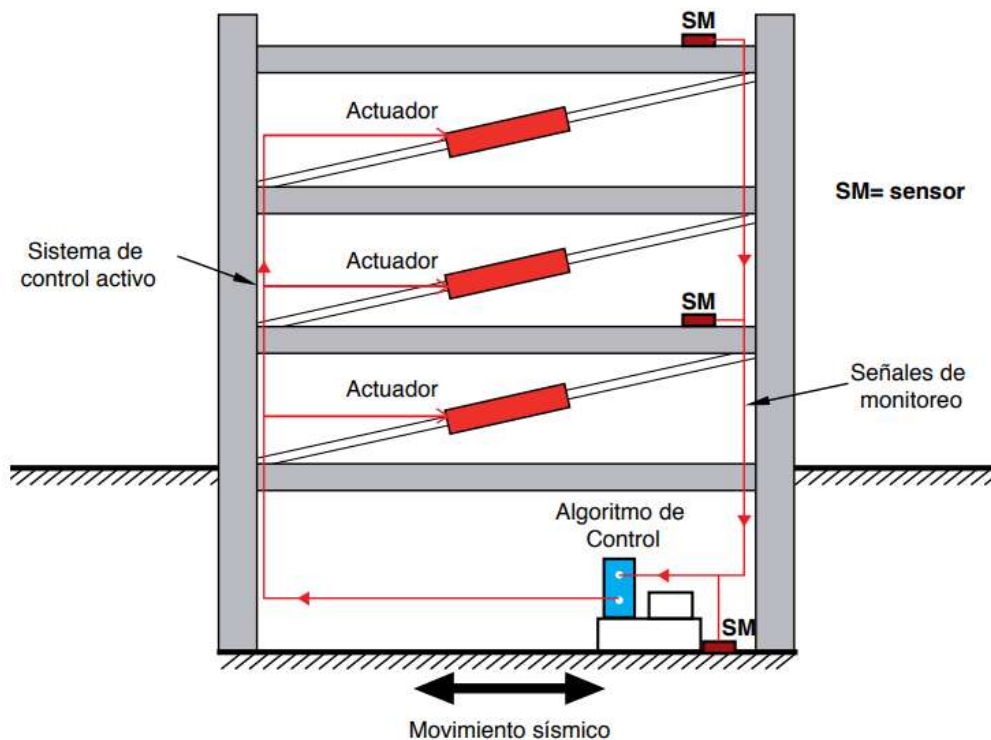
1.1.5.2.1. Sistemas Activos

Son sistemas complejos que incluyen sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos, y actuadores dinámicos. Estos sistemas monitorean la respuesta sísmica de la estructura en tiempo real, detectando movimientos y aplicando las fuerzas necesarias para contrarrestar los efectos sísmicos. El actuar de los sistemas activos se resume de la siguiente forma: las excitaciones externas y la respuesta de la estructura son medidas mediante sensores, principalmente acelerómetros, instalados en puntos estratégicos de la estructura. Un algoritmo de control procesa, también en tiempo real, la información obtenida por los instrumentos, y determina las fuerzas necesarias que deben aplicar los actuadores para estabilizar la estructura. Las fuerzas que estos sistemas utilizan son, generalmente, aplicadas por actuadores que actúan sobre masas, elementos de arriostre o tendones activos. Una de las principales

desventajas de los sistemas activos de protección sísmica, además de su costo, es que necesitan de una fuente de alimentación externa continua para su funcionamiento durante un sismo. No obstante, constituyen la mejor alternativa de protección sísmica de estructuras, ya que permiten ir modificando la respuesta de los dispositivos en tiempo real, lo que implica un mejor comportamiento de la estructura durante el sismo. Los sistemas de protección sísmica activos han sido desarrollados en Estados Unidos y en Japón. Estos sistemas han sido aplicados principalmente en Japón, donde las restricciones de espacio de las grandes urbes han detonado la construcción de estructuras de gran esbeltez.

Figura 3:

Esquema de estructura con sistemas de control activo.



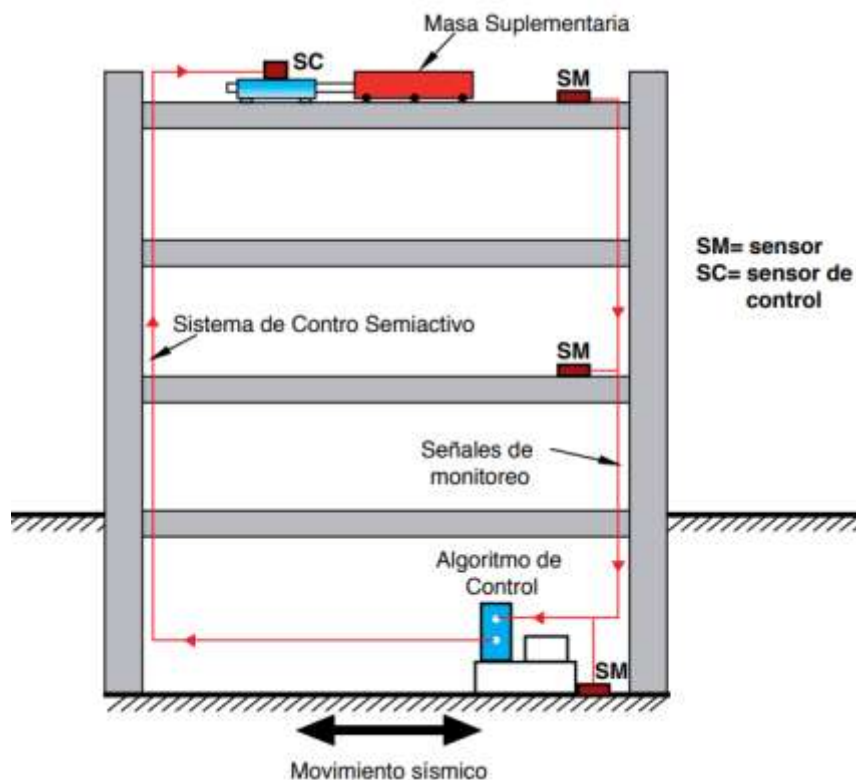
Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

1.1.5.2.2. Sistemas Semi Activos

Los sistemas semi-activos de protección sísmica, al igual que los activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural. Sin embargo, a diferencia de los sistemas activos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semiactivos, los dispositivos de fricción con fricción controlable, y los disipadores con fluidos electro- o magneto-reológicos.

Figura 4:

Esquema de estructura con sistema de control Semi Activo.



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo

Tecnológico N°29 2011.

1.1.5.2.3. Sistemas Pasivos

Los sistemas pasivos son los dispositivos de protección sísmica más comúnmente utilizados en la actualidad. A esta categoría corresponden los sistemas de aislación sísmica de base y los disipadores de energía. Los sistemas pasivos permiten reducir la respuesta dinámica de las estructuras a través de sistemas mecánicos especialmente diseñados para disipar energía por medio de calor. Dado que estos sistemas son más comúnmente utilizados, en comparación a los sistemas activos y semi activos.

1.1.5.3. Disipación de Energía

Los disipadores de energía, a diferencia de los aisladores sísmicos, no evitan que las fuerzas y movimientos sísmicos se transfieran desde el suelo a la estructura. Estos dispositivos son diseñados para disipar la energía entregada por sismos, fenómenos de viento fuerte u otras sollicitaciones de origen dinámico, protegiendo y reduciendo los daños en elementos estructurales y no estructurales. Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Un caso particular de dispositivo de disipación de energía, que ha comenzado recientemente a ser utilizado corresponde a los amortiguadores de masa sintonizada. Estos dispositivos, ubicados en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural. Al igual que los sistemas de aislación sísmica de base, los dispositivos de disipación de energía han sido ampliamente utilizados a nivel mundial en el diseño de estructuras nuevas y en el refuerzo de estructuras existentes.

Los sistemas pasivos de disipación de energía pueden ser clasificados en cuatro categorías, según sean estos activados por desplazamientos, velocidades, por una combinación de desplazamientos y velocidades, o por movimiento (fuerzas inerciales).

Beneficios: Los dispositivos de disipación de energía aumentan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, reduciendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos. Los esfuerzos, aceleraciones y deformaciones inducidos por un sismo en una estructura con sistemas de disipación de energía, pueden ser entre un 15 a 40% menor que los correspondientes a una estructura sin disipadores, logrando reducir el daño producido a elementos estructurales y no estructurales.

Limitaciones de uso: Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente luego de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, que, si bien reducen las demandas en la estructura, pueden incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras

1.1.5.4. Aislación Sísmica

La aislación sísmica de base es el procedimiento más eficiente para la protección sísmica de estructuras relativamente bajas o rígidas. Los aisladores sísmicos más desarrollados y utilizados en la actualidad son los aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (con o sin núcleo de plomo) y los deslizantes o friccionales.

“Todos los sistemas de Aislamiento en Base tienen características en común: su flexibilidad y capacidad de absorción de energía; dicho sistema, sin embargo, a fin de mejorar la respuesta estructural frente a un evento telúrico, puede constar de la combinación de distintos tipos de dispositivos de disipación de energía disponibles para tal fin” (C. Genatios y M. Lafuente, 2016).

“El aislamiento de la base es una estrategia de diseño que se fundamenta en el desacoplamiento de la estructura del movimiento del suelo, para proteger a esta del efecto de los sismos. Se consigue a partir de dispositivos flexibles al movimiento horizontal y rígido al desplazamiento vertical, ubicados entre los cimientos y la superestructura. Su presencia alarga el periodo fundamental, con lo cual desacopla de forma parcial la estructura del movimiento del terreno y limita la entrada de energía. Es reciente la introducción de amortiguamiento estructural para limitar los desplazamientos de la superestructura a valores aceptables.

El aislamiento en la base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos rígidos. El principal inconveniente que se presenta en estructuras con una elevada relación altura-ancho son los elevados momentos de volteo que pueden suponer la pérdida de equilibrio. Además, al incrementarse la altura las ventajas obtenidas al variar el período de vibración disminuyen” (Villareal y Oviedo, pág. 28 - 2008).

“La eficiencia del diseño se logra cuando las fuerzas finales son como máximo iguales a las que se obtendrían con un diseño sin aislación, con la diferencia, de que en el

diseño aislado no se esperan danos por comportamiento inelástico de la estructura”

(Korswagen Eguren, Arias Riese; & Huaranga Huamaní, 2012).

1.1.5.4.1 Tipos de Aisladores Sísmicos

a. Aisladores Elastoméricos

Los aisladores Elastoméricos están conformados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Las láminas de elastómeros son vulcanizadas a las capas de acero y, por lo general, presentan una sección circular o cuadrada. Mediante esta configuración se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores Elastoméricos depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Existen varios tipos de apoyos Elastoméricos:

- Los de apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing).
- Los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing).
- Los de alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing).
- Los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing).

Aisladores Elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB): Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores Elastoméricos. Los aisladores

tipo LDRB presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar.

Figura 5:
Aislador LDRB.

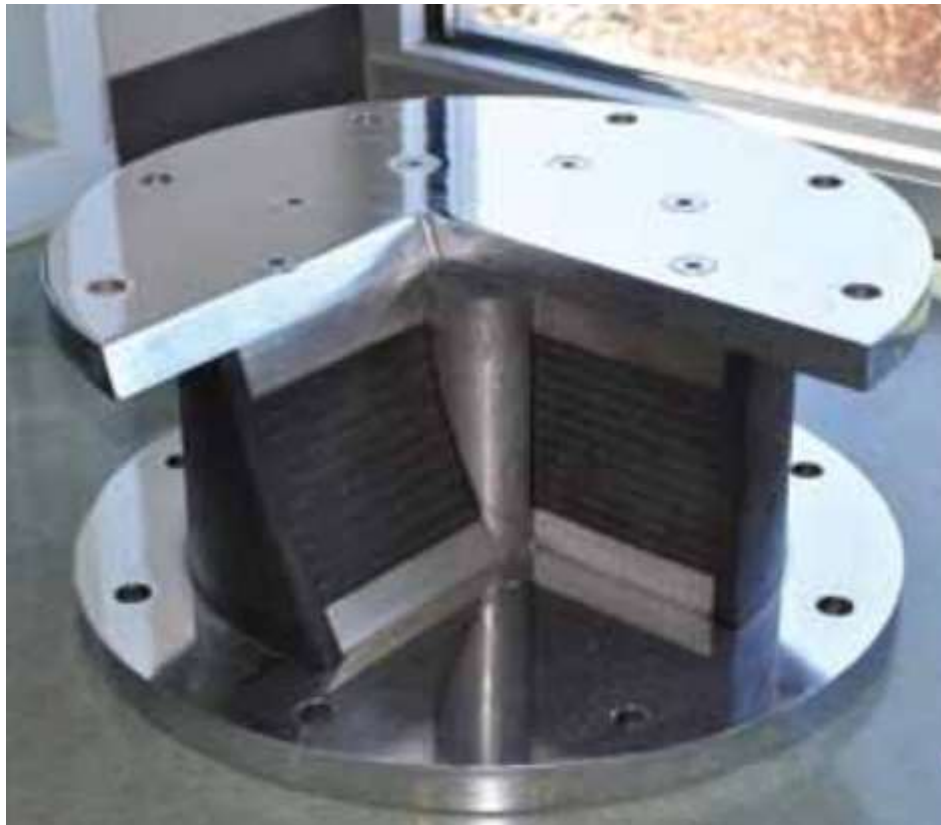


Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación
Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB): Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) son aisladores Elastoméricos similares a los LDRB, pero poseen un núcleo de plomo, ubicado en el centro del aislador, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al

término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico.

Figura 6:
Aislador LRB.



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB): Los HDRB son aisladores Elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo

LDRB y LRB. A su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación.

Figura 7:
Aislador HDRB.



Fuente: Protección Sísmico Mageba.

b. Aisladores Deslizantes

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales utilizan una superficie de deslizamiento, típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un

sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Los aisladores deslizantes planos generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores Elastoméricos con o sin núcleo de plomo) que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo. Adicionalmente, estos sistemas requieren de mayor mantención y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño.

Apoyos deslizantes planos: Los apoyos deslizantes planos son los aisladores deslizantes más simples. Consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la estructura y la otra a la fundación, que poseen un bajo coeficiente de roce, permitiendo los movimientos horizontales y resistir las cargas verticales. Poseen, generalmente, una capa de un material Elastomérico con el fin de facilitar el movimiento del deslizador en caso de sismos. Por lo general, las superficies deslizantes son de acero inoxidable pulido espejo, y de un material polimérico de baja fricción. Este tipo de aislación puede requerir de disipadores de energía adicionales. A fin de prevenir deformaciones residuales luego de un evento sísmico, se debe proveer de sistemas restitutivos (típicamente aisladores Elastoméricos o con núcleo de plomo) que restituyan la estructura a su posición original.

Figura 8:
Apoyo deslizante Plano



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo
Tecnológico N°29 2011

La combinación de estos sistemas con aisladores Elastoméricos o con núcleo de plomo permite, en general, ahorros de costos del sistema de aislación.

Figura 9:
Combinacion de Apoyo Deslizante y Aislador Elastomérico.



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

Péndulos friccionales (FPS, Friction Pendulum System) Los péndulos friccionales cuentan con un deslizador articulado ubicado sobre una superficie cóncava. Los FPS, a diferencia de los apoyos deslizantes planos, cuentan con la característica y ventaja de ser **autocentrantes**. Luego de un movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial gracias a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad.

Figura 10:
Péndulo Friccional.



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

Beneficios: Los dispositivos de aislamiento sísmico actúan como filtro del movimiento sísmico, evitando que gran parte de la energía sísmica se traspase a la estructura aislada, reduciendo los esfuerzos y por lo tanto, el daño producido a elementos estructurales, no estructurales y contenidos de los edificios.

Limitaciones de uso: Algunos tipos de aisladores, como el caso de los aisladores deslizantes, requieren ser revisados luego de sismos excepcionalmente severos. Debido al desplazamiento relativo entre la estructura aislada y el suelo u otras estructuras no aisladas, todas las especialidades involucradas en un proyecto, y que se puedan ver

afectadas por el desplazamiento de la estructura aislada, deben realizar diseños especiales de sus sistemas a fin de acomodar los desplazamientos esperados para el sistema de aislación.

1.1.5.5. Estructuración Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB).

Los aisladores constan de un soporte de caucho y acero laminado, con placas de acero que se conectan a la estructura.

El caucho en el aislador actúa como un resorte. Lateralmente son muy suaves pero muy rígidos verticalmente. La alta rigidez vertical se consigue gracias a las capas delgadas de caucho reforzadas con cuñas de acero. Estas dos características permiten que el aislador se mueva lateralmente con una rigidez relativamente baja, aun llevando una carga axial significativa debido a su elevada rigidez vertical. El núcleo de plomo proporciona la amortiguación deformándose plásticamente cuando el aislador se mueve lateralmente en un terremoto.

Se fabrican aisladores de 12 a 60 pulgadas de diámetro con una capacidad de hasta 4.000 toneladas. Están disponibles medidas específicas del cliente para aplicaciones especiales.

Las cuñas para los aisladores se cortan con exigentes tolerancias por láser. Las placas de montaje de acero son mecanizadas por fresadoras controladas por ordenador que dan un alto rendimiento de producción y precisión. El moldeo por cada soporte toma de 8 a 48 horas, dependiendo de su tamaño. La fase de curado se controla continuamente para asegurarse de que el caucho se endurece de manera uniforme en todo el soporte.

Figura 11:

Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB).



Fuente: Protección Sísmica de Estructuras – Corporación de Desarrollo Tecnológico N°29 2011.

Losa de aislación: Son losas ubicadas en el sistema de aislación, las que proporcionan el comportamiento de diafragma rígido para un desplazamiento uniforme del sistema de aislación.

Vigas de Aislamiento: Son vigas ubicadas en el sistema de aislación y sirven para restringir el tema de deformaciones laterales y son de un peralte considerable.

“El peralte de las vigas también es importante para el control de las deformaciones laterales de las edificaciones conformadas por pórticos, puesto que influye directamente en la determinación de la rigidez lateral” (Blanco, 1990, p. 28).

Capitel: Es un elemento estructural con la finalidad de proporcionarle estabilidad al elemento aislador y generar de esta manera menos rotaciones para que el aislador no fallase, se ubican directamente debajo de las columnas de piso inferior como si fueran zapatas aisladas.

1.1.5.6. Predimensionamiento del Aislador LRB.

En una estructura con aisladores se debe realizar el análisis sísmico para dos sismos denominados: de diseño “DE” que tiene periodo de retorno de 475 años y para un sismo máximo considerado “MCE” cuyo período de retorno es de 2475 años. El proyectista estructural puede cambiar estos períodos de retorno de acuerdo a la importancia de su estructura y porque no decirlo a la sismicidad de la región. Lo importante es destacar que en el análisis se deben considerar dos sismos DE, y MCE.

El período de retorno de 475 años está asociado a una vida útil de la estructura de 50 años con una probabilidad de ser excedidas las aceleraciones sísmicas del 10%. En cambio, el período de retorno de 2475 años está asociado a una vida útil de 50 años con una probabilidad de excedencia del 2%.

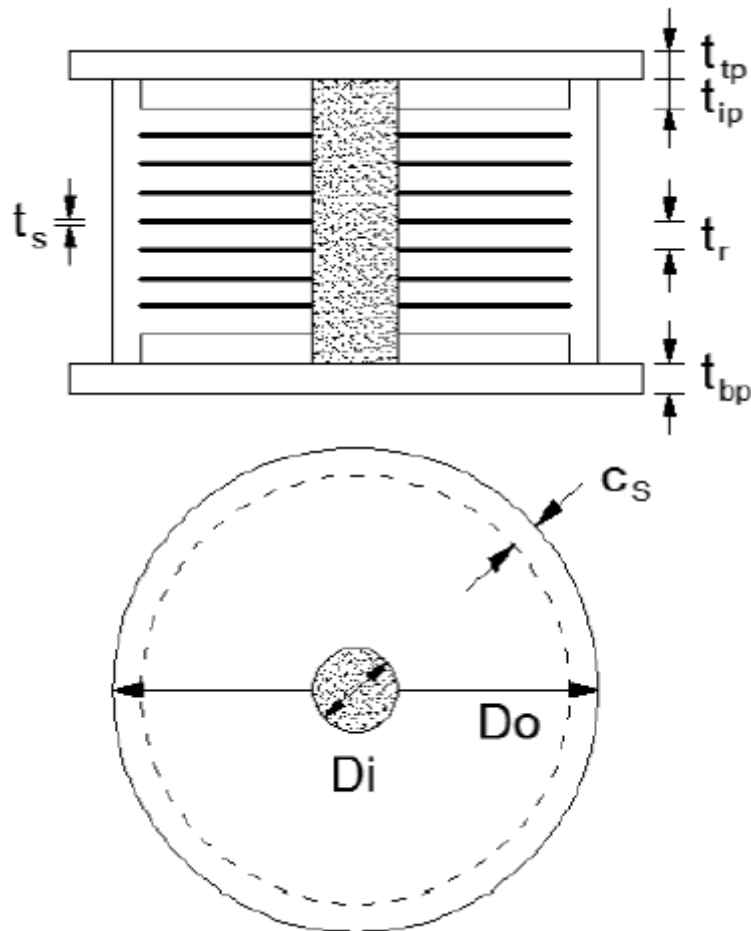
Las normativas sísmicas presentan espectros para 475 años de período de retorno y no determinan mediante un estudio de peligrosidad sísmica el espectro para 2475 años, lo que hace es multiplicar las ordenadas espectrales del sismo de diseño por 1.5. Existe variación en la determinación de las propiedades de los materiales por lo que no se recomienda trabajar con el valor medio si no que hay que definir dos límites un inferior y un superior. Al nivel inferior se denomina LB (lower level) y al nivel superior UB (upper level).

1.1.5.6.1 Dimensiones del Aislador y placa de montaje

Los aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo están conformados por láminas de caucho natural intercaladas con placas de acero, las cuales son vulcanizadas entre sí y

poseen un núcleo de plomo que aumenta su capacidad de amortiguamiento. El amortiguamiento que se logra con la inclusión del núcleo de plomo es mayor al 20%. Estos dispositivos son fabricados a medida para cada proyecto, de acuerdo con la rigidez horizontal, rigidez vertical, desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida.

Figura 12:
Dimensiones de un Aislador con Núcleo de Plomo.



Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5 pág. 57 - 2014.

Sea tr el espesor de la goma y ts el espesor de la placa de acero, la suma de los espesores de goma se denomina Tr y en base a esta dimensión se determina la rigidez al corte del aislador;

En la parte exterior se tienen dos placas de mayor espesor que en la figura 16 se han identificado como ttp , la superior y tbp , la inferior. Estas placas deben ser capaces de soportar la carga axial que llega al aislador. Si el espesor de la placa exterior es muy grande se puede colocar una placa de ancho tip en la parte interior del aislador.

Las dimensiones de la siguiente tabla consisten en determinar la carga axial total del edificio que gravita sobre cada uno de los aisladores para en función de esta determinar las dimensiones aproximadas de los componentes del aislador.

Tabla 1:
Dimensiones del Aislador y placas de montaje.

TAMAÑO DEL AISLADOR				DIMENSIONES DE PLACAS DE MONTAJE					
Do (mm)	H (mm)	# capas de goma	Di (mm)	L (mm)	t (mm)	# de orificios	orificio ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50

Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5 pág. 59 - 2014.

Tabla 2:

Propiedades, Desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador.

Do (mm)	Propiedades del aislador			Desplazamiento Maximo qmax (mm)	Carga Axial Pmax (kg)
	kd (T/m)	Qd (kg)	kv (T/m)		
305	20-40	0-6500	> 5000	150	45000
355	20-40	0-6500	> 10000	150	70000
405	30-50	0-11000	> 10000	200	90000
455	30-70	0-11000	> 10000	250	115000
520	40-70	0-18000	> 20000	300	135000
570	50-90	0-18000	> 50000	360	180000

Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5 pág. 59 - 2014.

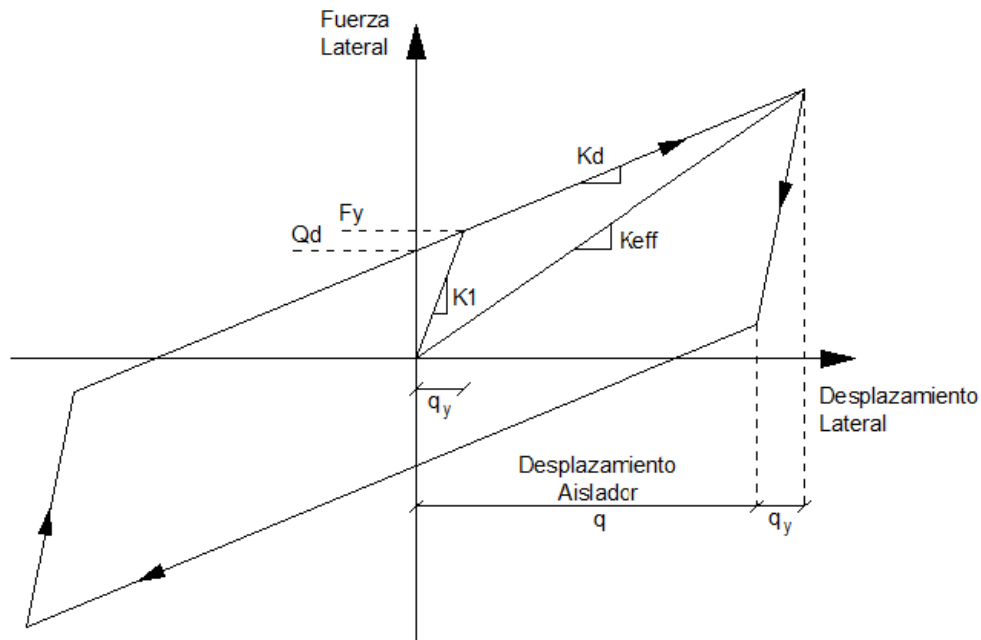
1.1.5.6.2 Diagrama de la Curva de Histéresis

En la figura se presenta el comportamiento Histerético de un aislador Elastomérico se destaca que el modelo no contempla degradación de rigidez en la descarga. Este modelo es bastante aproximado a los obtenidos experimentalmente.

A continuación, se describe en forma rápida los parámetros que definen la relación entre la fuerza aplicada al aislador y el desplazamiento obtenido los mismos que están presentados en la figura.

Figura 13:

Comportamiento Histerético de un aislador Elastoméricos.



Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5.2 pág. 60 - 2014.

Para un aislador con núcleo de plomo el valor de Q_d se halla con la siguiente expresión:

Ecuación (1)

(Roberto Aguiar 2014)

$$Q_d = A_L * \tau_{py}$$

Donde:

Q_d = Fuerza de esfuerzo nulo.

A_L = Área de Sección Transversal del Núcleo de Plomo.

T_{py} = Esfuerzo de Corte de Plomo a Nivel de fluencia.

Ecuación (2)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k_d = \frac{G A}{Tr}$$

Donde:

K_d = Rigidez post elástica.

G = Modulo de Corte de Goma

A = Área de la sección transversal del aislador que trabaja al corte.

Tr = Sumatoria de la Altura de la Goma del Aislador.

La Fuerza de fluencia cuando el aislador empieza a trabajar en rango no lineal es:

Ecuación (3)

(Roberto Aguiar 2014)

$$F_y = Q_d + k_d q_y$$

Donde:

Q_d = Fuerza de esfuerzo nulo.

F_y = Fuerza de fluencia cuando el aislador empieza a trabajar en el rango no lineal.

K_d = Rigidez post elástica.

q_y = Desplazamiento de fluencia.

Ecuación (4)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k_1 = \frac{F_y}{q_y}$$

Donde:

k_1 = Rigidez Elástica.

F_y = Fuerza de fluencia cuando el aislador empieza a trabajar en el rango no lineal.

q_y = Desplazamiento de fluencia.

Ecuación (5)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k_{EF} = k_d + \frac{Q_d}{q}$$

Donde:

k_{EF} = Rigidez Efectiva.

q = Desplazamiento lateral del sistema de aislación.

Q_d = Fuerza de esfuerzo nulo.

K_d = Rigidez post elástica.

1.1.5.6.3 Proceso de Cálculo de la curva de Histéresis

En Forma práctica se recomienda proceder de la siguiente manera para encontrar el diagrama de histéresis.

Se determina el peso total Wt que llega al sistema de aislación, el cual considera el peso de la losa de aislación y los aisladores, se debe definir el número de aisladores N a utilizar; se puede colocar un aislador en cada columna del edificio.

En estas condiciones, se obtiene multiplicando los parámetros que definen la curva de histéresis por el número de aisladores N .

Ecuación (6)

(Roberto Aguiar 2014)

$$F_{ys} = F_y N$$

$$Q_{ds} = Q_d N$$

$$K_{ds} = K_d N$$

$$K_{1s} = K_1 N$$

Donde:

F_{ys} = Fuerza de fluencia total del edificio

K_{ds} = Rigidez post elástica total del edificio.

K_{1s} = Rigidez elástica total del edificio.

Q_{ds} = Fuerza de esfuerzo nulo total del edificio.

Lo importante en las estructuras con aislación sísmica es incrementar el factor de amortiguamiento de esta; para las estructuras con aisladores Elastoméricos se obtiene a partir de la figura Comportamiento Histérico que el factor de amortiguamiento efectivo, βEF es el siguiente.

Ecuación (7)

(Roberto Aguiar 2014)

$$T_{EF} = 2\pi \sqrt{\frac{W_t}{g K_{EF}}}$$

Ecuación (8)

(Roberto Aguiar 2014)

$$\beta_{EF} = \frac{2Q_{ds}(q - q_y)}{\pi K_{EF} q^2}$$

Donde:

T_{EF} = *Periodo Efectivo*

W_t = *Peso total del Edificio o que gravita en el sistema de aislación*

g = *Coeficiente de Gravedad*

k_{EF} = *Rigidez Efectiva.*

q_y = *Desplazamiento de Fluencia.*

B_{EF} = *Factor de Amortiguamiento efectivo.*

q = *Desplazamiento lateral del sistema*

Q_{ds} = *Fuerza de esfuerzo nulo total del edificio.*

- 1. Espectro Reducido:** se obtiene dividiendo el espectro de 5 % de amortiguamiento para el valor de B.

Ecuación (9)

(Roberto Aguiar 2014)

$$B = \left(\frac{\beta_{EF}}{0.05} \right)^{0.3}$$

Donde:

B = Factor de reducción del espectro elástico.

B_{EF} = Factor de Amortiguamiento efectivo.

2. Cálculo del Desplazamiento:

Ingresamos con el periodo efectivo al espectro de desplazamiento y se obtiene el desplazamiento del sistema de aislación, este debe ser parecido o igual al desplazamiento impuesto si no coincide se repite el proceso desde el numeral 1.

Si se trabaja con el espectro de aceleración, con el periodo efectivo se encuentra la aceleración espectral ***A_d*** y después mediante la definición del pseudo espectro se halla el desplazamiento.

Ecuación (10)

(Roberto Aguiar 2014)

$$q = \left(\frac{T_{EF}}{2\pi} \right)^2 A_d$$

Donde:

T_{EF} = *Periodo Efectivo*

A_d = *Aceleración Espectral.*

q = *Desplazamiento lateral del sistema*

1.1.5.6.4 Elemento Aislador

El análisis sísmico de estructuras con aisladores Elastoméricos es similar a lo presentado cuando la estructura tiene aisladores FPS razón por la cual no vuelve a describir su procedimiento de cálculo. Pero se va a indicar con detalle cómo se trabaja con el elemento aislador destacando que es aplicable a los aisladores FPS aquí utilizados.

Lo que difiere respecto a los aisladores FPS, cuando se utiliza el método de la rigidez efectiva, es la determinación de la rigidez vertical k_v . La matriz de rigidez en coordenadas locales del elemento aislador k_0 viene dado por la siguiente expresión:

Ecuación (11)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k_0 = \begin{bmatrix} k_{EF} & 0 \\ 0 & k_v \end{bmatrix}$$

Donde:

k_{EF} = *Rigidez efectiva horizontal.*

k_0 = *Matriz de rigidez del elemento del aislador.*

k_v = *Rigidez vertical del aislador.*

k_{EF} ya fue determinado anteriormente y k_v viene dado por la siguiente expresión:

Ecuación (11)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k_v = \frac{A}{T_r} \left[\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3k} \right]^{-1}$$

Donde:

k_v = Rigidez vertical del aislador.

A = área transversal del aislador.

T_r = Sumatoria de los espesores de las gomas.

S = relación entre el área de la planta de una goma con relación al área lateral de la goma.

k = módulo volumétrico de la goma.

G = Modulo de Corte de la Goma.

Para un aislador circular con o sin núcleo de plomo el factor de forma se encuentra con la siguiente ecuación.

Ecuación (12)

(Roberto Aguiar 2014)

$$S = \frac{\pi}{4} \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{\pi D_o t_r}$$

Donde:

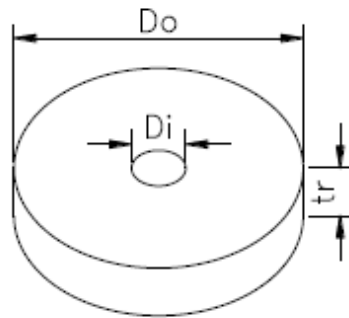
$S = \text{Factor de Forma}$

$D_0, D_i = \text{diámetros exterior e interior del aislador.}$

$tr = \text{espesor de una goma.}$

cómo se observa en la figura, es importante observa las relaciones de área.

Figura 14:
Geometria de una Goma.



Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar

F. Cap.2.5.4 pag 63 - 2014.

Finalmente, la matriz de rigidez del elemento aislador en coordenadas globales se halla de la siguiente forma.

Ecuación (13)

(Roberto Aguiar 2014)

$$k^* = T^t k_0 T$$

Donde:

$T =$ Matriz de paso.

Ecuación (14)

(Roberto Aguiar 2014)

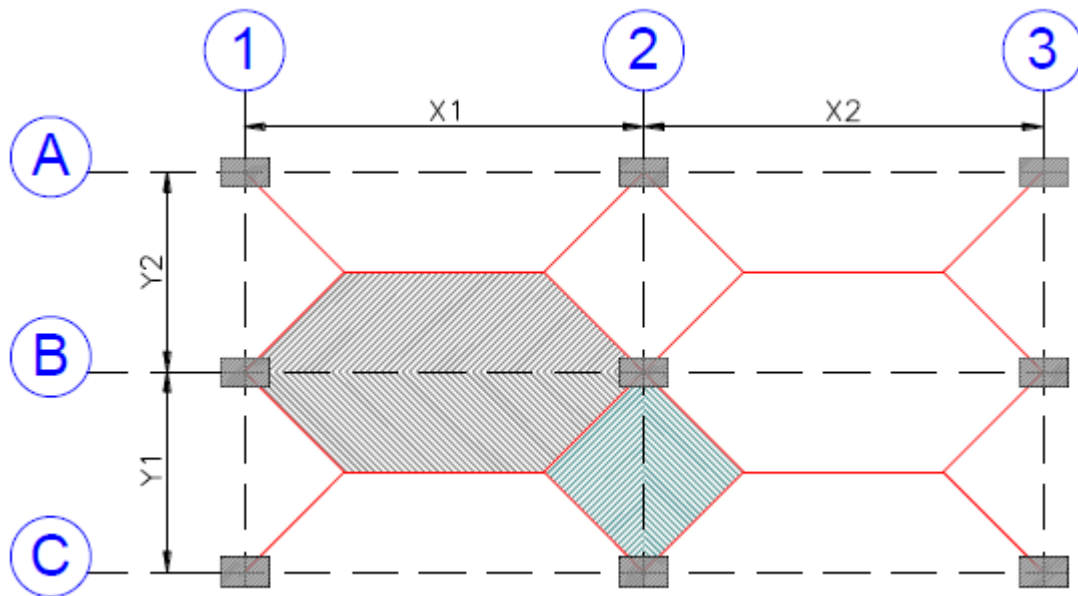
$$T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & l_i & 1 & 0 & l_j \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

1.1.5.6.5 Mosaico de Cargas

En las estructuras con los aisladores anteriores no se tuvo la suficiente prolijidad en determinar el ancho de banda cooperante para trabajar con carga uniforme distribuida por este motivo en este apartado se presenta en primer lugar el mosaico de cargas considerando que las mismas distribuyen a los pórticos con ángulo de 45° teniendo por tanto que sobre las vigas gravita una carga trapezoidal o una carga triangular como se muestra en la figura.

Figura 15:
Distribucion por mosaico de cargas.



Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5.5 pag 64 - 2014.

Para no trabajar con carga triangular o trapezoidal se puede encontrar carga uniforme distribuida W empleando el siguiente formulario:

Distribución triangular:

Ecuación (15)

(Roberto Aguiar 2014)

$$W = \frac{q * s}{3}$$

Distribución triangular:

Ecuación (16)

(Roberto Aguiar 2014)

$$W = \frac{q * s}{3} \left(\frac{3 * m^2}{2} \right); \quad m = \frac{s}{l}$$

Donde:

q = Carga actuante sobre unidades de superficie.

s = Dimensión del lado menor del tablero contribuyente.

m = Relación entre la dimensión menor y mayor del tablero contribuyente.

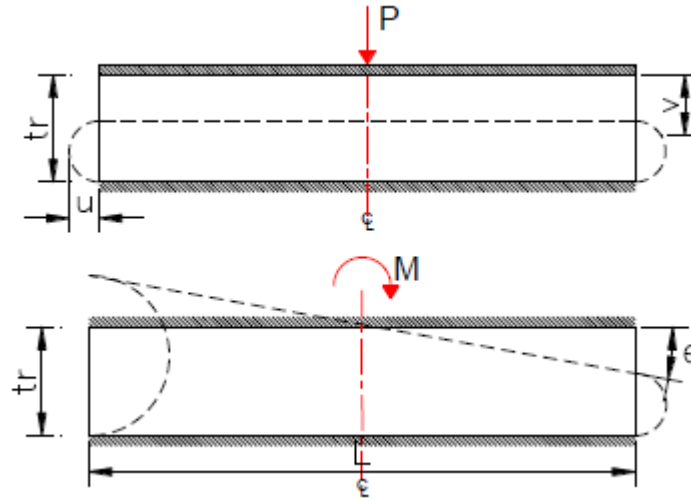
l = Dimensión del lado mayor del tablero contribuyente

1.1.5.6.6 Control del Espesor de Goma

“La verificación del diseño inicial para el espesor del caucho, parte del análisis de un caucho el cual ha sufrido un desplazamiento horizontal u , un desplazamiento vertical v y una rotación θ , por efecto de la carga axial P , y de un momento M , y se determina sus deformaciones angulares por compresión γ_c , por rotación γ_r , y por desplazamiento horizontal γ_s .” (Constantinou 2011).

Figura 16:

Cargas, desplazamiento y giro actuando en un caucho parte del aislador.



Fuente: Ingeniería Estructural - Roberto Aguiar F. Cap.2.5.6 pag 65 - 2014.

Área Reducida de una Goma

“El área que trabaja al corte se ha denominado A ; ahora cuando se deforma lateralmente, se tiene un área reducida a compresión que se denomina A_r , la misma que se calcula de la siguiente manera:” (Roberto Aguiar 2014).

Ecuación (17)

(Roberto Aguiar, pág. 65- 2014)

$$A_r = A \left(\frac{\delta - \text{sen}\delta}{\pi} \right)$$

Donde:

A_r = Área Reducida.

A = Área.

δ = Deformación Equivalente.

Ecuación (18)

(Roberto Aguiar, pág. 65- 2014)

$$\delta = 2 \cos^{-1}\left(\frac{u}{D_o}\right)$$

Donde:

Do = Diámetro Exterior.

u = Desplazamiento Horizontal.

δ = Deformación Equivalente.

Ecuación (19)

(Roberto Aguiar, pág. 65- 2014)

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$

Donde:

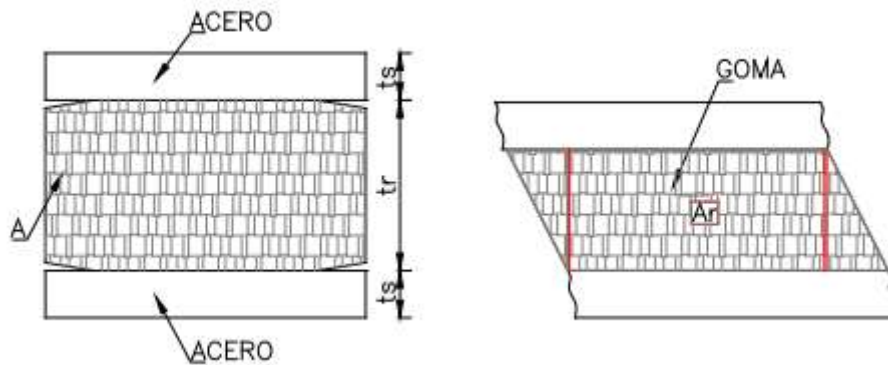
Do = Diámetro Exterior.

A = Área.

Di = Diámetro Interior.

Figura 17:

Área reducida de un aislador Elastomérico.



Fuente: Ingeniería de Estructuras – Roberto Aguiar pág. 66 – 2014.

Deformación Angular

“Cuando actúa la carga axial P_u , la máxima deformación angular por compresión γ_c se halla con la siguiente expresión” (Roberto Aguiar pág. 66 - 2014).

Ecuación (20)

(Roberto Aguiar, pág. 66 - 2014)

$$\gamma_c = \frac{P_u}{A_r G S} f_1 \leq 3.5$$

Donde:

γ_c = Deformación angular por corte.

P_u = Carga axial.

A_r = Área reducida.

G = Módulo de corte de la goma.

S = Factor de forma.

“Se debe verificar que $\gamma_c \leq 3.5$ únicamente para el estado de cargas verticales, sin sismo. Con sismo γ_c puede ser mayor a 3.5.” (Roberto Aguiar pág. 66 - 2014).

Tabla 3:

Valor de f_1 para un Aislador Circular.

S	k/G			
	2000	4000	6000	∞
5.0	1.02	1.01	1.01	1.00
7.5	1.05	1.03	1.02	1.00
10.0	1.10	1.05	1.03	1.00
12.5	1.15	1.08	1.05	1.00
15.0	1.20	1.11	1.07	1.00
17.5	1.27	1.14	1.10	1.00
20.0	1.34	1.18	1.13	1.00
22.5	1.41	1.23	1.16	1.00
25.0	1.49	1.27	1.19	1.00
27.5	1.57	1.32	1.23	1.00
30.0	1.66	1.37	1.26	1.00

Fuente: Ingeniería de Estructuras – Roberto Aguiar pág. 66 – 2014

Para encontrar el valor **f1** se necesita conocer el factor de forma **S** y la relación **k/G**, siendo **k** el módulo volumétrico de la Goma y **G** el módulo de corte de la Goma.

Deformación Angular por Rotación: “La deformación angular por rotación γ_r se halla con la siguiente expresión:” (Roberto Aguiar pág. 67 - 2014).

Ecuación (21)

(Roberto Aguiar, pág. 67 - 2014)

$$\gamma_r = \frac{D_o^2 \theta}{t_r T_r} f_2$$

Donde:

γ_r = Deformación Angular por Rotación.

D_o = Diámetro Exterior.

θ = Rotación.

t_r = Ancho de una Goma

T_r = Sumatoria de los anchos de las Gomas.

“Donde θ es la rotación en el aislador para el estado de cargas verticales, sin sismo; f_2 es el factor que afecta al corte” (Roberto Aguiar pág. 67 - 2014).

Tabla 4:

Valor de f_2 para un Aislador Circular.

S	k/G			
	2000	4000	6000	∞
5.0	0.37	0.37	0.37	0.37
7.5	0.36	0.36	0.37	0.37
10.0	0.34	0.36	0.36	0.37
12.5	0.33	0.35	0.36	0.37
15.0	0.32	0.34	0.35	0.37
17.5	0.30	0.33	0.34	0.37
20.0	0.28	0.32	0.33	0.37
22.5	0.27	0.31	0.32	0.37
25.0	0.25	0.29	0.32	0.37
27.5	0.24	0.28	0.31	0.37
30.0	0.23	0.27	0.30	0.37

Fuente: Ingeniería de Estructuras – Roberto Aguiar pág. 67 – 2014

Deformación Angular por Corte: “Para que el espesor de la goma sea el adecuado, se debe verificar detallado en la siguiente tabla, para los estados de carga que ahí se

indican, si para algún estado de carga no cumple se debe incrementar el espesor de la goma” (Roberto Aguiar pág. 67 - 2014).

Ecuación (22)

(Roberto Aguiar, pág. 67 - 2014)

$$\gamma_s = \frac{u}{T_r}$$

Donde:

γ_s = Deformación Angular por Corte.

T_r = Sumatoria de los anchos de las Gomas.

u = Desplazamiento Horizontal.

Tabla 5:

Controles que debe cumplir el espesor de Goma.

Estado de Carga	Control
$1.2 D + 1.6 L$	$\gamma_c + \gamma_r + \gamma_s < 6$
$1.2 D + 0.5 L + 1.0 S_{DE}$	$\gamma_c + 0.5 \gamma_r + \gamma_s < 7$
$1.2 D + 0.25 L + 1.0 S_{MCE}$	$\gamma_c + 0.25 \gamma_r + \gamma_s < 9$

Fuente: Ingeniería de Estructuras – Roberto Aguiar pág. 67 – 2014.

Donde:

D = Carga Muerta

L = Carga Viva

S_{DE} = Sismo Moderado (Periodo de Retorno de 475 año).

S_{MCE} = Sismo Máximo (Periodo de Retorno de 2475 año).

1.1.5.6.7 Cálculo del Espesor de placa SHIM

La siguiente ecuación determina el espesor de las placas intermedias que van intercaladas con la goma en los aisladores Elastoméricos.

Ecuación (23)

(Roberto Aguiar, pág. 68 - 2014)

$$t_s > \frac{\alpha t_r}{1.08 f_y \frac{A_r}{P} - 2}$$

Donde:

t_s = Espesor de Placa SHIM

α = 1.65

t_r = Ancho de una Goma

F_y = Limite de Fluencia de la placa de Acero.

A_r = Área Reducida.

P = Carga Axial.

Se destaca que el espesor mínimo de placas SHIM = 1.9 mm.

La norma AASHTO 2010 recomienda que el valor de $\alpha = 3$ para placas de acero con orificios. De tal manera que $\alpha = 1.65$ se utiliza para placas sin orificios.

1.1.5.6.8 Control de Pandeo

Según Kelly (1993) la carga crítica de pandeo en una posición no desplazada del aislador es:

Ecuación (24)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$P_{cr} = \frac{\pi \sqrt{\lambda} GSA_r}{T_r}$$

Donde:

P_{cr} = Carga Crítica de Pandeo

G = Modulo de Corte de Goma.

S = Factor de Forma de la Goma.

A = Área del Aislador (que trabaja al corte).

r = Radio de giro.

T_r = Sumatoria de los anchos de las Gomas.

$\lambda = 2$ para Aisladores Circulares y 2.25 para Aisladores Rectangulares.

Radio de Giro:

Ecuación (25)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

r = Radio de Giro

$I = \text{Momento de Inercia}$

$A = \text{Área}$

Para un aislador circular sin orificio $r = \frac{D}{4}$; el factor de forma $S = \frac{D}{4 t_r}$, y el área que

trabaja el corte es $A = \frac{\pi D^2}{4}$, D es el diámetro del aislador sin orificio: tr es el ancho

de una goma.

Remplazando $\lambda = 2$ y las ecuaciones que definen r, S, A entonces obtenemos:

Ecuación (26)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$P_{cr} = 0.2181 \frac{GD^4}{t_r T_r}$$

Donde:

$P_{cr} = \text{Carga Critica de Pandeo}$

$G = \text{Modulo de Corte de Goma.}$

$D = \text{Diámetro del Aislador sin Orificio}$

$t_r = \text{Ancho de una Goma}$

$T_r = \text{Sumatoria de los anchos de las Gomas.}$

Para aisladores con o sin núcleo de plomo, pero con orificio en la mitad.

Ecuación (27)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$P_{cr} = 0.2181 \frac{GD_0^4}{t_r T_r} \frac{\left(1 - \frac{D_i}{D_o}\right) \left(1 - \frac{D_i^2}{D_o^2}\right)}{1 + \frac{D_i^2}{D_o^2}}$$

Donde:

P_{cr} = Carga Critica de Pandeo

G = Modulo de Corte de Goma.

D_o = Diámetro Exterior

D_i = Diámetro Interior

t_r = Ancho de una Goma

T_r = Sumatoria de los anchos de las Gomas.

La Carga critica de pandeo cuando el aislador tiene un desplazamiento lateras P'_{cr} se halla con siguiente ecuación.

Ecuación (28)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$P'_{cr} = P_{cr} \frac{A_r}{A}$$

Donde:

P_{cr} = Carga Crítica de pandeo sin desplazamiento lateral.

P'_{cr} = Carga Crítica de pandeo con desplazamiento lateral.

A = Area

A_r = Área Reducida

Mientras más desplazamiento lateral tiene el aislador el área reducida A_r es menor y por lo tanto la carga crítica P'_{cr} disminuye, para restringir el desplazamiento lateral se debe cumplir la siguiente expresión:

Ecuación (29)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$P'_{cr} > 0.15 P_{cr}$$

CASO CONTRARIO SE DEBE REDISEÑAR EL AISLADOR.

Adicionalmente se debe verificar los siguientes controles

- **Para Cargas Verticales:**

Ecuación (30)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$\frac{P'_{cr}}{P_u} > 2$$

- Para Cargas verticales más sismo MCE:

Ecuación (31)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$\frac{P'_{cr}}{P_u} > 1.1$$

1.1.5.6.9 Control de Placas Exteriores

“Para determinar el espesor de las placas exteriores de un aislador utilizamos el método del área reducida desarrollado por DeWolf y Ricker (1990), el cual reemplaza al aislador por una columna rectangular equivalente de dimensiones $0.75*L*b$ y cuyas variables quedan definidas por las siguientes ecuaciones” (Roberto Aguiar pág. 69 - 2014).

Ecuación (32)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$L = D_o - 2C_s$$

Ecuación (33)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$b = \frac{A_r}{L}$$

donde:

$L =$ Longitud de la placa cuadrada del Aislador

C_s = Recubrimiento de la Goma

A_r = Área Reducida del Aislador

D_o = Diámetro Exterior

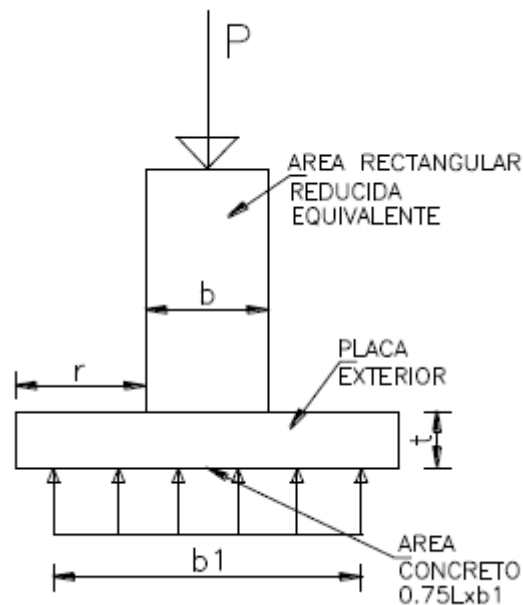
b = Ancho de la Columna rectangular equivalente

“El Área reducida se obtiene en función del desplazamiento lateral. Es importante tomar en cuenta que el núcleo de plomo contribuye para soportar la carga axial, por lo que el área del aislador es completa”. (Roberto Aguiar pág. 70 - 2014).

El espesor de la placa se denomina t la cual queda definido por la siguiente expresión:

Figura 18:

Método del área reducida para determinar el espesor de placas externas.



Fuente: Ingeniería de Estructuras – Roberto Aguiar pág. 70 – 2014 / Constantenou 2011

Placa Inferior

Ecuación (34)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$t = t_{bp} + t_{ip}$$

Placa Superior

Ecuación (35)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$t = t_{tp} + t_{ip}$$

donde:

t_{bp} = Espesor de la placa metálica Exterior Inferior.

t_{tp} = Espesores de las placas metálica Exterior Superior

t_{ip} = Espesor de placa que inmersa en el Aislador

El Modelo establece un esfuerzo f_b que es igual a:

Ecuación (36)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$f_b = 1.7 \phi_c f_c'$$

Donde:

$f_b =$ Resistencia del Concreto a compresión (Losa de cimentación)

$1.7 =$ incremento de resistencia por confinamiento

$\phi_c =$ Factor de minoración de esfuerzo

Para Sismo DE tiene un valor de 0.65 y para sismo MCE 1.00.

Finalmente, el espesor de la placa de acero queda determinado mediante la siguiente ecuación:

Ecuación (37)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$t \geq \sqrt{\frac{4 M_u}{\phi_b f'_y}}$$

Ecuación (38)

(Roberto Aguiar, 2014)

$$M_u = \frac{f_b r^2}{2}; r = \frac{b_1 - b}{2}; b_1 = \frac{P}{0.75 L f_b}$$

Donde:

$t =$ Espesor de placas SHIM

$M_u =$ Momento Ultimo

$r =$ Brazo de momento

$\phi_c =$ Factor de minoración de esfuerzo

f_y = Esfuerzo de la fluencia de las placas de acero.

ϕ_b = Factor de minoración de esfuerzo, para el sismo DE tiene valor 0.9 y para sino MCE 1.00

1.1.6. Estructuración de Concreto Armado

1.1.6.1. Diseño de Columnas

EFECTOS DE ESBELTEZ

“Si la relación de esbeltez excede los límites para columnas cortas, el miembro a compresión puede pandearse antes que alcance el estado límite de falla material. La determinación en el extremo a compresión del concreto en la carga de pandeo será menor 0.003 cm/cm” (Roberto Morales M. 2006).

Las columnas esbeltas según el código del ACI se diseñan por los mismos métodos que las columnas cortas. La diferencia se encuentra en que los momentos de diseño incluyen los efectos de segundo orden. El código propone dos métodos para su determinación. El primero consiste en efectuar un análisis de segundo orden en el que debe considerarse la influencia de las cargas axiales, deflexiones, duración de cargas, agrietamiento de las secciones, etc. Es sumamente laborioso si no se trabaja con la ayuda de un computador y por ello se propone un segundo procedimiento, denominado método de amplificación de momentos, que consiste en incrementar los momentos calculados en un análisis de primer orden por un factor definido. El código del ACI establece que el método de amplificación de momentos no debe utilizarse para el diseño de columnas cuya esbeltez (klu/r) supere 100. Esto se debe a la falta de ensayos sobre el comportamiento de este tipo de estructuras con la consiguiente incertidumbre respecto a la validez del procedimiento presentado.

“Se permite ignorar los efectos de esbeltez para columnas no arriostradas contra desplazamiento laterales” (ACI 318-19, Art.6.2.5).

Para pórticos No Arriostrados contra desplazamientos laterales:

Ecuación (39)

(ACI 318-19, Art.6.2.5.1)

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22$$

Para pórticos Arriostrados contra desplazamientos laterales:

Ecuación (40)

(ACI 318-19, Art.6.2.5.1)

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12(M1/M2)$$

$$\frac{kl_u}{r} \leq 40$$

Donde:

k = Factor de Longitud de la Columna.

Lu = Longitud de la Columna.

r = Radio de giro.

M1, M2 = Momentos en los Extremos de las columnas.

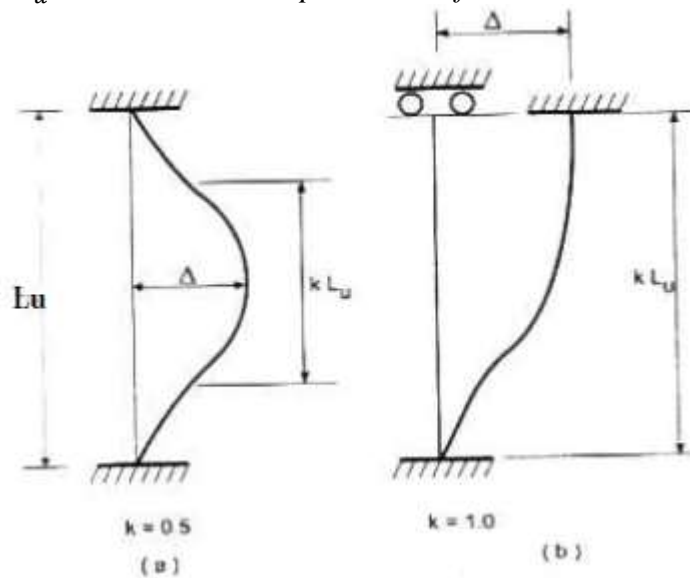
“Cuando los elementos de arriostramiento de un piso tienen una rigidez total de al menos 12 veces la rigidez lateral bruta de las columnas en la dirección considerada se

permite considerar que las columnas del piso están arriostradas contra desplazamientos laterales” (ACI 318-19, Art.6.2.5.1).

“ kl_u = es la distancia entre los puntos de inflexión del miembro en su forma pandeada”
(Roberto Morales M. 2006).

Figura 19:

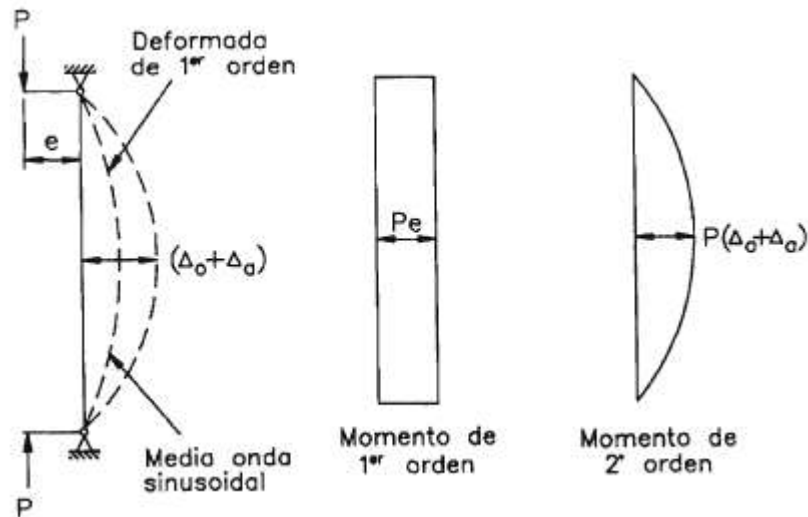
kl_u distancia entre los puntos de inflexión.



Fuente: Roberto Morales M. 2006

Figura 20:

Diagrama de Momento de primer y segundo orden de una columna sometida a flexo – compresión.



Fuente: Teodoro Harmsen 2002

Cálculo del Radio de Giro:

Ecuación (41)

(ACI 318-19, Art.6.2.5.2)

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$$

Donde:

r = Radio de Giro.

I_g = Inercia de la Sección Bruta.

A_g = Área de la sección Bruta.

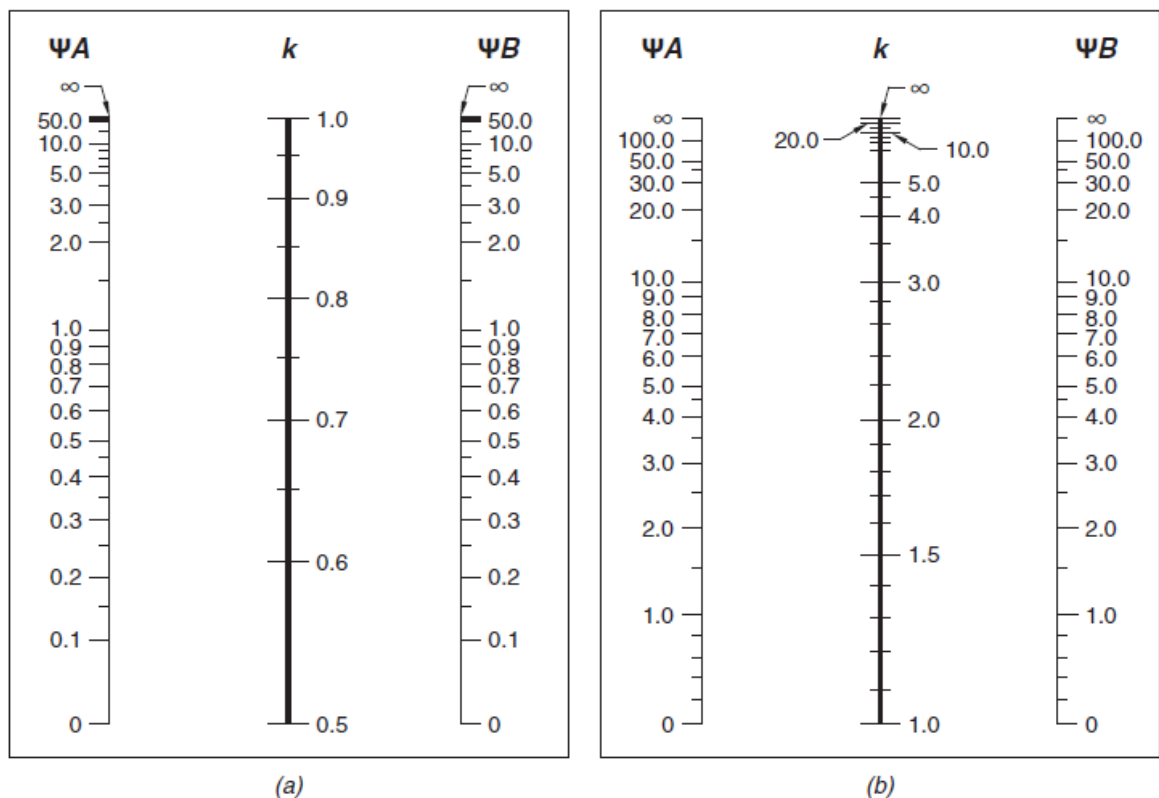
0.30 veces la dimensión de la sección en dirección en la cual se está considerando la estabilidad para columnas rectangulares.

0.25 veces el diámetro de las columnas circulares.

“La principal ayuda de diseño para estimar el factor de longitud efectiva k son los ábacos de alineamiento de Jackson y Moreland, los cuales permiten la determinación grafica de k para una columna de sección transversal constante en un pórtico de varios vanos” (Comentario ACI 318-19, Art.6.2.5.1).

Figura 21:

Factor de Longitud Efectiva k .



Fuente: ACI 318-19, Art.6.2.5.1 / Nomograma Jackson y Moreland.

- a) Estructuras Arriostradas contra desplazamiento lateral.
- b) Estructuras NO Arriostradas contra desplazamiento lateral.

DISEÑO POR FLEXO COMPRESIÓN

“Todas las columnas están supeditadas a cierta flexión y fuerzas axiales, por lo que es necesario diseñarlas para que resistan ambas solicitudes. Las así llamadas fórmulas de carga axial toman en cuenta algún momento porque incluyen el efecto de excentricidades pequeñas con los factores 0.80 y 0.85. Estos valores equivalen aproximadamente a suponer excentricidades reales de $0.10h$ para columnas con estribos y $0.05h$ para columnas zunchadas.

Las columnas se flexionarán bajo la acción de los momentos y éstos tenderán a producir compresión en un lado de las columnas y tensión en el otro. Según sean las magnitudes relativas de los momentos y las cargas axiales, hay varias formas en que las secciones pueden fallar. La siguiente figura muestra una columna que soporta una carga P_n . En las diversas partes de la figura, la carga se coloca cada vez con mayor excentricidad (produciendo así momentos cada vez mayores) hasta que finalmente en la parte (f) la columna está sujeta a un momento flexionante tan grande que el efecto de la carga axial es insignificante. Cada uno de los seis casos mostrados se analiza brevemente en los párrafos siguientes:

Se supone que la falla de la columna ocurre cuando la deformación unitaria a compresión en el concreto alcanza el valor 0.003.” (McCormac & Russell 2011).

“a) Carga axial grande con momento despreciable: para esta situación, la falla ocurre por aplastamiento del concreto, habiendo alcanzado todas las varillas de refuerzo en la columna su esfuerzo de Fluencia en compresión.

b) Carga axial grande y momento pequeño, tal que toda la sección transversal está en compresión: cuando una columna está sujeta a un momento flexionante pequeño (es decir, cuando la excentricidad es pequeña), la columna entera estará en compresión, pero la compresión será más grande en un lado que en el otro. El esfuerzo de compresión máximo en la columna será de $0.85f_c$, y la falla ocurrirá por aplastamiento del concreto, con todas las varillas trabajando a compresión.

c) Excentricidad mayor que en el caso (b), por lo que empieza a desarrollarse tensión en un lado de la columna: si la excentricidad aumenta un poco respecto al caso precedente, empezará a desarrollarse tensión en un lado de la columna y el acero en ese lado estará en tensión, pero con un valor menor al correspondiente al esfuerzo de fluencia. En el lado opuesto el acero estará en compresión. La falla ocurre por aplastamiento del concreto en el lado de compresión.

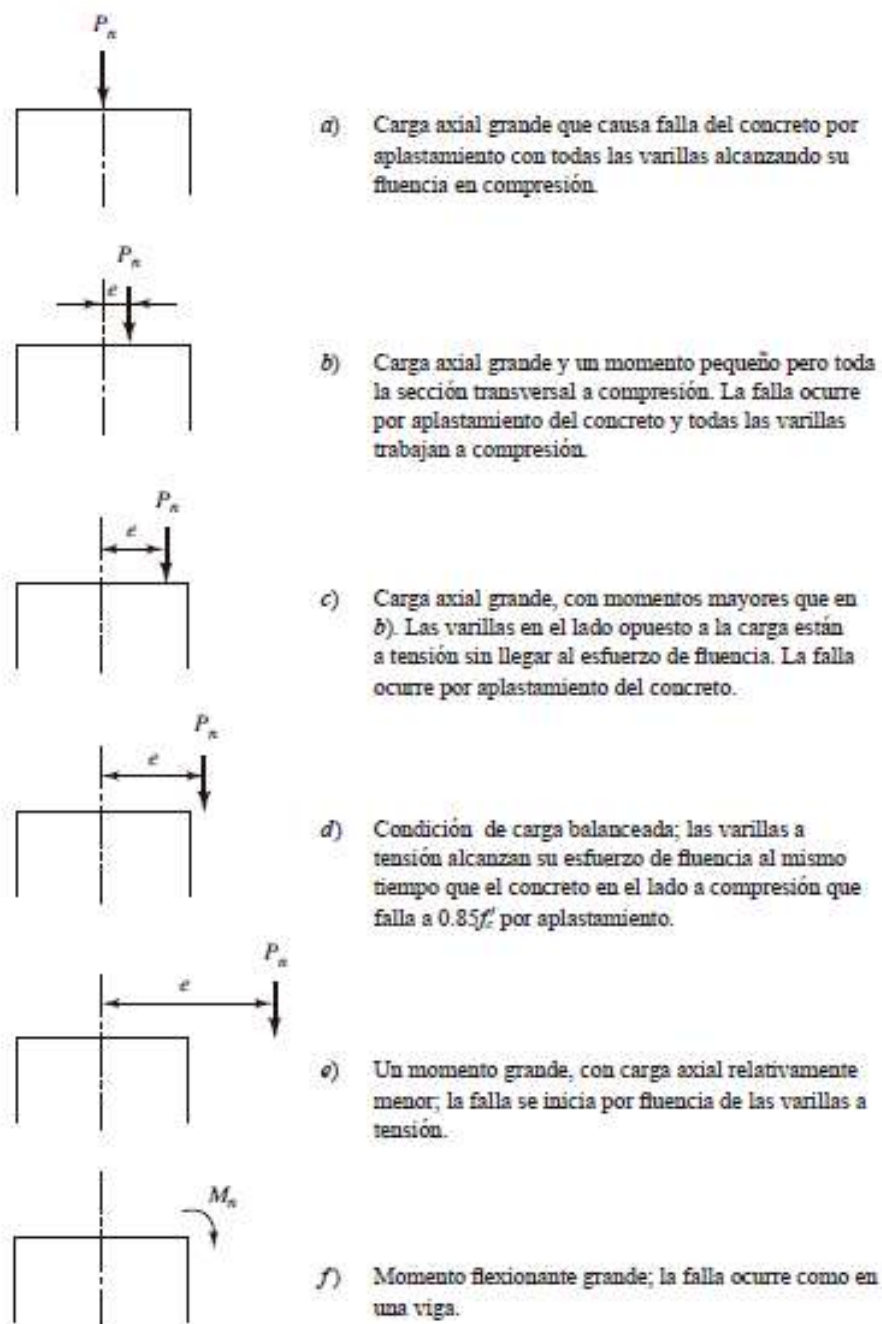
d) Condición de carga balanceada: a medida que aumenta la excentricidad, se llega a una condición en que las varillas de refuerzo en el lado de tensión alcanzan sus esfuerzos de fluencia al mismo momento que el concreto en el lado opuesto alcanza su compresión máxima de $0.85 f_c$. Esta situación se llama condición de carga balanceada.

e) Momento grande con carga axial pequeña: si la excentricidad aumenta aún más, la falla se inicia por la fluencia de las varillas en el lado de tensión de la columna, antes que el aplastamiento del concreto.

f) Momento grande sin carga axial apreciable: para esta condición, la falla ocurre como en una viga.” (McCormac & Russell 2011).

Figura 22:

Columna sometida a carga con excentricidades cada vez mayores.



Fuente: Diseño de Concreto Reforzado McCormac & Russell 2011.

“Una manera de diferenciar una columna de una viga, independientemente de su ubicación en la estructura, es por el nivel o intensidad de la carga axial que soporta. Se acepta que cuando la carga axial P_u es menor de:

Ecuación (42)

(Gianfranco Ottazzi 2004.)

$$P_u < 0.1 f'c A_g$$

el elemento debería diseñarse y detallarse como un elemento en flexión simple (viga) más que como un elemento en flexo compresión (columna). En la expresión anterior el término A_g denota el área bruta de la sección transversal.” (Gianfranco Ottazzi 2004)

Resistencia Nominal en Compresión (P_o):

La resistencia máxima (P_o) de una columna en compresión pura, puede obtenerse como la suma de la resistencia del concreto más la resistencia del acero. Al existir adherencia entre el acero y el concreto, las deformaciones en el acero serán iguales a las del concreto que las circunda. La resistencia de diseño a compresión pura de las columnas se estima con la siguiente formula:

Ecuación (43)

(Gianfranco Ottazzi 2004.)

$$P_o = A_{st} f_y + 0.85 f'c (A_g - A_{st})$$

Esta expresión tiene sentido cuando el acero tiene una plataforma de fluencia bien definida, en caso contrario será necesario conocer la curva real esfuerzo – deformación del acero.

Para el cálculo de la Resistencia de Diseño (Diseño por Resistencia) es necesario introducir los factores de reducción de resistencia (Φ) los cuales, para elementos en compresión son:

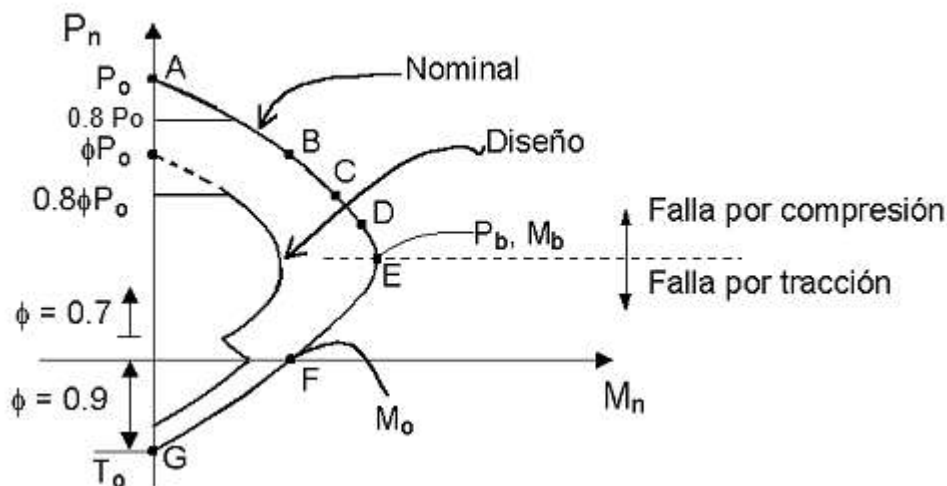
Para columnas con estribos: $\Phi = 0.70$

Para columnas con espirales: $\Phi = 0.75$ (debido a su mayor ductilidad).

PUNTOS NOTABLES DE UN DIAGRAMA DE INTERACCIÓN

Figura 23:

Forma típica de un diagrama de interacción para una columna con estribos.



Fuente: Concreto Armado - Gianfranco Ottazzi 2004.

a) Punto de Falla en compresión pura:

La resistencia en compresión pura, que viene dada por la ecuación 20-4, raramente se puede alcanzar ya que siempre habrá un momento flector asociado con la carga axial, ya sea por el desalineamiento vertical de la columna, por el desalineamiento del refuerzo vertical, por la falta de uniformidad en la compactación del concreto, por la

presencia de momentos desequilibrados en los nudos provenientes de las vigas, etc. En consecuencia, la Norma establece como valor máximo de la carga que produce la falla en compresión lo siguiente:

Columnas con estribos:

$$(\alpha = 0.8, f = 0.7)$$

$$P_n \max = 0.8 P_o$$

$$P_u \max = f 0.8 P_o = f 0.8 [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

Columnas con espirales:

$$(\alpha = 0.85, f = 0.75)$$

$$P_n \max = 0.85 P_o$$

$$P_u \max = f 0.85 P_o = f 0.85 [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (20-12)$$

b) Punto B:

Si se desprecia la resistencia a tracción del concreto, este punto podría considerarse como el límite a partir del cual la sección se agrieta. A partir de este punto, la sección empieza a comportarse como parcialmente fisurada.

c) Punto C:

Corresponde a una deformación nula (esfuerzo cero) en el refuerzo en tracción más alejado del borde en compresión.

Este punto es útil para clasificar el empalme en las armaduras de la columna. Hasta este punto los empalmes son los correspondientes a barras en compresión, a medida que el acero comienza a trabajar en tracción, los empalmes clasifican como Tipo A en

tracción. Del punto C hasta el punto D se usan empalmes Tipo A y del punto D para abajo se usan empalmes en tracción Tipo B o Tipo C dependiendo del porcentaje de barras que se empalmen en una misma sección.

d) Punto D:

Corresponde a un esfuerzo en el refuerzo en tracción más alejado del borde en compresión equivalente al 50% del de fluencia. Este punto también es útil para clasificar los empalmes de las armaduras longitudinales.

e) Punto E:

Corresponde a lo que se denomina el punto falla balanceada de la sección. Es un punto que se puede definir con precisión y marca el tránsito entre la falla por compresión y la falla por tracción. En una columna, cuando la carga axial es mayor que la balanceada, la falla ocurre sin que las barras más alejadas del borde comprimido lleguen a la fluencia en tracción cuando la sección alcanza su capacidad máxima. A este tipo de falla se le denomina falla en compresión.

f) Punto F:

Corresponde a la falla en flexión pura, es decir, cuando la carga axial es nula. Es aplicable todo lo estudiado para la sollicitación de flexión simple. Este punto normalmente hay que obtenerlo por tanteos.

g) Punto G:

Corresponde a la falla en tracción pura.

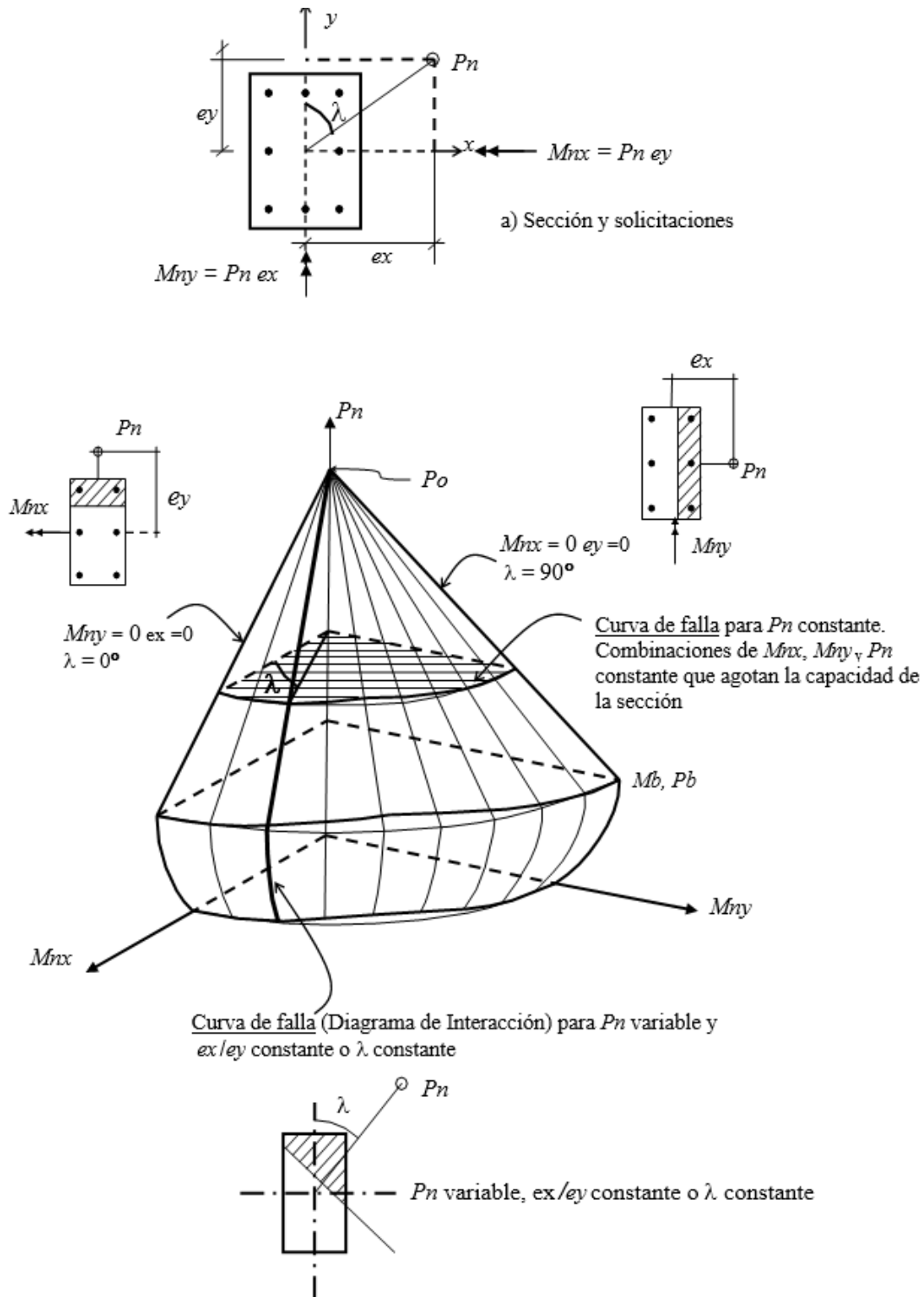
DISEÑO POR FLEXIÓN BIAXIAL

“En la práctica las columnas sometidas a carga axial y flexión biaxial se presentan con más frecuencia que las vigas. Una situación típica es la de las columnas que soportan los efectos de las fuerzas laterales de sismo o viento. En este caso además de la flexión producida por las cargas verticales (de gravedad) alrededor de uno de los ejes principales, se producirá por el sismo o viento flexión alrededor del otro eje principal originando una sollicitación biaxial. El problema de diseño de columnas en flexión biaxial es complejo numéricamente por la gran cantidad de iteraciones que es necesario realizar, recuerde que el eje neutro por lo general no es perpendicular a la excentricidad resultante o paralelo al vector momento resultante. Para el diseño normalmente se suele suponer un cierto arreglo de la armadura de refuerzo y el área de acero supuesta se va corrigiendo hasta lograr que la capacidad de la columna sea adecuada para soportar las sollicitaciones externas.

El análisis de columnas en flexión biaxial es un poco más simple que el de diseño ya que se conoce de antemano el arreglo y el área de las armaduras. En este caso es posible describir la resistencia de una sección mediante las llamadas Superficies de Interacción, que representan el lugar geométrico de todas las combinaciones de carga axial (P_n) y momentos flectores M_{nx} , M_{ny} que juntos agotan la capacidad de la sección.” (Gianfranco Ottazzi 2004.)

Figura 24:

Superficie de interacción para Flexo compresión Biaxial.



Fuente: Concreto Armado - Gianfranco Ottazzi 2004.

“Los diagramas de interacción contenidos en los planos $P_n - M_{nx}$ y $P_n - M_{ny}$ respectivamente, corresponden a flexión uniaxial y su construcción se puede hacer con los métodos estudiados en flexo compresión. Todos los otros diagramas comprendidos entre los dos anteriores, corresponden a un cierto ángulo de inclinación (λ) de la excentricidad resultante con respecto a los ejes principales de la sección.

Las secciones horizontales a través de la superficie de interacción representan el lugar geométrico de todas las posibles combinaciones de M_{nx} y M_{ny} que conjunto con una carga axial constante agotan la capacidad de la sección, se les denomina Curvas de Falla para carga constante o Contornos de Carga Constante. Las curvas de interacción que se presentaron para el caso de vigas en flexión biaxial son un caso particular de los contornos de carga en el cual la carga axial es nula.” (Gianfranco Ottazzi 2004.)

Método de Bresler

“Cuando las columnas están sujetas simultáneamente a momentos flectores en sus dos ejes principales, el diseño deberá hacerse a partir de las hipótesis y principios dados. Alternativamente se podrá usar la siguiente ecuación aproximada, aplicable a columnas cuadradas o rectangulares con armadura longitudinal simétrica.” (NTP E.060 Cap.10.18)

Ecuación (44)

(NTP E.060 Cap.10.18)

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{on}}$$

Donde:

P_n = Resistencia nominal a carga axial en flexión biaxial.

P_{nx} = Resistencia nominal bajo la acción de momento únicamente en X ($e_y = 0$).

P_{ny} = Resistencia nominal bajo la acción de momento únicamente en Y ($e_x = 0$).

P_{on} = Resistencia nominal bajo la acción de carga axial únicamente ($e_x = e_y = 0$)

que se calcula mediante: $0.85 f'c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$

Deberá verificarse que la resistencia de diseño no exceda de lo especificado en 10.3.6.

La ecuación anterior es válida para valores de $P_u \geq 0,1 \phi P_{on}$; para valores menores de la carga axial P_u , se usará la siguiente ecuación:

Ecuación (45)

(NTP E.060 Cap.10.18)

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1.0$$

donde ϕM_{nx} y ϕM_{ny} son las resistencias de diseño de la sección con respecto a los ejes X e Y respectivamente. La ecuación es aplicable también a vigas sometidas a flexión biaxial.

1.1.6.2. Diseño de Vigas

a- DISEÑO POR FLEXIÓN

El diseño que se emplea hoy en día en las estructuras de concreto armado es el denominado Diseño por Resistencia, sus siglas en inglés son: USD - Ultimate Strength Design (Resistencia Última o Diseño a la Rotura).

La Ecuación Básica para el diseño por resistencia es:

$$\mathbf{Resistencia} \geq \mathbf{Efecto\ de\ Cargas}$$

Ecuación que, para el caso particular de las solicitaciones de flexión simple, se convierte en:

Ecuación (46)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.3)

$$\phi Mn \geq Mu \quad \phi = 0.9$$

- Calculada sobre la base de: $f'c$, f_y , A_s , dimensiones.
- Para su determinación se

- Resistencia Requerida
- Efecto de las cargas factorizadas. Su magnitud proviene del análisis

Cualquiera sea el método de análisis o diseño utilizado, siempre se deberán cumplir los tres “bloques” fundamentales de condiciones:

- Equilibrio
- Compatibilidad
- Relaciones Constitutivas ($\sigma - \varepsilon$)

a.1 - FALLAS DE TRACCIÓN, COMPRESIÓN

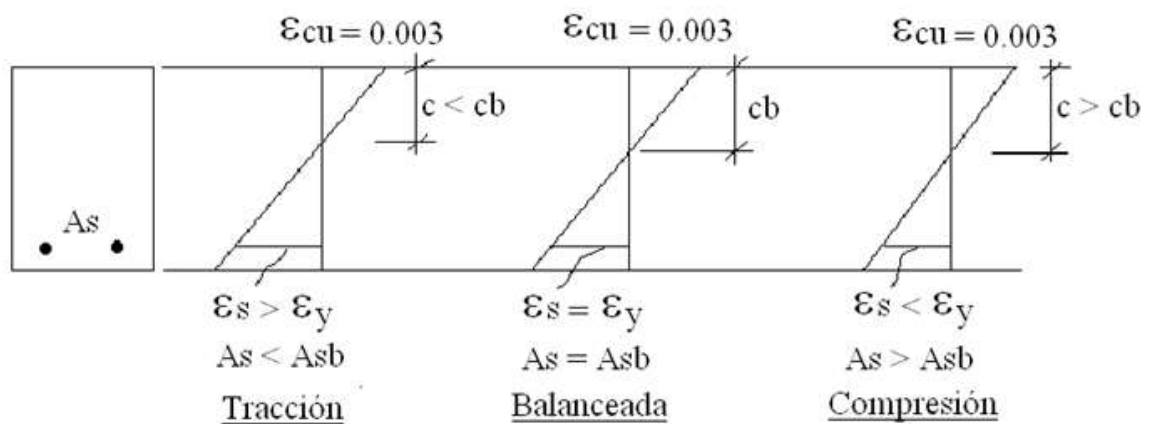
La siguiente figura muestra, por simplicidad en una sección rectangular sin acero en compresión, los tres tipos de falla que puede experimentar una sección de concreto armado sometida a flexión si fuera llevada hasta la falla. La diferencia entre los tres

tipos estriba en la deformación del acero y en la posición del eje neutro cuando la sección alcanza la falla.

Una misma sección, dependiendo da la cantidad de acero en tracción, puede experimentar cualquiera de los tres tipos de falla.

Figura 25:

Tipos de Fallas de una Sección en Flexión.



Fuente: Concreto Armado - Gianfranco Ottazzi 2004.

“La máxima deformación unitaria utilizable del concreto, ϵ_u en la fibra extrema sometida a compresión, se asumirá igual a 0,003”. (Norma Técnica E.060 Concreto Armado Cap. 10.2.3)

“Un esfuerzo en el concreto de $0,85 f'_c$ uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal del elemento y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia $a = \beta_1 c$ de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión”. (Norma Técnica E.060 Concreto Armado Cap. 10.2.7.1)

Fluencia del Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

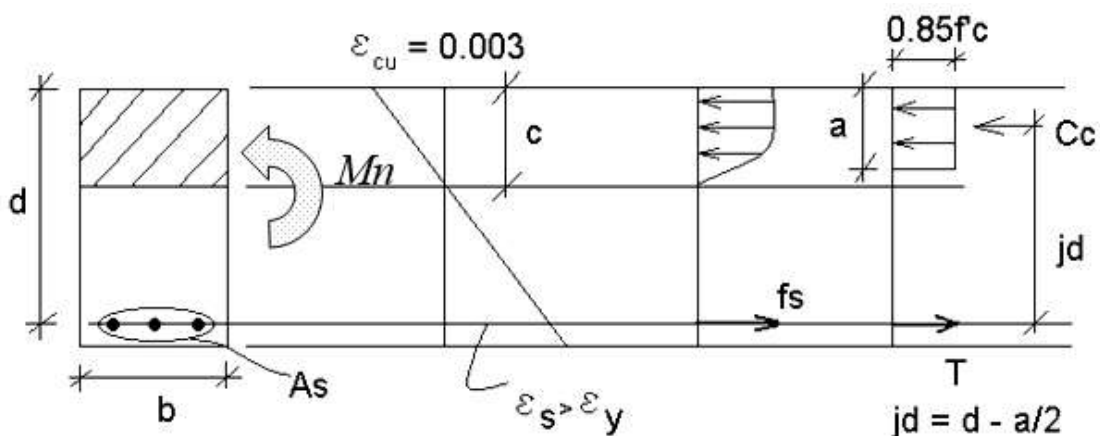
Aplastamiento del Concreto para una deformación $\epsilon_u = 0.003$.

Ubicación de “C” respecto a la fibra Exterior a compresión.

a.1.1 - FALLA DE TRACCIÓN: “Para un pequeño contenido de acero, este alcanzara la resistencia de cedencia “ F_y ”, antes que el concreto alcance su máxima capacidad de resistencia $T = A_s, F_y$ permanece constante a mayores cargas, ante una pequeña carga adicional y consecuente elongación plástica del acero a través de las grietas de flexión, se reduce la profundidad del eje neutro aumentando el brazo de palanca; y, por tanto, el momento de resistencia. El cual se vuelve máximo cuando la fibra extrema a compresión del concreto es aproximadamente 0.003, a mayor deformación disminuye el momento resistente, comenzando luego a aplastar el concreto”. (Juan Arteaga G.– Diseño de Estructuras de Concreto Armado 2014. Cap.3.2.3)

Figura 26:

Sección Rectangular. Deformaciones y fuerzas internas en la falla.



Fuente: Concreto Armado - Gianfranco Ottazzi 2004.

Para Falla a tracción:

$$a = \beta_1 c$$

$$T = A_s f_y = \rho_b b d f_y$$

$$C = 0.85 f'_c a b = 0.85 f'_c \beta_1 c b$$

$F_s = F_y$ (Resistencia de Cadencia)

$C = T$

$$0.85 f'_c a b = A_s F_y$$

Ecuación (47)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.1)

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 f'_c b}$$

La ecuación 47 permite determinar la profundidad del bloque equivalente de compresiones y a partir de ella la profundidad del eje neutro ($c = a / \beta_1$).

Ecuación (48)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.1)

$$M_u = A_s F_y (d - 0.5a) \quad \text{1ro tanteo}$$

$$M_u = A_s F_y \left(d - 0.59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right)$$

Las ecuaciones 48 son equivalentes y permiten determinar la resistencia nominal en flexión de una sección rectangular con falla en tracción.

Se sabe que:

Ecuación (49)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.1)

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

Ecuación (50)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.1)

$$\omega = \frac{\rho * fy}{f'c}$$

Ecuación (51)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.1)

$$Mu = \rho bd^2 Fy \left(1 - 0.59 \frac{\rho * fy}{f'c}\right)$$

$$Mu = bd^2 f'c * \omega(1 - 0.59\omega)$$

El Reglamento A.C.I usa el Factor ϕ

$$\phi Mn = \phi [As Fy (d - 0.5a)]$$

La ecuación 51 sirve para el análisis o para el diseño de secciones rectangulares con acero únicamente en tracción. Es la más utilizada y la incógnita es ω la que se obtiene al resolver la ecuación cuadrática. Generalmente la ecuación se emplea para el diseño de secciones, para el análisis es más simple emplear las ecuaciones 47 y 48.

a.1.2 - FALLA COMPRESIÓN: Cuando el Acero es relativamente grande, el concreto puede alcanzar su capacidad máxima antes que ceda el acero, aumentando la profundidad del eje neutro y provocando un aumento en la fuerza de compresión, compensándose ligeramente por una reducción en el brazo de palanca. Se alcanzará la resistencia a flexión a una deformación del concreto a compresión igual 0.003, pudiendo producirse una falla “Explosiva” o violenta sin aviso previo.

En este tipo de falla: $F_s < F_y$

F_s = Rango elástico, se calcula en base a la profundidad del eje neutro, considerando triángulos semejantes en el diagrama de deformación.

Equilibrio de la sección (Compresión en el Concreto = Tracción en el Acero):

$$0.85 f'c ab = A_s F_s \quad a = \frac{A_s * f_s}{0.85 f'c b} \quad C = T \quad \mathbf{a)}$$

Compatibilidad de deformaciones (secciones planas):

$$\frac{E_s}{0.003} = \frac{d - c}{c} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c}$$

$$F_s = \varepsilon_s \quad E_s = 0.003 \frac{d - c}{c} * E_s$$

$$F_s = 0.003 \frac{1 * d - a}{a} * E_s \quad \mathbf{b)}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad \mathbf{c)}$$

Sustituyendo (b) y (c) en (a) se obtiene:

$$0.85 f'c ab = A_s F_s = 0.003 \frac{1 * d - a}{a} * E_s * A_s$$

Ecuación (52)

(Gianfranco Ottazzi Cap. 9.5.2)

$$\left(\frac{0.85 f'c}{0.003 E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta_1 * d^2 = 0$$

Resolviendo la ecuación 52 se encuentra la profundidad del bloque equivalente de compresiones - a - y a partir de este valor se puede calcular la resistencia de la sección, mediante:

$$M_u = 0.85 f'c ab(d - 0.5 a)$$

Será necesario verificar que la deformación en el acero de tracción sea menor que la deformación de fluencia. En caso contrario la solución no será válida.

b- DISEÑO POR CORTANTE

“El diseño de secciones transversales sometidas a fuerza cortante debe estar basado en la ecuación: (Diseño por Resistencia)” (NTP E.060 Cap.11)

Ecuación (53)

(NTP E.060 Cap.11.1)

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde:

V_u = Fuerza cortante amplificada en la sección considerada.

V_n = Resistencia nominal al cortante.

Ecuación (54)

(NTP E.060 Cap.11.1)

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde:

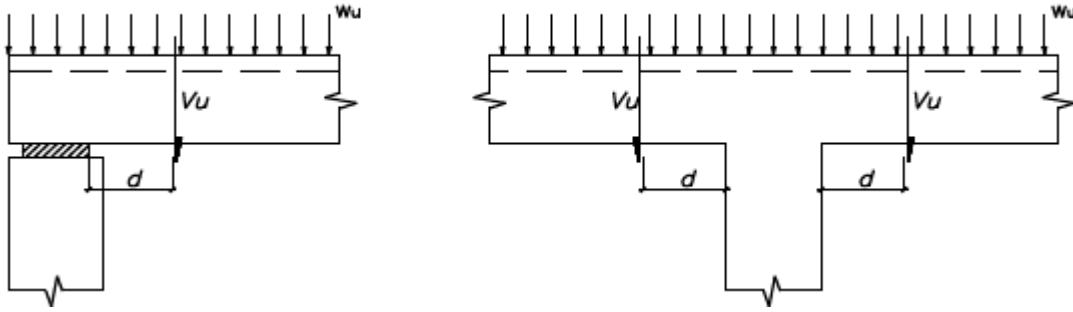
V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionado por el concreto.

V_s = Resistencia nominal al cortante proporcionado por el refuerzo de cortante.

“Para elementos no preesforzados, se permite diseñar las secciones localizadas a una distancia menor a *d*, medida desde la cara del apoyo, para la fuerza cortante *V_u* calculada a la distancia *d* de la cara del apoyo” (NTP E.060 cap.11.1.3).

Figura 27:

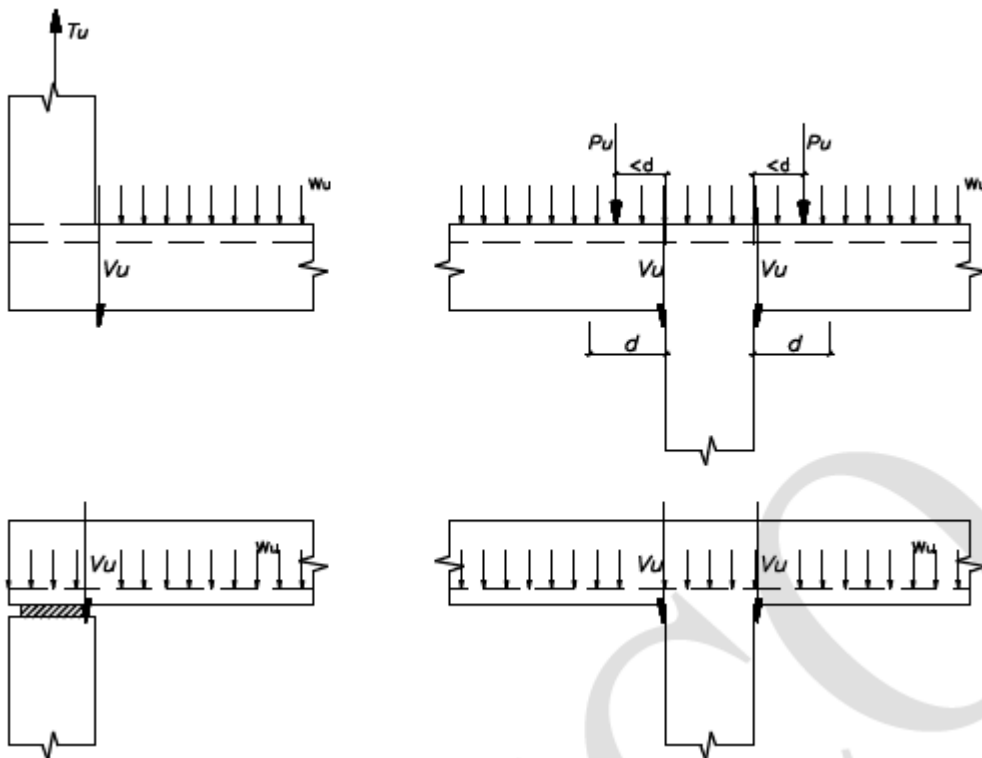
Condiciones de apoyo y de aplicación de las cargas externas en las cuales se puede reducir la fuerza V_u de diseño a d de la cara.



Fuente: Norma Técnica Peruana E.060.

Figura 28:

Condiciones de apoyo y de aplicación de las cargas externas en las cuales No se puede reducir la fuerza V_u de diseño a d de la cara.



Fuente: Norma Técnica Peruana E.060.

Para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión:

Ecuación (55)

(NTP E.060 Cap.11.1)

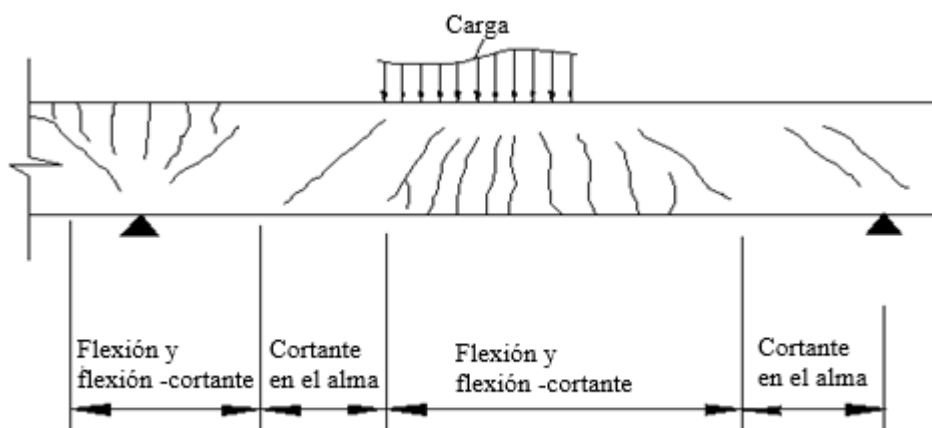
$$V_c = 0.17\sqrt{f'_c} bw d$$

Tipos de Agrietamiento:

La figura resume los diversos tipos de fisuración en los cuales interviene las fuerzas cortantes y la flexión en vigas de concreto armado.

Fuente 29:

Tipos de agrietamiento en vigas de concreto armado.



Fuente: Gianfranco Ottazzi 2004.

En la mayoría de las vigas las grietas inclinadas son extensiones de grietas existentes originadas por la flexión, se les denomina grietas de cortante por flexión o grietas de flexión – cortante. En algunos casos se pueden presentar grietas diagonales que se inician cerca de la mitad de la altura del elemento; a estas se le denomina grietas por cortante en el alma.

c- DISEÑO PARA TORSIÓN

Cálculo del momento torsor amplificado (torsión de equilibrio y torsión de compatibilidad):

“En estructuras estáticamente indeterminadas, donde se puede producir una reducción del momento torsor en el elemento debido a la redistribución de fuerzas internas después del agrietamiento por torsión, se permite reducir el máximo torsor T_u a los valores dados en (a), (b) o (c) según corresponda:” (NTP E.060 cap. 11.6.2.2)

a) En elementos no preesforzados: En elementos no preesforzados, las secciones ubicadas a menos de una distancia d de la cara de un apoyo deben ser diseñadas por lo menos para el valor de T_u calculado a una distancia d . Si existe un momento torsor concentrado dentro de dicha distancia, la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo.

Ecuación (56)

(NTP E.060 Cap.11.6.2.2)

$$T_u = \phi 0.33 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

b) En elementos preesforzados: En elementos preesforzados, las secciones ubicadas a menos de una distancia $h/2$ de la cara de un apoyo deben ser diseñadas por lo menos para el valor de T_u calculado a una distancia $h/2$. Si existe un momento torsor concentrado dentro de dicha distancia, la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo.

Ecuación (57)

(NTP E.060 Cap.11.6.2.2)

$$T_u = \phi 0.33 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_p c}{0.33 \sqrt{f'_c}}}$$

c) Para elementos no preesforzados sometidos a una fuerza axial de tracción o compresión:

Ecuación (58)

(NTP E.060 Cap.11.6.2.2)

$$T_u = \phi 0.33 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0.33 A_g \sqrt{f'_c}}}$$

Donde:

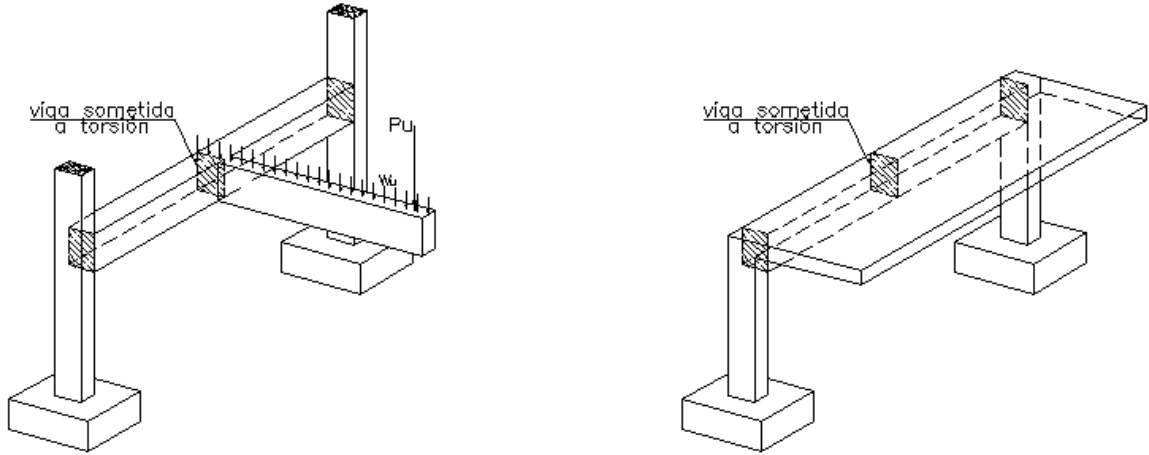
A_{cp} = Área de la sección bruta de concreto. En secciones huecas A_{cp} no puede ser reemplazada por A_g .

P_{cp} = Perímetro de la sección bruta de concreto.

Nu = Es positivo para fuerza de compresión y negativo para fuerza de tracción

Fuente 30:

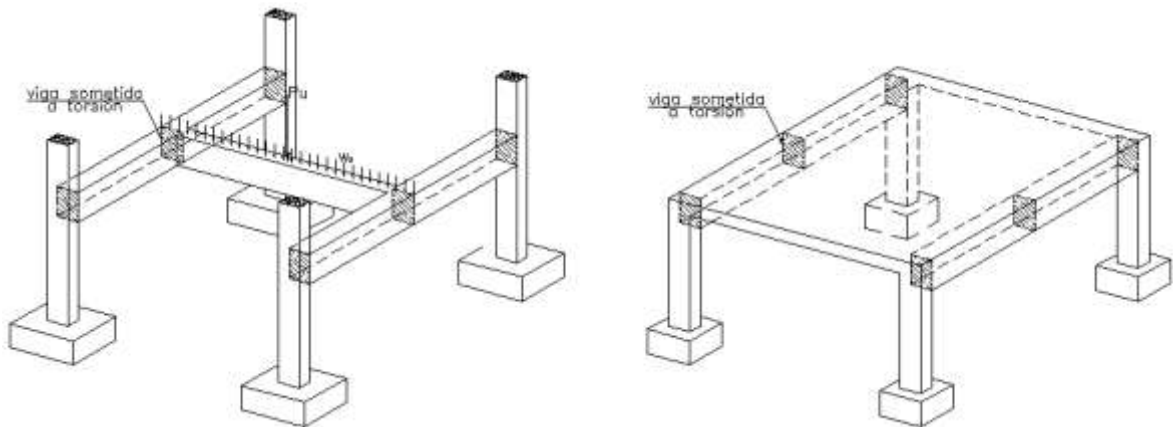
Casos en los cuales la resistencia a la torsión es indispensable para el equilibrio de la estructura (Torsión de Equilibrio).



Fuente: NTP E.060 cap.11.6.21.

Fuente 31:

Casos en los cuales la resistencia a la torsión NO es indispensable para el equilibrio de la estructura (Torsión de Equilibrio).



Fuente: NTP E.060 cap.11.6.21.

Donde el momento torsor T_u excede el momento torsor especificado anteriormente, el diseño de la sección debe basarse en:

Ecuación (59)

(NTP E.060 Cap.11.6.3.5)

$$\phi T_n \geq T_u$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

Ecuación (60)

(NTP E.060 Cap.11.6.3.6)

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

A_o debe determinarse por análisis o se puede asumir igual a $0,85 A_{oh}$.

θ no debe tomarse menor a 30° ni mayor que 60° . Se puede tomar θ igual a: 45° en elementos no preesforzados o con un preesforzado menor al indicado en (b), $37,5^\circ$ para elementos preesforzados con una fuerza efectiva de preesforzado no menor a un 40% de la resistencia a tracción del refuerzo longitudinal (A_{ps} f_{pu}).

El área adicional de refuerzo longitudinal necesario para resistir torsión, A_l , no debe ser menor que:

Ecuación (61)

(NTP E.060 Cap.11.6.3.7)

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

Donde:

θ = debe tener el mismo valor usado en la ecuación anterior.

At/s = debe tomarse como la cantidad calculada con la ecuación anterior sin modificarla.

f_{yt} = se refiere al refuerzo transversal cerrado para torsión.

f_y = refuerzo longitudinal de torsión

Refuerzo mínimo para torsión

Toda sección sujeta a torsión considerable debe contar con una cantidad mínima de refuerzo transversal igual a:

Ecuación (62)

(NTP E.060 Cap.11.6.5.2)

$$(A_v + 2A_t) = 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

Pero no debe ser menor de:

Ecuación (63)

(NTP E.060 Cap.11.6.5.2)

$$\frac{(0.35 b_w s)}{f_{yt}}$$

Donde se requiera refuerzo para torsión, el área mínima total de refuerzo longitudinal para torsión, **A_{l, min}**, debe calcularse mediante:

Ecuación (64)

(NTP E.060 Cap.11.6.5.3)

$$A_{l, \min} = \frac{1.42\sqrt{f'c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Donde:

A_t/s = No debe tomarse menos que 0.75 bw/fyt

f_{yt} = Refuerzo transversal cerrado para torsión.

f_y = Refuerzo longitudinal para torsión.

1.1.7. Parámetros de Diseño Sismorresistente NTP E.030

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- Evitar pérdidas de vidas
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños de a la propiedad.

Aspectos Sismorresistente para tener en cuenta:

- Peso mínimo: tener en cuenta el criterio en los pisos altos.
- Continuidad en la estructura, tanto en la planta como elevación
- Simetría: como en dimensiones en la distribución de masas y rigidez.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia suficiente para contrarrestar las cargas laterales.
- Ductilidad: entidad como la capacidad de deformación de la estructura más

allá del rango elástico.

a. Zonificación

“El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura N° 1. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. El Anexo II contiene el listado de las provincias y distritos que corresponden a cada zona” (NTP E030 Cap. 2 Art. 10)

“A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N° 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad” (NTP E030 Cap. 2 Art. 10.2)

Figura 32:
Zonas Sísmicas.



Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 10

Tabla 6:
Factor de zonas Sísmicas “Z”.

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 10

b. Perfil de Suelo

“Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s) alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de (\bar{N}_{60}) los obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos.

Estas propiedades se determinan para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación.

Para los suelos predominantemente granulares, se calcula (\bar{N}_{60}) considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de (\bar{N}_{60}) para los estratos con suelos granulares y de (\bar{S}_u) para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más desfavorable”. (NTP E030 Cap. 2 Art. 12)

Tabla 7:

Factor de zonas Sísmicas “Z”.

Perfil	\bar{V}_S	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 12

c. Parámetros de Sitio (S, TP y TL)

Se considera el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas.

Tabla 8:
Factor “S”.

ZONA / SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 13

Tabla 9:

Periodo “TP” y “TL”.

	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP	0,30	0,40	0,60	1,00
TL	3,00	2,50	2,00	1,60

Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 13

d. Factor de Amplificación Sísmica (C).

Se define el factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente Expresión:

Figura: Periodo “TP” y “TL”.

$$\begin{array}{ll}
 T < T_P & C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 T > T_L & C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{array}$$

Fuente: NTP E030 Cap. 2 Art. 14

Donde:

T = Periodo

C = Factor de Amplificación estructural respecto de la aceleración del suelo

T_p = Periodo Corto

T_l = Periodo Largo

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

e. Categoría de las Edificaciones y Factor (U)

Para edificios con aislamiento sísmico en la base se puede considerar $U = 1$.

Tabla 10:

Categoría de las Edificaciones y Factor “U”.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR <i>U</i>
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U es como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones se provee resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

Fuente: NTP E030 Cap. 3 Art. 15

f. Categoría y Sistemas Estructurales

De acuerdo con la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta se proyecta empleando el sistema estructural que se indica en la Tabla y respetando las restricciones en la tabla de irregularidad.

Tabla 11:

Categoría y Sistema Estructural de las Edificaciones.

Categoría de la Edificación	Zona	Sistema Estructural
A1	4 y 3	Aislamiento Sísmico con cualquier sistema estructural.
	2 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada.
A2 (**)	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF. Estructuras de concreto: Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada.
	1	Cualquier sistema.
B	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF. Estructuras de concreto: Pórticos, Sistema Dual, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada. Estructuras de madera
	1	Cualquier sistema.
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema.

(*) Para edificaciones con cobertura liviana se podrá usar cualquier sistema estructural.

(**) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se puede usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas correspondientes a dichos materiales.

Fuente: NTP E030 Cap. 3 Art. 17

g. Sistema estructural y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_0)

Cuando en la dirección de análisis, la edificación presenta más de un sistema estructural, se toma el menor coeficiente R_0 que corresponda.

Tabla 12:

Categoría y Sistema Estructural de las Edificaciones.

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

(*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(**) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Fuente: NTP E030 Cap. 3 Art. 18.

h. Coeficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas R.

Se determina de la siguiente expresión:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

Donde:

I_a = Irregularidad en Altura

I_p = Irregularidad en Planta

i. Estimación del Peso (P)

“El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- a) En edificaciones de las categorías A y B, se toma el 50% de la carga viva.
- b) En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.
- c) En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d) En azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.
- e) En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considera el 100% de la carga que puede contener.” (NTP E030 Cap. 4 Art. 126)

j. Fuerza Cortante

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

El Valor C/R no se considera menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

Periodo Fundamental de Vibración

Se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

C_t = 35 Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.*
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.*

C_t = 45 Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.*
- b) Pórticos de acero arriostrados.*

C_T = 60 Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

k. Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g$$

Donde:

Z = Factor de Zona

U = Factor de Uso

S = Factor de Suelo

C = Coeficiente de Amplificación Sísmica

l. Determinación de Desplazamientos Laterales

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla:

Tabla 13:

Límites para la Distorsión del Entrepiso.

Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: NTP E030 Cap. 3 Art. 18.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el diseño integral de una estructura con aislación sísmica LRB en el base aplicado a un edificio esencial aporticado de concreto armado?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Realizar un análisis comparativo de resultados entre un sistema aporticado convencional con un sistema aislado en la base con dispositivos LRB de un edificio Hospitalario.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar el diseño con aisladores sísmicos utilizando la NTP E.031
- Analizar los desplazamientos, derivas y esfuerzos del edificio hospitalario con aislación sísmica en la base con el edificio hospitalario aporticado.
- Realizar el análisis comparativo entre una estructura aporticado y la estructura con aislación sísmica en la base.
- Evidenciar la mejora del desempeño añadiendo un dispositivo flexible (LRB) entre el suelo y la superestructura.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La respuesta estructural con aisladores sísmicos LRB proporciona un nivel de disipación de energía adecuado con el fin de controlar los desplazamientos en comparación con una estructura convencional.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva; porque se desarrolla una descripción general del marco conceptual, procedimientos de diseños y análisis de una estructura y también cumple como una investigación comparativa ya que hay una comparación entre un edificio convencional hospitalario con un edificio con aislamiento sísmico en la base.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

- La Población de esta investigación está constituida por toda la ciudad de Trujillo perteneciente a la Zona 4 según NTP E.030.
- Se ha considerado como muestra un Hospital Esencial de categoría A1 en la ciudad de Trujillo.

2.3 Procedimiento

2.3.1 Modelamiento Estructural

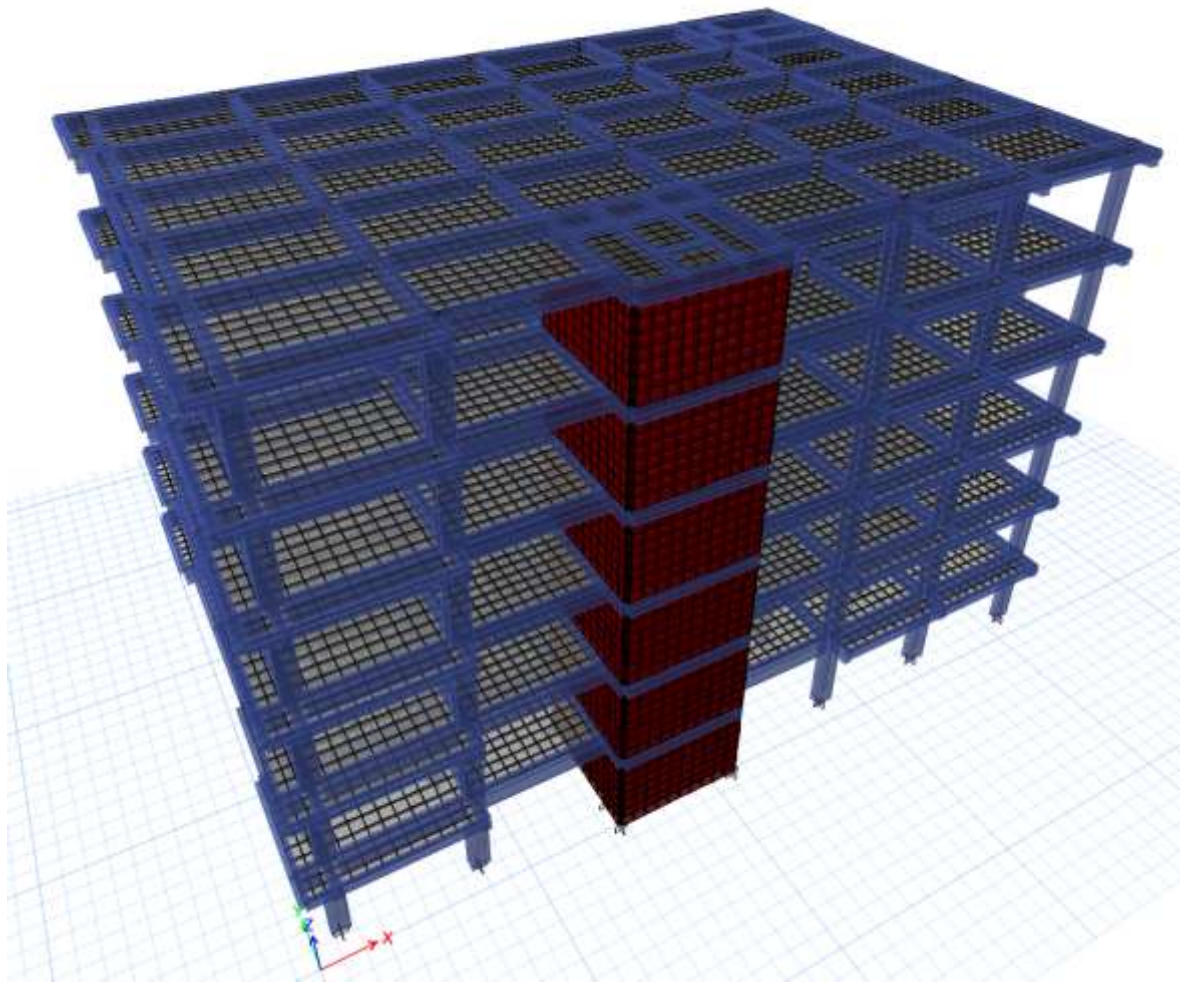
Para el análisis del edificio Hospitalario se empleó el programa ETABS 2018.

ETABS es un software innovador y revolucionario para análisis estructural y dimensionamiento de edificios. Resultado de 40 años de investigación y desarrollo continuo, esta última versión de ETABS ofrece herramientas inigualables de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de

materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados.

ETABS proporciona un conjunto inigualable de herramientas para ingenieros de estructuras que modelan y dimensionan edificios – tanto edificios industriales de un piso, como también torres de varios pisos. Con enormes capacidades y de fácil uso, desde su primera edición ETABS no pierde sus principales características, proporcionando a sus usuarios un software tecnológicamente avanzado, productivo e intuitivo.

Figura 33:
Modelamiento Estructural Empotrado.



Fuente: Software Etabs v.18.

Propiedades Mecánicas de los materiales

Se tomaron los siguientes datos para el diseño estructural del edificio:

Concreto:

Resistencia del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Pesos Especifico $= 2400 \text{ kg/cm}^3$

Módulo de Elasticidad $Ec = 15000\sqrt{210} = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$

Acero:

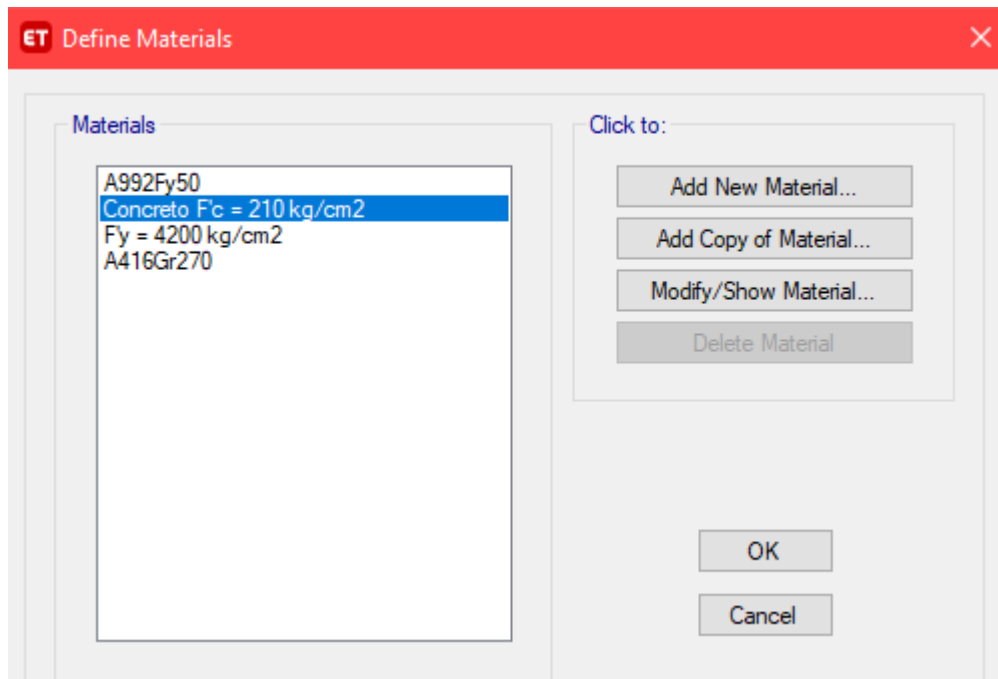
Esfuerzo de Fluencia $F'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Densidad del Acero $= 7850 \text{ kg/cm}^3$

Módulo de Elasticidad $E_c = 2100000 \text{ kg/cm}^2$

Figura 34:

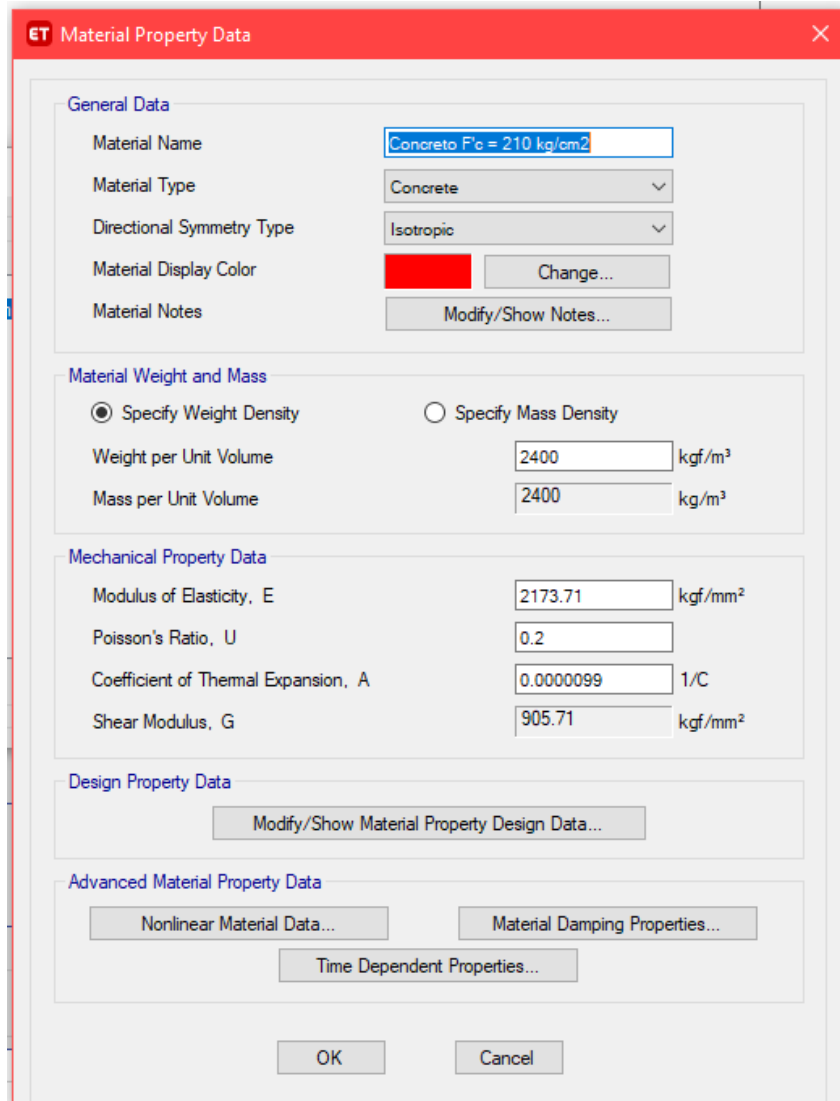
Definición de Materiales Concreto y Acero.



Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 35:

Definición de propiedades del Concreto.



ET Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kg/m³

Mass per Unit Volume: kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kgf/mm²

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

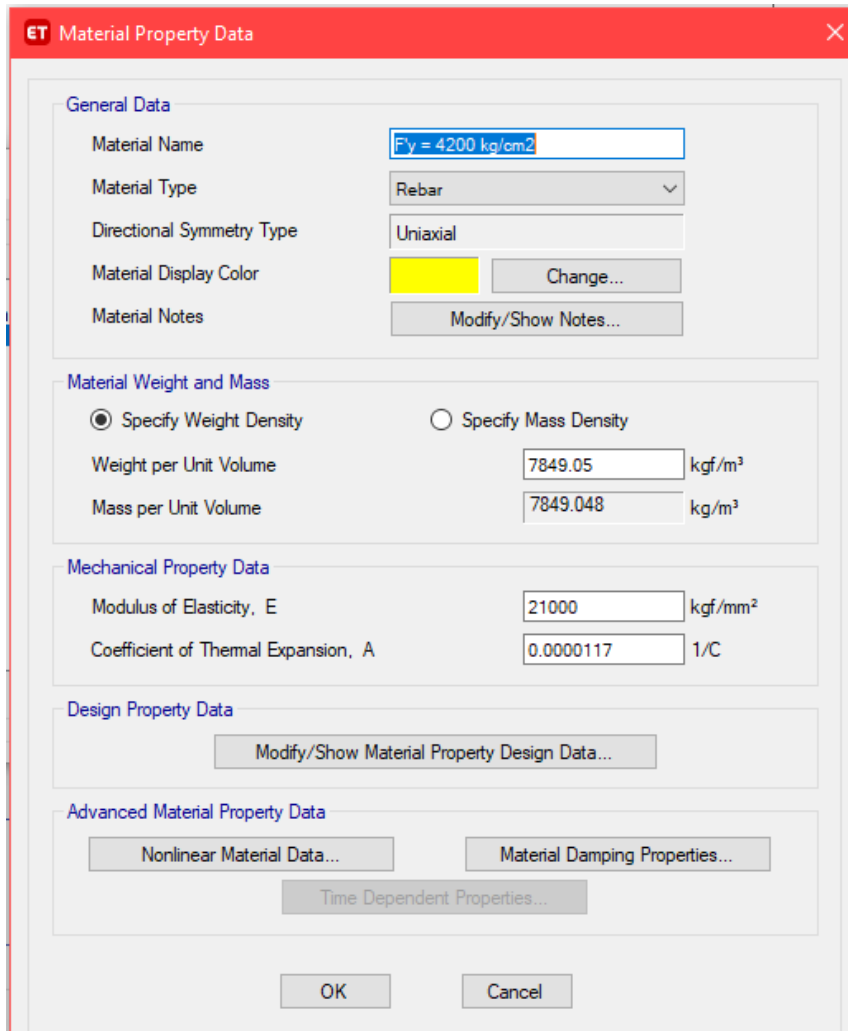
Shear Modulus, G: kgf/mm²

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 36:
Definición de propiedades del Acero.



Fuente: Software Etabs v.18.

Predimensionamiento de elementos estructurales

El predimensionamiento consiste en el establecimiento de una dimensión aproximada o tentativa para los elementos estructurales con base en criterios y requerimientos mínimos de las Normas. Sin embargo, debe verificarse luego de realizar el análisis

sísmico y/o diseño. El diseño es un proceso iterativo y las dimensiones podrían variar con la finalidad de que la estructura cumpla con los requerimientos de las Normas de diseño.

Predimensionamiento de vigas:

El peralte de una viga continua h puede estimarse en función de la luz libre entre apoyos y debería estar entre los valores calculados con la ecuación.

El ancho de vigas que formen pórticos con responsabilidad sísmica no debe ser menor que 0.25 m., según la Norma de Concreto Armado E.060.

$$h = \frac{\text{Luz Libre}}{10}$$

$$h = \frac{5.1}{10} = 0.51$$

Por lo tanto, se definió la sección de 30x55 cm para la VP. Sin embargo, luego del análisis modal espectral se definió la siguiente sección VP: 0.40x65 cm. con el fin de controlar la torsión en planta. También se definió la sección de la VS: 30x55 cm.

Predimensionamiento de Columnas:

Para el predimensionamiento de vigas se tomó en consideración la acción de al sobre carga, peso propio y la longitud entre apoyos del elemento estructural como lo señala Ing. Roberto Morales Morales en su libro el “DISEÑO EN CONCRETO ARMADO”

Tabla 14:
Predimensionamiento de Columnas.

C_1 Para los primeros pisos	COLUMNA INTERIOR $N < 3$ pisos	$P = 1.1 P_G$ $n = 0.3$
C_1 Ultimos 4 pisos superiores	COLUMNA INTERIOR $N > 4$ pisos	$P = 1.1 P_G$ $n = 0.25$
C_2, C_3	COLUMNA EXTERNA	$P = 1.25 P_G$ $n = 0.25$
C_4	COLUMNA ESQUINA	$P = 1.50 P_G$ $n = 0.20$

Fuente: Libro Roberto Morales Pág. 88.

Área tributaria C-1 =	20.20 m ²
Área tributaria C-2 =	10.00 m ²
Área tributaria C-3 =	10.10 m ²
Área tributaria C-4 =	5.00 m ²

Carga Muerta (kg/m ²)		Área Tributaria	20.2 m ²
Aligerado	300	N° Pisos	6
Acabados	100	F'c	210 kg/cm ²
Tabiquería	150	PG	23230 kg
P.P Columna	100		
P.P Vigas S	0		
P.P Vigas	100		
	<u>Wd = 750</u>	$P = 1.10 * PG$	
Carga Viva (kg/m ²)		P =	25553 kg
Hospital	400	n =	0.3
	<u>Wl = 400</u>		
	Wtotal = 1150	b.D = 2433.6 cm²	
	1500		

Considerando según Categoría de Edificación A-1

Categoría A	1500
Categoría B	1300
Categoría C	1000

Resultado de Predimensionamiento de Columnas:

C1 = 35x75 cm

C2 = 30x55 cm

C3 = 35x50 cm

C4 = 30x45 cm

Al analizar el diseño en el programa Etabs v.18 se verifico que teníamos que aumentar la rigidez para disminuir las derivas por lo cual se aumentó las secciones de columnas.

C1 Circular D=70 cm

C2 = 30x65 cm

C3 = 40x70 cm

C4 = 30x65 cm

$$\frac{I_c}{I_v} \geq 1.2 \quad \text{OK}$$

Verificación de Rotula plástica:

$$I_c > I_v \quad \text{OK}$$

Predimensionamiento de Losas

Debido a que las losas macizas presentan mayor resistencia y rigidez en comparación con otros tipos de losas, solicitan un menor espesor e .

$$e = \frac{\textit{Perimetro}}{180}$$

$$e = \frac{\textit{Luz Libre}}{40}$$

$$e = \frac{5.1}{40} = 12.75 \approx 20 \textit{ cm}$$

El predimensionamiento del espesor de las losas resulto 0.15 m. Sin embargo, por las mismas razones expuestas en el predimensionamiento de la losa maciza, se vio conveniente emplear un espesor de 0.20 m.

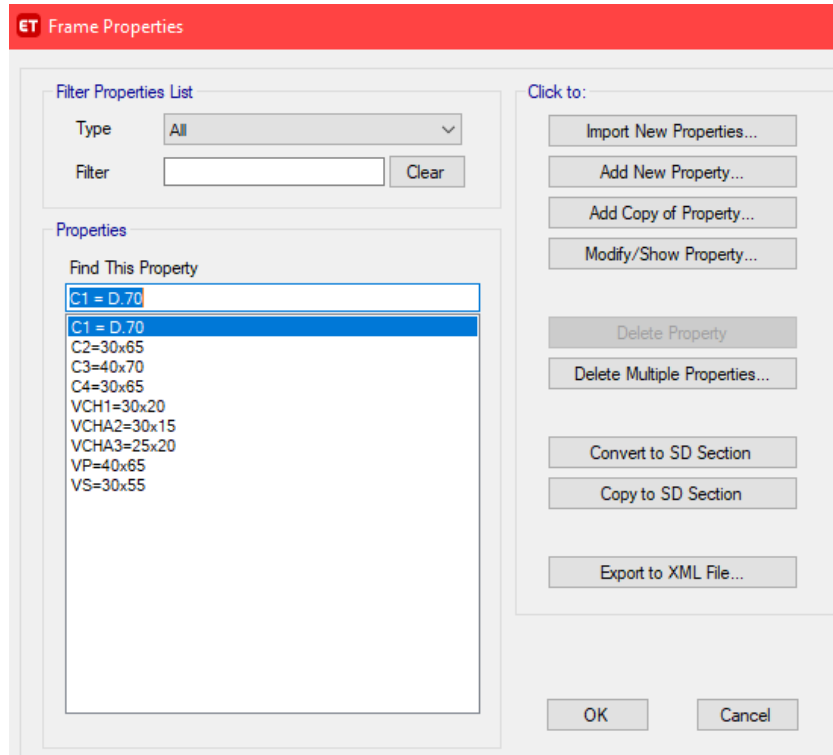
Para la losa aligerada se tomaron los siguientes parámetros por luces obteniendo un espesor de 20 cm.

Tabla 15:
Espesores mínimos para luces de losa aligerada.

Ln (m)	Espesor (cm)	H Ladrillo (cm)
Menores 4	17	12
4 - 5.5	20	15
5 - 6.5	25	20
6 - 7.5	30	25

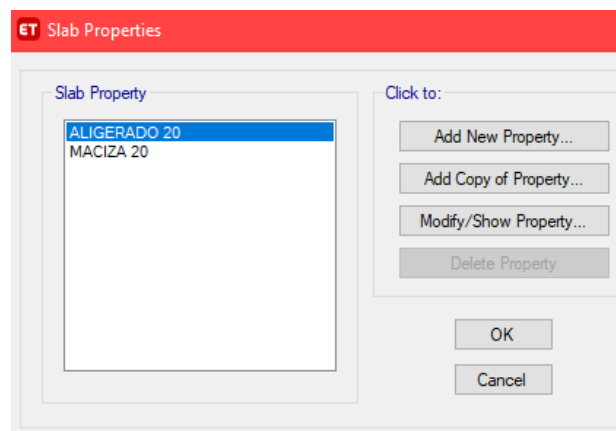
Fuente: Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado-Antonio Blanco Blasco.

Figura 37:
Configuración de Secciones Estructurales



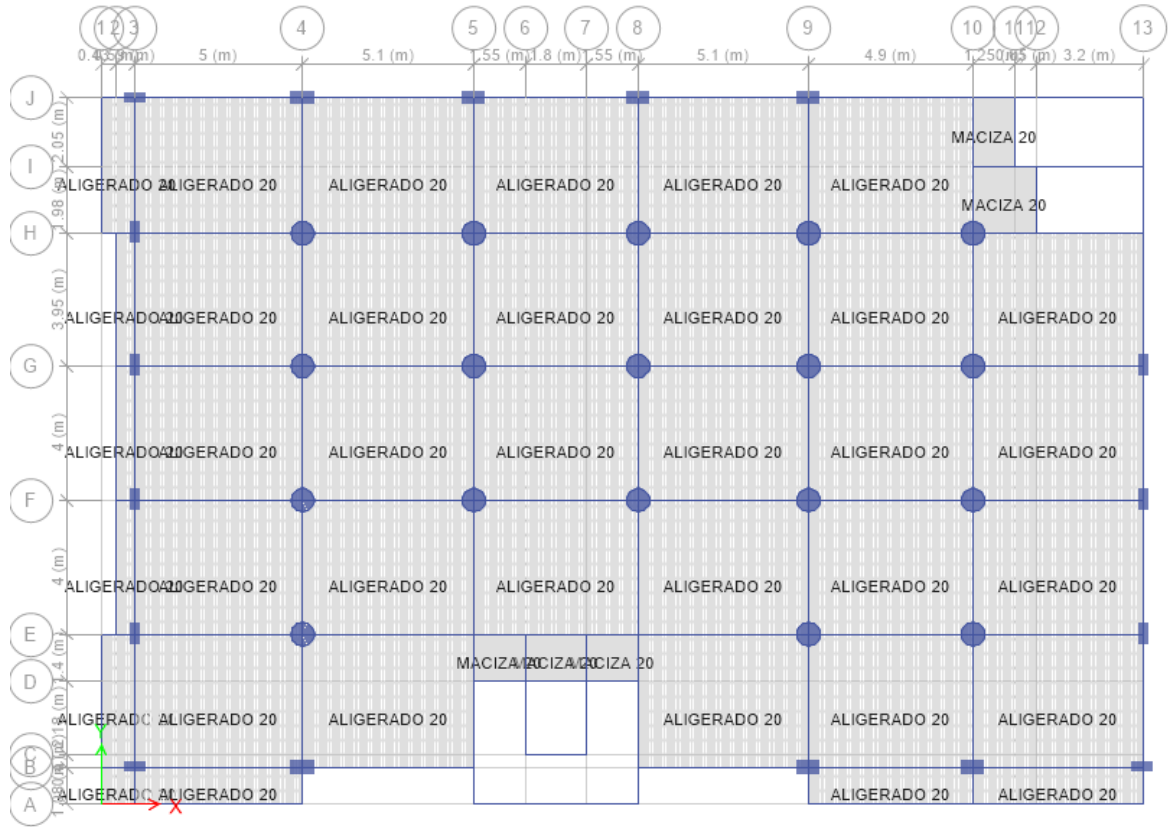
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 38:
Configuración de Losa Aligerada y Maciza.



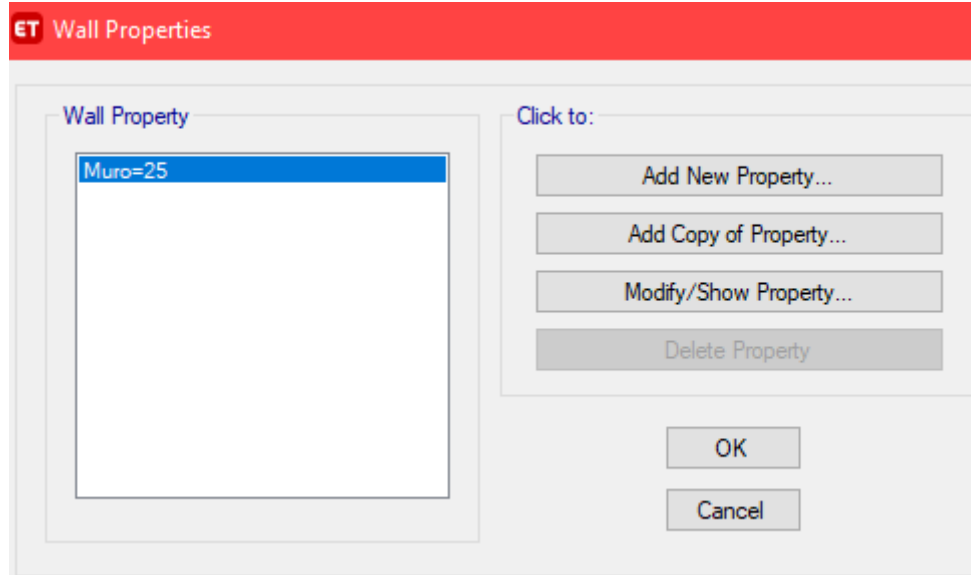
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 39:
Modelamiento de Losa Aligerada.



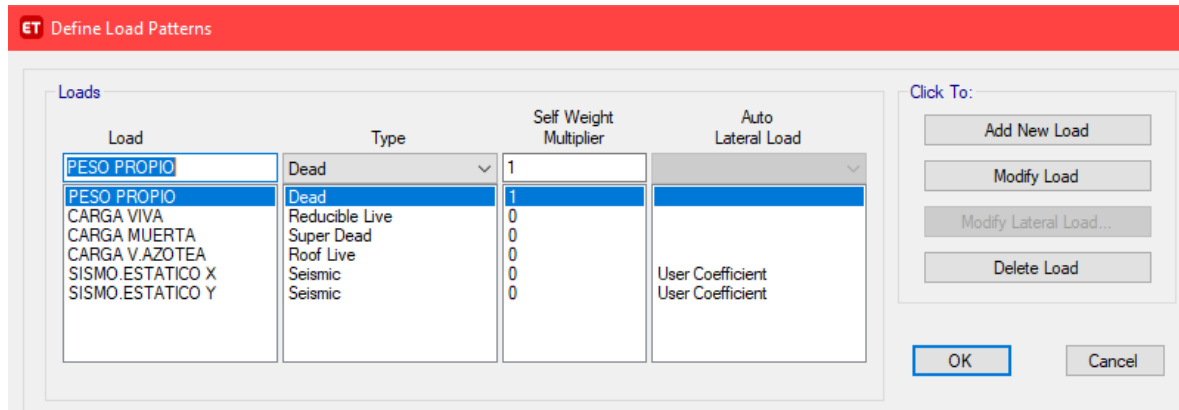
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 40:
Configuración de Muros de Ascensor y escalera



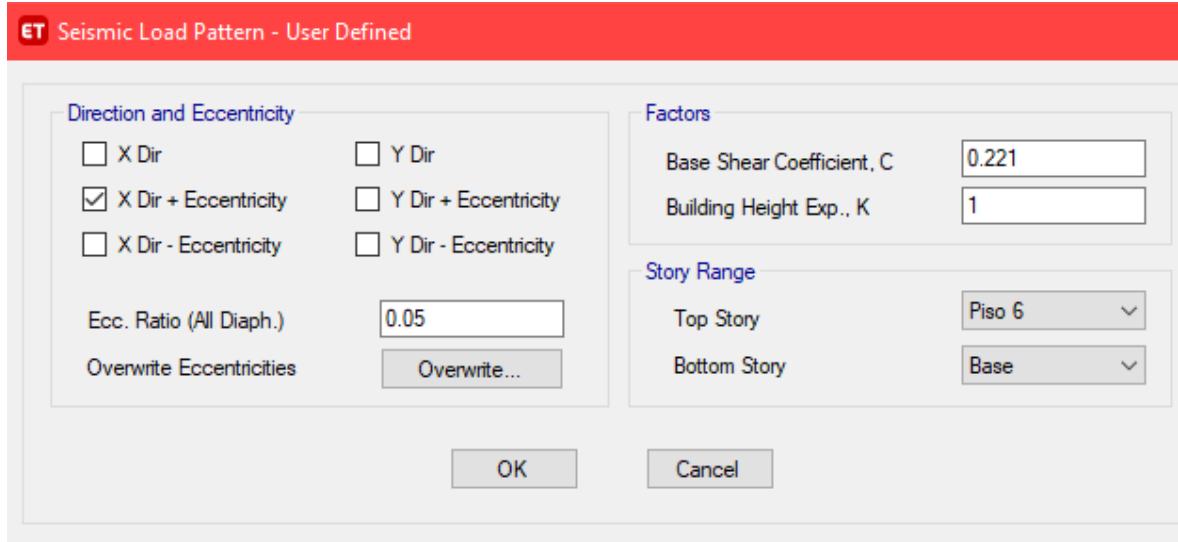
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 41:
Configuración de patrones de cargas.



Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 42:
Configuración de excentricidad de sismo estático X.



ET Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

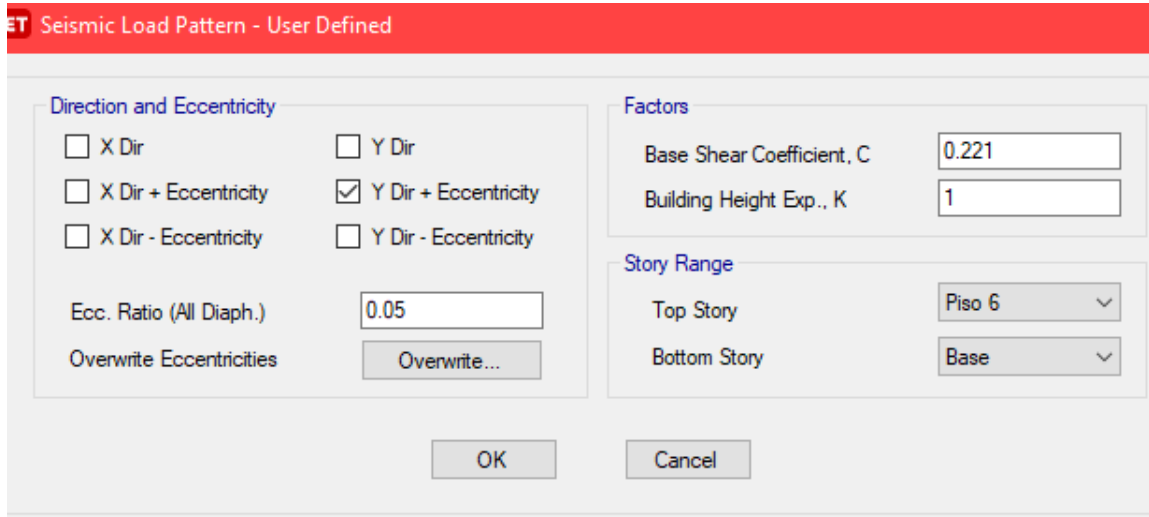
Story Range

Top Story ▾

Bottom Story ▾

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 43:
Configuración de excentricidad de sismo estático X.



ET Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir

X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

Story Range

Top Story ▾

Bottom Story ▾

Fuente: Software Etabs v.18.

Parámetros de Análisis Sísmico

Factor de Zona

Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 16:
Factor de Zona “Z”.

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: Factor de Zona Norma E030

Condiciones Geotectónicas

Tiene que ver con el tipo de suelo sobre el cual está ubicado nuestra edificación. La clasificación de suelos se hace en base a sus propiedades mecánicas, espesor del estrato, su periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de ondas de corte.

Tabla 17:
Condiciones Geotécnicas.

Perfil Tipo S0 = Roca Dura
Perfil Tipo S1 = Roca o Suelo Muy Rígido
Perfil Tipo S2 = Suelos Intermedios
Perfil Tipo S3 = Suelos Blandos
Perfil Tipo S4 = Condiciones Excepcionales

Fuente: Perfil de Suelo - Norma E030 Art. 12

Parámetros de Sitios (S, TP y TL)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL.

Tabla 18:
Factor de Suelo “S”.

ZONA/SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Factor Suelo - E030 Art. 13 Tabla N° 3

Tabla 19:
Periodos “TP” y “TL”.

	S0	S1	S2	S3
TP (S)	0.3	0.4	0.6	1
TL (S)	3	2.5	2	1.6

Fuente: Periodos Tp - Tl. E030 Art. 13 Tabla N° 4

Factor de Amplificación Sísmica (C)

Se define por las siguientes expresiones:

$$T < T_p$$

$$C = 2.5$$

$$T_p < T < T_l$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_l$$

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_l}{T^2}\right)$$

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$\frac{2.5}{8} \geq 0.31 \quad \text{Cumple}$$

Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Tabla 20:

Categoría de las Edificaciones y Factor "U".

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A. Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio Salud	Ver Nota 1

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U es como mínimo 1,5.

Nota 2: En estas edificaciones se provee resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

Fuente: Norma Técnica E030 Art. 15 Tabla N° 5

Sistema estructural y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas

(R_o)

Tabla 21:

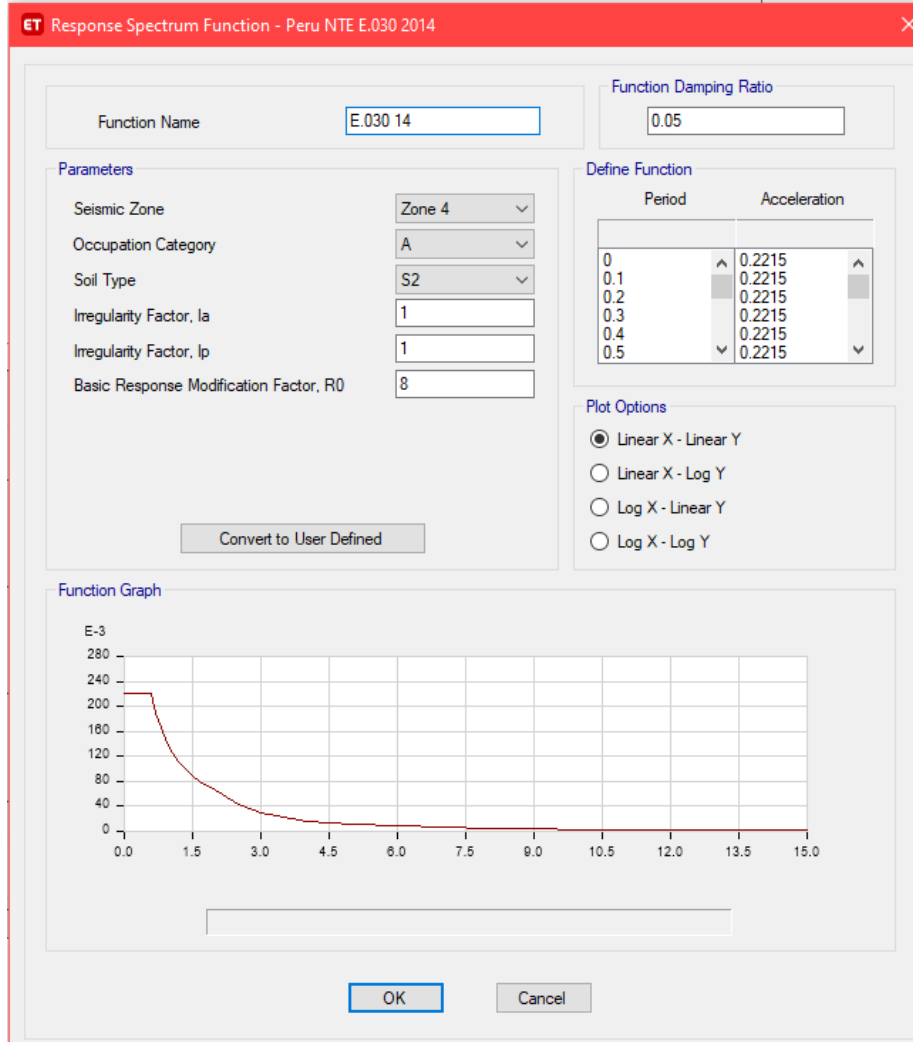
Coeficiente Básico de Reducción R_o .

<i>SISTEMA ESTRUCTURAL</i>	Coeficiente Basico de Reducción R_o (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

(*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.
(**) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Fuente: Norma Técnica E030 Art. 18 Tabla N° 7

Figura 44:
Espectro de respuesta de la edificación



Fuente: Ingreso de parámetros sísmicos en el Software ETABS v.18.

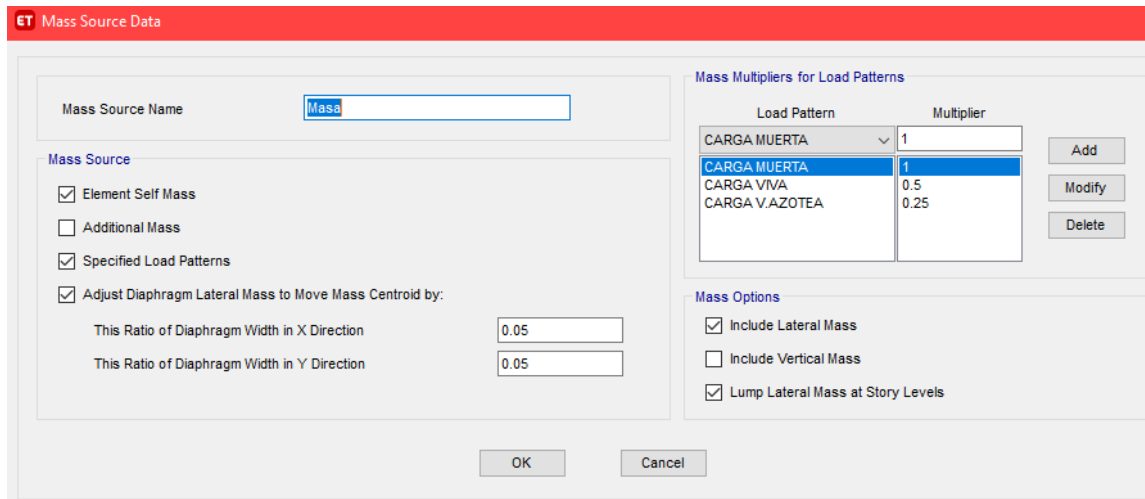
Estimación del Peso Sísmico

El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se toma el 50% de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.

- c) En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d) En azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.
- e) En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considera el 100% de la carga que puede contener.

Figura 45:
Configuración del peso sísmico según Norma E.030



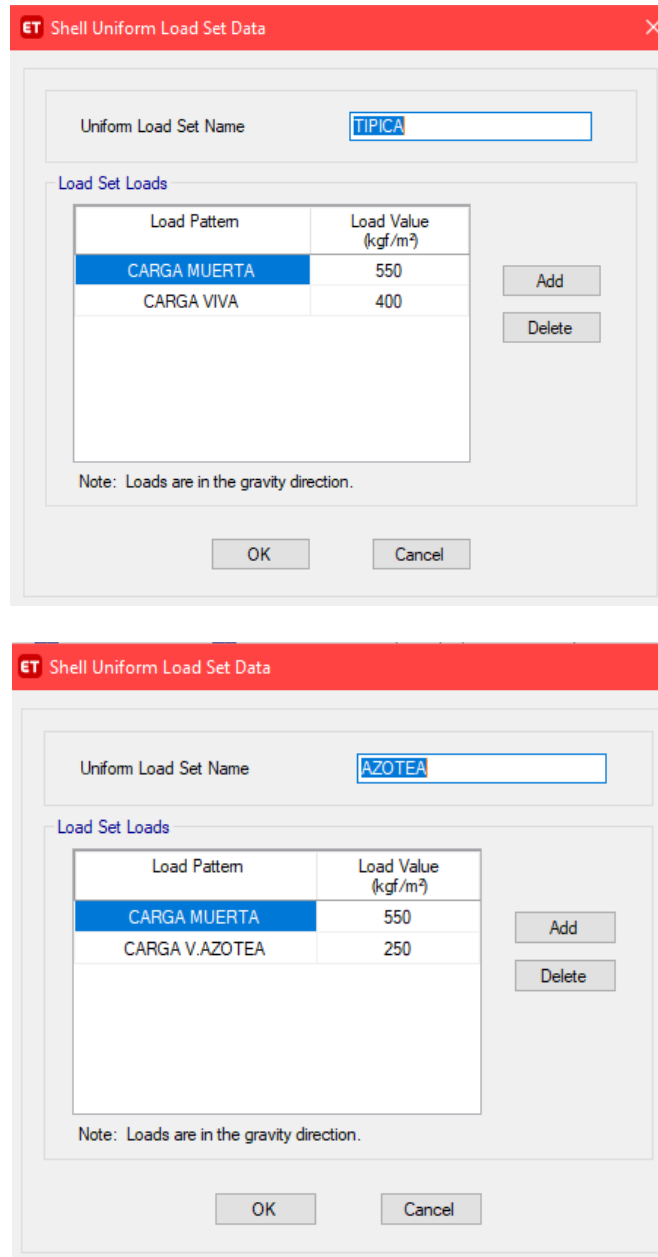
Load Pattern	Multiplier
CARGA MUERTA	1
CARGA VIVA	0.5
CARGA V.AZOTEA	0.25

Fuente: Software Etabs v.18.

Asignación de Cargas

Figura 46:

Configuración de cargas en la losa Aligerada según Norma E.020



ET Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
CARGA MUERTA	550
CARGA VIVA	400

Note: Loads are in the gravity direction.

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel

ET Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
CARGA MUERTA	550
CARGA V.AZOTEA	250

Note: Loads are in the gravity direction.

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 47:

Configuración de cargas en la Losa Maciza según Norma E.020

ET Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
CARGA MUERTA	730
CARGA VIVA	400

Add
Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel

ET Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
CARGA MUERTA	730
CARGA VIVA	250

Add
Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 48:
Configuración del Sismo Dinámico X y Y.

ET Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	E.030	12650.64
Acceleration	U2	E.030	2942

Info Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case:

Modal Combination Method:

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type:

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: Modify/Show...

OK Cancel

ET Load Case Data

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (Masa)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	E.030	12062.24
Acceleration	U1	E.030	2942

1 Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

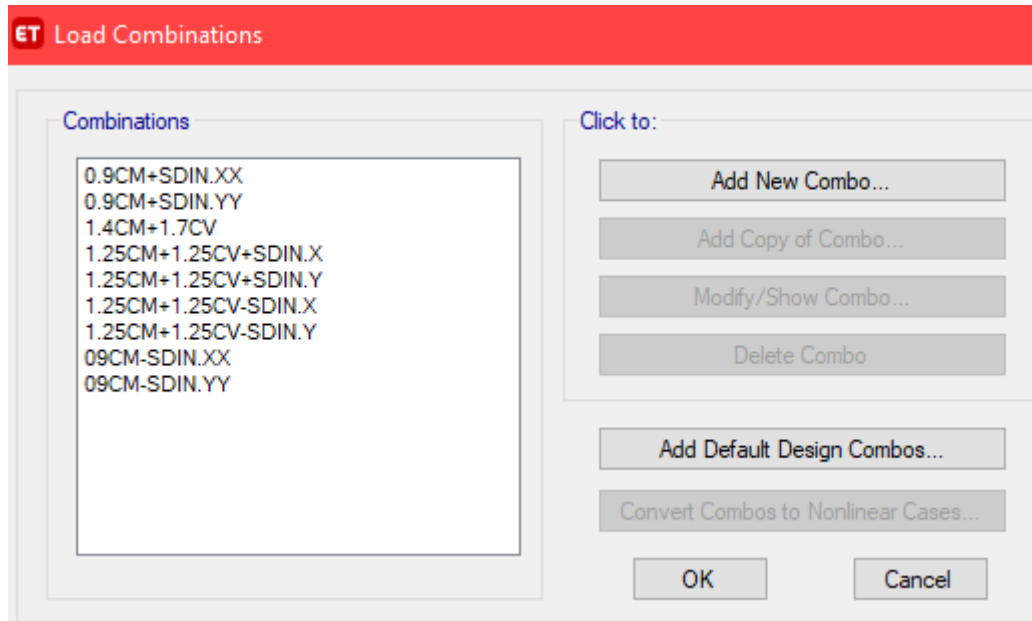
Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

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

OK Cancel

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 49:
Combinaciones Según Norma E.060



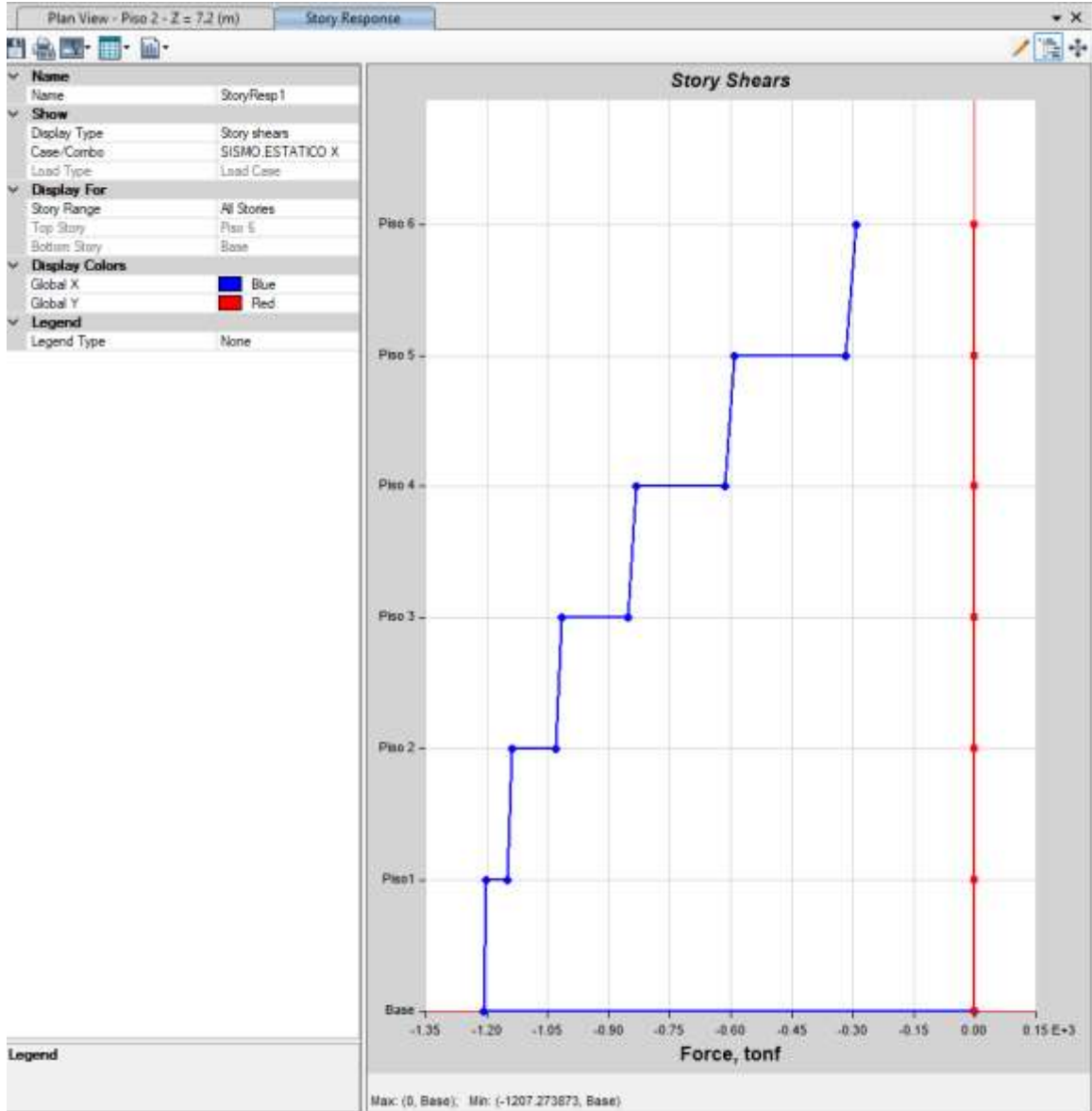
Fuente: Software Etabs v.18.

Fuerza de Cortante Mínima

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrespaño del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se escalan proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

Figura 50:
Grafico del cortante Estatico X



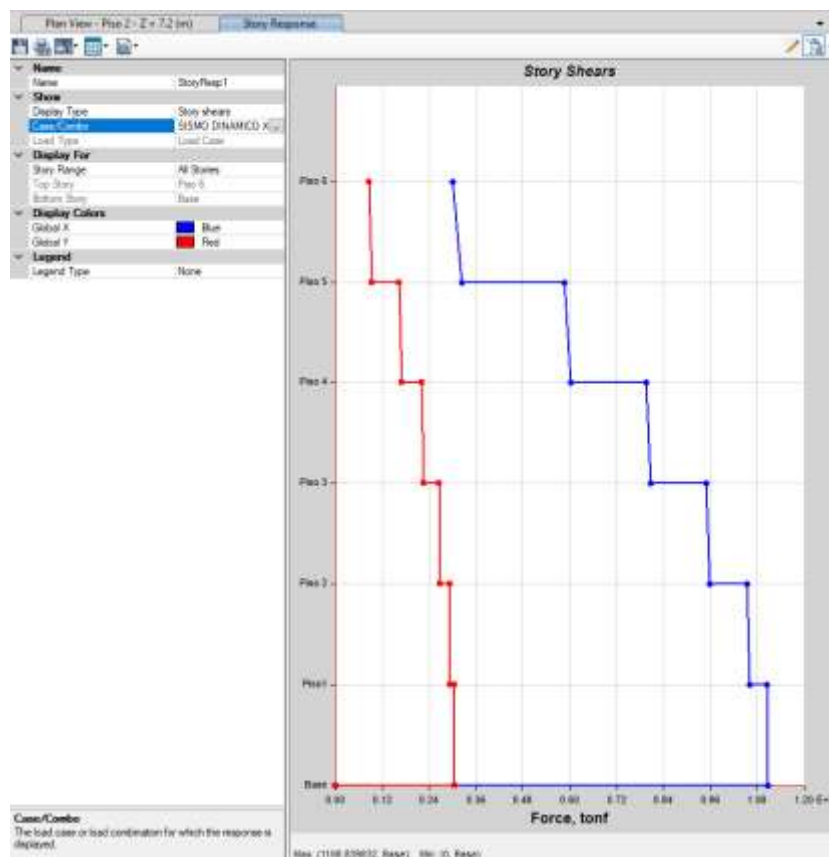
Fuente: Software Etabs v.18.

Tabla 22:
Cortante Estático.

Pisos	Output Case	VX tonf
Piso 6	SISMO.ESTATICO X	319.0222
Piso 5	SISMO.ESTATICO X	615.1061
Piso 4	SISMO.ESTATICO X	851.9732
Piso 3	SISMO.ESTATICO X	1029.6235
Piso 2	SISMO.ESTATICO X	1148.0571
Piso1	SISMO.ESTATICO X	1207.2739

Fuente: Elaboracion Propia

Figura 51:
Grafico del cortante Dinamico X



Fuente: Software Etabs v.18.

Tabla 23:
Cortante Dinámico.

Pisos	Output Case	VX tonf
Piso 6	SISMO DINAMICO XX	324.1259
Piso 5	SISMO DINAMICO XX	602.8798
Piso 4	SISMO DINAMICO XX	807.7478
Piso 3	SISMO DINAMICO XX	958.5744
Piso 2	SISMO DINAMICO XX	1059.5134
Piso1	SISMO DINAMICO XX	1106.8398

Fuente: *Elaboracion Propia.*

Tabla 24:
Verificación del Cortante Dinámico > que el 90% que el cortante Estático.

TABLE: Cortante Estático y Dinámico			Verificación
Output Case	FX	FY	
SISMO.ESTATICO X	1207.2739	0.000006478	0.916809185 OK
SISMO.ESTATICO Y	0	1207.2741	
SISMO DINAMICO XX	1106.8398	305.5841	0.916166097 OK
SISMO DINAMICO YY	291.5303	1106.0636	

Fuente: Software Etabs.

Análisis Dinámico

Para realizar el análisis dinámico modal espectral del edificio se ha considerado un espectro de pseudoaceleraciones para cada dirección horizontal de acuerdo a lo dispuesto en la norma E.030. Este análisis tiene como objetivo obtener la respuesta máxima esperada de las fuerzas internas en todos los elementos estructurales del edificio, así como de los desplazamientos. La respuesta obtenida es producto de la combinación de los resultados de todos los modos de vibración considerados. Dicha combinación se ha realizado empleando el criterio de combinación cuadrática completa (CQC) aceptada por la norma.

Modos y Periodos

Los modos de vibración dependen de la rigidez del edificio y de la distribución de masas en el mismo. Cada modo está asociado a una forma de vibrar y a un periodo de vibración.

A continuación, se muestra el análisis modal de los 18 modos calculados por el ETABS con sus respectivos periodos y porcentaje de masa participativa.

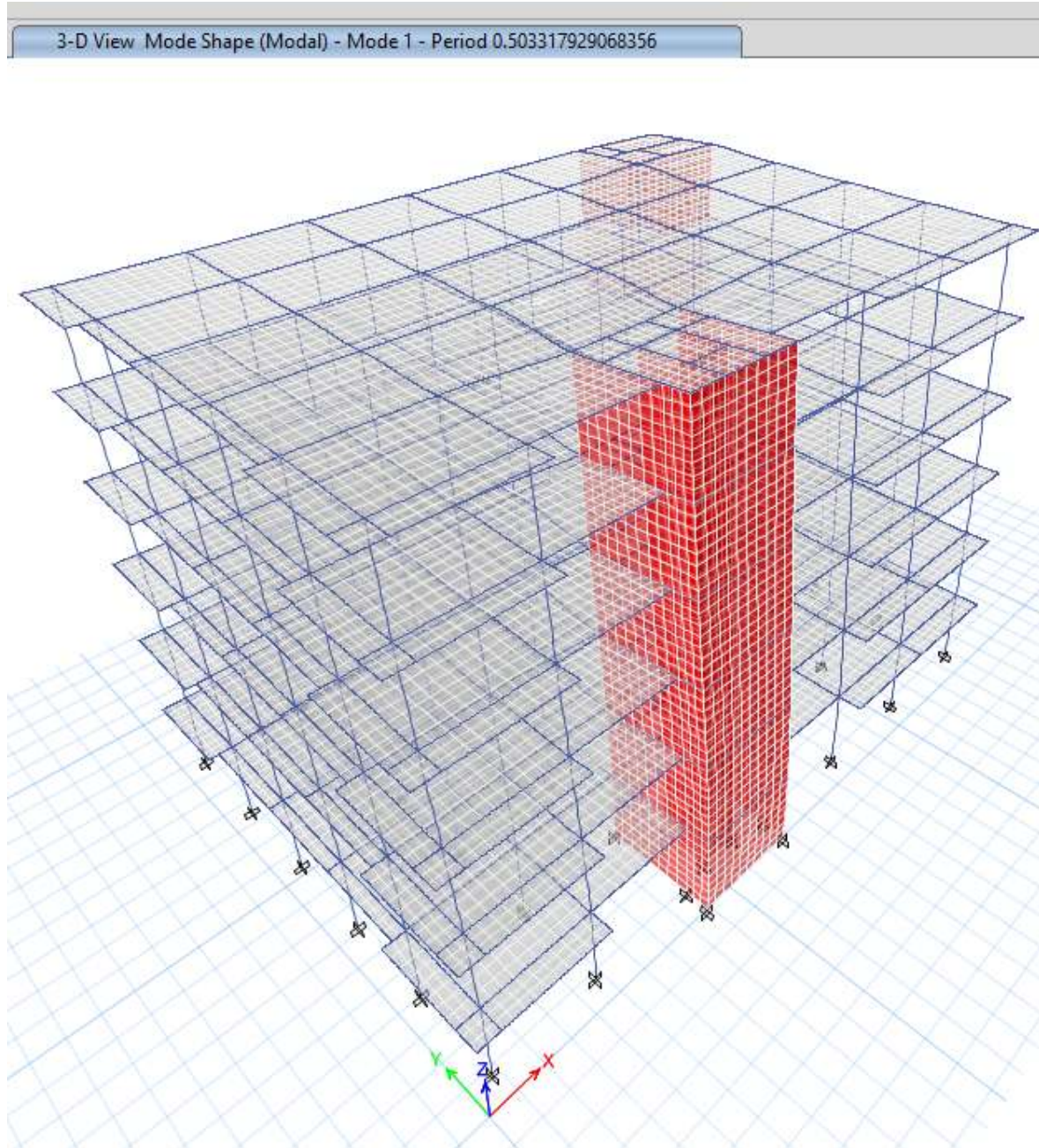
Tabla 25:
Casos de Modales y Periodos

	Modo	Periodo sec	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	0.503	0.0087	0.7088	0.0087	0.7088
Modal	2	0.464	0.6644	0.0183	0.6732	0.7271
Modal	3	0.372	0.0805	0.0129	0.7536	0.74
Modal	4	0.137	0.0027	0.1564	0.7563	0.8964
Modal	5	0.133	0.1553	0.0043	0.9116	0.9008
Modal	6	0.113	0.0033	0.0103	0.9149	0.911
Modal	7	0.079	0.0305	0.0009	0.9454	0.9119
Modal	8	0.068	0.0016	0.0514	0.947	0.9633
Modal	9	0.06	0.0022	0.0003	0.9492	0.9636
Modal	10	0.059	0.025	0.0004	0.9742	0.9641
Modal	11	0.049	0.003	0.0004	0.9771	0.9644
Modal	12	0.046	0.0002	0.000008975	0.9773	0.9645
Modal	13	0.046	0.0003	0.0202	0.9777	0.9846
Modal	14	0.043	0.0014	0.0001	0.9791	0.9848
Modal	15	0.042	0.0087	0.0003	0.9877	0.9851
Modal	16	0.036	0.0007	0.0068	0.9885	0.9919
Modal	17	0.034	8.051E-07	0.000001894	0.9885	0.9919
Modal	18	0.033	0.0029	0.0011	1	1

Fuente: Software Etabs v.18.

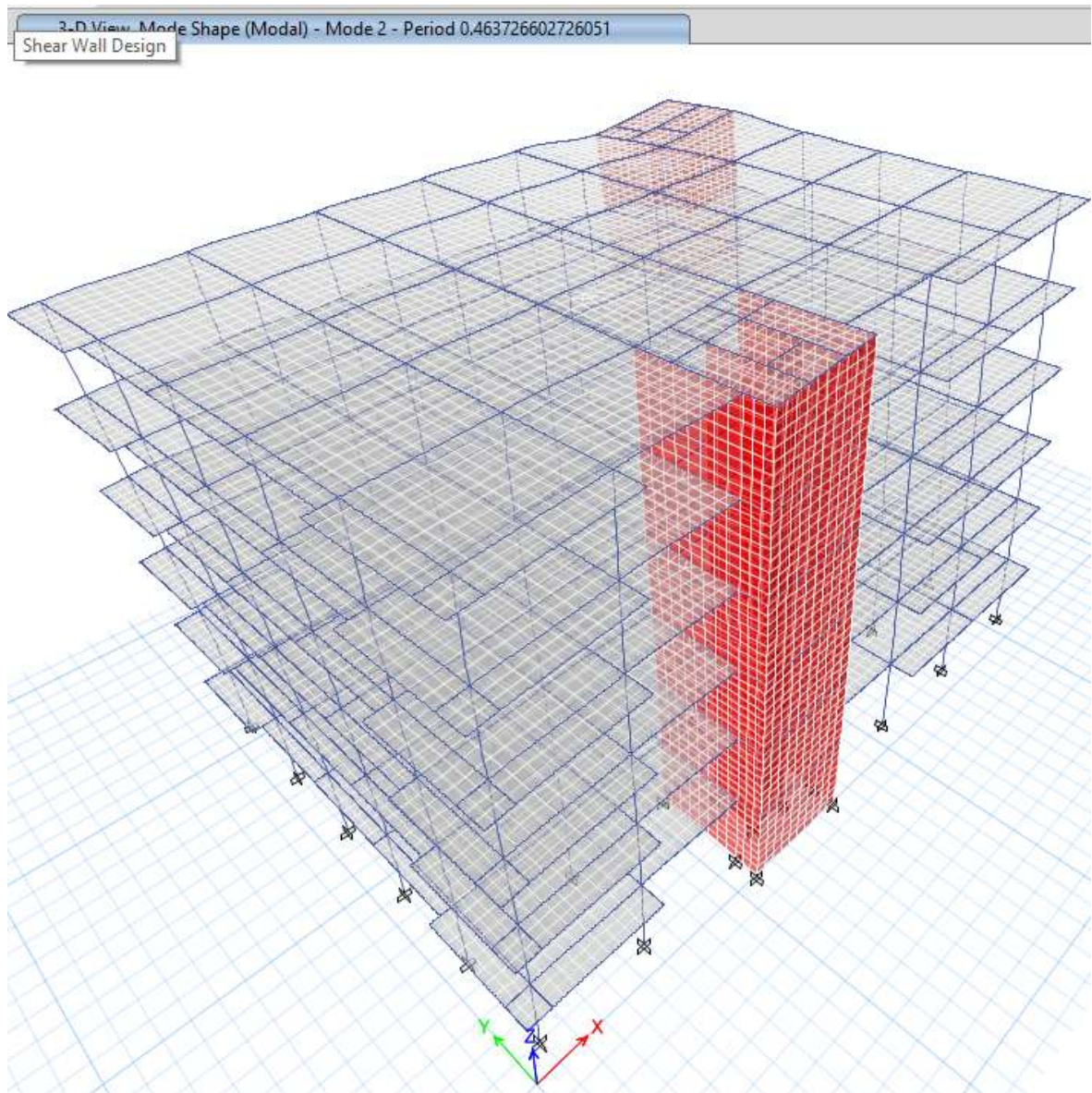
En la Tabla 25. se muestra los periodos y masas efectivas (expresadas como un parte de la masa total) de los modos de vibración del edificio de base fija. El periodo fundamental de la estructura de base fija en la dirección de análisis X-X = 0.50 s y Y-Y = 0.46 s respectivamente.

Figura 52:
Periodos Modal 1



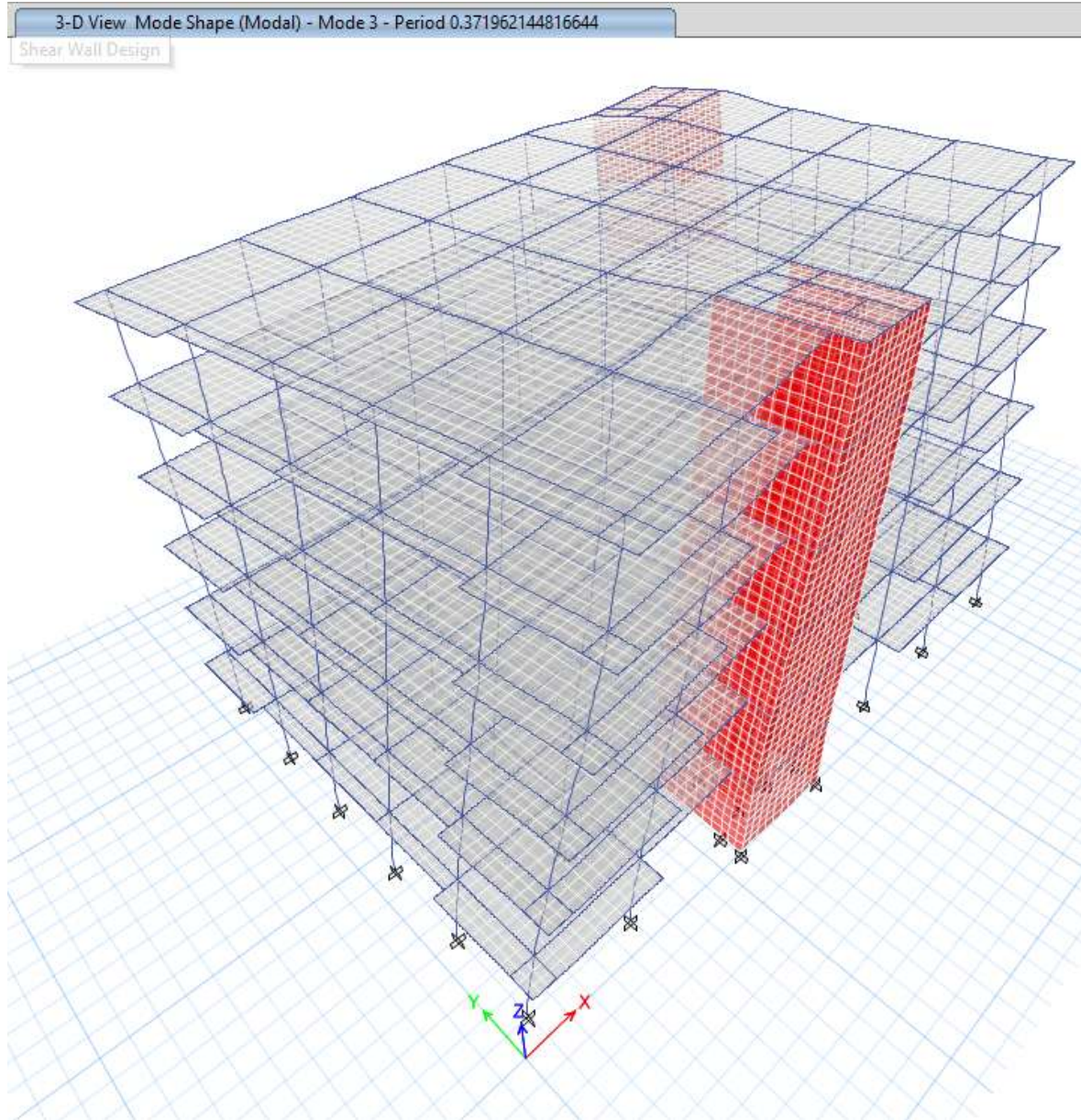
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 53:
Periodos Modal 2



Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 54:
Periodos Modal 3



Fuente: Software Etabs v.18.

Determinación de Desplazamientos Laterales

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por $0,75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por $0,85 R$ los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

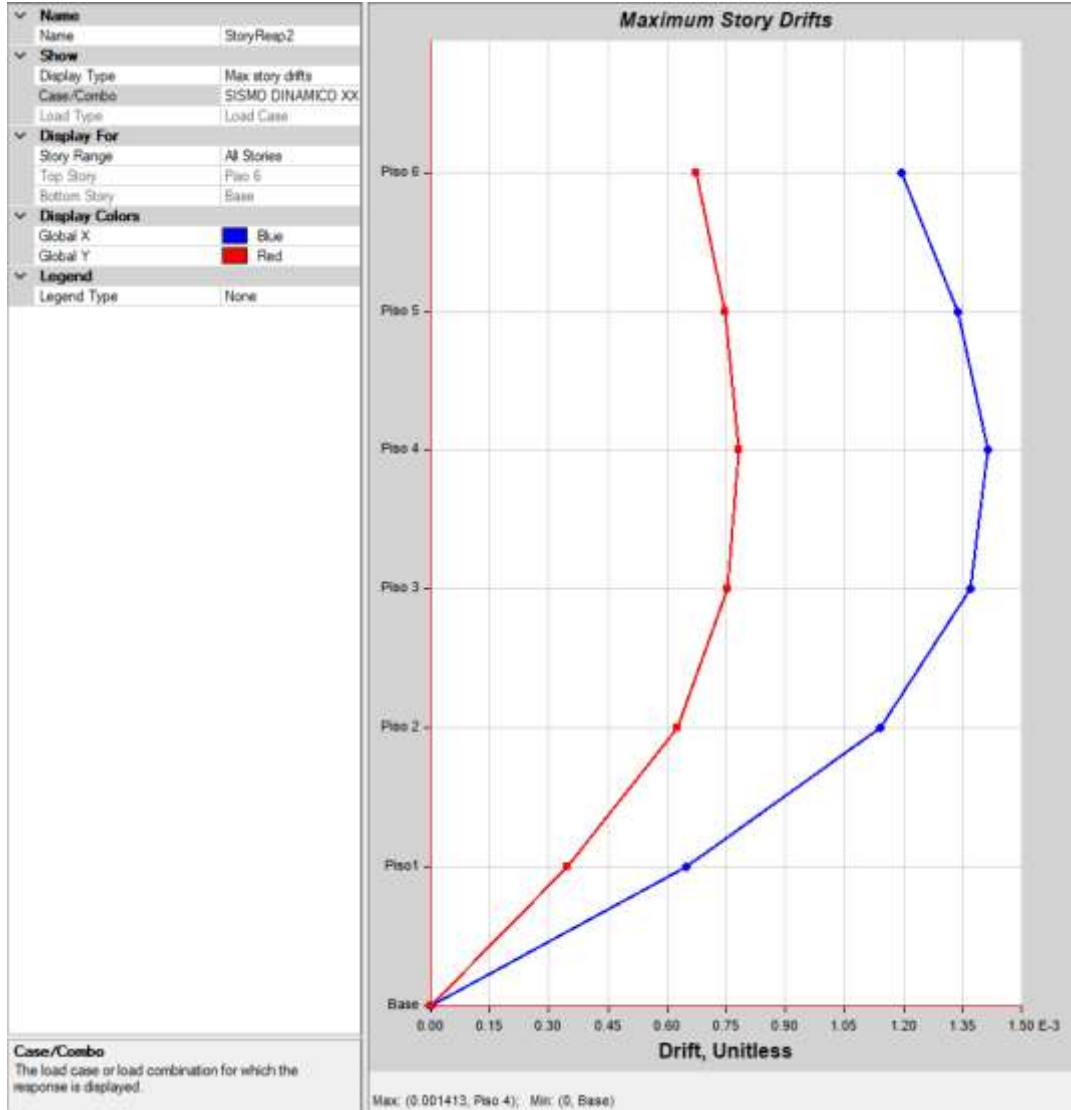
Tabla 26:

Derivas de modelamiento Empotrado Dirección XX.

Pisos	Output Case	Deriva	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO XX	0.004	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO XX	0.004	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO XX	0.002	0.007	OK

Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 55:
Gráfico de Derivas Sismo Dinamico XX.



Fuente: Software Etabs v.18.

Tabla 27:

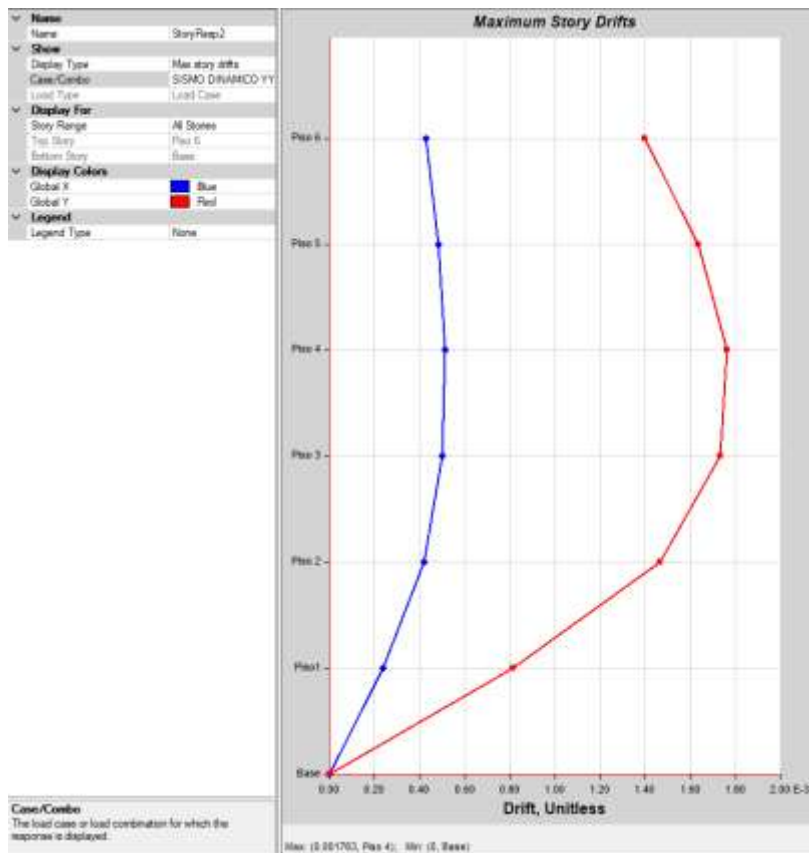
Derivas de modelamiento Empotrado Dirección YY.

Pisos	Output Case	Deriva	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO YY	0.005	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO YY	0.005	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO YY	0.003	0.007	OK

Fuente: Software Etabs v.18

Figura 56:

Grafico de Derivas Sismo Dinamico YY.



Fuente: Software Etabs v.18.

Modelamiento Estructural Aislado

La experiencia mundial con los aisladores Elastomérico ha tenido un desempeño exitoso en eventos sísmicos de gran magnitud para este trabajo se tomarán en cuenta solamente los “aisladores Elastomérico con núcleo de plomo” (Lead-plug Rubber Bearing, LRB) debido a además de ser el sistema más utilizado en Latinoamérica y en el Perú.

Criterios de Diseño:

- La capacidad de desplazamiento del dispositivo deberá ser mayor o igual que la máxima demanda calculada en el diseño. El cálculo de la demanda debería considerar el SMC y los efectos del envejecimiento, cambios de temperatura, etc. en las propiedades del elemento.
- El dispositivo deberá diseñarse para soportar la acción combinada de fuerzas laterales, axiales y de torsión.
- El dispositivo será dúctil y responderá de forma predecible sin pérdida apreciable de resistencia frente a cargas laterales
- El dispositivo no deberá pandearse o desestabilizarse por la acción combinada de cargas axiales y laterales.

Sea cual fuere el procedimiento utilizado, el diseño debe resultar en la siguiente información necesaria para que el fabricante pueda construir el dispositivo:

1. Diámetro exterior
2. Diámetro del núcleo de plomo
3. Altura y Numero es espesor de las placas de confinamiento

Una vez que estos parámetros son definidos, es conveniente que el diseñador busque

en los catálogos de los fabricantes dispositivos que con las mismas o superiores características. El utilizar dispositivos que aparecen en los catálogos siempre será más económico que utilizar dispositivos especialmente fabricados para el proyecto. Otra recomendación importante es utilizar a medida de lo posible el mismo tipo de dispositivo en toda la estructura. Aunque esto pudiera parecer a primera vista poco óptimo, resulta conveniente económicamente debido al ahorro que produce al no tener que realizar las costosas pruebas de laboratorio necesarias para establecer las propiedades reales de los prototipos previo al diseño final de la superestructura.

Catálogo de Alisadores Sísmicos

Tabla 28: Dimensiones del Aislador - Dynamic Isolation Systems.

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D _p (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

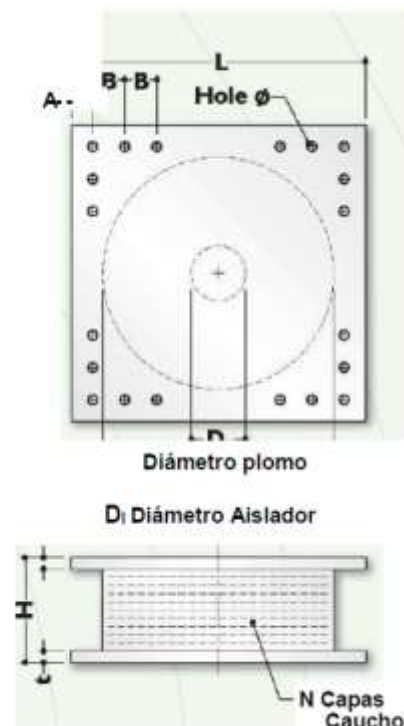
(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 0.38 N/mm² hasta 0.70 N/mm².

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_e = 10 \cdot K_d$.

Fuente: Dynamic Isolation Systems.

Tabla 29: Propiedades de diseño del Aislador - Dynamic Isolation Systems.

Diámetro Aislador, D_i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D_{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P_{max} (kN)
	Rigidez Producida, K_d (kN/mm)	Resistencia Características Q_d (kN)	Rigidez a la compresión, K_v (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



Fuente: Dynamic Isolation Systems.

Se va a seleccionar el aislador de $D_i = 57$ cm de diámetro con capacidad de carga axial de 180 000 kg y desplazamiento máximo de 36 cm.

Tabla 30:

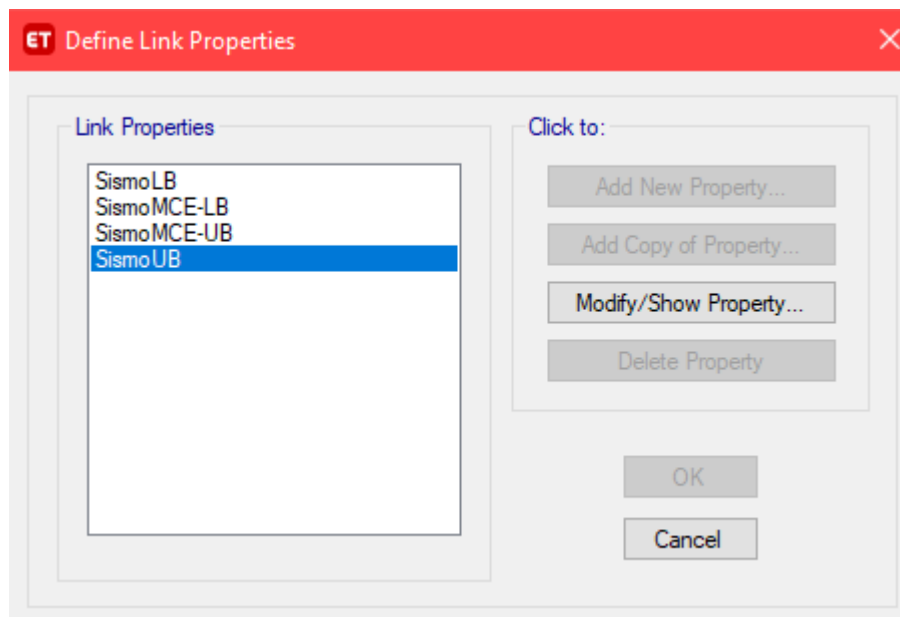
Predimensionamiento de Aisladores LRB.

P Total	9144577.10	kg	N	52.00	
D0	57.00	cm	Di	18.00	cm
tr	0.50	cm	ts	0.20	cm
N.C.G	40		t	2.50	cm
P x Aislador	175857	kg	Tr	20.00	cm
L	62.00	cm	H	32.80	cm

Fuente: Elaboracion Propia.

Figura 57:

Definiciones de Aisladores LRB.



Fuente: Software Etbas v.18.

Tabla 31:
Datos de entrada de Espectro

Zona	4
Perfil Tipo	S2
Categoría	A1
R	2
fip	1
fia	1

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32:
Datos de Entrada del Aislador

wt	9144577.10	kg
Do	57.00	cm
Di	18.00	cm
G	8.05	kg/cm2
Glead	115.00	kg/cm2
tr	0.50	cm
Tr	20.00	cm
k	20000.00	kg/cm2
N	52.00	und
qy	2.50	cm
q	14.83	cm

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33:

Propiedades dinámicas del aislador LRB y Espectros de aceleraciones E.030 -2016

PROPIEDADES DINAMICAS	UNIDADES	SISMO DE		SISMO MCE	
		LB	UB	LB	UB
A	cm ²	2297.29	2297.29	2297.29	2297.29
Alead	cm ²	254.47	254.47	254.47	254.47
S	kg/cm ²	25.66	25.66	25.66	25.66
Qd	T	1124.75	1521.72	1124.75	1521.72
K1	T/m	48544.03	65677.21	48544.03	65677.21
Kd	T/m	3553.91	4808.23	3553.91	4808.23
Ed	Tn - m	738.27	750.57	1241.23	1581.12
Fy	T	1213.60	1641.93	1213.60	1641.93
Ad	cm/seg ²	1.98	2.46	2.41	3.18
r		0.07	0.07	0.07	0.07
Tef	seg	1.97	1.56	2.25	1.90
betaef	%	34.58	36.04	29.92	30.57
B		1.79	1.81	1.71	1.72
q	cm	18.91	14.83	30.09	28.48
Kef	T/m	9501.97	15068.74	7291.99	10152.15
Kv	T/m	105172.13	117070.13	105172.13	117070.13

Fuente: Elaboración Propia.

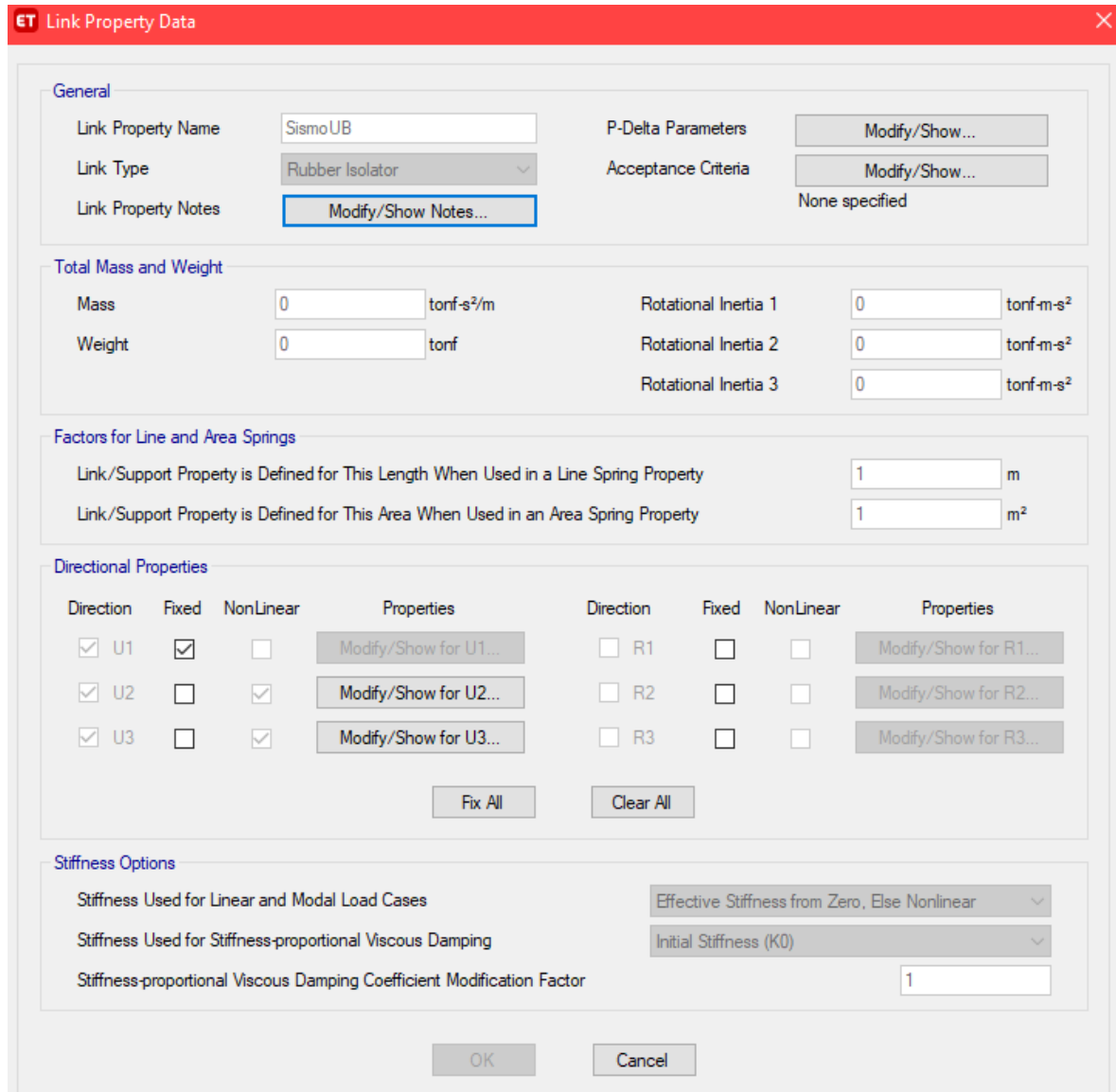
Tabla 34:

Propiedades dinámicas de diseño para el aislador LRB en Etabs.

	SISMO DE		SISMO MCE	
	LB	UB	LB	UB
Kv	2022.54	2251.35	2022.54	2251.35
Kef	182.73	289.78	140.23	195.23
K1	933.54	1263.02	933.54	1263.02
Fy	23.34	31.58	23.34	31.58
r	0.073	0.073	0.073	0.073

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 58:
Definiciones de propiedades de Aisladores LRB.



ET Link Property Data

General

Link Property Name: SismoUB
 Link Type: Rubber Isolator
 Link Property Notes: Modify/Show Notes...
 P-Delta Parameters: Modify/Show...
 Acceptance Criteria: Modify/Show...
 None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 tonf-s²/m
 Weight: 0 tonf
 Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²
 Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²
 Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m
 Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

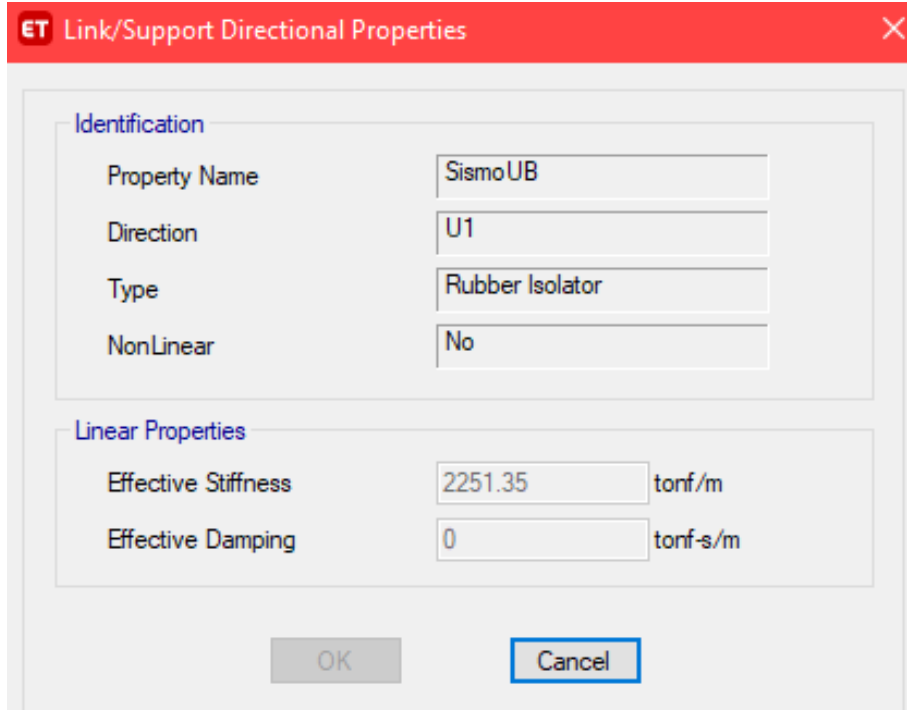
Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear
 Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)
 Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Figura 51: Software Etbas v.18.

Figura 59:
Definición de K_v del Aisladores LRB.

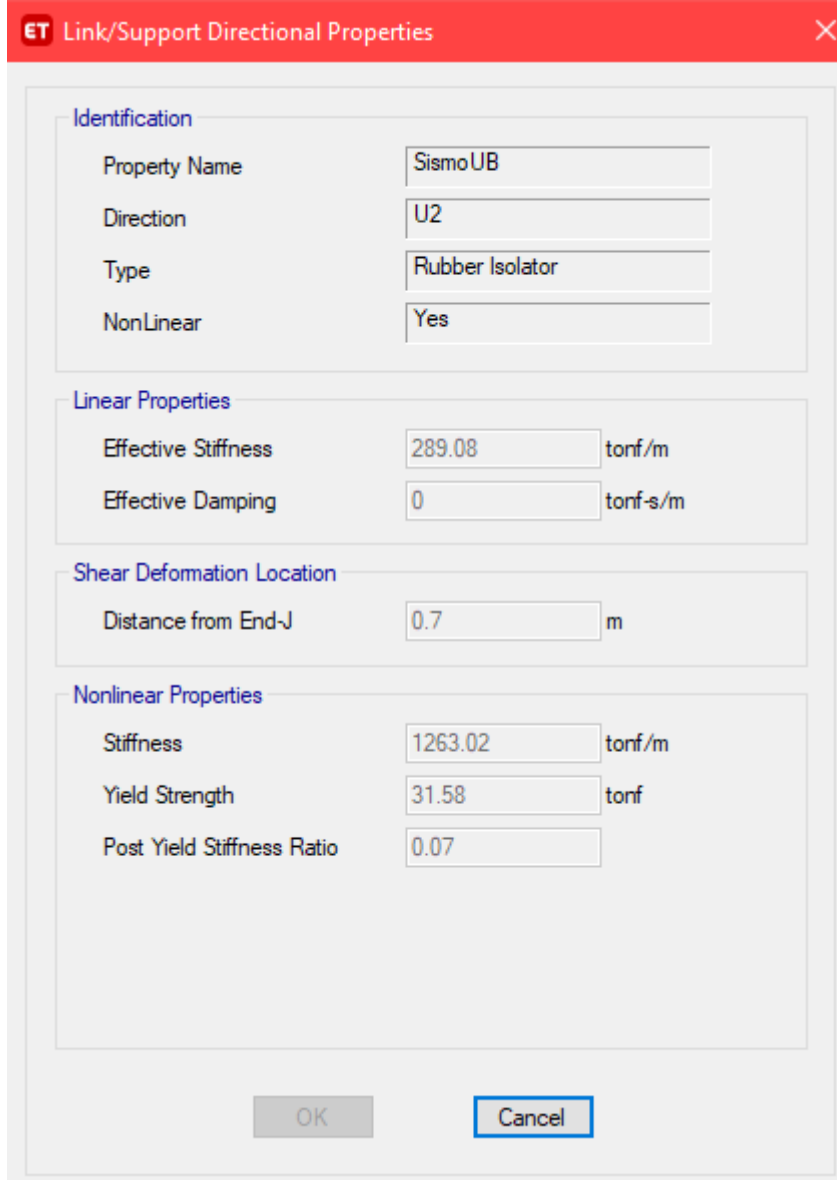


Identification	
Property Name	SismoUB
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	2251.35 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m

Figura 51: Software Etabas v.18.

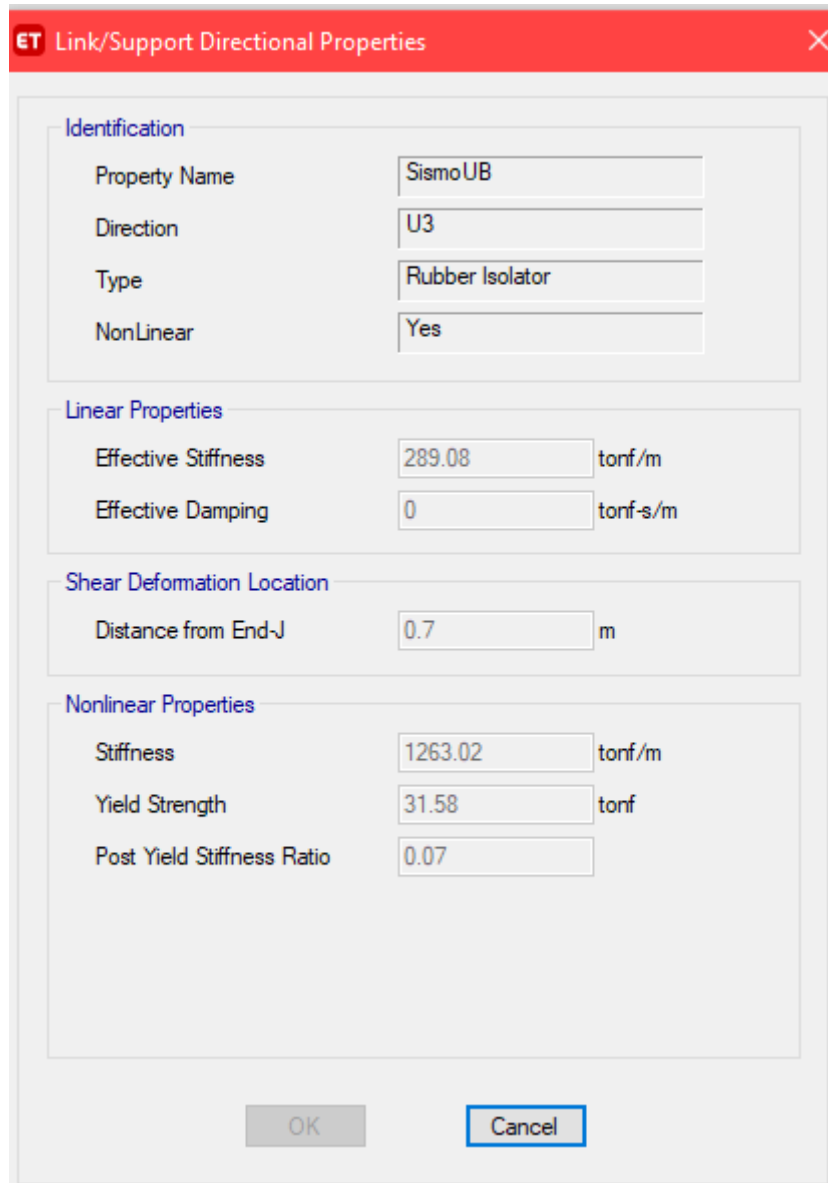
Figura 60:
Definición de K_{ef} , $K1$, F_y y r del Aisladores LRB.



Section	Property	Value	Unit
Identification	Property Name	SismoUB	
	Direction	U2	
	Type	Rubber Isolator	
	NonLinear	Yes	
Linear Properties	Effective Stiffness	289.08	tonf/m
	Effective Damping	0	tonf-s/m
Shear Deformation Location	Distance from End-J	0.7	m
Nonlinear Properties	Stiffness	1263.02	tonf/m
	Yield Strength	31.58	tonf
	Post Yield Stiffness Ratio	0.07	

Figura 51: Software Etbas v.18.

Figura 61: Definición de K_e , K_1 , F_y y r del Aisladores LRB.



The dialog box 'ET Link/Support Directional Properties' contains the following fields:

Section	Property Name	Value	Unit
Identification	Property Name	SismoUB	
	Direction	U3	
	Type	Rubber Isolator	
	NonLinear	Yes	
Linear Properties	Effective Stiffness	289.08	tonf/m
	Effective Damping	0	tonf-s/m
Shear Deformation Location	Distance from End-J	0.7	m
Nonlinear Properties	Stiffness	1263.02	tonf/m
	Yield Strength	31.58	tonf
	Post Yield Stiffness Ratio	0.07	

Buttons: OK, Cancel

Figura 51: Software Etabas v.18.

Procedimientos para el desarrollo de investigación:

- Recopilación de Datos.
- Predimensionamiento de secciones estructurales empotrado.
- Modelamiento estructural del edificio hospitalario aporticado con software Etabs v.18.
- Modelamiento estructural del edificio hospitalario con aislamiento sísmico.
- Análisis lineal de la estructura convencional.
- Análisis lineal de la estructura con aisladores sísmicos.
- Diseño de los dispositivos LRB de aislación sísmico.
- Verificación de parámetros de diseño de aisladores LRB
- Diseño en concreto armado de la estructura aislada.
- Comparación de la respuesta sísmica entre la edificación convencional y la edificación aislada.
- Desarrollo de las conclusiones y recomendaciones.
- Generación de hojas de cálculo para el diseño de aisladores sísmicos.
- Generación de planos estructurales.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En la tabla 35. se presenta la descripción de la cantidad de ejes que son 13 en total y la longitud entre ejes en la dirección X.

Tabla 35:

Descripción de la cantidad de ejes y la longitud entre ejes en la dirección X.

Nombre	Línea	ID Ejes	Longitud (m)	Longitud (m)
G1	X	1	0	0
G1	X	2	0.43	0.43
G1	X	3	0.59	1.02
G1	X	4	5	6.02
G1	X	5	5.1	11.12
G1	X	6	1.55	12.67
G1	X	7	1.8	14.47
G1	X	8	1.55	16.02
G1	X	9	5.1	21.12
G1	X	10	4.9	26.02
G1	X	11	1.25	27.27
G2	X	12	0.65	27.92
G1	X	13	3.2	31.12

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 36. se presenta la descripción de la cantidad de ejes que son 10 en total y la longitud entre ejes en la dirección Y.

Tabla 36:

Descripción de la cantidad de ejes y la longitud entre ejes en la dirección Y.

Nombre	Línea	ID Ejes	Longitud (m)	Longitud (m)
G1	Y	A	0	0
G1	Y	B	1.08	1.08
G1	Y	C	0.4	1.48
G1	Y	D	2.18	3.66
G1	Y	E	1.4	5.06
G1	Y	F	4	9.06
G1	Y	G	4	13.06
G1	Y	H	3.95	17.01
G1	Y	I	1.98	18.99
G1	Y	J	2.05	21.04

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se presenta los números de pisos con sus respectivas alturas.

Tabla 37:

Descripción de Pisos y altura.

Número de Pisos	Altura (m)	Elevación (m)
Piso 6	3.6	23.128
Piso 5	3.6	19.528
Piso 4	3.6	15.928
Piso 3	3.6	12.328
Piso 2	3.6	8.728
Piso1	3.6	5.128
BASE AISLADA	1.2	1.528
AISLADOR	0.328	0.328
Base	0	0

Fuente Elaboración Propia

En la presente tabla se describe los elementos estructurales del modelamiento empotrado, así como columnas, vigas, losas y placas.

Tabla 38:

Dimensiones de los elementos estructurales del modelamiento empotrado.

N° Pisos	Secciones Estructurales		
Piso 1	C1 D=70	C2 (30x65)	C3 (40x70)
Piso 2			
Piso 3	C4 (30x65)	VP (40x65)	VS (30x55)
Piso 4			
Piso 5	LA (20)	LM (20)	PLA (25)
Piso 6			

Fuente: Elaboración Propia

En la presente tabla se describe los elementos estructurales del modelamiento Aislado, así como columnas, vigas, losas, placas, Capiteles, losa de base aislada y vigas de base aislada.

Tabla 39:

Dimensiones de los elementos estructurales del modelamiento Aislado.

N° Pisos	Secciones Estructurales		
Piso 1	C1 D=60	C2 (30x60)	C3 (30x60)
Piso 2			
Piso 3	C4 (30x60)	VP (30x55)	VS (30x50)
Piso 4			
Piso 5	LA (20)	LM (20)	PLA (25)
Piso 6			
Base Aislada	CAP (1.0x1.0)	VBA (40x1.0)	LM (20)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40:

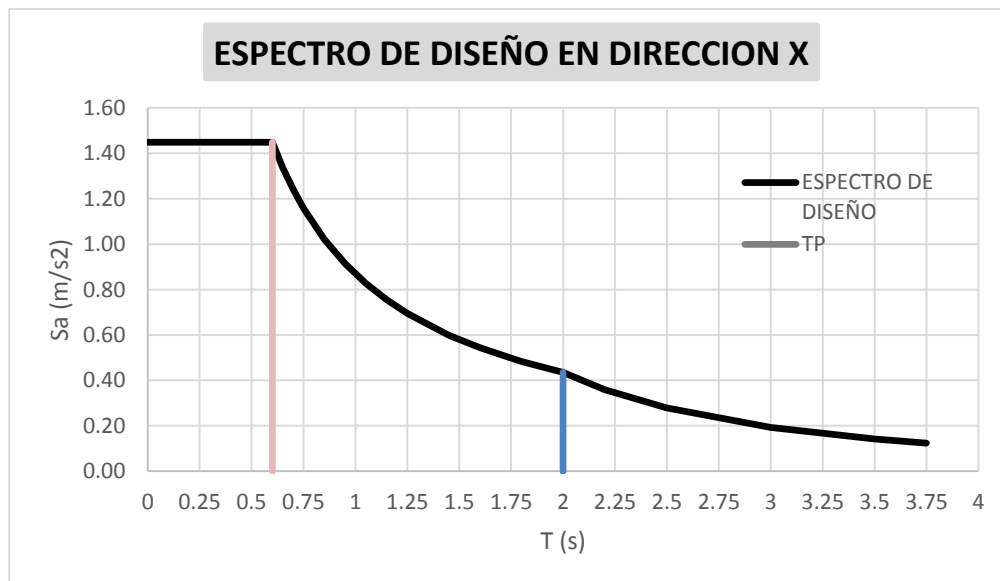
Parámetros de Análisis sísmico en el modelamiento Empotrado.

Descripción	Tipo/ Und	factor
Zona Sísmica "Z"	4	0.45
Perfil de Suelo "S"	S2	1.05
Categoría de Edificación "A"	A2	1.50
Factor de Reducción Sísmico "R"	Pórtico	8.00
Factor de Irregularidad en Planta "fip"	No	1.00
Factor de Irregularidad en Altura "fia"	No	1.00
Periodo Corto "Tp"	Seg	0.60
Periodo Largo "Tl"	Seg	2.00

Fuente: Elaboración Propia

Figura 62:

Grafico de Espectro de Diseño en direccion X.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41:

Derivas en dirección X del Sistema Empotrado.

Pisos	Dirección X	Derivas	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO XX	0.004	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO XX	0.005	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO XX	0.004	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO XX	0.002	0.007	OK

Fuente: Elaboración Propia

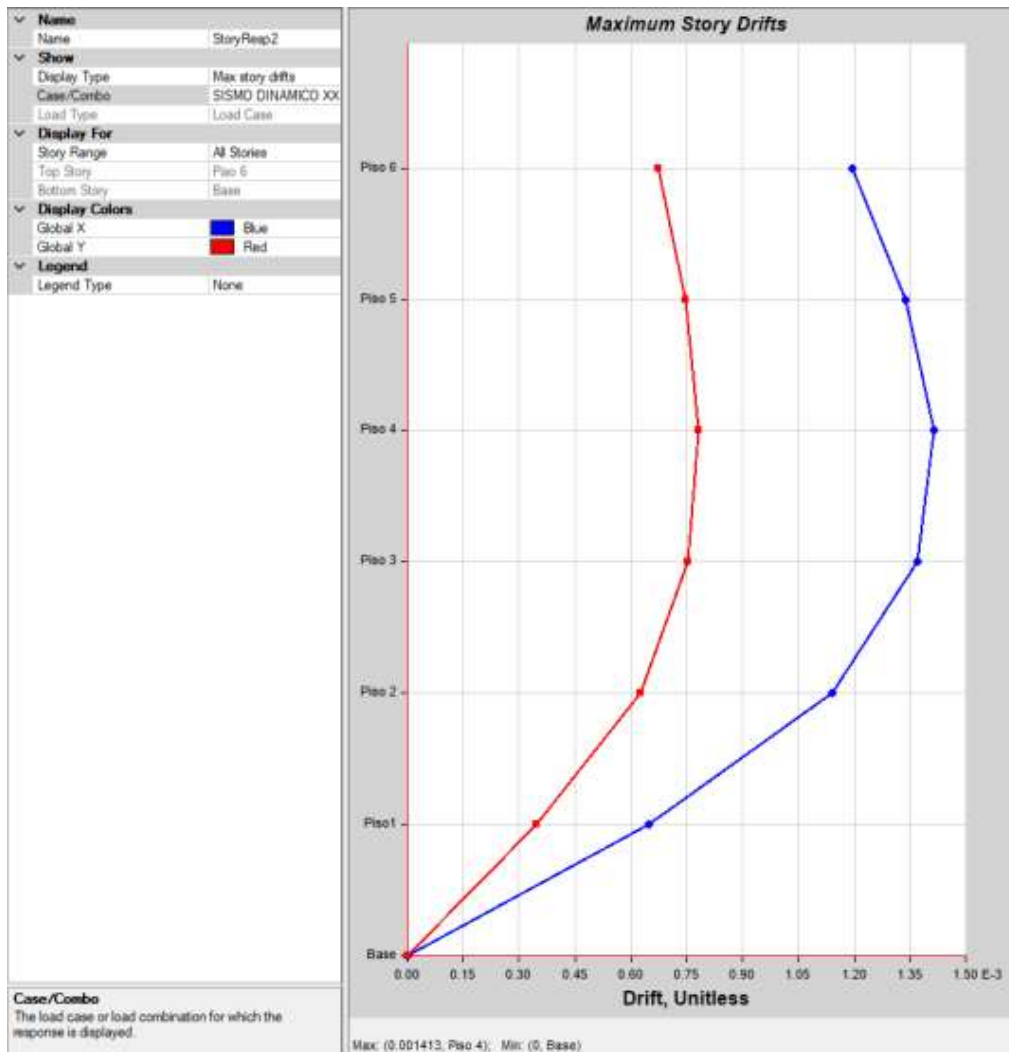
Tabla 42:

Derivas en dirección Y del Sistema empotrado.

Pisos	Dirección Y	Derivas	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO YY	0.005	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO YY	0.006	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO YY	0.005	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO YY	0.003	0.007	OK

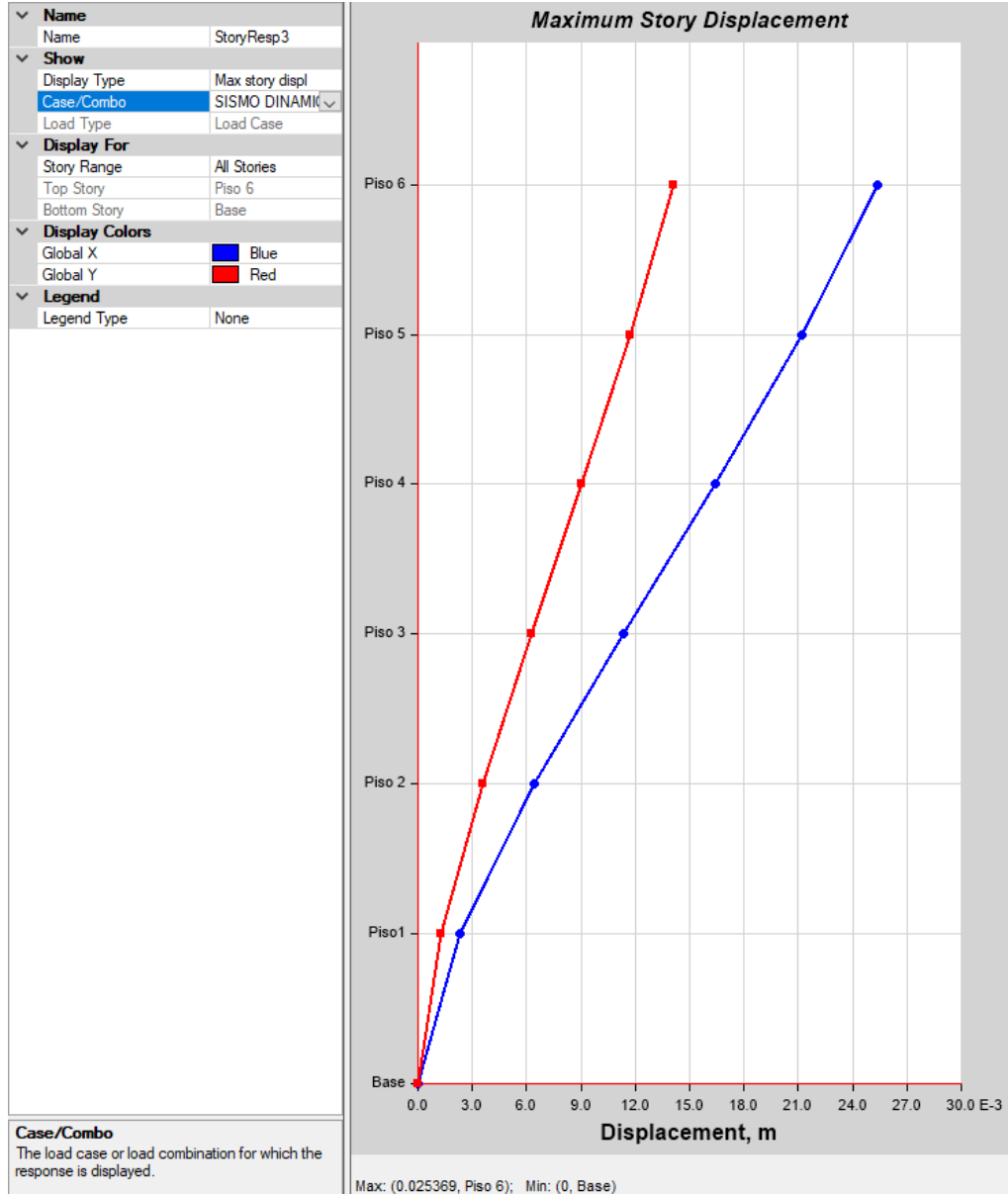
Fuente: Elaboración Propia

Figura 63:
Grafico de Derivas en direccion X.



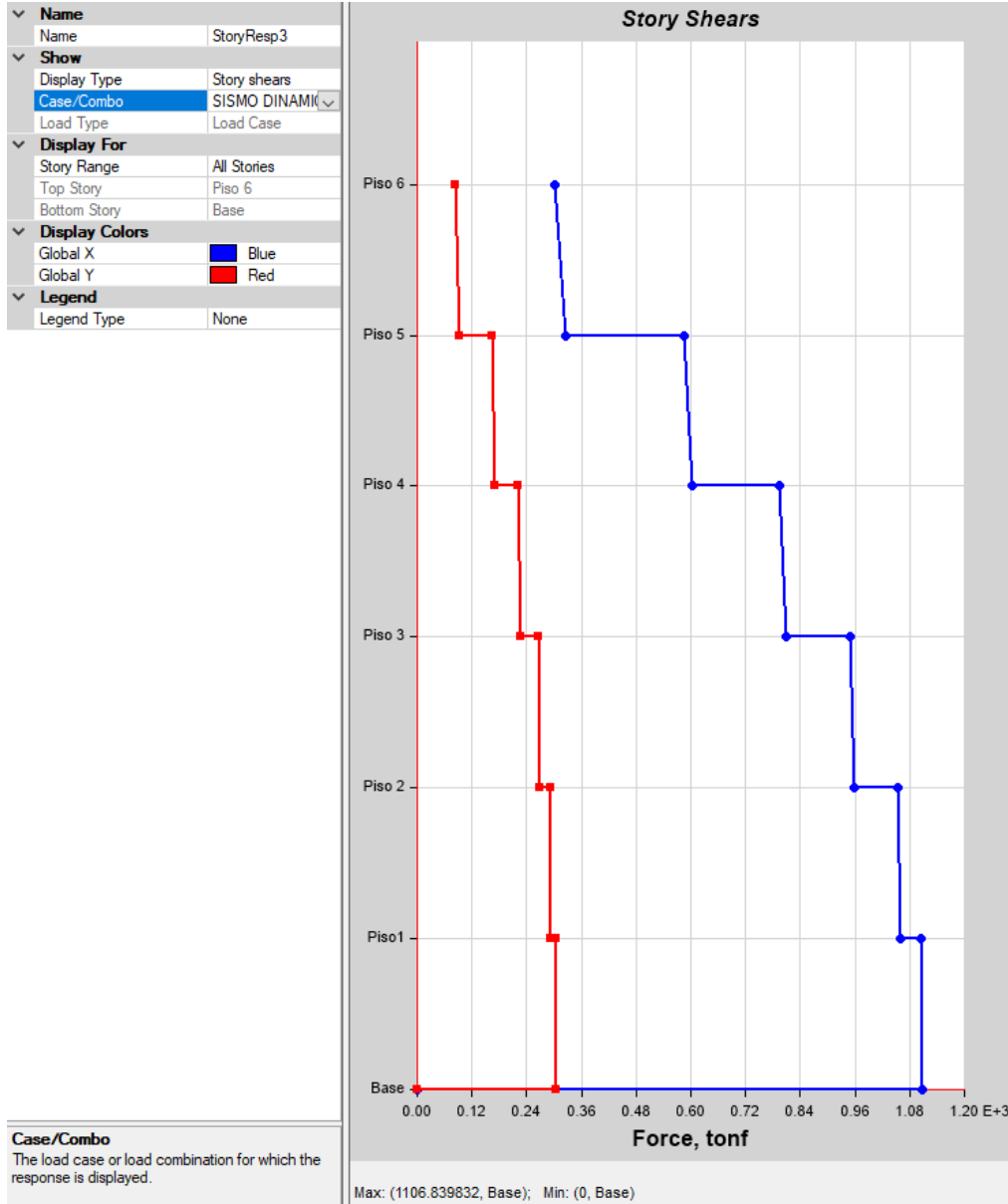
Fuente: Software Etabs v.18.

Figura 64:
Grafico de Desplazamientos en X.



Fuente: Software Etabs v.18

Figura 65:
Grafico de Cortantes en X.



Fuente: Software Etabs v.18.

En la tabla, se presentan los parámetros de análisis sísmico para el sistema aislado, con la cual podremos obtener los espectros de respuesta para los análisis.

Tabla 43:
Predimensionamiento del aislador.

Descripción	Und	Valor
Peso Total (P.T)	Tn	9144577.10
Número de Aisladores (N)	und	52
Diámetro Exterior (Do)	cm	57
Diámetro Interior (Di)	cm	18
Espesor de la Goma (tr)	cm	0.5
Espesor de Placas SHIM (ts)	cm	0.20
# Capas de Goma (N.C.G)	und	40
Espesor de Placas Exteriores (t)	cm	2.50
Altura solo de Goma (Tr)	cm	20.00
Peso de Aislador (P. Ais)	Tn	175857.25
Longitud de Placa de Montaje (L)	cm	62.00
Altura Total del Aislador (H)	cm	32.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44:
Características de los materiales para el Aislador LRB.

Descripción	Und	Valor
Módulo de Corte Efectivo de Goma "G"		
Límite Inferior "LB"	kg/cm ²	5.95
Límite Superior "UB"	kg/cm ²	8.05
Módulo Volumétrico de Goma "k"		
Límite Inferior "LB"	kg/cm ²	20000.00
Límite Superior "UB"	kg/cm ²	20000.00
Esfuerzo de Corte del Plomo "Glead"		
Límite Inferior "LB"	kg/cm ²	85.00
Límite Superior "UB"	kg/cm ²	115.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45:
Parámetros de análisis sísmico del sistema aislado

Descripción	Tipo/ Und	factor
Zona Sísmica "Z"	4	0.45
Perfil de Suelo "S"	S2	1.05
Categoría de Edificación "A"	A1	1.00
Factor de Reducción Sísmico "R"	Aislado	2.00
Factor de Irregularidad en Planta "fip"	No	1.00
Factor de Irregularidad en Altura "fia"	No	1.00
Periodo Corto "Tp"	Seg	0.60
Periodo Largo "Tl"	Seg	2.00

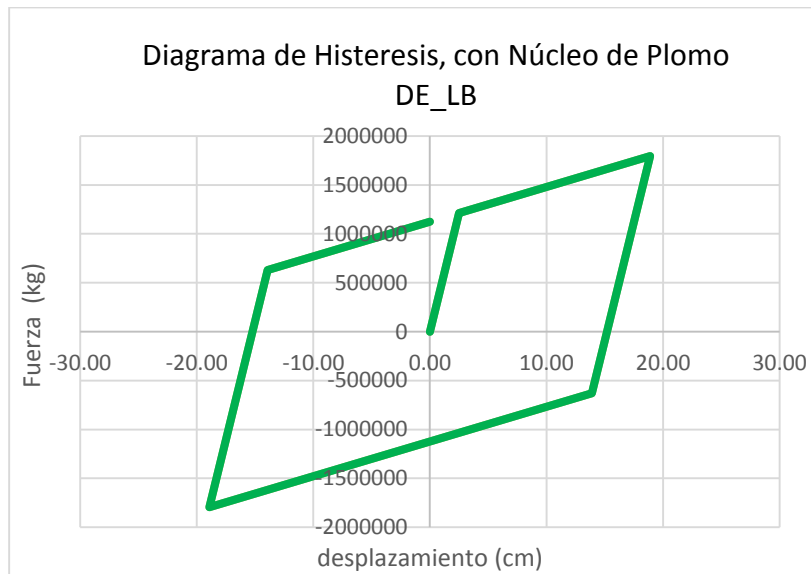
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46:
Propiedades dinámicas para el espectro de aceleraciones.

Propiedades Dinámicas	Und	SISMO DE		SISMO MCE	
		LB	UB	LB	UB
Desplazamiento por Fluencia "qy"	cm	2.5	2.5	2.5	2.5
Área en Planta "A"	cm ²	2297.29	2297.29	2297.29	2297.29
Área Lateral "AL"	cm ²	254.47	254.47	254.47	254.47
Factor de Forma "S"	kg/cm ²	25.66	25.66	25.66	25.66
Fuerza de Esfuerzo Nulo "Qd"	T	1124.75	1521.72	1124.75	1521.72
Rigidez Elástica "K1"	T/m	48544.03	65677.21	48544.03	65677.21
Rigidez Post Elástica "Kd"	T/m	3553.91	4808.23	3553.91	4808.23
Energía de Disipación "Ed"	kg - cm	738.27	750.57	1241.23	1581.12
Fuerza de Fluencia "Fy"	T	1213.6	1641.93	1213.6	1641.93
Aceleración Espectral "Ad"	cm/seg ²	1.98	2.46	2.41	3.18
Relación de Rigidez Post Fluencia "r"	factor	0.07	0.07	0.07	0.07
Periodo Efectivo "Tef"	seg	1.97	1.56	2.25	1.9
Amortiguamiento Efectivo "betaef"	%	34.58	36.04	29.92	30.57
Factor de Amortiguamiento Efectivo "B"	factor	1.79	1.81	1.71	1.72
Desplazamiento Máximo "q"	cm	18.91	14.83	30.09	28.48
Rigidez Efectiva "Kef"	T/m	9501.97	15068.74	7291.99	10152.15
Rigidez Vertical "Kv"	T/m	105172.13	117070.13	105172.13	117070.13

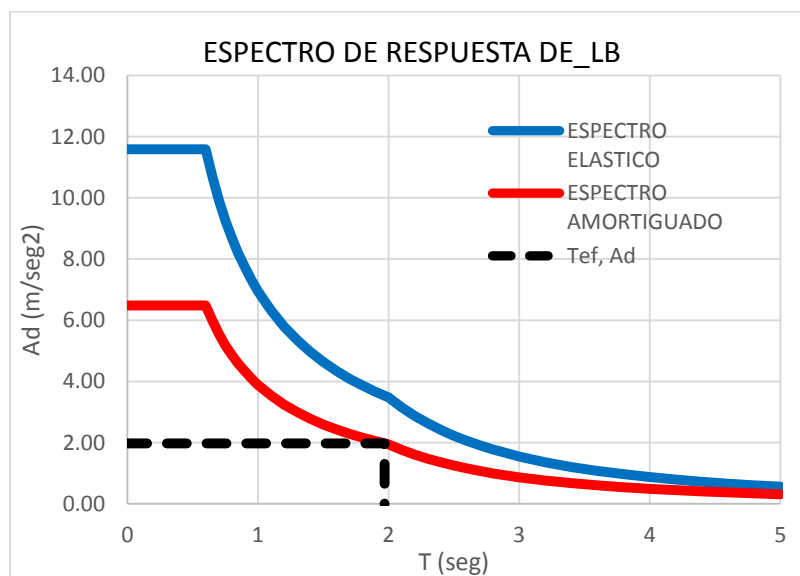
Fuente: Elaboración Propi

Figura 66:
Diagrama de Histeresis DE_LB.



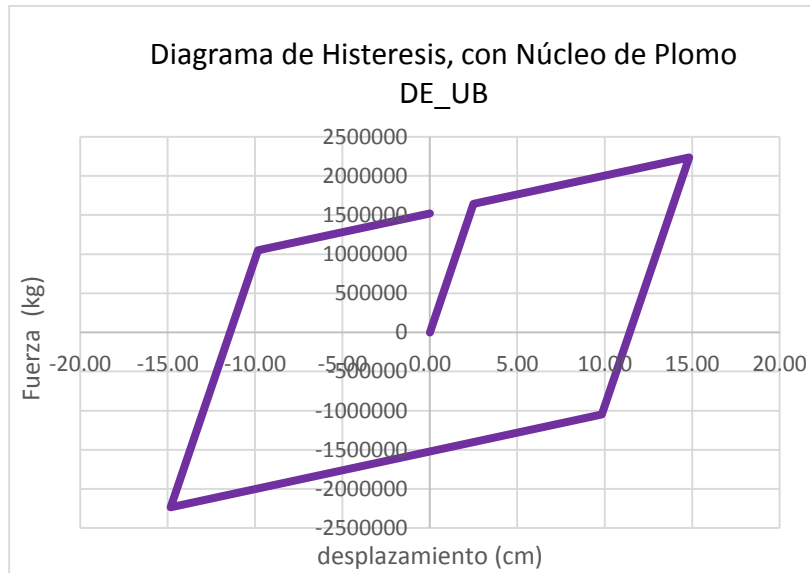
Fuente: Elaboración Propia

Figura 67:
Espectro de Respuesta DE_LB.



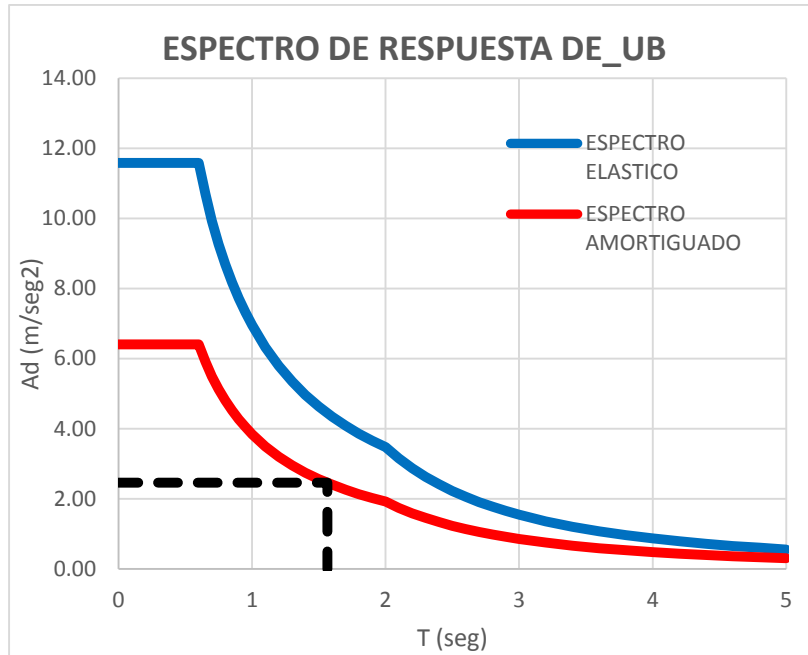
Fuente: Elaboración Propia

Figura 68:
Diagrama de Histeresis DE_UB.



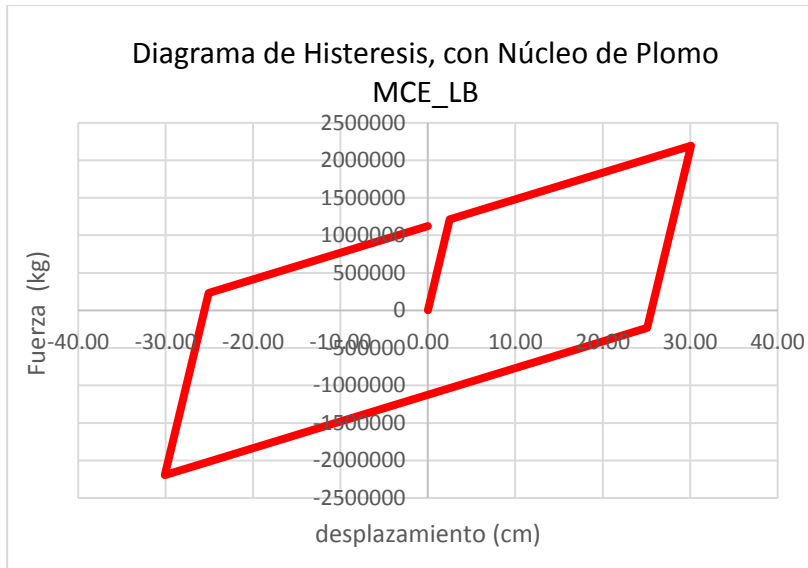
Fuente: Elaboración Propia

Figura 69:
Espectro de Respuesta DE_UB.



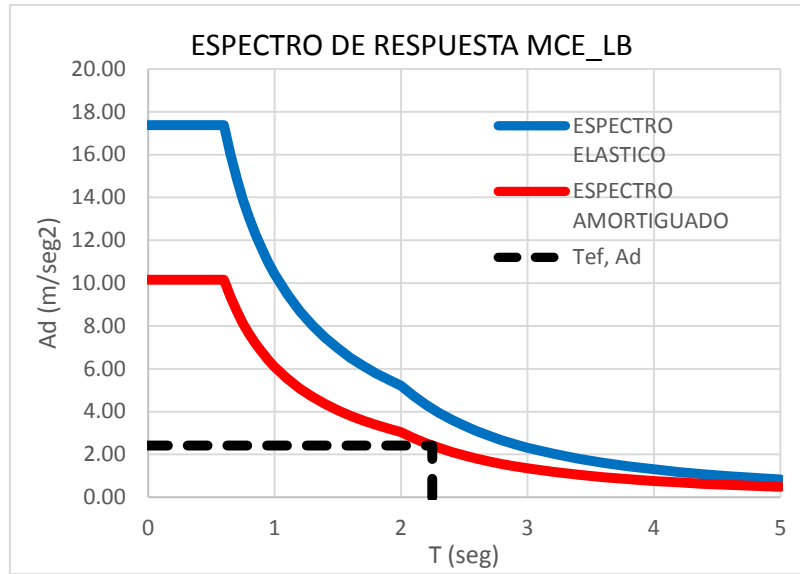
Fuente: Elaboración Propia

Figura 70:
Diagrama de Histeresis MCE_LB.



Fuente: Elaboración Propia

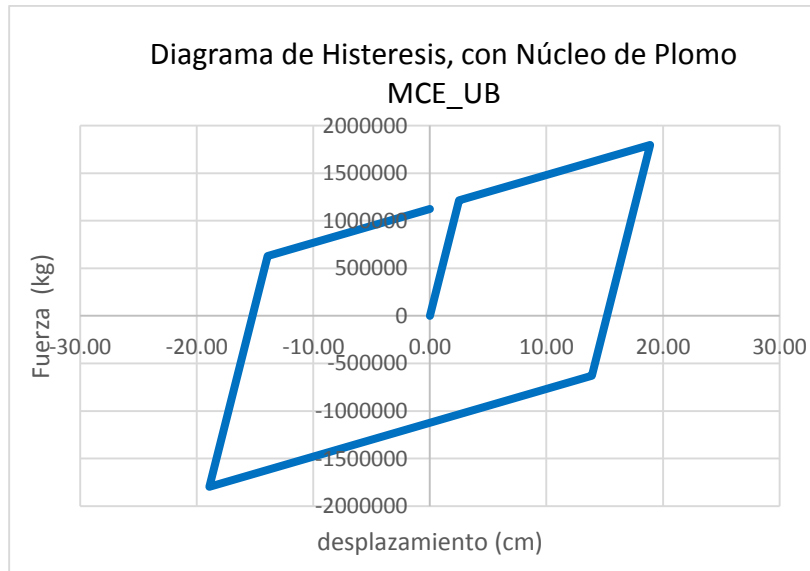
Figura 71:
Espectro de Respuesta MCE_LB.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 72:

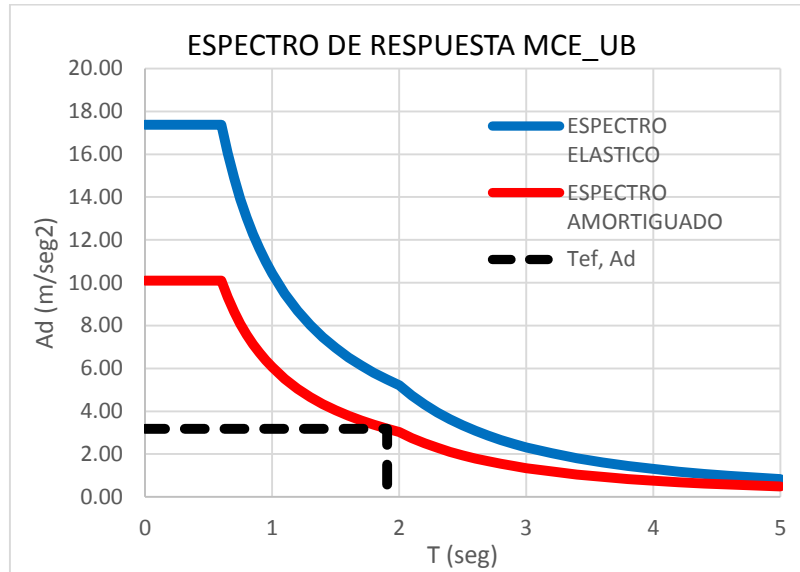
Diagrama de Histeresis MCE_UB.



Fuente: Elaboración Propia

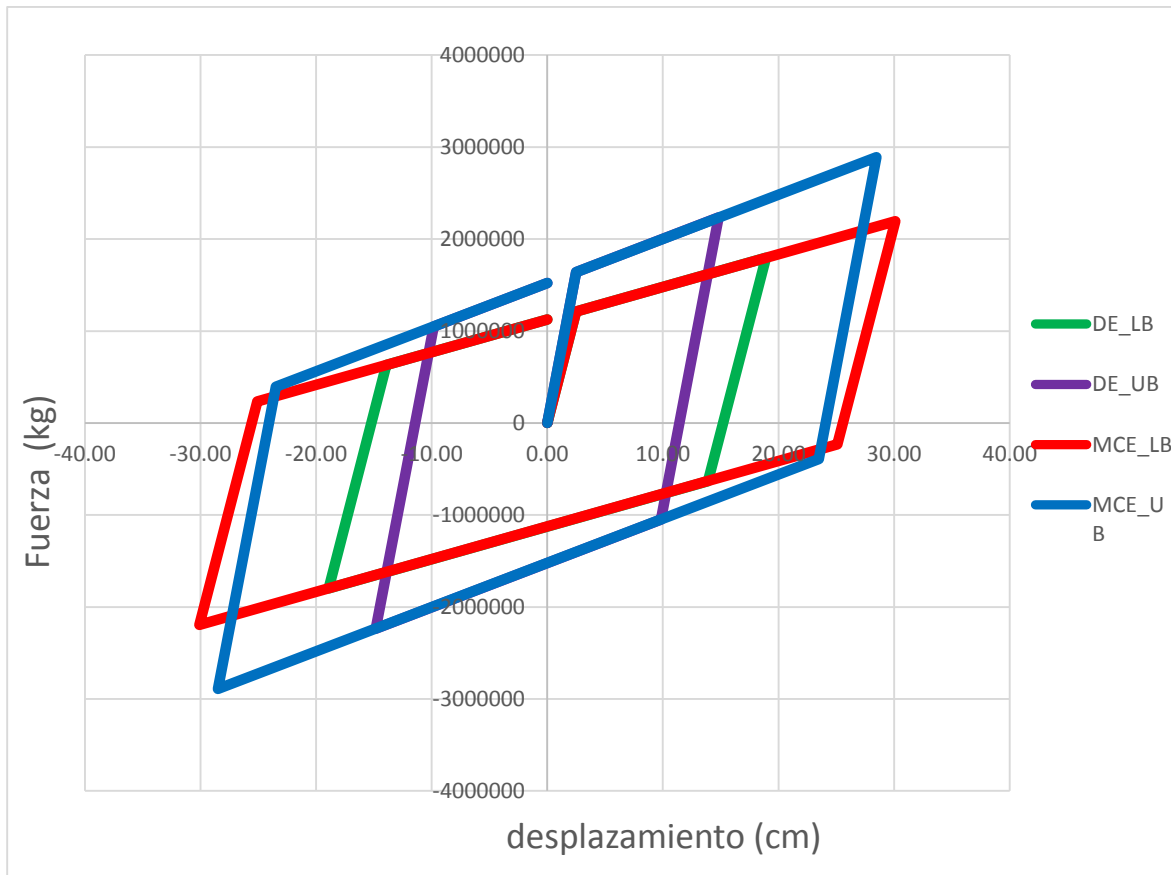
Figura 73:

Espectro de Respuesta MCE_UB.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 74:
Diagrama de Histeresis del Aislador LRB.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47:
Resultados de Periodos Naturales de Vibración

MODO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB (seg)	UB (seg)	LB (seg)	UB (seg)
1	1.73	1.41	1.99	1.70
2	1.70	1.39	1.95	1.67
3	1.51	1.23	1.73	1.48
4	0.37	0.36	0.37	0.37
5	0.35	0.34	0.35	0.35
6	0.26	0.26	0.26	0.26
7	0.12	0.12	0.12	0.12
8	0.12	0.12	0.12	0.12
9	0.09	0.09	0.09	0.09
10	0.08	0.08	0.08	0.08
11	0.06	0.06	0.06	0.06
12	0.06	0.06	0.06	0.06
13	0.06	0.06	0.06	0.06
14	0.05	0.05	0.05	0.05
15	0.05	0.05	0.05	0.05
16	0.05	0.05	0.05	0.05
17	0.04	0.04	0.05	0.05
18	0.04	0.04	0.04	0.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48:
Resultados de Aceleraciones Espectrales.

MODO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB (m/s ²)	UB (m/s ²)	LB (m/s ²)	UB (m/s ²)
1	2.25	2.73	3.07	3.57
2	2.29	2.77	3.12	3.62
3	2.58	3.13	3.53	4.09
4	6.49	6.41	10.16	10.10
5	6.49	6.41	10.16	10.10
6	6.49	6.41	10.16	10.10
7	6.49	6.41	10.16	10.10
8	6.49	6.41	10.16	10.10
9	6.49	6.41	10.16	10.10
10	6.49	6.41	10.16	10.10
11	6.49	6.41	10.16	10.10
12	6.49	6.41	10.16	10.10
13	6.49	6.41	10.16	10.10
14	6.49	6.41	10.16	10.10
15	6.49	6.41	10.16	10.10
16	6.49	6.41	10.16	10.10
17	6.49	6.41	10.16	10.10
18	6.49	6.41	10.16	10.10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49:
Resultados de Factores de participación modal en dirección X.

MODO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB	UB	LB	UB
1	0.45	0.62	0.56	0.51
2	0.48	0.27	0.35	0.41
3	0.08	0.10	0.09	0.08
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50:

Resultados de Fuerzas en el centro de masas.

PISO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB (Tn)	UB (Tn)	LB (Tn)	UB (Tn)
Ais	1475.62	1785.68	2032.42	2355.82
1	1201.55	1461.33	1632.18	1898.42
2	1008.96	1232.59	1367.42	1595.13
3	813.11	998.26	1098.97	1286.19
4	612.91	756.46	82564.00	969.68
5	407.47	606.54	546.53	644.21
6	196.24	244.84	262.60	310.64

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51:

Resultados de Desplazamientos en el centro de masas.

PISO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB (cm)	UB (cm)	LB (cm)	UB (cm)
Aislación	15.64	12.12	28.61	24.02
1	15.93	12.48	29.02	24.48
2	16.34	12.98	29.57	25.14
3	16.80	13.54	30.19	25.86
4	17.25	14.09	30.80	26.58
5	17.67	14.60	31.37	27.26
6	18.02	15.04	31.84	27.82
	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52:

Derivas de entrepiso de los diferentes sismos.

PISO	Sismo DE		Sismo MCE	
	LB (%)	UB (%)	LB (%)	UB (%)
1	0.81	1.00	1.14	1.28
2	1.14	1.39	1.53	1.83
3	1.28	1.56	1.72	2.00
4	1.25	1.53	1.69	2.00
5	1.17	1.42	1.58	1.89
6	0.97	1.22	1.31	1.56
	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se presenta las cargas axiales, desplazamiento y rotaciones de las combinaciones de carga para los aisladores de exterior e interior del modelo estructural.

Tabla 53:

Cargas Axiales, Desplazamientos y Rotaciones.

CARGA VERTICAL 1.2 D + 1.6 L

Aislador	LB			UB		
	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)
Exterior	398290.30	0.00	0.0113	38443.20	0.00	0.0026
Interior	610100.10	0.00	0.0032	26506.80	0.00	0.0013

SISMO DE 1.2 D + 0.5 L + 1.0 E

Aislador	LB			UB		
	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)
Exterior	168303.4	15.64	0.0045	165180.1	12.12	0.0078
Interior	297685.3	15.64	0.0037	168192.7	12.12	0.0053

SISMO MCE 1.2 D+0.25 L+1.0 E

Aislador	LB			UB		
	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)	Pu (kg)	u (cm)	Θ (rad)
Exterior	176004	28.61	0.0001	224174	24.02	0.0025
Interior	372547	28.61	0.0009	360441	24.02	0.0001

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54:

Deformaciones angulares de compresión, rotación y corte.

Deformación Angular por Compresión " γ_c "						
Aislador	CARGA		SISMO DE		SISMO MCE	
	VERTICAL		LB	UB	LB	UB
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Exterior	1.45	0.12	0.89	0.61	1.56	1.26
Interior	2.22	0.08	1.57	0.62	3.31	2.02

Deformación Angular por Rotación " γ_r "						
Aislador	CARGA		SISMO DE		SISMO MCE	
	VERTICAL		LB	UB	LB	UB
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Exterior	1.09	0.21	0.46	0.75	0.01	0.24
Interior	0.31	0.11	0.38	0.51	0.09	0.01

Deformación Angular por Corte " γ_s "						
Aislador	CARGA		SISMO DE		SISMO MCE	
	VERTICAL		LB	UB	LB	UB
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Exterior	0.00	0.00	0.78	0.61	1.43	1.20
Interior	0.00	0.00	0.78	0.61	1.43	1.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55:
Control de Deformaciones.

ESTADO DE CARGA	AISLADOR	CONTROL	LB	UB
1.2 D + 1.6 L	Exterior	$\gamma_c < 3.5$	1.45	0.12
	Interior		2.22	0.08
1.2 D + 1.6 L	Exterior	$\gamma_c + \gamma_r + \gamma_s < 6$	2.54	0.33
	Interior		2.53	0.19
1.2D + 0.5L + 1.0SDE	Exterior	$\gamma_c + 0.5 \gamma_r + \gamma_s < 7$	1.90	1.59
	Interior		2.54	1.48
1.2D+0.25L+1.0SMCE	Exterior	$\gamma_c + 0.25 \gamma_r + \gamma_s < 9$	3.00	2.58
	Interior		4.76	3.23

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56:
Espesor de placa SHIM.

Aislador	CARGA VERTICAL		SISMO DE		SISMO MCE	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Exterior	0.110	0.009	0.067	0.058	0.094	0.097
Interior	0.182	0.006	0.128	0.060	0.231	0.170

Fuente: Elaboración Propia

$$T_s = 0.23 \text{ cm}$$

Tabla 57:
Controles por Pandeo.

Control	CARGA VERTICAL		SISMO MCE	
	LB	UB	LB	UB
P'cr / Pcr > 0.15	1.00	1.00	0.39	0.48
P'cr / Pu > 2	1.93	27.00		
	1.26	39.16		
P'cr / Pu > 1.1			1.70	2.22
			0.80	1.38

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58:

Datos de entrada para el diseño de placas Exteriores.

Descripción	Und	Valor
Recubrimiento de Goma "cs"	cm	2.50
Longitud de Efectiva "Lef"	cm	52.00
Resistencia de Concreto "f'c"	kg/cm2	210.00
Esfuerzo del Concreto para DE "fb DE"	kg/cm2	232.05
Esfuerzo del Concreto para MCE "fb MCE"	kg/cm2	357.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59:

Espesor de placas Exteriores.

Aislador	CARGA					
	VERTICAL		SISMO DE		SISMO MCE	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Exterior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00

Fuente: Elaboración Propia

t =	0.35
-----	------

Por lo tanto, se colocará el espesor mínimo recomendado por el fabricante que es de 2.5 de espesor para diámetro de aislador.

Tabla 60:

Derivas de modelamiento de aislador en dirección X.

Pisos	Output Case	Derivas	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO XX	0.002789	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO XX	0.003033	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO XX	0.003212	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO XX	0.003183	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO XX	0.002778	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO XX	0.001891	0.007	OK

Fuente: Elaboración Propia

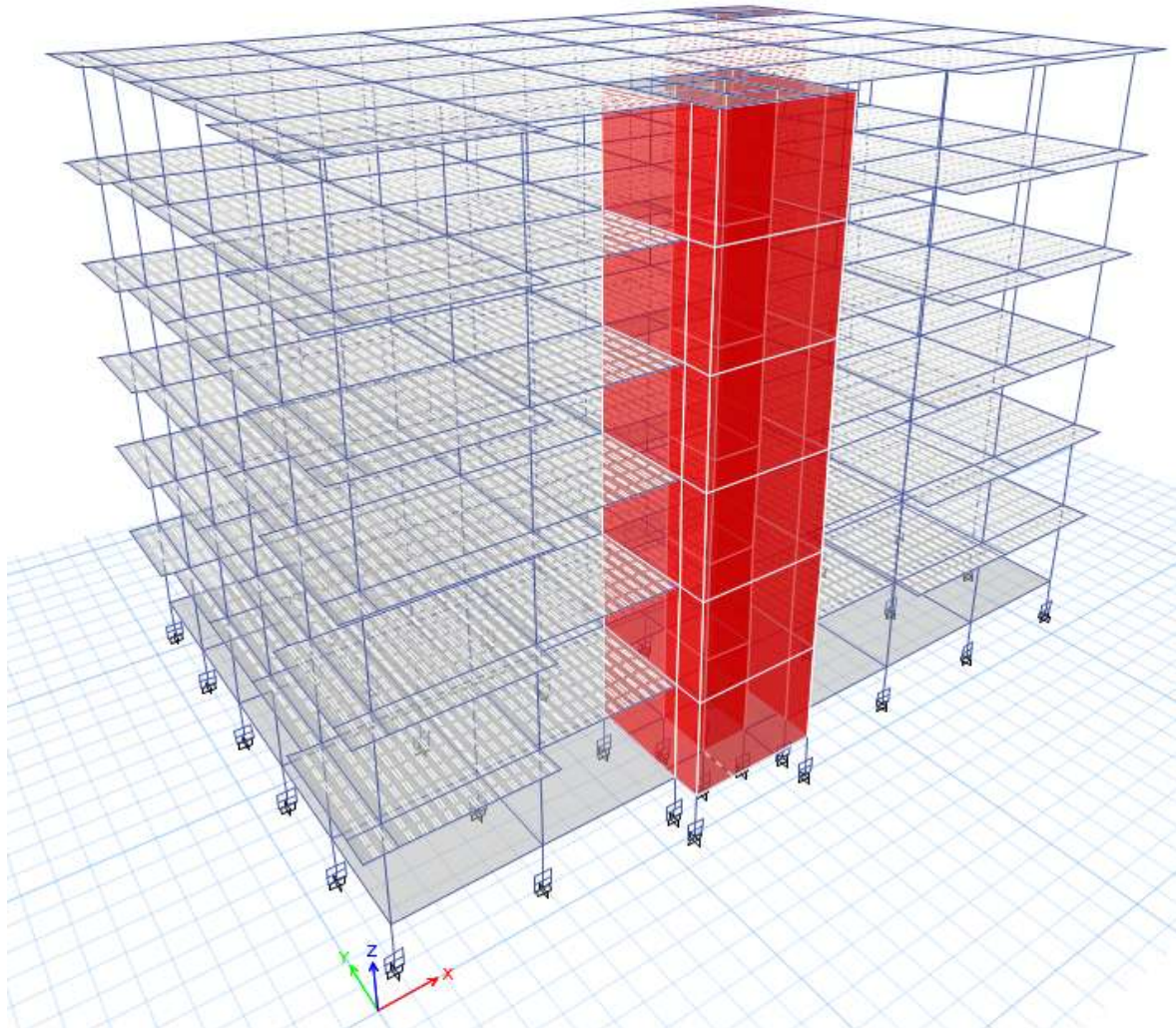
Tabla 61:

Derivas de modelamiento de aislador en dirección Y.

Pisos	Output Case	Deriva	Límite de Distorsión	
Piso 6	SISMO DINAMICO XX	0.002789	0.007	OK
Piso 5	SISMO DINAMICO XX	0.003033	0.007	OK
Piso 4	SISMO DINAMICO XX	0.003212	0.007	OK
Piso 3	SISMO DINAMICO XX	0.003183	0.007	OK
Piso 2	SISMO DINAMICO XX	0.002778	0.007	OK
Piso1	SISMO DINAMICO XX	0.001891	0.007	OK

Fuente: Elaboración Propia

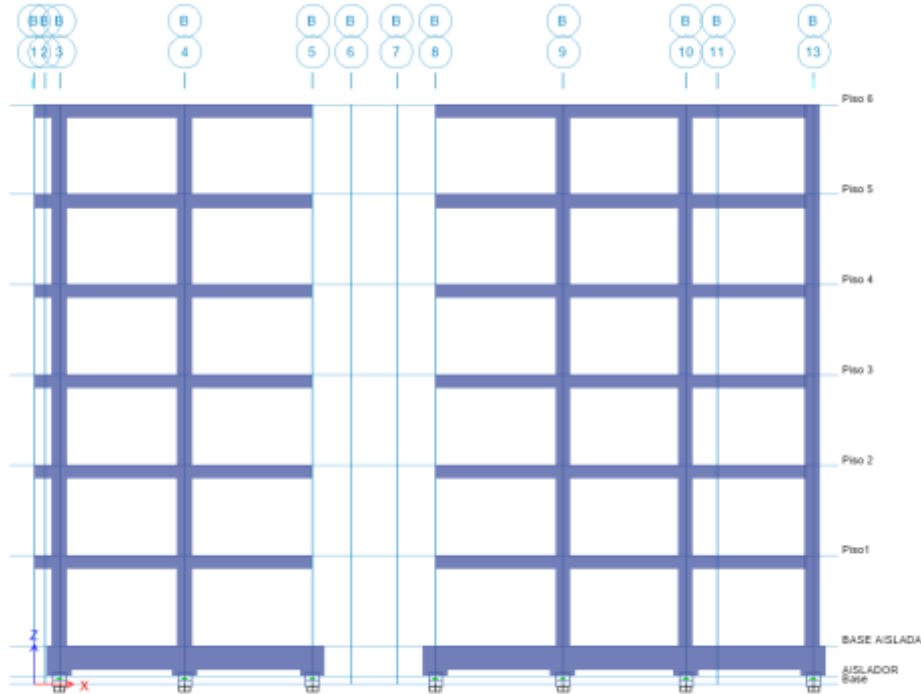
Figura 75:
Modelamiento de Aislador LRB.



Fuente: Software Etabs v.18.

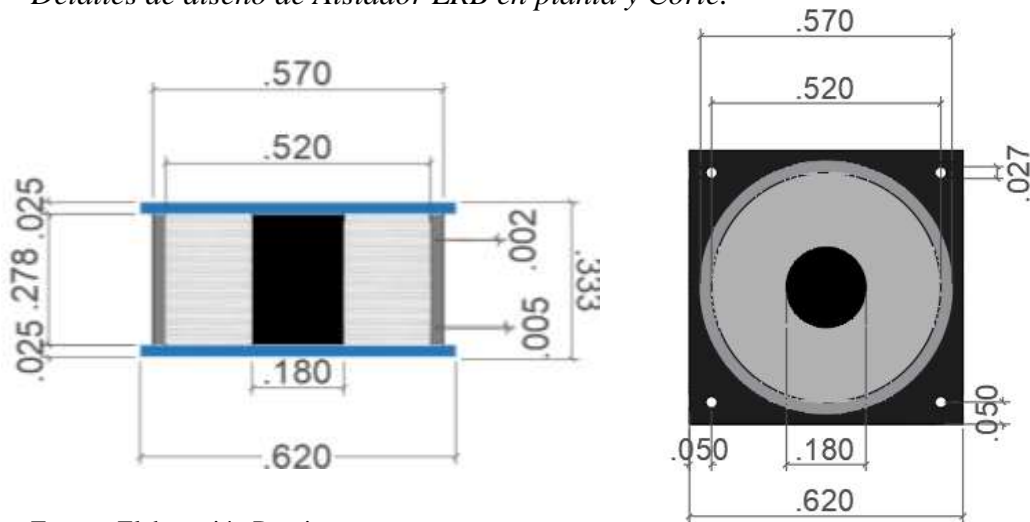
Figura 76:

Corte de Elevacion de Aislador LRB.



Fuente: Software Etabs v.18

Figura 77:
Detalles de diseño de Aislador LRB en planta y Corte.



Fuente: Elaboración Propia.

CUADROS COMPARATIVO ENTRE SISTEMA APORTICADO Y AISLADO

<i>ELEMENTOS ESTRUCTURALES</i>		
<i>ITEM</i>	<i>Dimensiones de secciones de Diseño EMPOTRADO (cm).</i>	<i>Dimensiones de secciones de Diseño AISLADO (cm)</i>
<i>C1 (DIÁMETRO)</i>	0.70	0.60
<i>C2</i>	30x65	30x60
<i>C3</i>	40x70	40x60
<i>C4</i>	30x65	30x60
<i>LOSA ALIGERADA</i>	20	20
<i>LOSA MACIZA</i>	20	20
<i>PLACAS ASCENSOR</i>	25	25
<i>V. PRINCIPAL</i>	40x65	30x55
<i>V. SECUNDARIOS</i>	30x55	30x50

Podemos considerar que el diseño de la estructura empotrada tiende a tener más rigidez por eso se aumentó las dimensiones de la sección ya que toda la fuerza sísmica es transmitida hacia las columnas. En cambio, las secciones del sistema aislado disminuyeron porque los aisladores LRB ayudan a disipar la energía de las fuerzas sísmicas.

<i>OUTPUT CASE</i>	<i>MÁXIMA DERIVA EMPOTRADA</i>	<i>MÁXIMA DERIVA AISLADA</i>	<i>LÍMITE DE DISTORSIÓN NORMA</i>	
Sismo Dinámico XX	0.005	0.003	0.007	OK
Sismo Dinámico YY	0.005	0.003	0.007	OK

Podemos observar que la deriva del diseño del Empotramiento perfecto y Aislado está por debajo de la máxima deriva según norma E-030 Sismo Resistentes que es 0.007.

El beneficio directo del sistema de aislamiento en la base es reducir las derivas de la superestructura con llevando:

- Asegurar su correcta operación antes, durante y después de un evento sísmico de gran magnitud.

- Disminuir severamente la percepción sísmica en el interior de la edificación aislada.
- Garantizar la conservación del equipamiento interno de la edificación.

La norma peruana establece un límite en deriva de 0.007. en el caso de la edificación empotrada la máxima deriva es de 0.005 en sus dos direcciones XX, YY y en el caso de la edificación aislada la máxima deriva es de 0.003 en la dirección XX, YY respectivamente, por lo tanto, se cumple con las exigencias de las distorsiones de entrepiso permisibles.

Según datos estadísticos previa investigación se obtuvo que los costos de la estructura convencional empotrada y una estructura aislada aumenta en un 16 %. El gran Beneficio y que justifica la inversión inicial de los aisladores es el costo casi nulo de la reparación ante un sismo de gran magnitud, en comparación con el convencional, que podría llegar a tener grietas, fallas y quizás destrozos de algunos elementos estructurales, lo cual podría ocasionar la evacuación inmediata de las personas del Edificio Hospitalario lo cual no debe ocurrir y generar grandes costos de reparación o reforzamiento de algunas zonas.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados obtenidos en la investigación correspondiente y basándonos en los antecedentes recopilados, en las normativas nacionales e internacionales y los cálculos matemáticos para el diseño de los aisladores sísmicos, se precisa lo siguiente:

El uso de aisladores sísmicos de base brinda beneficios satisfactorios para la protección de la estructura asegurando su correcta operación antes, durante y después de un evento sísmico de gran magnitud, ya que reduce la distorsión de entrepiso en un 15% a 40%, ratificando hipótesis establecidas e información recabada.

La edificación aislada resultó más costosa en comparación con la edificación convencional, por el incremento de un piso técnico, así mismo 52 unidades de aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) juntamente con sus respectivos capiteles de concreto superior e inferior. Este incremento es justificado con la importancia de su funcionalidad durante y después de un evento sísmico de gran magnitud

4.2 Conclusiones

La Edificación convencional presenta un periodo fundamental de vibración de 0.50s, que le hace ser una estructura muy rígida, debido a las grandes secciones de concreto armado de una estructura aporticado, también deben cumplir con los parámetros de torsión mediante el modelamiento en el software Etabs V.18.

El predimensionamiento de la superestructura se realizó de acuerdo con criterios por cargas de gravedad según norma E.020, típicamente diseñados para un sismo severo

LB UB (470 años de periodo de retorno). Estos criterios brindaron una buena estimación de dimensiones para el edificio de base aislada pese a que su diseño contempla a un sismo extremo. Las dimensiones definitivas de la superestructura se modificaron luego de verificar los resultados del análisis dinámico, se aumentó las secciones de las vigas y columnas dada las consideraciones de sobre carga para hospitales con el fin de controlar la torsión en planta del edificio según el modelamiento en software Etabs v18.

Se obtuvieron las dimensiones y propiedades dinámicas de los aisladores según la carga que reciben y evaluándolos ante un sismo máximo considerado LB y MCE, obteniéndose un valor de desplazamiento máximo de cada aislador de 24.02 cm según en el análisis.

El periodo logrado, mediante la inserción del Sistema de Aislamiento, en la estructura aislada es de 1.41s; proporcionalmente alto con respecto al periodo de la estructura empotrada (0.5s) pero comparativamente menor respecto de los periodos usuales en edificaciones con aislamiento de base (2.0s-3.5s). se determinó el beneficio directo del sistema de aislación que fue reducir las derivas en comparación con estructura empotrada conllevando esto a asegurar su correcta operación antes y después de un evento sísmico de gran magnitud, disminuir severamente las fuerzas sísmica en el interior de la edificación aislada y garantizar la conservación del equipamiento interno de la edificación.

Para el diseño de la base aislada se diseñó un sistema de aislación compuesto por aisladores Elastomérico tipo LRB, elegidos por tener un comportamiento Histerético mejorado y pueden resistir las sollicitaciones del sistema.

Se concluye que los sistemas de aislamiento sísmico de la estructura con núcleo de plomo (LRB) permite aumentar el nivel de amortiguamiento. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. Así mismo el presupuesto es más costoso que una estructura convencional, pero garantiza minimizar la deformación de la estructura del edificio y salvaguardar las vidas humanas.

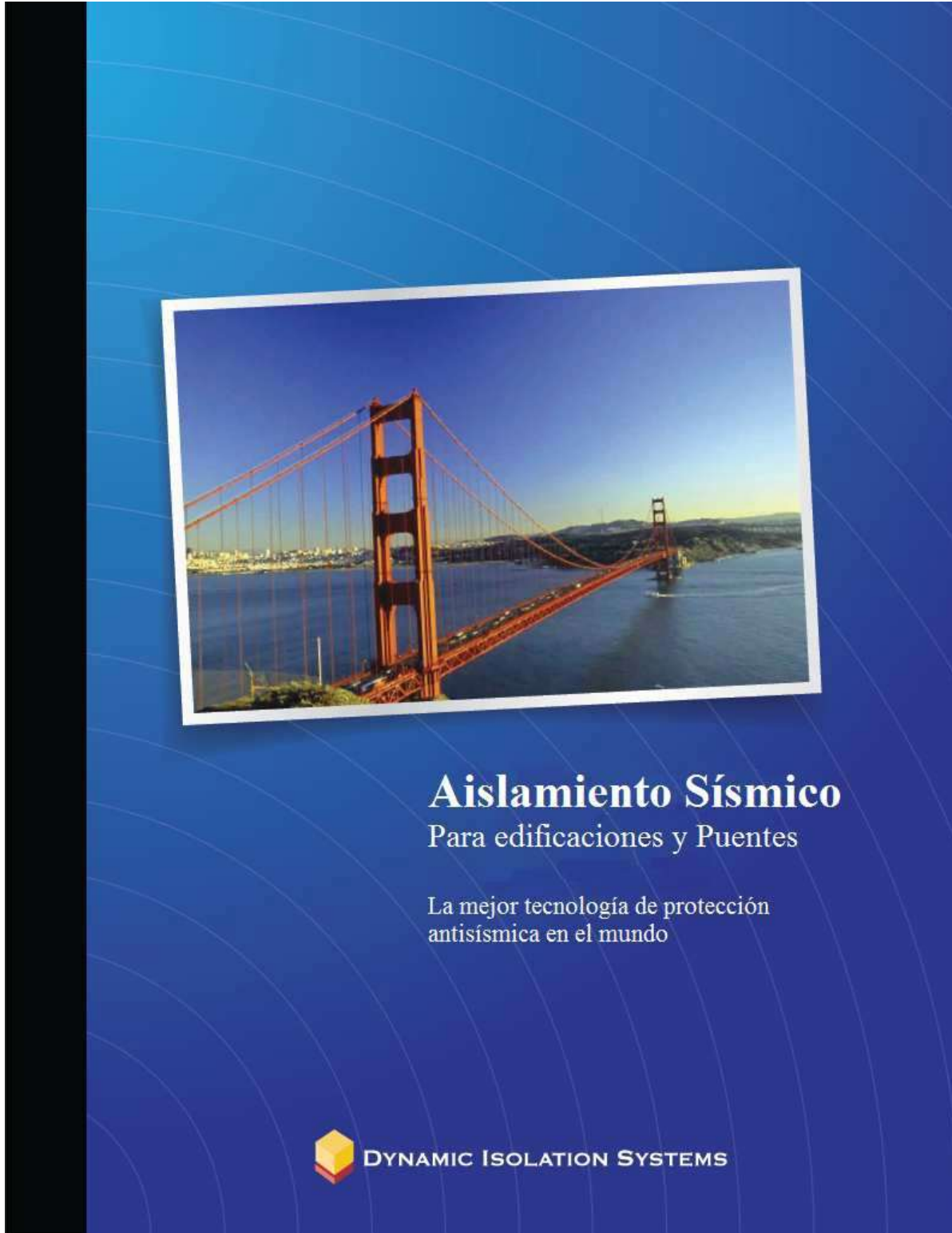
REFERENCIAS

- AASHTO *Guide Specification for Seismic Isolation Design* (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1999).
 - ACI 318S-14. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. 2014.
- Aguiar Falconí, R. (2007). *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte*. Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas. Editorial A.H. Barbat.
- Aguiar Falconí, R. (2010). *Análisis sísmico de edificios*. Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas.
 - Aguiar Falconí, R. (2013). *Microzonificación sísmica de Quito, Ecuador*.
 - Aguiar, Almazán, Dechent y Suarez (2008). *Aisladores de base Elastoméricos y FPS*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, Ecuador.
 - Blanco Blasco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
 - Bozzo, L., & Barbat, A. (2004). *Diseño sismorresistente de edificios*. Barcelona: Reverté.
 - Bridgestone. (2013). *Seismic isolation product line-up*. Tokyo: Bridgestone Corporation.
 - Centro Peruano Japonés. (2007). *Investigaciones Sísmicas Y Mitigación De Desastres (CISMID)*. Lima: Red Acelerográfica (REDACIS) Base de Datos.
 - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Macro.

- Mohamed Mehdi, M. (2010). *Apuntes del Curso de Concreto Armado II*. Huancayo: UPLA.
- Muñoz Pelaez, A. (2009), *Apuntes del curso de Ingeniería Antisísmica*. Lima: PUCP.
- Naeim, F., & Kelly, J. (1999). *Desing of seismic isolated structures: from theory to practice*. Canada: Jhon Wiley.
- Norma ASCE/SEI 7-10. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. USA: American Society of Civil Engineers.
- Ottazzi Pasino, G. (2012). *Apuntes del curso de concreto armado*. Lima: PUCP.


ANEXOS

ANEXO n.º 1. Catálogo Dynamic Isolation Systems.



Aislamiento Sísmico
Para edificaciones y Puentes

La mejor tecnología de protección
antisísmica en el mundo

 **DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS**

El aislamiento sísmico será su solución de diseño debido a que proporciona:

- ◆ Superior rendimiento
- ◆ Mejora de la protección personal
- ◆ Protección estructural
- ◆ Funcionamiento continuo
- ◆ Plena protección
- ◆ Ahorro de costos

Contenido

SECCIÓN 1: Aislamiento Sísmico

Aislamiento sísmico	2
Dynamis Isolation Systems	4
Aislador sísmico	5
Aislador deslizante	6
Productos adicionales	6
Aislamiento de pisos	7

SECCIÓN 2: Portafolio DIS

Proyectos notables	8
Reacondicionamiento de edificios históricos	9
Hospitales	9
Reacondicionamiento de puentes	10
Puentes nuevos	11
Aplicaciones especiales	11
Edificios con contenido de alto valor	12
Centros de Emergencia	12
Proyectos en Japón	13
Museos	13
Condominios	13

SECCIÓN 3: Ingeniería

Propiedades técnicas del aislador	14
Diseño y Modelado	16
Términos y Simbología	16
Pruebas del aislador	17
Preguntas más frecuentes	18

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Sección 1: Aislamiento Sísmico

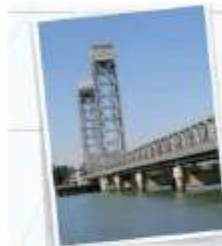
El aislamiento sísmico es una tecnología que protege la estructura contra los efectos destructivos de un terremoto, desacoplando la estructura del suelo y proporcionando una amortiguación.

Este desacoplamiento permite que el edificio se comporte con mayor flexibilidad, lo cual mejora su respuesta ante terremoto. La amortiguación añadida permite que la energía del terremoto sea absorbida por el sistema de aislamiento, reduciendo la energía transferida a la estructura.



Izquierda: Edificio del Capitolio del Estado de Utah, Salt Lake City. Arriba: Puente Golden Gate, San Francisco, California.

El aislamiento sísmico se consigue físicamente mediante la colocación de la estructura sobre los aislantes. Los aisladores son elementos lateralmente flexibles, sin embargo, son capaces de soportar las cargas verticales de la estructura. Dado que los aisladores son más flexibles que la estructura, la mayor parte de los movimientos laterales se producen en los aisladores. Como resultado, la estructura aislada experimenta menos movimiento y una reducción de esfuerzos.



DEBIDO A LOS MENORES MOVIMIENTOS Y BAJOS ESFUERZOS EN LA SUPERESTRUCTURA, LAS VIDAS ESTÁN PROTEGIDAS, LOS CONTENIDOS SON PRESERVADOS y LAS EDIFICACIONES PERMANECEN OPERATIVAS.

El Diseño contra terremoto tiene un 10% de probabilidad de ocurrencia durante el tiempo de vida útil de la estructura. Medida de 6.0 a 8.0 de la escala Richter.

¿Qué tipos de estructuras son factibles de aislar?

- ◆ Los hospitales, puentes y centros de emergencia que requieren su funcionamiento durante e inmediatamente después de un terremoto.
- ◆ Estructuras con contenidos valiosos o funcionales, tales como centros de datos, instalaciones de comunicaciones, locales de fabricación de alta tecnología y museos.
- ◆ Los edificios con alta ocupancia, tales como las residencias de baja y mediana altura, y edificios de oficinas.
- ◆ Estructuras declaradas como históricas.

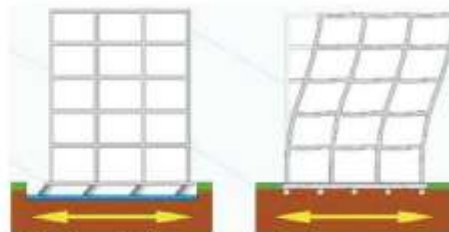


DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislamiento Sísmico

¿Qué actuación se puede esperar del aislamiento?

El aislamiento sísmico proporciona un superior rendimiento en comparación con el tradicional diseño estructural. Los esfuerzos y desplazamientos en la estructura se reducen hasta en un 75%. El sistema de aislamiento logra deformarse lateralmente durante el terremoto. Después del terremoto, el resultado es una estructura funcional con poco o ningún daño.



Estructura aislada sísmicamente: Modelo de deformación de una estructura aislada durante un terremoto. El movimiento tiene lugar al nivel de los aisladores. Las aceleraciones de suelo son bajas. El edificio, sus ocupantes y los contenidos están seguros.

Estructura convencional: Modelo de deformación de una estructura convencional durante un terremoto. Las aceleraciones del terreno se amplifican en los pisos más elevados y los contenidos están dañados.



¿Qué actuación se puede esperar de una estructura convencional?

El tradicional diseño estructural está destinado a prevenir las fallas y pérdidas de vidas. Este enfoque de diseño no tiene en cuenta la ocupación inmediata, el mantenimiento del funcionamiento, ni proporciona una fácil reparación. El diseño tradicional se basa en los daños a la estructura, tales la flexión y la deformación plástica para disipar la energía de un terremoto. El diseño dúctil de las partes de flexión ayuda a evitar el colapso de la estructura. Inherente a este diseño, está la posibilidad de un daño significativo a la estructura, contenido y una inoperable estructura inservible luego de un terremoto.

Las estructuras aisladas han demostrado un historial de excelente rendimiento durante los terremotos.

¿Cómo han actuado los sistemas de aislamiento durante los terremotos?

El Hospital USC fue aislado utilizando los sistemas de aislamiento de aisladores dinámicos. El edificio se mantuvo operativo durante todo el terremoto de Northridge de 1994. No hubo daños en el Hospital USC. En contraste, el Centro Médico del Condado de Los Angeles ubicado a menos de una milla de distancia, sufrió 400 millones de dólares en daños y no continuó en funcionamiento después del terremoto.

El Stanford Linear Accelerator en Palo Alto, California resultó indemne en el terremoto de Loma Prieta en 1989. En otro lugar del campus, se reportó daños por aproximadamente \$ 160 millones.

El Puente Eel River en el condado de Humboldt, California fue aislado utilizando aisladores DIS en 1988. Se experimentó aceleraciones de 0.55 g en el Terremoto de Petrolia en 1992. El puente se desplazó 9 pulgadas lateralmente y no sufrió daños.



Hospital USC,
Los Angeles, California.



¿Cómo el aislamiento proporciona ahorro de costos?

En los puentes, el diseño de la cimentación se basa en fuerzas elásticas. El aislamiento reduce las fuerzas elásticas hasta en un 75%. Esto se traduce en un ahorro de costos directos en la cimentación. En los edificios, el aislamiento proporciona ahorro de costos durante la vida útil de la estructura. Un edificio aislado permanecerá esencialmente en buen estado durante un terremoto. En comparación, la estructura y el contenido de un edificio convencional resultarían dañados. Los ocupantes también experimentarían interrupción de sus negocios, a veces durante semanas o incluso meses.

www.hsi.com/usa

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Dynamic Isolation Systems

Dynamic Isolation Systems desempeñó un papel importante en el desarrollo de la tecnología de aislamiento sísmico, incluida su comercialización en la década de 1980.

DIS ha ayudado a desarrollar la normativa y apoyó en el diseño y análisis a los ingenieros y organismos gubernamentales. Durante los últimos 20 años, los diseños contra terremotos se han incrementado considerablemente. DIS ha seguido desarrollando sus aisladores para un buen desempeño ante grandes desplazamientos laterales acompañados de elevadas cargas axiales.



Proyectos de aislamiento

Dynamic Isolation Systems ha proporcionado más de 12.000 aisladores para más de 250 puentes y edificaciones en todo el mundo. Algunos proyectos destacados de aislamiento a cargo de DIS incluyen el emblemático puente Golden Gate, el City Hall de San Francisco (izquierda) el cual fue dañado en el terremoto de Loma Prieta en 1989 y Tan Tzu Medical Center en Taiwan. Con 1.7 millones de pies cuadrados, es la mayor estructura aislada del mundo.

Soporte a los proyectos

Dynamic Isolation Systems puede ayudarle con su estudio de viabilidad, la elaboración del presupuesto y la ingeniería de valor. Hemos sido capaces de reducir los costos del sistema de aislamiento en un 30% en proyectos en los que podemos prestar nuestra experiencia para el diseño del aislador y la combinación de productos. Nuestros ingenieros pueden proporcionar apoyo técnico y los parámetros para el modelado estructural.

Capacidades de fabricación

◆ Instalaciones

La planta de fabricación de 60,000 pies cuadrados de Dynamic Isolation Systems está ubicada en Sparks, Nevada, EE.UU. Ubicada cerca de la Interestatal 80, le permite la facilidad del transporte de mercancías en todos los Estados Unidos y en todo el mundo vía el puerto de Oakland en California.



Más de 12,000 aisladores han sido fabricados por DIS.

◆ Capacidades de prensado

Dynamic Isolation Systems moldea en prensas diseñadas y fabricadas a medida, las cuales van desde 200 hasta 4,400 toneladas. En respuesta a la creciente demanda de aisladores de mayor tamaño, DIS ahora cuenta con cuatro prensas de más de 2,000 toneladas de capacidad. Los más grandes aisladores que hemos fabricado son de 60 pulgadas de diámetro y pesan 10 toneladas cada uno.

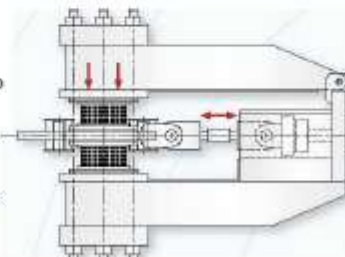
◆ Mecanizado

El procesamiento del acero es una parte importante en la fabricación de nuestros aisladores. Dos grandes centros de procesamiento mecanizado Computer Numeric Controlled (CNC) procesan la mayor parte de nuestras placas de acero, con una capacidad de placas de 80 pulgadas de ancho.

◆ Pruebas

Nuestra plataforma principal prueba tiene un desplazamiento de rotura de ± 31 pulgadas, una capacidad de corte de 700 toneladas y una capacidad de fuerza axial de 2.000 toneladas.

Las pruebas también se efectúan en una máquina más pequeña que tiene una capacidad de desplazamiento de rotura de ± 12 pulgadas, una capacidad de fuerza de corte de 100 toneladas y una capacidad de fuerza axial de 600 toneladas.

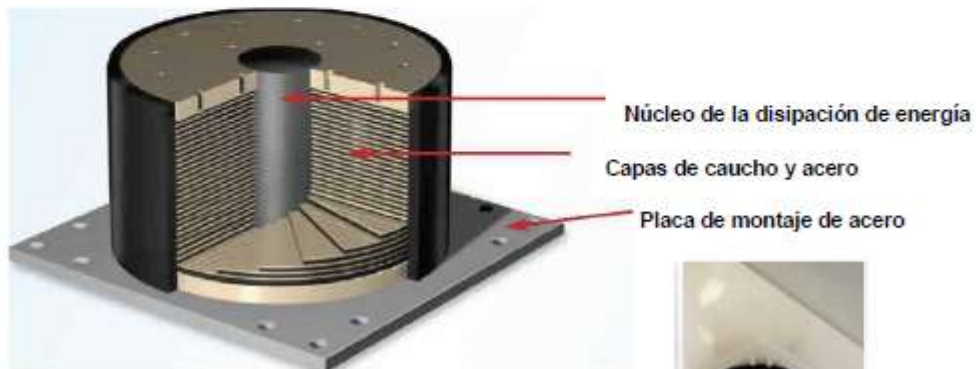


Más de 20,000 pruebas realizadas con el equipo de prueba de 2000 toneladas.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislador sísmico

Los aisladores constan de un soporte de caucho y acero laminado, con placas de acero que se conectan a la estructura. El 90% de nuestros aisladores tienen un núcleo de plomo para disipación de la energía.



Este es un Lead Rubber Bearing (LRB) de DIS. Las capas de caucho vulcanizado están laminadas entre placas de acero para formar un soporte estructural flexible (No se muestra la placa de montaje superior.)



Función del aislador

El caucho en el aislador actúa como un resorte. Lateralmente son muy suaves pero muy rígidos verticalmente. La alta rigidez vertical se consigue gracias a las capas delgadas de caucho reforzadas con cuñas de acero. Estas dos características permiten que el aislador se mueva lateralmente con una rigidez relativamente baja, aún llevando una carga axial significativa debido a su elevada rigidez vertical. El núcleo de plomo proporciona la amortiguación deformándose plásticamente cuando el aislador se mueve lateralmente en un terremoto.

Rangos de dimensionamiento

Se fabrican aisladores de 12 a 60 pulgadas de diámetro con una capacidad de hasta 4.000 toneladas. Están disponibles medidas específicas del cliente para aplicaciones especiales.

Fabricación

Las cuñas para los aisladores se cortan con exigentes tolerancias por láser. Las placas de montaje de acero son mecanizadas por fresadoras controladas por ordenador que dan un alto rendimiento de producción y precisión. El moldeo por cada soporte toma de 8 a 48 horas, dependiendo de su tamaño. La fase de curado se controla continuamente para asegurarse de que el caucho se endurece de manera uniforme en todo el soporte.

Nuevas construcciones o reacondicionamiento: Durante más de dos décadas, Dynamic Isolation Systems ha estado ayudando a los arquitectos, ingenieros, empresas e instituciones con la correcta tecnología de protección antisísmica, la cual coincide con las necesidades y requisitos específicos para sus respectivas estructuras.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

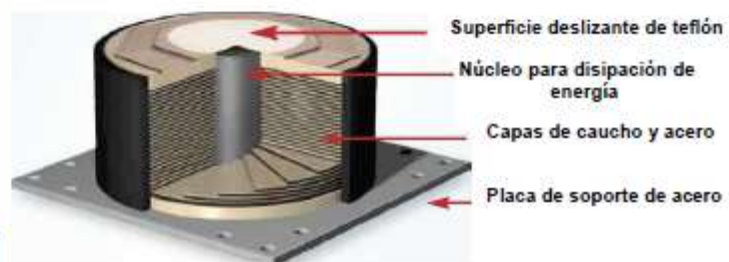
Aislador deslizante

Un aislador de deslizamiento consiste en un disco de PTFE (Teflón) que se desliza sobre una placa de acero inoxidable. Una corredera puede estar fabricada con o sin un soporte elastomérico. El control deslizante más común tiene la misma construcción que un aislador con disco de teflón sustituido por una placa de brida.

Función deslizante

Los deslizadores soportan cargas verticales y tienen una baja resistencia lateral. Se utilizan típicamente junto con los aisladores y permiten que el diseñador optimice el rendimiento del sistema de aislamiento. En algunas aplicaciones se colocan en las partes más ligeras de la estructura, tales como escaleras y columnas de carga ligera. El soporte elastomérico se utiliza para acomodar las rotaciones en la estructura. Un beneficio adicional de los deslizadores es que proporcionan la amortiguación por fricción por deslizamiento.

Rangos de dimensiones
Los aisladores deslizantes son de 12 a 41 pulg de diámetro.
Fabricación del deslizador
Los deslizadores son fabricados con discos de teflón acoplados con una superficie deslizante de acero inoxidable.



Este deslizador fue diseñado específicamente para el Proyecto de Berry Street, en San Francisco. Fue diseñado para deslizarse por 30 pulg, y luego se deforma en cizalla otras 15 pulg, una vez que se acopla a una placa de contención. DIS fabrica y suelda todas las partes del conjunto deslizante en fábrica.

Productos adicionales

Estructuras de acero y sujetadores

Dynamic Isolation Systems procesa más de 2000 tons de acero al año. Las placas de montaje de acero, placas de soporte, pernos de anclaje y sujetadores a menudo son fabricadas y suministradas con los aisladores DIS.

Soportes especiales

Dynamic Isolation Systems diseña y fabrica soportes para aplicaciones no sísmicas, tales como cargadores de buques. El propósito de los soportes es controlar los esfuerzos dentro de la estructura durante la descarga de petróleo en los petroleros.



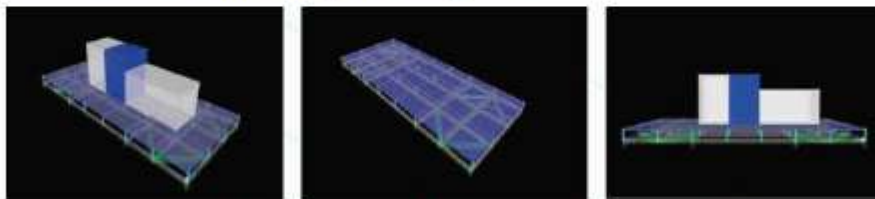
Puente San Rafael en Richmond:
Dynamic Isolation Systems ha desarrollado y fabricados soportes para puentes para Caltrans con una mayor resistencia a la corrosión. Los soportes se encuentran dos metros por encima de la línea de flotación y se fabricaron con una baja permeabilidad del caucho y fabricados en acero inoxidable.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Aislamiento del piso

El sistema de aislamiento de piso DIS es un nuevo producto desarrollado. El piso cuenta con un reciente invento, una unidad de muelles multi-direccionales que tiene una rigidez muy baja en comparación con un aislador para edificios.

Están disponibles resortes con una rigidez de hasta 30 libras/pulg. El sistema es modular y puede ser utilizado como una aislada plataforma de suelo o como un sistema completo de piso.



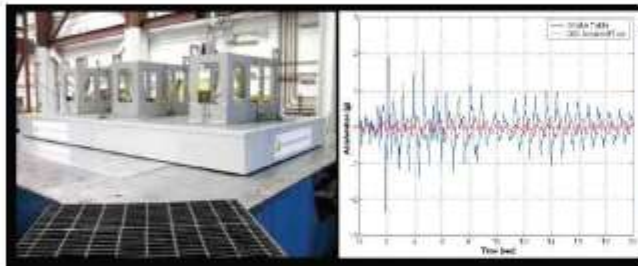
Estos esquemas muestran el modelo informático SAP 2000 de un piso que se puso a prueba en la Universidad de Nevada, Reno. La medida del piso es 14 pies de ancho por 6 pies de profundidad. Hay módulos estándar de 4 pies por 6 pies en cada extremo, los cuales están unidos por largueros de 6 pies de largo. Los módulos se conectan a las unidades de muelles multi-direccionales y contienen rodillo y soportes de deslizamiento. Las baldosas informáticas conforman la superficie superior del piso aislado.

¿De qué manera el aislamiento del piso difiere del aislamiento estructural estándar?

Un sistema de aislamiento de piso se instala en el interior del edificio y no es parte de la estructura. El aislamiento tradicional se instala debajo de columnas y es parte integral de la superestructura. El mismo nivel de protección antisísmica puede lograrse con ambos sistemas.

¿Cuándo el aislamiento de piso es una buena solución de diseño?

El aislamiento de piso es una buena alternativa cuando el aislamiento de todo el edificio no es práctico ni económico. Si usted es un inquilino, el superior rendimiento del aislamiento se puede lograr con el aislamiento de piso dentro del edificio. Los centros de datos, equipos médicos, procesos de fabricación de alta tecnología, obras de arte y productos valiosos tales como vacunas requieren mayor protección sísmica que el proporcionado por una estructura convencional.



El sistema de aislamiento de piso de DIS fue probado en la mesa vibratoria de la Universidad de Nevada, Reno. Se dio un rendimiento excelente que está acorde con nuestros modelos analíticos. Para esta prueba, la aceleración máxima se redujo de 2 g a 0.4 g. Las aceleraciones espectrales también se redujeron hasta por un factor de cinco.

¿Cuál fue nuestro primer proyecto aislamiento de piso?

El primer proyecto de aislamiento de piso fue el Centro de Emergencias del condado de King en Seattle, Washington. El sistema de protección del piso de los equipos de comunicaciones involucró a aislar una losa de hormigón con aisladores de caucho, plomo y rodillos. El nuevo sistema de aislamiento de piso DIS es una solución ágil que permite su uso en cualquier piso de un edificio.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Sección 2: Portafolio DIS

Proyectos notables

Dynamic Isolation Systems ha estado a la vanguardia del aislamiento sísmico durante más de 25 años. Suministrando aisladores para la mayoría de proyectos de aislamiento prominentes de todo el mundo.

City Hall de San Francisco

Este punto de referencia de la Costa Oeste fue dañado por el terremoto de Loma Prieta en 1989, y ha sido restaurado y protegido para futuras actividades sísmicas. DIS instaló 530 aisladores sísmicos, por lo que es el proyecto más grande de acondicionamiento sísmico en el mundo.



Salt Lake City and County Building

El City and County Building fue la primera adaptación de aislamiento sísmico en el mundo.

El edificio modernizado está diseñado para soportar terremotos de hasta 7.0 grados en la escala de Richter. Se trata de una estructura de muro de cortante construido de ladrillo no reforzado y piedra arenisca. Fue terminado en 1894 con el estilo románico de Richardson.



Puente Coronado Bay Bridge en San Diego

Este importante proyecto fue el primero en incorporar la alta velocidad/pruebas de los aisladores. Caltrans construyó las instalaciones en la Universidad de San Diego, California con lo último de la tecnología, para su programa de readaptación del puente de peaje. El dispositivo de prueba fue el primero en ser capaz de probar los rodamientos a velocidades reales, como terremotos. Los soportes están diseñados para soportar una falla de ruptura de 1.2 metros por debajo del puente.

Centro Médico Tan Tzu

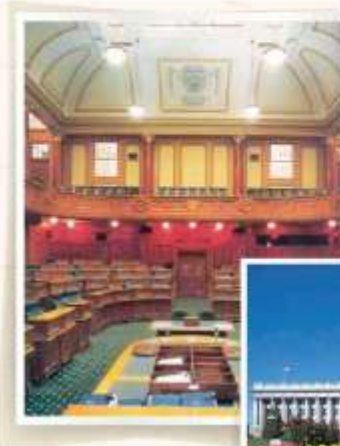
El Centro Médico Tan Tzu en Taiwán se encuentra en construcción y con sus 1.7 millones de pies cuadrados es la mayor estructura aislada del mundo. Es el tercer hospital de Taiwán donde DIS ha suministrado aisladores. El aislamiento de la base se selecciona de manera que el hospital continuara en funcionamiento inmediatamente después de un terremoto.

SECCIÓN DOS: PORTAFOLIO DIS

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Modernización de los edificios históricos

El aislamiento sísmico es el mejor método para reacondicionar los edificios históricos a los actuales estándares del diseño de terremotos. Como el aislamiento reduce los esfuerzos en la estructura, se puede conservar la trama de la arquitectura original.



Edificios parlamentarios de Nueva Zelanda

El aislamiento de la base fue elegido para cumplir con los objetivos de conservación. Permitió que la máxima preservación de los materiales y mano de obra originales dentro de los edificios y evita cualquier modificación en el aspecto exterior.

Other historic retrofits using DIS isolators include Oaldand City Hall, Kerckhoff Hall at UCLA and Campbell Hall at Western Oregon State College.



Edificio del Capitolio del Estado de Utah

El edificio del capitolio del estado de Utah cuenta con una arquitectura Cornithian e integra los conceptos de diseño tomados de otros Capitolios Nacionales. Fue construido en 1915. Los materiales de la zona y los elementos ornamentales de diseño personalizado le dan al edificio su carácter único.

Hospitales

Es indispensable que los hospitales continúen funcionamiento después un terremoto. El aislamiento evita los daños al hospital, su funcionamiento protege al personal y a los pacientes.

Xindian General Hospital

Las pruebas para este hospital en Taiwán se realizaron en la Universidad de San Diego, para el desplazamiento lateral de un metro. El esfuerzo de deformación en el aislador fue de 400%, el cual es muy superior al requerido en el diseño del sismo. Este tipo de pruebas demuestra el alto rendimiento de los aisladores DIS. También suministró aisladores de los hospitales de Hualin y Tan Tzu en Taiwán.



Arriba: Hospital Yuzawa, Japón. Debajo: Un deslizador instalado en el Hospital Takasu, Japón.



Hospital de Erzurum

Los trabajadores instalaron aisladores para el Hospital Erzurum en este de Turquía. El Ministerio de Salud de Turquía planea construir muchos nuevos hospitales en los próximos diez años, y es un defensor de la mejor tecnología tal como el aislamiento de la cimentación.

Hospital USC, Centro Médico Arrowhead y la Administración para el Hospital de Veteranos de Long Beach. Todos estos hospitales están ubicados en California y se encuentran bajo la supervisión del OSHPD (Office of Statewide Health Planning and Development) con el que venimos trabajando durante 15 años.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

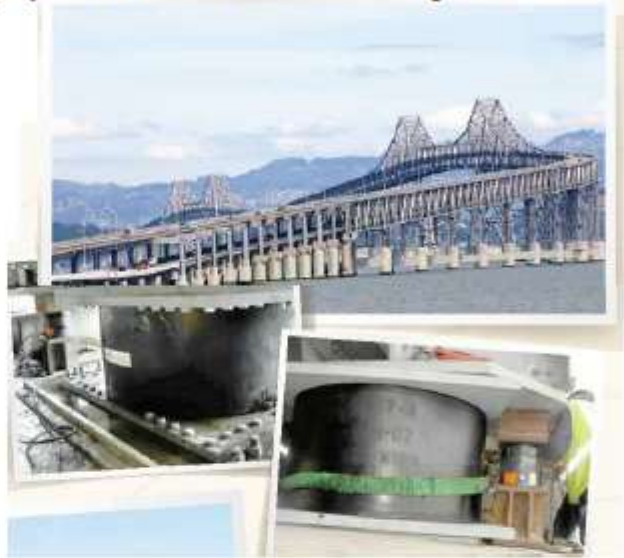
Reacondicionamientos de puentes

Los puentes se benefician del aislamiento debido a que se evitan el reforzamiento de los pilares y cimientos existentes. El aislamiento reduce los esfuerzos sísmicos en la estructura y permite que el diseñador redistribuya los esfuerzos en toda la estructura. Los aisladores DIS se han utilizado en más de cincuenta proyectos de reacondicionamiento de puentes.

Puente San Rafael en Richmond

El puente San Rafael en Richmond se beneficia del aislamiento ya que los esfuerzos pueden ser redistribuidos en toda la estructura. Sin aislamiento, las significativas diferencias de alturas de los pilares podrían ocasionar que los pilares más rígidos y más cortos atraigan la mayoría de los esfuerzos laterales. La estructura requiere un alto nivel nominal de fuerza inicial, debido a las altas cargas del viento. DIS ha diseñado y fabricado aisladores con un diámetro de 55 pulgadas, con tres núcleos de plomo de 11 pulgadas de diámetro.

En el extremo oeste del puente, los soportes del puente se encuentran en la zona de chapoteo, a sólo seis metros sobre el nivel del mar. DIS y Caltrans han diseñado estos soportes para proporcionar una alta resistencia a la corrosión. Los soportes son fabricados con caucho de baja permeabilidad, cuñas de acero inoxidable y una sola placa.



Puente Golden Gate

El acceso norte del puente Golden Gate está reacondicionado con aisladores DIS. Los aisladores garantizan que el puente pueda resistir un terremoto de magnitud 8.3.



Puente Rio Vista

Ubicación típica de un aislador en el puente reacondicionado Rio Vista en California.

SECTION TWO: DIS PORTFOLIO

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Puentes nuevos



Acueducto Patria

Reducción de los esfuerzos en la subestructura debido al aislamiento, le permiten una simplicidad estética con elegantes estructuras en este puente en Guadalajara, México. Los reducidos esfuerzos en la cimentación dan como resultado un 50% menos de pilares.

Puente Woodrow Wilson

Este puente levadizo atraviesa el río Potomac, cerca de Washington, DC. Este importante puente que lleva más de 250.000 vehículos diarios, está en una zona sísmica baja. Sin embargo, la redistribución de las fuerzas y rendimiento en condiciones de servicio con los aislamientos sísmicos, lo hacen una opción atractiva para los diseñadores.



Tren ligero JFK

El sistema de tren ligero elevado JFK conecta el aeropuerto JFK con el sistema metro de Nueva York. El puente es de diez kilómetros de largo y está apoyado sobre 1,364 aisladores DIS. El contratista del diseño y construcción escogió el aislamiento para ahorrar costos de cimentación. A medida que las cimentaciones son más pequeñas, se realizan significativos ahorros adicionales en los costos por el traslado de los servicios subterráneos en el aeropuerto a lo largo de la autopista Van Wyck.

Puente Mexicali

El aislamiento reduce a la mitad el costo de las cimentaciones en este puente. Las bases requieren sólo dos tercios del concreto y un tercio del acero de refuerzo que se habían requerido con un diseño convencional.



Aplicaciones especiales

Proyecto Berry Street

El Proyecto de Berry Street en San Francisco cuenta con aislamiento en el nivel del techo de un edificio de tres plantas existentes. El aislamiento permitió al propietario sumar dos pisos adicionales con mínimo refuerzo de la estructura existente.

Como la aplicación es bastante singular, las pruebas se efectuaron con 45 pulgadas de desplazamiento lateral. Esto es un exceso al desplazamiento de diseño de 30 pulgadas.



Tanque de agua mejorado en Seattle, Washington.



El Stanford Linear Accelerator en Palo Alto, California está protegido por DIS

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Edificios con contenidos de alto valor

El aislamiento también previene daños a los contenidos en el caso de un terremoto.



Edificio Hughes S-12

El edificio Hughes S-12 en Los Angeles es fundamental para el funcionamiento del satélite Hughes. El edificio de 12 pisos se mantuvo operativo durante la reconversión. La probabilidad de daños o interrupciones en el diseño de sismos ha sido prácticamente eliminada.

Immunex Campus

Este Centro de Investigación y Tecnología está ubicada en la línea costera para estudios de sistemas inmunológicos de Seattle, y el desarrollo de la terapia con medicamentos. También cuenta con US\$ 50 millones de dólares en equipos de última generación. El propietario también estaba preocupado para prevenir que un terremoto afecte el centro de labores durante varios meses con un costo para la empresa.



Estudios de televisión y edificios de telecomunicaciones, tales como éstos en Japón. Se han aislado a fin de evitar la interrupción del servicio.



DIS también ha aislado Centros de datos para Kaiser Permanente, Mountain Fuel and Evans & Sutherland

Centros de emergencia



Plantas de semiconductores Conexant

Las tres plantas de semiconductores Conexant en Mexico y California están protegidas por los aisladores DIS. En caso de un terremoto, protegen los activos y evitan pérdidas por miles de millones.



Edificio de seguridad pública en Berkeley

El edificio de Seguridad Pública de Berkeley es uno de los muchos centros de emergencia construidos recientemente a lo largo de los Estados Unidos. La construcción con lo último de la tecnología está diseñado para soportar un terremoto de magnitud 7.0 en la escala de Richter y seguir funcionando. Alberga el Centro de comunicaciones de emergencia 911 de la ciudad el cual es un centro vital en el Plan de Respuesta a Emergencias de la ciudad.



Central 911 Long Beach

Centro de emergencia de San Diego



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Proyectos en Japón

Dynamic Isolation Systems ha suministrado aisladores a más de 80 proyectos en Japón. Japón ha liderado el uso de tecnologías avanzadas a nivel mundial tales como el aislamiento de cimientos, amortiguadores, apoyos para frenar la deformación y amortiguadores de masa estabilizados.



La Estación de Bomberos de Funabashi es una de muchas estaciones en Japón que has sido aisladas.

High City Kyosumi utiliza aisladores de 1500mm de diámetro que fueron los más grandes jamás construidos.



Los Hospitales Takasu y Yuzawa usan aisladores y deslizadores suministrados por DIS.



El Edificio MM21 en Yokohama es un proyecto de oficinas a gran escala.



Condominios tales como el Fukae Mitsuke frecuentemente son aislados.



Museos

Los museos son los candidatos naturales para el aislamiento sísmico, ya que proporciona la mejor protección disponible para los contenidos de un edificio.

Museo de Arte Asiático

La primera biblioteca de la ciudad de San Francisco ha sido reforzada y ahora alberga más de cinco mil millones de dólares en obras de arte asiático y está protegido por más de 200 aisladores DIS.



F-Museum
Diez aisladores de caucho protegen estos 7 pisos y 40,000 pies cuadrados de construcción en Tokyo, Japón.



Condominios

Muchos residentes optan por vivir en edificios aislados por estar mejor protegidos.



Channing House
Residencias en Palo Alto, California.

Condominios Kamikuzawa, Japón



Instalación de un aislador de 1500mm de diámetro para el Condominio High City Kyosumi en Japón.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Sección 3: Ingeniería

Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades Americanas

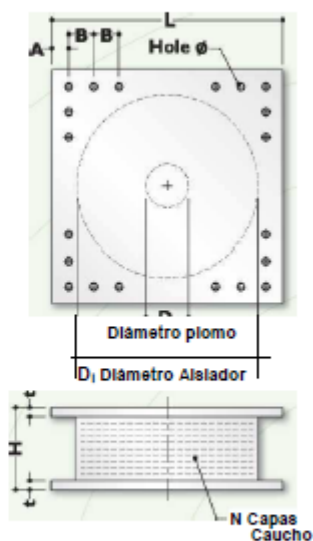
TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Díametro Aislador, D _i (In)	Altura Aislador, H(In)	Número de capas de caucho, N	Díametro del plomo D _p (In)	L (In)	T (In)	Cantidad orificios	Orificio ø (In)	A (In)	B (In)
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2	-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 55 psi hasta 100 psi.

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_{e2} = 10 \cdot K_{e1}$.

Díametro Aislador, D _i (In)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (In)	Capacidad Carga Axial, P _{max} (Kips)
	Rigidez Producida, K _d (k/In)	Resistencia Característica, G _d (k/ips)	Rigidez a la Compresión, K _v (k/In)		
12.0	1-5	0-15	>250	6	100
14.0	1-7	0-15	>500	6	150
16.0	2-9	0-25	>500	8	200
18.0	2-11	0-25	>500	10	250
20.5	2-13	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-16	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-20	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-24	0-50	>4,500	18	700
29.5	3-27	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-30	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-35	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-35	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-35	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-36	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-36	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-37	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-38	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-40	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-41	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-42	0-230	>37,000	36	9,000



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Ingeniería

Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades métricas

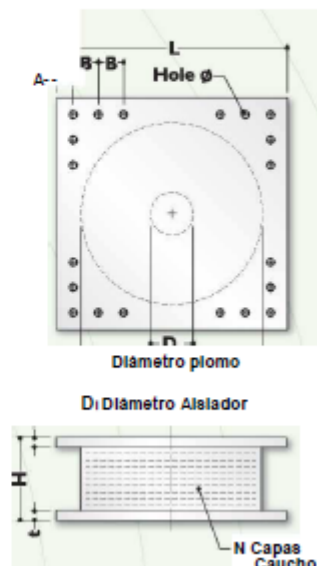
TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, D _L (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orifitulos	Orifitolo Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 0.38 N/mm² hasta 0.70 N/mm².

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_2 = 10 \cdot K_d$.

Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento o Máximo, D _{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P _{max} (kN)
	Rigidez Producida, K _d (kN/mm)	Resistencia Característica Q _d (kN)	Rigidez a la compresión, K _v (kN/mm)		
305	0.2-0.3	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Diseño y Modelado

Los aisladores se pueden modelar de forma explícita un software de análisis tal como ETABS, SAP2000 y LARSA. Cuando el software no soporta explícitamente un dispositivo aislador, se pueden utilizar un resorte o un tramo de columna para simular el aislador.

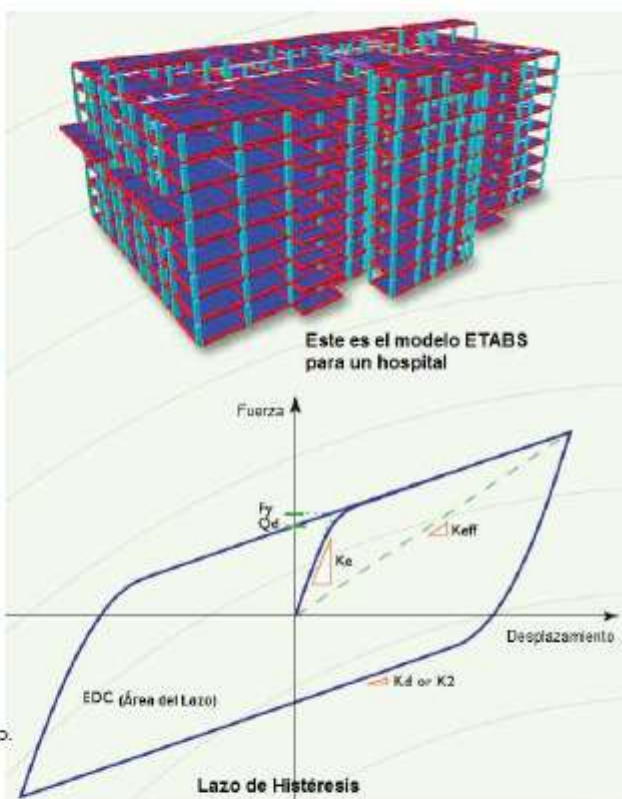
El comportamiento de un soporte de cancho con núcleo puede ser modelado como un elemento de histéresis bilineal, con una rigidez inicial (K_e), rendimiento de la fuerza (F_y) y la rigidez secundaria (K_2 o K_d).

Para el análisis del espectro de respuesta, se requiere la rigidez efectiva (K_{eff}) y el amortiguamiento viscoso equivalente, el cual se obtiene a partir del aislador de EDC (energía disipada por ciclo).

Para el análisis del historial de tiempo no lineal, se utilizan las propiedades bilineales del aislador (rigidez inicial K_e , rendimiento de la fuerza F_y y la rigidez secundaria K_2). También se requiere la rigidez vertical de los aisladores como parte de la descripción del elemento. Una característica interesante de los aisladores elastoméricos es que la rigidez de compresión es aproximadamente 100 veces la rigidez a la tracción. Se debe tener cuidado en el modelado de la rigidez vertical rigidez a fin de garantizar la exactitud de los resultados analíticos.

Los valores típicos de estos parámetros para una amplia gama de aisladores DIS, son mostrados en las Tablas de Propiedades de Aislador (Páginas 14 y 15).

DIS pueden proporcionar los parámetros específicos para el modelado y ayudar con la puesta a punto del sistema de aislamiento a lo largo del proceso de diseño.



Términos y Simbología

Lazo de histéresis: Esta es la trama fuerza-desplazamiento generado por el corte de prueba en un aislador.

Rigidez elástica, K_e : Esta es la rigidez inicial del aislador, y es típicamente inferior a una pulgada de desplazamiento. Su valor estará determinado por el tamaño del núcleo de plomo y es importante en el control de la respuesta a las cargas operativas tales como el viento.

Rigidez producida, K_d o K_2 : Esta es la rigidez secundaria del aislador y es una función del módulo, altura total y el área del caucho.

K_{eff} (Rigidez efectiva): Esta es la fuerza del aislador dividida por el desplazamiento. Es una cantidad de desplazamiento-dependiente.

Fuerza de histéresis, Q_d : Esta es una fuerza axial de intersección del lazo de histéresis del aislador. Este parámetro se refiere a la respuesta a la amortiguación y aislador a las cargas operativas.

Rendimiento de la fuerza, F_y : La fuerza de rendimiento es el punto en el modelo en el cual la rigidez inicial cambia a la rigidez secundaria. En realidad, hay una transición suave entre una rigidez a otra, en un lugar de un punto bien definido. Este valor se utiliza principalmente en el modelado analítico.

Energía disipada por ciclo, EDC: Esta es el área del lazo de histéresis. Este valor es una medida de la amortiguación del aislador.

Rigidez vertical, K_v : Esta es la rigidez vertical del aislador.

DBE (Base de diseño del terremoto): EL DBE representa el movimiento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años.

MCE (Máximo terremoto creíble): El MCE es definido como el movimiento sísmico que tiene un 2% de probabilidad de ser excedido en 50 años.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

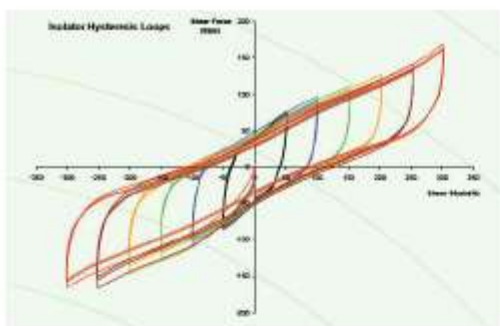
Pruebas del aislador

Las normas de los Estados Unidos requieren pruebas por cada proyecto. Las pruebas de los prototipos validan las propiedades aislantes sobre la gama de cargas y desplazamientos del proyecto. Las pruebas del prototipo se puede eliminar utilizando similitud con anteriores proyectos. Las pruebas de fabricación comprueban las propiedades de los aisladores bajo carga y las condiciones de desplazamiento.

Para los proyectos japoneses, se efectuaron extensas pruebas en nuestra gama de aisladores sobre el estrés y tensiones específicas. Esta prueba de precalificación elimino las pruebas de prototipo para proyectos individuales. Unicamente las pruebas de control de calidad se efectuaban sobre los aislantes fabricados, lo que reduce los costos y acorta el cronograma por hasta tres meses.

Pruebas en lazo

Los aisladores son probados en parejas en nuestra planta y por separado en los laboratorios como en la Universidad de California, San Diego (UCSD). La máquina de prueba se aplica un desplazamiento de rotura y la carga axial al aislador. Un diagrama de la prueba se llama un lazo de histéresis. Los bucles inferiores trazan las fuerzas de corte y desplazamiento lateral para el aislador y muestra el comportamiento del aislador para una gama de tensiones de hasta 300%.



Pruebas en Tiempo real

DIS ha probado sobre 30 aisladores a velocidades sísmicas reales de hasta 60 pulgadas por segundo. Las pruebas se efectuaron en la Universidad de California, San Diego. Estas pruebas validan el rendimiento de nuestros aisladores en condiciones sísmicas y proporcionan datos detallados de la velocidad de los aisladores. Se han llevado a cabo más de 500 pruebas, en los últimos siete años en aisladores de hasta 53.5 pulgadas (1300 mm) de diámetro.



Los soportes para el puente Coronado Bay fueron los primeros en ser probados a velocidades sísmicas en la UCSD por Caltrans.

Pruebas a grandes tensiones

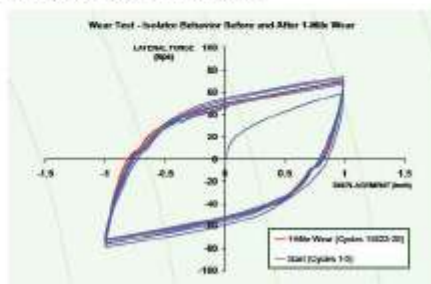
DIS ha llevado a cabo extensas pruebas a altas tensión en aisladores de hasta 53.5 pulgadas (1300 mm) de diámetro. Los aisladores con y sin núcleos de plomo han sido probados con éxito a más del 400% de tensión de corte. Las deformaciones por diseño de cortes típicos están en el rango de 200 a 250%. Otras pruebas notables de grandes desplazamientos realizadas por DIS, incluyen un aislador de 45.5 pulgadas (1200 mm) de diámetro (abajo) se está probando a 45 pulgadas (1140 mm) de desplazamiento para el Proyecto Berry Street en California.



Un aislador de 41.5 pulgadas (1100 mm) de diámetro también fue probado con 47 pulgadas (1200 mm) de desplazamiento de corte. Este soporte fue probado como parte de un programa de investigación para una estructura aislada para toma de una presa.

1-Mile Wear Test

Una prueba de desgaste a una milla (1.6km) se realizó sobre los aisladores DIS en el Laboratorio SEES, SUNY en Buffalo. Las pruebas se efectuaron como parte de las pruebas de prototipo para el nuevo puente Woodrow Wilson sobre el río Potomac, en Maryland. Esta prueba simula el efecto en el curso de la vida útil de las expansiones y contracciones térmicas de la cubierta del puente. Los resultados mostrados en la siguiente imagen muestran que las propiedades del aislador se mantuvieron sin cambios por este extenso ensayo.



DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

Preguntas más frecuentes

¿A que se refiere deformación por corte?

La deformación por corte es la deformación lateral del aislador dividido por la altura del caucho. Los diseños de deformaciones por corte son hasta un 250%. DIS ha probado aisladores a más de 400% de tensión de corte. A esta tensión, cada capa de caucho se deforma lateralmente hasta cuatro veces su espesor. Las tensiones de corte extremas durante las pruebas de investigación son un testimonio de los superiores procesos de fabricación y compuestos desarrollados por DIS, lo que proporcionan un aislador con capacidad de reserva.

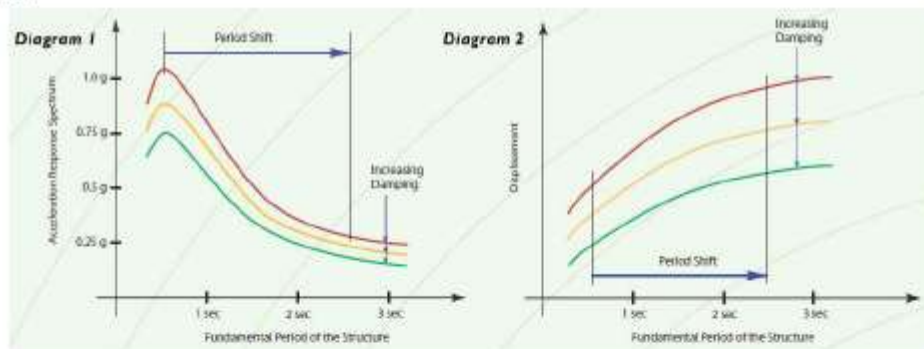
¿Cuáles son los típicos diseños de desplazamientos?

En zonas altamente sísmicas como las de San Francisco, Tokio y Estambul, los desplazamientos de los aisladores son de hasta 30 pulgadas (750mm). Para estructuras más alejadas de las fallas o en mejores suelos, los desplazamientos de los aisladores son de hasta 20 pulgadas (500 mm), y en bajas zonas sísmicas como el este de los Estados Unidos, los movimientos están en el rango de 2 a 6 pulgadas (50 a 150 mm). DIS ha probado aisladores a 47 pulgadas de desplazamientos laterales y proporciona aisladores para todas las zonas sísmicas en todo el mundo.

¿Cómo es el periodo de la estructura desplazada?

El periodo fundamental de la estructura se desplaza por la adición de aisladores flexibles. El periodo aislado es generalmente mayor de 2 segundos. Las frecuencias dominantes de un terremoto están en el rango de 0.2 a 0.6 segundos. Las fuertes aceleraciones de un terremoto se evitan debido al cambio del periodo establecido por el aislamiento (Vea Diagrama 1).

Diagrama 1).



¿Cómo se controla el desplazamiento?

El desplazamiento el aislador se reduce con el incremento de su rigidez o amortiguación. El diseño compensatorio es que con el incremento de las fuerzas y aceleraciones, el desplazamiento se reduce.

¿Cómo funciona el beneficio añadido por amortiguamiento de la estructura?

La amortiguación absorbe la energía del terremoto. La adición de la amortiguación reduce los desplazamientos y fuerzas en la superestructura tal como un 50% (Vea Diagrama 2).

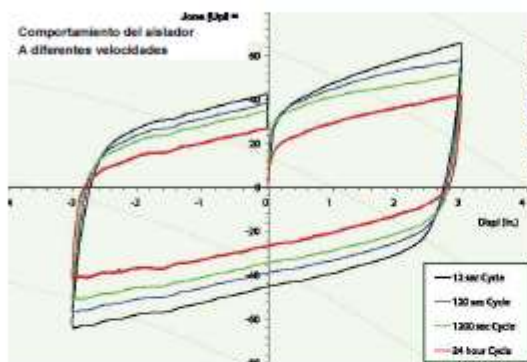
¿Cuál es el nivel recomendado de amortiguamiento en un sistema con aislamiento?

La mayoría de las estructuras tienen entre 2-5% de amortiguamiento inherente. Los sistemas de aislamiento para puentes proporcionan típicamente niveles de amortiguación de 15 a 30%. Los sistemas de aislamiento para edificios proporcionan amortiguación entre 10 a 20%. Los niveles de amortiguación en construcciones están optimizados para proporcionar bajas aceleraciones en la estructura que maximizar la protección de los interiores.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

¿Cuál es la diferencia entre el límite de elasticidad del núcleo de plomo con cargas arrastramiento y cargas sísmicas?

El comportamiento de la histéresis del núcleo de plomo depende de la velocidad de carga. El límite de elasticidad es menor a velocidades de arrastramiento que a velocidades sísmicas. Esto es beneficioso especialmente en puentes donde el aislador pasa sobre una gama de velocidades. Durante un movimiento sísmico de alta velocidad, el límite de elasticidad oscila entre 10 y 14 MPa, proporcionando niveles significativos de amortiguación. Para los movimientos térmicos, el límite de elasticidad oscila entre 4 a 6 MPa, el cual impone pequeños esfuerzos en la estructura. Los valores intermedios de tensión en el núcleo de plomo resisten cargas operacionales tales como el viento y frenado.



Trazado gráfico de las respuestas de un aislador sobre una gama de velocidades de un ciclo en un día, en un ciclo en 12 segundos. La fuerza del núcleo de plomo a baja velocidad es 60% que la de alta velocidad.



¿Se puede aislar un edificio alto?

Los edificios altos como el de 18 pisos de Oakland City Hall en California se han beneficiado de forma aislada. Los edificios normalmente requieren un periodo de aislado de 2.5 a 3 veces el de una edificación no aislada. Hay muchos edificios altos aislados en Japón que tienen un periodo de aislado en el intervalo de 4 a 6 segundos. Los diseñadores eligieron el aislamiento por el mejor desempeño que proporciona.

¿La estructura debe volver a centrarse luego de un terremoto?

Una estructura debe volver a centrarse después de un terremoto, porque una fuerza de recuperación es provista por el caucho. Las características sacudidas también hacen que la estructura oscile cada vez con menores desplazamientos aproximándose a su posición original, a medida que el movimiento sísmico se calma. El puente sobre el río Eel en California fue vuelta a centrar luego de un terremoto de magnitud 7.0 a 1/4 de pulgada de su posición original.

¿Cuál es la respuesta de la componente vertical en un terremoto?

Los aisladores son rígidos en la dirección vertical y no cambia la respuesta sísmica vertical. La componente vertical del terremoto se traduce en variaciones de carga axiales que pueden ser acomodadas entre el diseño de las columnas y los aisladores. La tabla con pruebas por las sacudidas se han realizado con y sin el componente vertical del movimiento sísmico. Los resultados indican que hay muy poca diferencia en el rendimiento de los aisladores.

¿Cuál es la vida útil de los soportes?

La vida útil normal del soporte es mayor de 50 años. Las almohadillas elastoméricas en puentes de carreteras han estado en uso durante más de cuatro décadas exhibiendo una buena durabilidad. Se espera que los aisladores con modernas formulaciones de caucho rodeadas por una cubierta protectora de caucho, sean más duraderos y estable en su rendimiento a largo plazo.

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS

¿Se puede utilizar más de un soporte bajo una columna?

Se han utilizado varios aisladores en el City Hall en San Francisco y en el Tan Tzu Medical Center en Taiwán. Se utilizan varios aisladores cuando son más económicos que uno solo más grande.



Grupo de cuatro aisladores están ubicados debajo las columnas con mucha carga en el Centro Medico Tan Tzu.

¿Un aislador puede resistir fuerzas de tensión?

Se puede aplicar una tensión de tracción permisible de hasta 50 psi a un aislador. El esfuerzo real admisible depende del desplazamiento del aislador y al módulo de caucho. En general se evita la tensión en el diseño.

¿Fatiga en el núcleo de plomo?

El plomo se encuentra en su fase elastoplástica a temperatura ambiente. Como con otros metales en esta fase, el plomo de re-cristaliza rápidamente después de haber sido deformado sin fatiga.



¿De qué manera los servicios tienen capacidad de movimiento a través del plano de aislamiento en los edificios?

Los servicios que cruzan el plano sísmico deben estar acondicionados para moverse horizontalmente. A menudo son fabricados para sean flexibles o están equipados con juntas universales.

¿Cómo se acondicionan las escaleras?

Las escaleras y los puntos de acceso son acondicionadas para ser fijadas a la superestructura y están "simplemente apoyadas" en la estructura por debajo de los aisladores; a veces se utilizan deslizadores pequeños para apoyar las escaleras y dar cabida a los movimientos laterales.

¿Cómo se acondicionan los ascensores?

La sección inferior del ascensor está suspendida de la superestructura del edificio. El encuadre voladizo inferior no está soportado por la subestructura. Alternativamente, el plano de aislamiento puede descenderse varios pies por la zona para permitir que el pozo del ascensor sea aislado como parte de la superestructura.

¿Qué tipo de protección contra incendios se necesita para los aisladores sísmicos?

La protección contra incendios está normada por los requerimientos para la zona de fuego, no por los materiales del que está fabricado el aislador. Cuando los aisladores se encuentran en áreas de la estructura sin carga de fuego, a menudo no se requiere protección contra incendios. Cuando se ha requerido de protección contra incendios, entonces se han utilizado rociadores, pulverizadores de fibra mineral, mantas ignífugas y cajas de fuego a bordo.



Aisladores en el Long Beach 911 Center no requiere protección contra el fuego.



Se utilizaron mantas ignífugas en el Channing House



Caja de fuego a bordo protegé el aislador en Condominio Kamikuzawa.

SECTION 3: ENGINEERING

$$\gamma_c = \frac{3P(1 + 8G\bar{k}S^2 / K)}{4GkS_4}$$

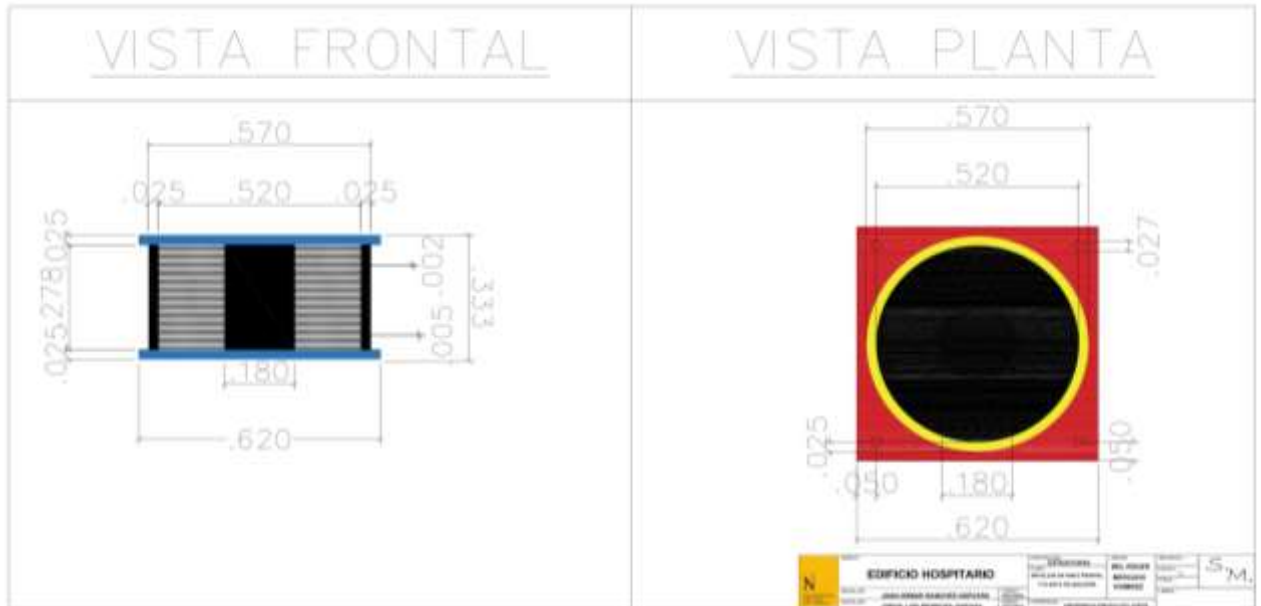


885 Denmark Drive, Suite 101
McCarran, Nevada 89434 USA

Tel: 775-359-3333
Fax: 775-359-3985
www.dis-inc.com

Copyright © 2007, Dynamic Isolation Systems, Inc.
All rights reserved.

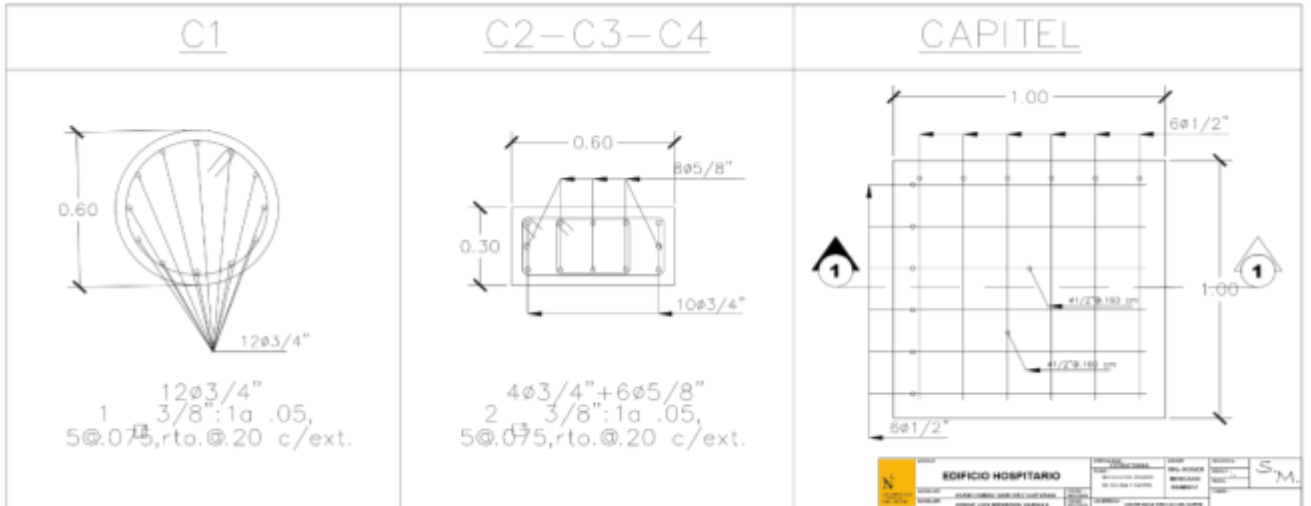
ANEXO n.º 2. Detalles de vista frontal y planta del aislador.



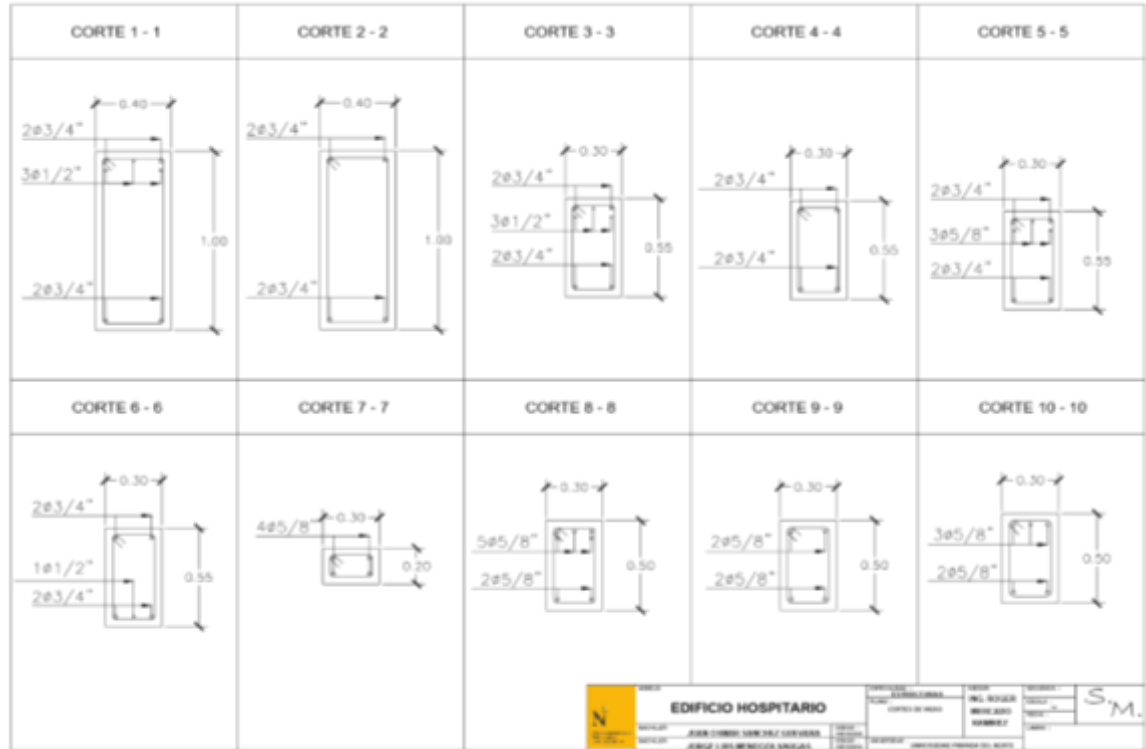
ANEXO n.º 3. Detalles de corte de Aislador.



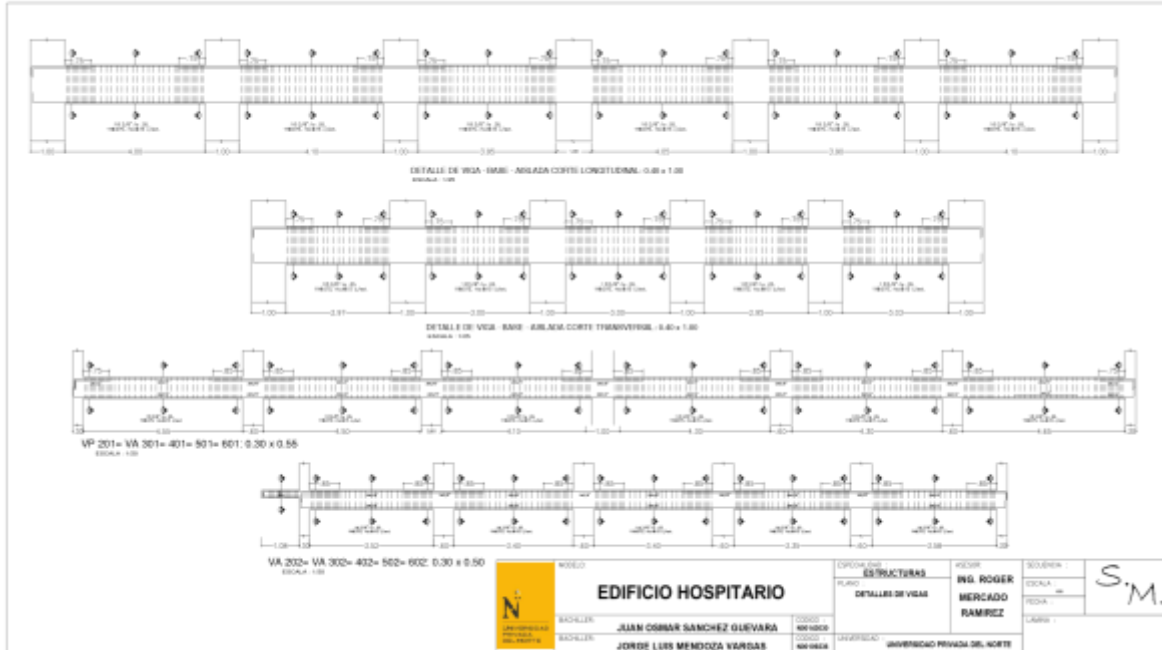
ANEXO n.º 4. Detalles de secciones de columna y capitel.



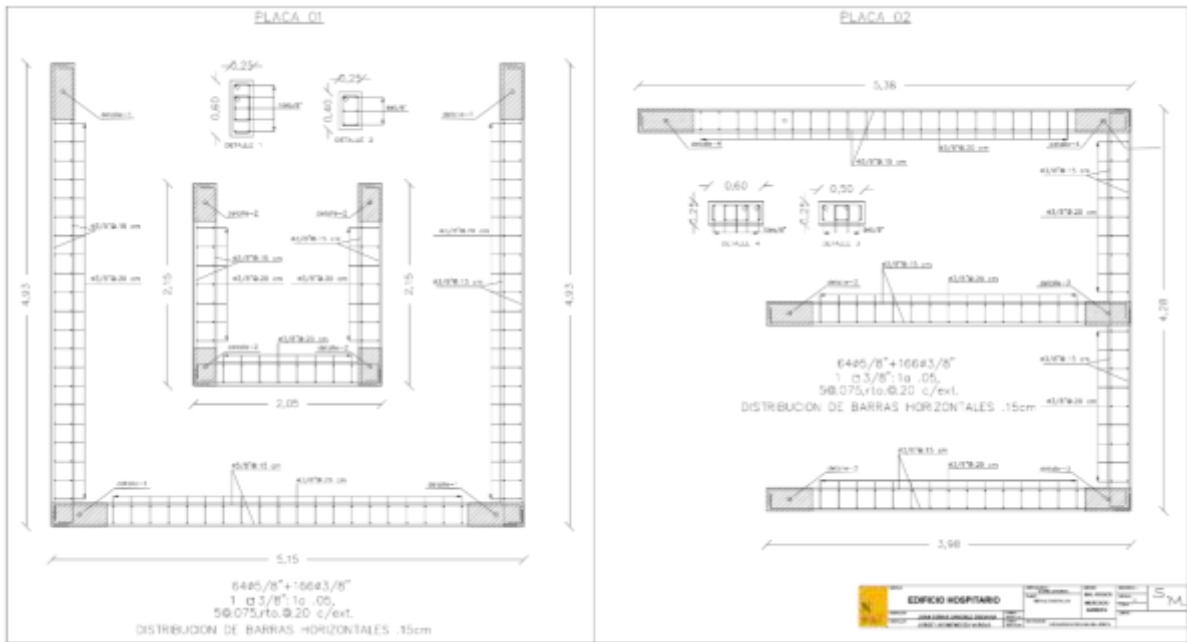
ANEXO n.º 5. Detalles de Secciones de vigas.



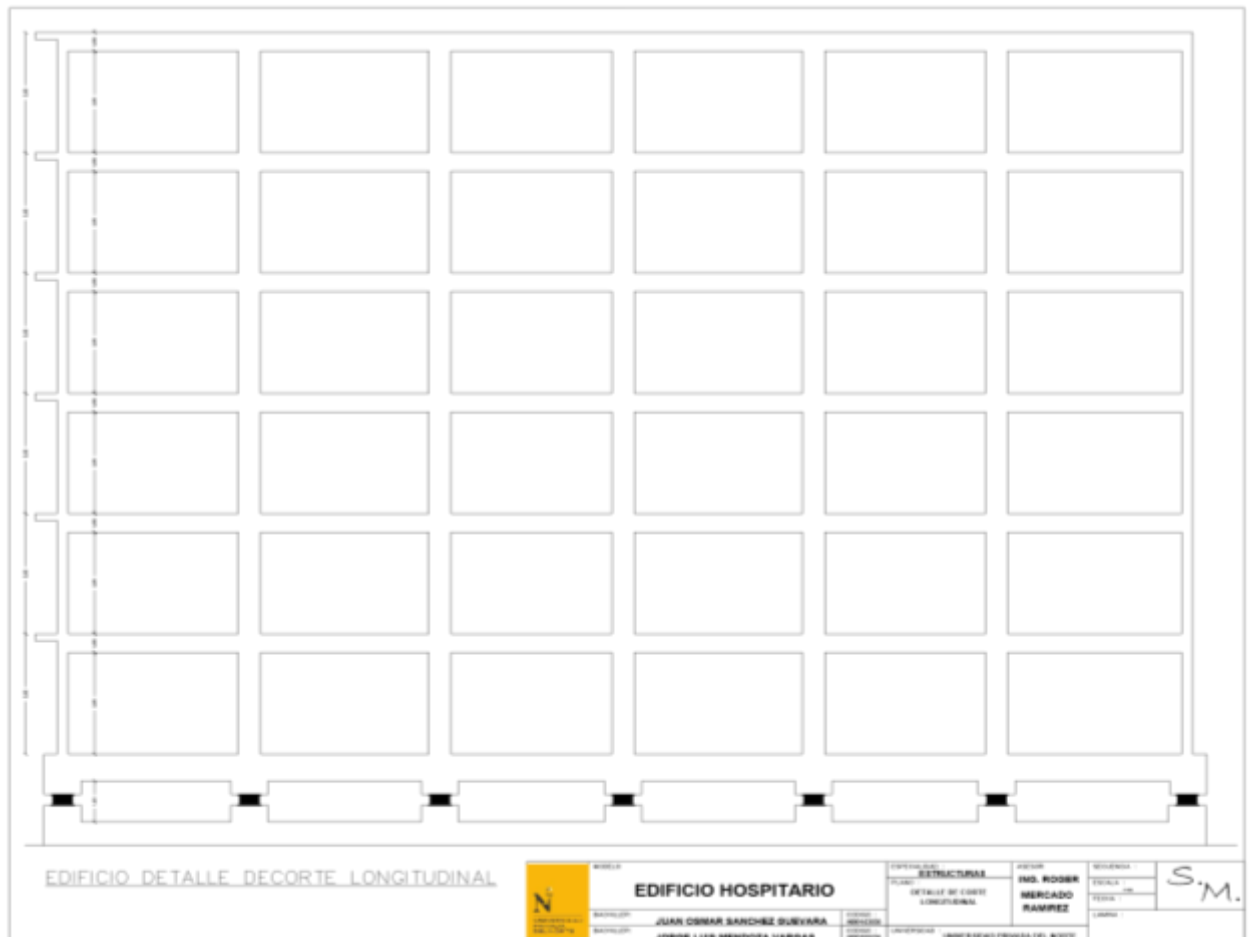
ANEXO n.º 6. Detalles de vigas.



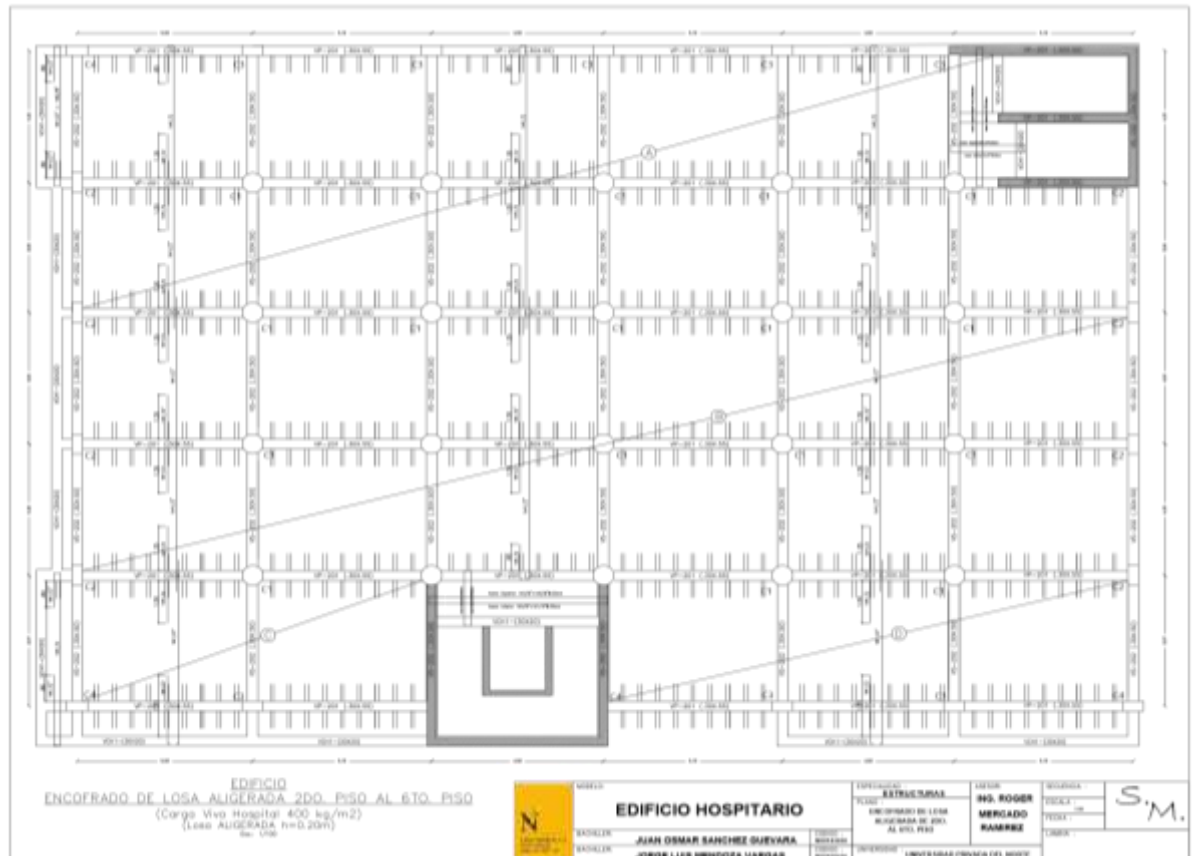
ANEXO n.º 7. Detalles placas.



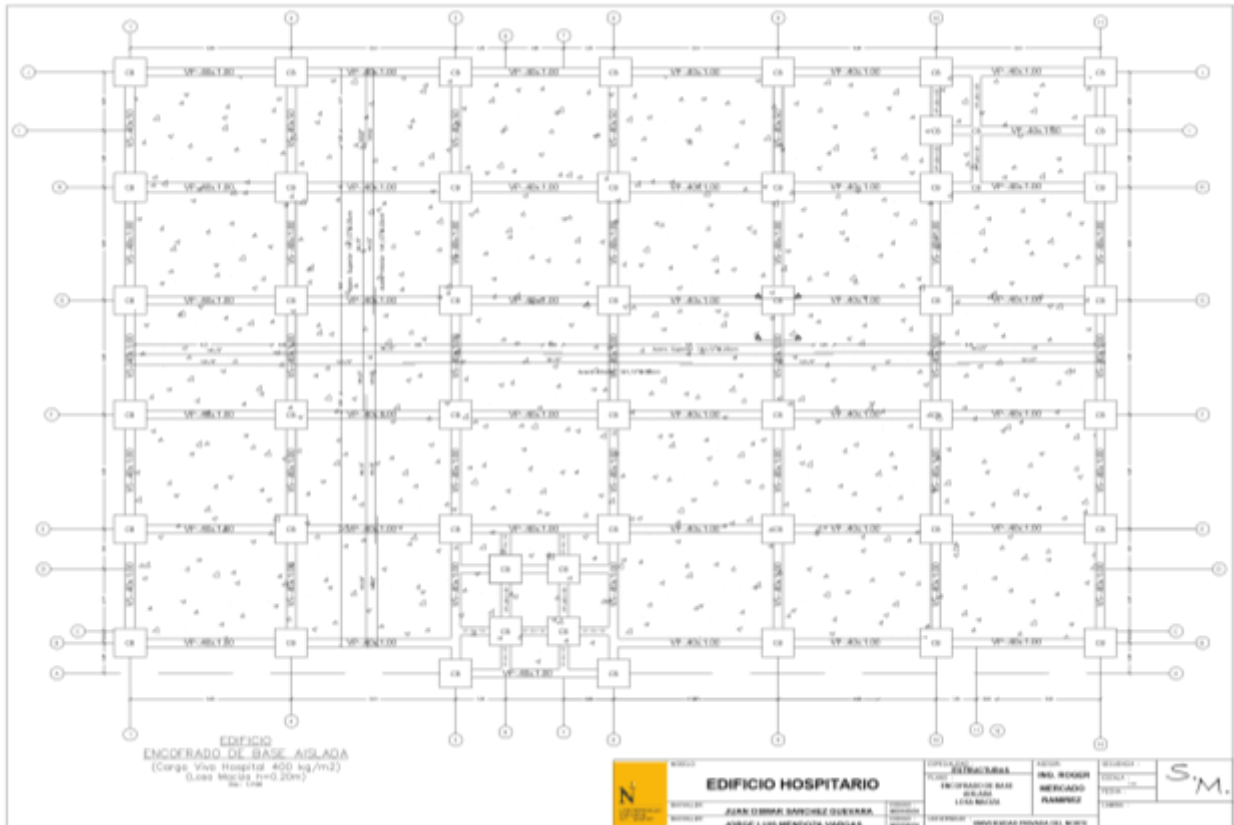
ANEXO n.º 8. Detalles corte longitudinal.



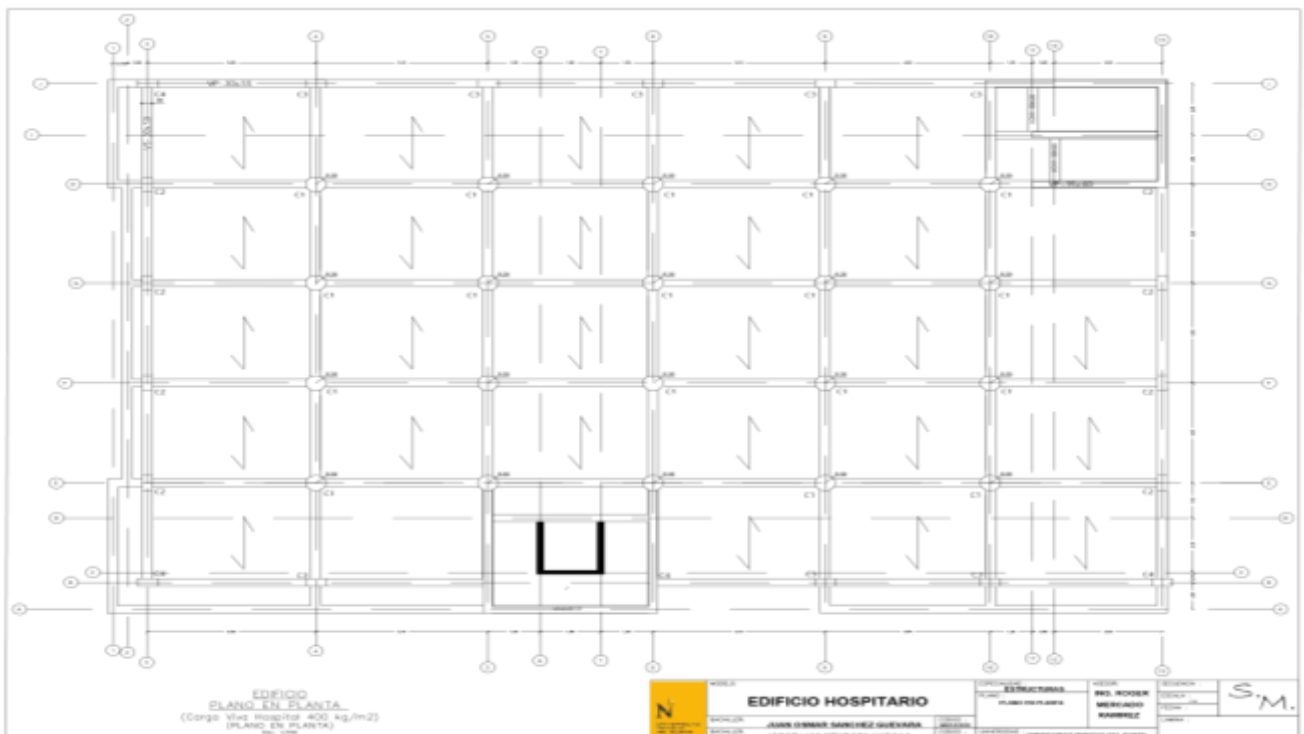
ANEXO n.º 9. Detalles de encofrado de losa aligerada desde el primer piso hasta el sexto piso.



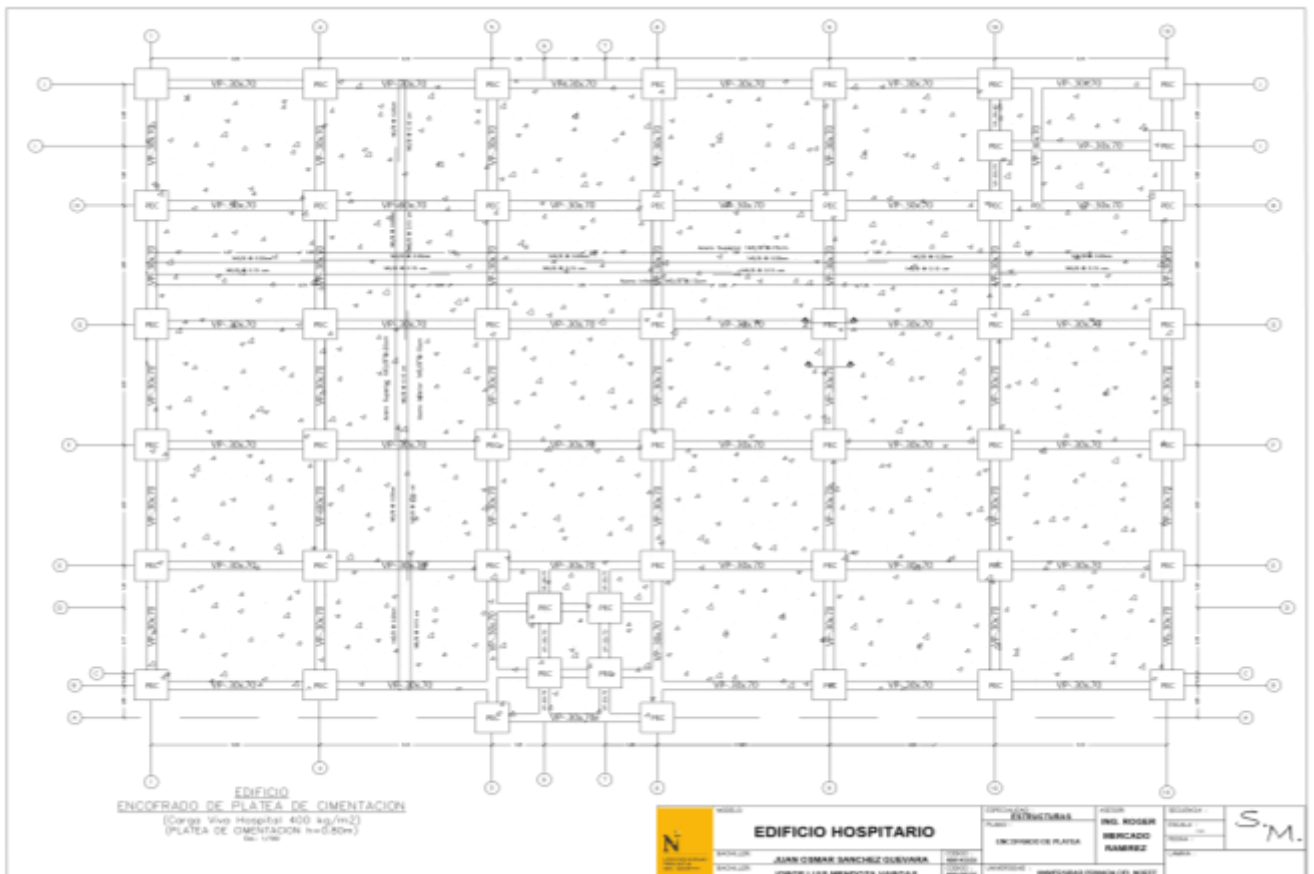
ANEXO n.º 10. Detalles de encofrado de base aislada.



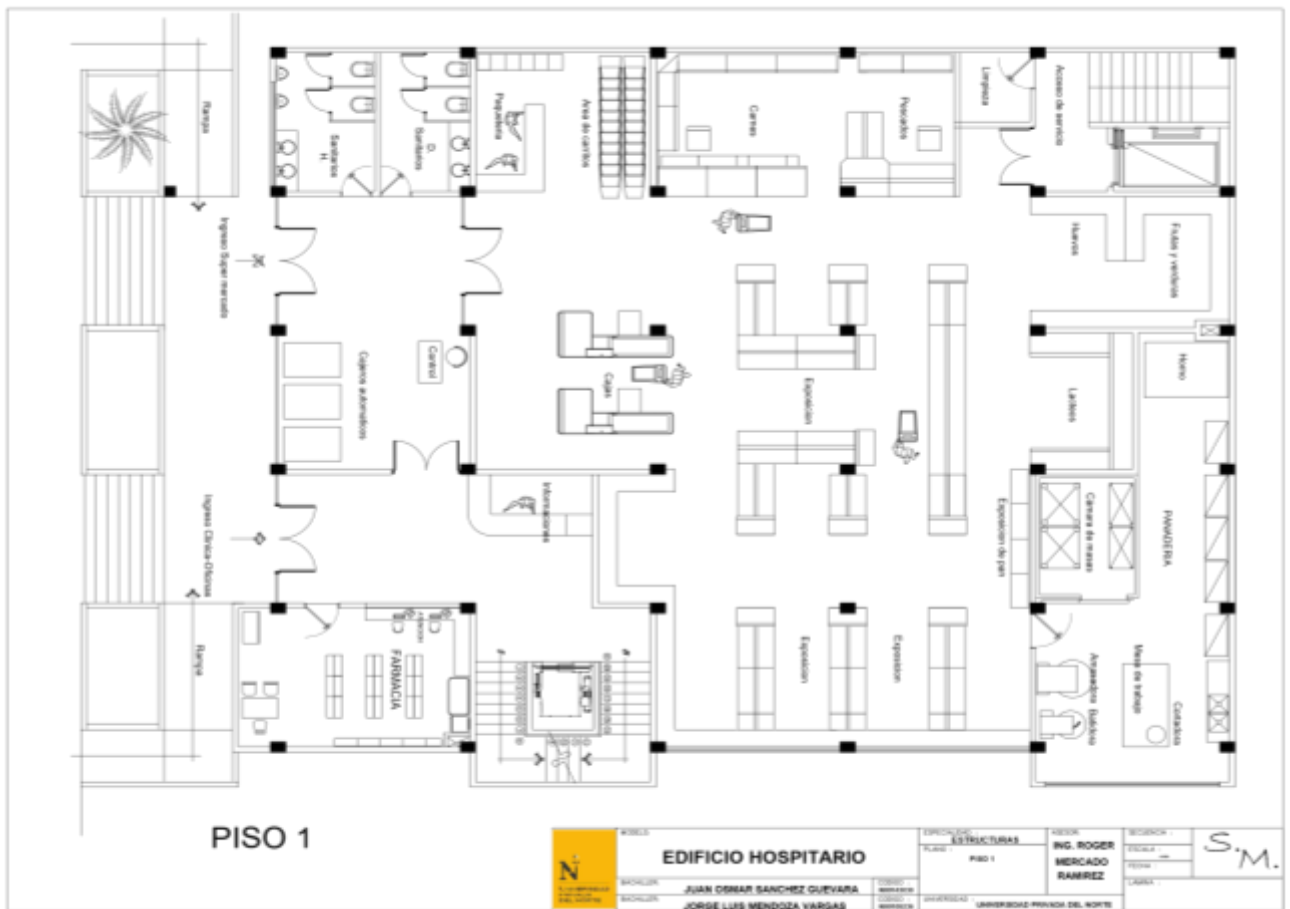
ANEXO n.º 11. Plano de planta.



ANEXO n.º 12. Encofrado de platea de cimentación.



ANEXO n.º 13. Plano de arquitectura piso 1.

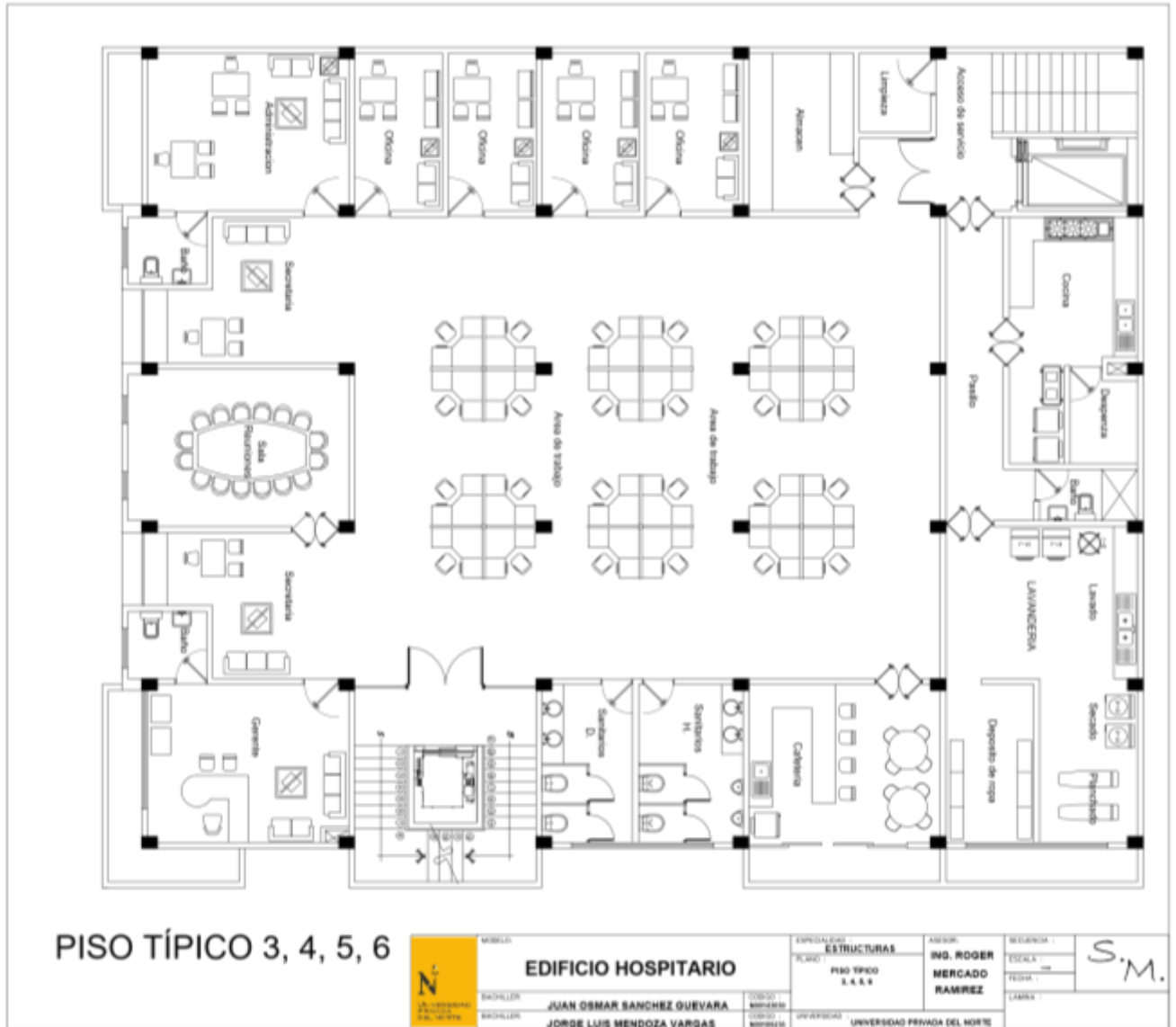


ANEXO n.º 14. Plano de arquitectura piso 2.



ANEXO n.º 12. Plano de arquitectura piso 1.

ANEXO n.º 15. Plano típico de arquitectura del piso 3 hasta el piso 6.



ANEXO n.º 16. Fachada.

