

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO AISLADO SÍSMICAMENTE Y DISEÑO DE SU SISTEMA DE AISLAMIENTO

Hernán Martín Hernández Morales  
e-mail: martin.hernandez.uni@gmail.com

Curso: Estructuras Especiales  
Profesor: Dr. Víctor I. Fernández-Dávila

Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Ingeniería

**RESUMEN:** *Nuestro país, al estar ubicado en la zona denominada “Cinturón de Fuego del Pacífico”, está expuesto a movimientos sísmicos de gran magnitud. En tal sentido, se ha decidido presentar este trabajo que trata del análisis estructural de un edificio aislado sísmicamente, el que funcionará como hospital y que está caracterizado por ser regular; posee cuatro niveles y estructura aporticada de concreto armado, y se encuentra emplazado sobre suelo rígido. Su sistema de aislamiento está conformado por 36 aisladores compuestos por láminas de caucho y acero, con núcleo de plomo. El análisis sísmico se realizó empleando los métodos Estático Equivalente y Dinámico Modal Espectral usando el programa computacional ETABS. Asimismo, con el objetivo de observar las ventajas estructurales de la utilización de tal sistema, se analizó también el edificio como si estuviera sobre base fija, comparándose la deriva y las fuerzas cortantes en cada nivel.*

Palabras Clave: aislamiento sísmico, amortiguamiento, ciclo histerético, deriva, fuerza cortante, máximo desplazamiento total, mínimo desplazamiento lateral de diseño, rigidez efectiva máxima.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde fines del siglo XIX, los ingenieros civiles estructurales ya tenían la idea de dotar a las edificaciones de un sistema dinámico especial que les permitiera permanecer casi inmóviles durante la ocurrencia de sismos, con el fin de disminuir los daños causados por las fuerzas internas y desplazamientos de entrepiso generados [5].

No obstante, la implementación de los sistemas de aislamiento sísmico en edificios y otras estructuras localizadas en distintos lugares de todo el orbe se inició recién hace 35 años, gracias al desarrollo de los aisladores elastoméricos conformados por láminas de caucho y placas de acero [5]. Desde entonces, por medio de una serie de investigaciones llevadas a cabo en naciones líderes en la materia, como es el caso de Japón y Estados Unidos [4], se ha mejorado este tipo de aislador de bajo amortiguamiento colocándole un núcleo de plomo ó carbón extrafino, aceites o resinas, para que disipe mayor cantidad de energía [5]. Además, gracias a los avances tecnológicos, se han inventado los aisladores deslizantes, compuestos por rieles o pequeños cilindros o esferas, que trabajan desplazándose sobre una superficie plana o cóncava [4].

Todos estos dispositivos que se colocan en los edificios entre la cimentación y la superestructura, tienen gran capacidad para soportar cargas verticales pero comparativamente muy poca rigidez lateral frente a fuerzas cortantes horizontales, de tal manera que presentan grandes ciclos de histéresis ante las cargas de sismo, lo que ocasiona el aumento del amortiguamiento y a la vez la reducción tanto de las fuerzas internas en los elementos estructurales, la deriva en cada nivel y la amplitud de los movimientos vibratorios. Esto es posible debido a que gran parte de la energía proveniente del movimiento sísmico es absorbida por el sistema de aislamiento, siendo transmitida sólo una pequeña fracción a la superestructura del edificio, y además, porque al incrementarse el periodo fundamental, la fuerza cortante en la base disminuye [2]; mejorándose de forma notable su respuesta dinámica ( Figura 1).

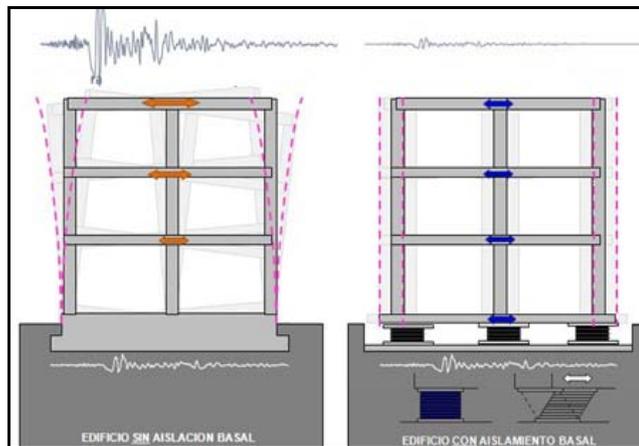


Figura 1. Reducción de la respuesta sísmica en un edificio aislado, expresado en la reducción de la deriva y las fuerzas sísmicas en cada nivel y en el incremento del amortiguamiento.

En forma espontánea surge la siguiente interrogante: ¿bajo qué condiciones es adecuado usar aisladores sísmicos? Sin duda, esta técnica brinda los mejores resultados al ser aplicada a edificios rígidos emplazados sobre suelos también rígidos [4], puesto que al incrementarse grandemente el periodo fundamental del sistema estructural compuesto, la reducción de las fuerzas sísmicas y los desplazamientos de entrepiso es mucho mayor que en casos donde el suelo de fundación es flexible y/o el edificio también lo es. En consecuencia, no es conveniente aislar edificaciones con un periodo fundamental mayor que 1 segundo ni edificios emplazados sobre suelos tipo  $S_2$ ,  $S_3$  o  $S_4$  [6]. Por otro lado, los edificios que deberían tener un sistema de aislamiento son fundamentalmente los considerados esenciales según la normativa vigente (RNE); es decir, hospitales, centros educativos, y en general, edificaciones donde las actividades no deberían ser interrumpidas después de un desastre o donde las personas se puedan refugiar [6].

## 2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere ejecutar el análisis estructural y el diseño del sistema de aislamiento del edificio mostrado en la Figura 2, de tal manera que cumpla con los requerimientos de máxima distorsión de entrepiso establecidos en la Norma Peruana E.030 de Diseño Sismo Resistente [6].

Asimismo, se espera que el edificio provisto de aisladores sísmicos mejore de forma excepcional su comportamiento, reduciéndose las derivas en un 75%, las fuerzas cortantes en cada nivel en un 50% o más, y acrecentándose el amortiguamiento, llegando a valores entre 10% y 20%.

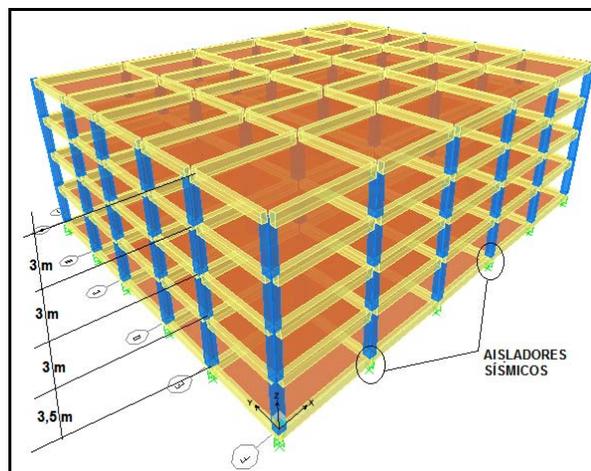


Figura 2. Vista en 3D de la estructura del hospital.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

En primer término, se realizará una breve exposición acerca de la norma aplicada; luego, se disertará acerca del procedimiento de diseño de los aisladores empleados, y finalmente, se expondrá el caso en estudio.

#### 3.1. NORMATIVA

El Capítulo 17 del código ASCE/SEI 7-10 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" [1], establece los requerimientos a cumplirse en el análisis y diseño de edificios aislados sísmicamente.

##### 3.1.1. ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE (AEE)

Un sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado y construido para resistir el mínimo desplazamiento lateral de diseño,  $D_d$  que se obtiene con la expresión:

$$D_d = \frac{g S_{d1} T_d}{4\pi^2 B_d} \quad (1)$$

Donde:

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$S_{d1}$  = Aceleración espectral de diseño con 5% de amortiguamiento para un periodo de 1 segundo.

$T_d$  = Periodo efectivo impuesto por los aisladores al edificio para el desplazamiento de diseño.

$B_d$  = Coeficiente de corrección para el amortiguamiento efectivo del sistema correspondiente a  $D_d$ .

El factor  $S_{d1}$  es equivalente al producto de los coeficientes Z, C y S de la Norma Peruana E.030 [6]. En cuanto al valor de  $T_d$ , se calcula con la ecuación:

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{W/g}{K_{d\ min}}} \quad (2)$$

Donde:

$W$  = Peso de la superestructura, resultado de la suma total de las cargas muertas y un porcentaje de las cargas vivas.

$K_{d\ min}$  = Rigidez efectiva mínima del sistema de aislamiento para el desplazamiento  $D_d$ .

$B_d$  se obtiene directamente, o por interpolación lineal, de la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficiente de amortiguamiento  $B_d$ .

Amortiguamiento efectivo (% del crítico)	Coefficiente $B_d$ o $B_m$
≤2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥50	2,0

Luego, la mínima fuerza cortante en la base del edificio empleada para el diseño de su cimentación y que el conjunto de aisladores sísmicos debe resistir es:

$$V_b = K_{d\text{máx}} D_d \quad (3)$$

Donde:

$K_{d\text{máx}}$  = Rigidez efectiva máxima para  $D_d$ . Se considera en el caso más crítico como 1,3 veces  $K_{d\text{mín}}$  [3].

Asimismo, la mínima fuerza cortante usada para el diseño de los elementos que se encuentren por encima del sistema de aislamiento es:

$$V_s = \frac{K_{d\text{máx}} D_d}{R} \quad (4)$$

Donde:

$R$  = Factor de reducción, que se toma como 3/8 del  $R$  para el edificio con base fija.

$R$  debe ser menor o igual a 2, lo que refleja la escasa necesidad de ductilidad en la superestructura, ya que la disipación de energía estará a cargo de los aisladores sísmicos. Cabe resaltar que en la Ec. (3), el coeficiente  $R$  está implícito con un valor igual a 1, puesto que estos dispositivos deben ser capaces de soportar los desplazamientos y las fuerzas sísmicas máximas. En cuanto a  $V_s$ , ésta se reparte en la altura del edificio aislado de forma análoga a como si estuviera fijo en el suelo.

La norma tratada también determina otros desplazamientos adicionales al  $D_d$ , de los cuales se hará referencia a dos:  $D_m$ , que es el máximo desplazamiento, y  $D_{im}$ , que es máximo desplazamiento total, que no debe ser inferior a 1,1 veces  $D_m$ . Entonces:

$$D_m = \frac{g S_{m1} T_m}{4\pi^2 B_m} \quad (5)$$

Donde:

$S_{m1}$  = Aceleración espectral del máximo sismo considerado (MCE) con 5% de amortiguamiento para un periodo de 1s. Su valor es  $1,5 S_{d1}$ .

$T_m$  = Periodo efectivo del edificio con aisladores para  $D_m$ .

$B_m$  = Corrección del amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento para  $D_m$ .

Y:

$$D_{im} = D_m \left( 1 + \frac{12 y e}{b^2 + d^2} \right) \quad (6)$$

Donde:

$y$  = Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento y el aislador más alejado, medida en la dirección perpendicular a la del sismo.

$e$  = Excentricidad real sumada a la accidental entre el centro de masa del edificio y el centro de rigidez del conjunto de aisladores, también medida perpendicularmente a la dirección en que actúa el sismo.

$b$  = Dimensión menor en planta de la edificación.

$d$  = Dimensión mayor en planta de ésta.

El desplazamiento  $D_{im}$ , pese a que no aparece en las Ecs. (3) y (4), es fundamental puesto que los aisladores sísmicos se diseñan para resistirlo, ya que se tiene la convicción que no basta que soporten  $D_d$  si ocurren grandes terremotos como el MCE, cuya probabilidad de ser excedido en 50 años es 2% [2].

### 3.1.2. ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL (ADME)

En referencia al diseño del sistema de aislamiento de un edificio, la fuerza cortante en la base no debe ser menor que el 90% de  $V_b$  de la Ec. (3). Mientras que, en lo que respecta al diseño de los elementos que componen la superestructura, la fuerza cortante en la base debe ser mayor o igual al 80% de  $V_s$  calculada según la Ec. (4) si el edificio es regular o 100% si es irregular.

Es esencial recalcar que el espectro de diseño se conforma considerando lo siguiente:

1. El factor de importancia  $U$  es 1 para cualquier tipo de edificación, porque no tendría sentido incrementar las fuerzas de diseño en la superestructura si se está empleando aisladores sísmicos para reducirla.
2. Se debe reducir dicho espectro en la región correspondiente a los períodos de los tres primeros modos, que conciernen a desplazamientos básicamente de los aisladores, dividiendo las ordenadas espectrales entre  $B$  de la Tabla 1. Esto se debe a que los aisladores desarrollarán mayor amortiguamiento que la superestructura.

### 3.2. DISEÑO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Este procedimiento se basa en que el comportamiento de un aislador de este tipo se modela como un elemento histerético bilineal [5], tal como lo muestra la Figura 3.

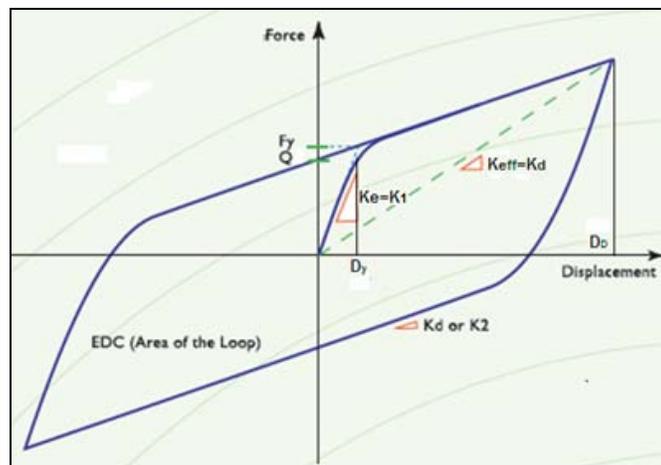


Figura 3. Modelo usado para representar el comportamiento de los aisladores LRB.

El proceso de diseño es el que se describe a continuación [2]:

1. Se asigna a  $T_m$  un valor del orden de 2,5 segundos y a  $B_m$  uno de 1,35 ( $\beta_m = 15\%$ ).
2. Se calculan  $D_m$  y  $D_{tm}$ .
3. Se halla  $K_{m\min}$  usando la Ec. (2).
4. Se obtiene la carga axial factorada que soportará el aislador  $P_u$ .
5. Se calcula el diámetro del aislador  $D$ , tomando el mayor entre 1,5 veces  $D_m$  y el resultado de dividir  $P_u$  entre el máximo esfuerzo axial permisible (8MPa).
6. Se halla la fuerza de fluencia del núcleo de plomo  $Q$  (ver Figura 3) dividiendo la energía liberada en un ciclo histerético entre  $4 D_{tm}$ .
7. Se obtiene el diámetro del núcleo de plomo  $D_L$ , considerando un esfuerzo de fluencia de 10MPa.

8. Se calcula la altura del aislador sin planchas  $H_l$ , suponiendo un 150% de deformación cortante.
9. Se halla la rigidez secundaria  $K_2$  (ver Figura 3) del aislador, tomando un esfuerzo de corte del caucho entre 0,4 a 0,7MPa.
10. Se obtiene una nueva rigidez  $K_{m\min}$  a partir de  $Q$ ,  $D_m$  y  $K_2$ .
11. Se calculan  $T_m$  y  $B_m$ .
12. Se hallan nuevos valores para  $D_m$  y  $D_{im}$ .
13. Se itera con los pasos del 5 al 12 hasta que los valores converjan.
14. Se obtienen  $D_d$  y  $K_{d\max}$ .
15. Se calcula  $V_b$  empleando la Ec. (3).
16. Se ejecuta el análisis estructural. De éste se obtiene un desplazamiento máximo  $D'_{im}$  y una fuerza  $P'_u$ , los cuales deberán ser comparados con los encontrados previamente. Si  $P'_u$  es menor que  $P_u$  y  $D'_{im}$  es menor que  $D_{im}$ , entonces el diseño de los aisladores habrá terminado; en caso contrario, se deben repetir los pasos del 5 al 16 hasta que cumplan tal condición.

Para la realización del análisis lineal en el programa ETABS, es necesario introducir, aparte de la rigidez lateral  $K_{m\min}$ , el dato de la rigidez vertical  $K_v$  de cada aislador. Ésta se calcula con la siguiente fórmula [5]:

$$K_v = \frac{E_c A}{H_l} \quad (7)$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad del conjunto de las láminas de caucho y acero.

$A$  = Área transversal del aislador.

$E_c$  se obtiene usando la expresión [5]:

$$E_c = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K} \quad (8)$$

Donde:

$G$  = Módulo de corte del caucho. Se supone entre 0,38 MPa a 0,70 MPa.

$S$  = Factor de forma, que resulta de dividir el diámetro del aislador  $D$  entre cuatro veces el espesor de una lámina de caucho  $t$ .

$K$  = Módulo de compresibilidad del caucho, el cual se considera igual a 2000 MPa.

Se entiende entonces que se asigna un valor de antemano a  $K_v$ , que luego se debe verificar con las dimensiones  $D$ ,  $H_l$  y  $t$  bien definidas.

## 2.3. CASO EN ESTUDIO

A continuación se describen las características más importantes del edificio.

### 2.3.1. UBICACIÓN

Se eligió el distrito de Jesús María, provincia de Lima, departamento de Lima, como lugar de localización de este hospital, puesto que el suelo reúne las condiciones de rigidez y sismicidad adecuadas para la construcción de un edificio aislado en la base.

### 2.3.2. DIMENSIONES

La Figura 4 muestra un esquema en planta del edificio. Las dimensiones de éste son 35m en el eje x, divididos en 5 tramos de 7m cada uno, y 28m en el eje y, con 2 tramos de 6m y 3 de 5m.

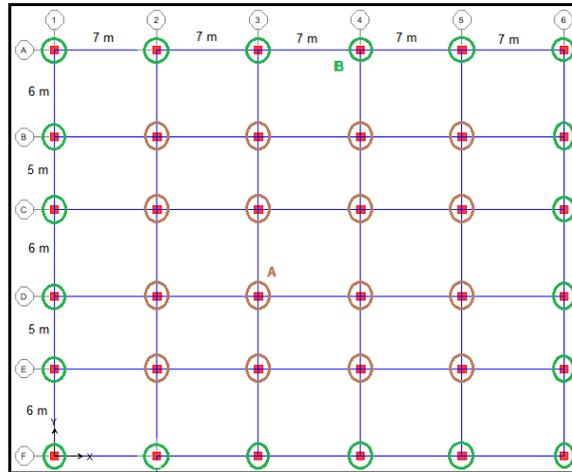


Figura 4. Planta del edificio aislado.

Por otro lado, la altura total del edificio es de 12,5m, teniendo el primer piso 3,5m y los demás 3m (Figura 2).

### 2.3.3. ESTRUCTURACIÓN

Como se mencionó, el sistema estructural está basado en pórticos de concreto armado, siendo el valor de R igual a 8. Las vigas y columnas que los conforman son:

- VP = 0,35 x 0,70 m (vigas en la dirección X)
- VS = 0,30 x 0,55 m (vigas en la dirección Y)
- CC = 0,55 x 0,60 m (columna central)
- CP = 0,50 x 0,55 m (columna perimetral)
- CE = 0,50 x 0,50 m (columna de esquina)

Es preciso señalar que todos estos elementos se dimensionaron para obtenerse cuantías de acero menores al 3% en columnas y al 1,5% en vigas para el caso del edificio empotrado en la base.

### 2.3.4. CARGAS GRAVITACIONALES

Las cargas de gravedad asignadas a las losas de este edificio fueron:

- Peso propio =  $0,35t/m^2$
- Acabados =  $0,15t/m^2$
- Tabiquería =  $0,20t/m^2$  (1ero al 3er nivel) y  $0,05t/m^2$  (4to nivel).
- Carga viva =  $0,25t/m^2$  en hospitalización y  $0,40t/m^2$  en corredores y escaleras (1ero al 3er nivel) y  $0,10t/m^2$  (4to nivel).

Adicionalmente, en las vigas perimetrales se aplicó una carga de  $0,30t/m$  por parapetos.

### 2.3.5. COMBINACIONES DE CARGA

Para la ejecución del análisis estructural, se consideraron las combinaciones de carga estipuladas en la Norma Peruana E.060 de Concreto Armado [7].

### 2.3.6. AISLADORES SÍSMICOS

Se usaron 2 tipos de aisladores LRB: A y B. Los tipo A se sitúan debajo de las columnas centrales, y los tipo B, debajo de las perimetrales y de esquina. Los primeros serán de mayor dimensión puesto que resistirán mayor fuerza axial. En la Figura 4 se les puede distinguir por los colores rojo (A) y verde (B).

## 4. RESULTADOS

Las Tablas 2, 3 y 4 muestran los resultados obtenidos en el diseño de los aisladores.

Tabla 2. Parámetros globales del sistema de aislamiento.

Tm (s)	1,98
Dm (mm)	219
Dtm (mm)	259
Kmmin total (t/m)	4323
Dd (mm)	146
Kdmax total (t/m)	5620

Tabla 3. Dimensiones principales, rigidez mínima y amortiguamiento de los aisladores A y B.

Tipo	Nº	HI (mm)	D (mm)	DL (mm)	Kmmin promedio (t/m)	$\beta_m$ (%)
A	16	176	720	120	151,42	14,92
B	20	176	580	90	95,04	13,23

Tabla 4. Dimensiones tentativas de algunos de los elementos que conforman los aisladores [2], [4].

Tipo	A y B
HL (mm)	176
Espesor de láminas de caucho (mm)	8
Número de láminas de caucho	22
Espesor de placas de acero (mm)	3
Número de placas de acero	21
Espesor de planchas externas (mm)	32
Altura total del aislador (mm)	303

Luego, al ejecutarse el análisis estructural en ETABS, se obtuvo que el periodo fundamental del edificio aislado era igual a **2,31s**, el cual es producto del acoplamiento del periodo natural del empotrado en la base (**0,67s**) y del  $T_m$  (**1,98s**). Además, el desplazamiento máximo obtenido fue de **220mm**, valor inferior al  $D_m$  (**259mm**).

Con respecto a la rigidez vertical  $K_v$ , ésta se asumió en base a un catálogo que la relacionaba con valores de  $P_u$  [2]. Así,  $K_v$  de los LRB tipo A fue de 86 600 t/m y de los tipo B fue de 61 200 t/m; resultando un asentamiento máximo de **3,8mm** en los aisladores. Tales valores de rigidez se verificaron después aplicando las Ecs. (7) y (8), resultando 203 000 t/m y 101 000 t/m, respectivamente; lo cual indica que las magnitudes iniciales consideradas fueron conservadoras.

Ahora, las Tablas 5, 6 y 7 muestran las fuerzas cortantes en cada piso del edificio.

*Tabla 5. Fuerzas cortantes sísmicas – AEE.*

Nivel	Base Fija V (t)	Base Aislada V (t)	Reducción (%)
4	245,36	127,68	<b>47,96</b>
3	507,10	263,89	<b>47,96</b>
2	686,18	357,08	<b>47,96</b>
1	<b>783,15</b>	<b>407,55</b>	<b>47,96</b>

*Tabla 6. Fuerzas cortantes sísmicas en la dirección X – ADME.*

Nivel	Base Fija Vx (t)	Base Aislada Vx (t)	Reducción (%)
4	229,10	70,23	<b>69,35</b>
3	474,56	165,18	<b>65,19</b>
2	653,16	255,61	<b>60,87</b>
1	<b>759,98</b>	<b>343,14</b>	<b>54,85</b>

*Tabla 7. Fuerzas cortantes sísmicas en la dirección Y – ADME.*

Nivel	Base Fija Vy (t)	Base Aislada Vy (t)	Reducción (%)
4	212,03	75,17	<b>64,55</b>
3	414,14	172,28	<b>58,40</b>
2	557,62	259,80	<b>53,41</b>
1	<b>644,36</b>	<b>341,57</b>	<b>46,99</b>

Vale decir que el espectro de diseño del ADME tuvo que ser escalado tanto para el edificio aislado como para el empotrado en la base, con el objetivo de cumplir con que la cortante sea por lo menos el 80% de la obtenida en el AEE.

Finalmente, en las Tablas 8 a 11 se presentan las derivas máximas en cada nivel. Los valores resaltados son mayores que el máximo permisible [6].

*Tabla 8. Derivas máximas en la dirección X - AEE.*

Nivel	Base Fija	Base Aislada	Reducción (%)
4	0,0065	0,0008	<b>87,05</b>
3	<b>0,0118</b>	0,0015	<b>87,33</b>
2	<b>0,0157</b>	0,0020	<b>87,09</b>
1	<b>0,0143</b>	0,0023	<b>83,82</b>

Tabla 9. Derivas máximas en la dirección X - ADME.

Nivel	Base Fija	Base Aislada	Reducción (%)
4	0,0060	0,0005	<b>91,67</b>
3	<b>0,0110</b>	0,0010	<b>91,15</b>
2	<b>0,0150</b>	0,0015	<b>90,11</b>
1	<b>0,0139</b>	0,0019	<b>86,46</b>

Tabla 10. Derivas máximas en la dirección Y - AEE.

Nivel	Base Fija	Base Aislada	Reducción (%)
4	0,0104	0,0014	<b>86,21</b>
3	<b>0,0175</b>	0,0025	<b>85,96</b>
2	<b>0,0223</b>	0,0033	<b>85,21</b>
1	<b>0,0175</b>	0,0037	<b>79,07</b>

Tabla 11. Derivas máximas en la dirección Y - ADME.

Nivel	Base Fija	Base Aislada	Reducción (%)
4	0,0085	0,0009	<b>89,36</b>
3	<b>0,0142</b>	0,0017	<b>88,25</b>
2	<b>0,0183</b>	0,0025	<b>86,55</b>
1	<b>0,0146</b>	0,0030	<b>79,62</b>

La Figura 5 esquematiza la disminución de las distorsiones de entrepiso en el eje 3 del edificio.

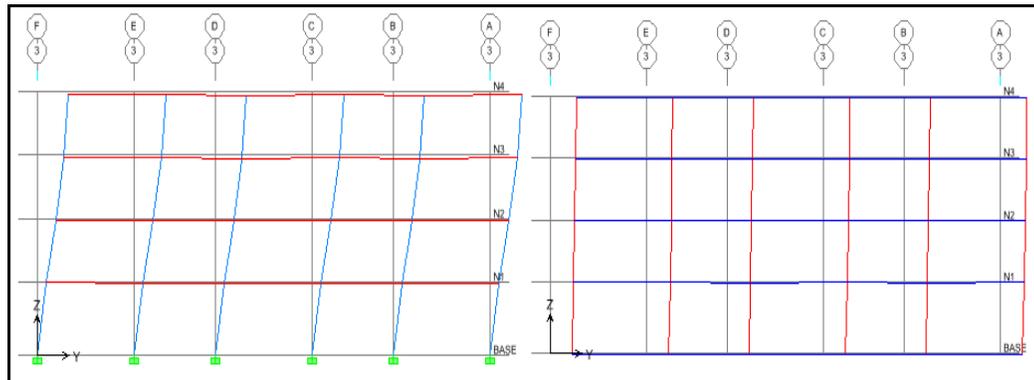


Figura 5. Reducción notable de la deriva en cada piso del edificio en base aislada (derecha) con respecto al edificio en base fija (izquierda).

## 5. CONCLUSIONES

1. Se logró ejecutar con éxito el análisis estructural y el diseño del sistema de aislamiento del edificio en estudio, habiéndose obtenido las principales dimensiones de los aisladores de los tipos A y B, y sus propiedades dinámicas.

2. Se demostró que las fuerzas cortantes sísmicas en cada nivel se reducen más de 50%, llegando incluso a valores cercanos a 70% de disminución en el último nivel del edificio.
3. Se comprobó que las derivas se pueden reducir en más de 75% cuando se utilizan aisladores sísmicos, habiéndose obtenido valores que sobrepasan aún el 90%.
4. El amortiguamiento total del edificio aislado sísmicamente es mayor que el 5% típicamente considerado en edificaciones con base fija, alcanzándose un valor aproximado del 15%.
5. El uso de un sistema de aislamiento sísmico permitió cumplir con el requerimiento de deriva máxima establecido en la Norma E.030 sin necesidad de la existencia de placas y/o muros portantes.
6. El edificio aporticado sin aisladores no cumpliría con los requisitos de la Norma E.030; de no ser por estos se producirían daños considerables en los elementos estructurales y no estructurales en caso de sismos moderados.
7. El comportamiento estructural del edificio aislado, referido esencialmente a los elementos estructurales, será óptimo en caso de sismos moderados, y muy eficiente durante sismos severos.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Debido a que algunas distorsiones de entrepiso obtenidas en el edificio con base aislada alcanzaron un valor de 1/300, suficiente para causar daños significativos a parapetos y tabiques, convendría rigidizar la superestructura. Otra alternativa sería agregar dispositivos, como amortiguadores, evitando así el daño de los elementos no estructurales.
2. Con la finalidad de proteger al edificio en el caso extremo que el sistema de aislamiento sísmico no funcione o falle, se recomienda estructurar la superestructura de tal manera que cumpla con los requisitos de resistencia de la norma E.030 en ausencia de los aisladores, para lo cual también sería conveniente el uso de muros estructurales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASCE / SEI 7-10 - American Society of Civil Engineers, "*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*", pp. 208-221, 2010.
- [2] CDV Representaciones, "*Aisladores sísmicos en el Perú*", Diapositivas y Catálogo, 2012.
- [3] FEMA - Federal Emergency Management Agency, "*NEHRP Recommended Provisions: Design Examples*", 2003 [En línea]. Disponible en <http://www.nibs.org/client/assets/files/bssc/Chapter11.pdf>.
- [4] Higashino, M. y Okamoto, S. - CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction, "*Response Control and Seismic Isolation of Buildings*", Taylor & Francis, Ed. 1, pp. 1-21, 2006.
- [5] Naeim, F., "*Design of Seismic Isolated Structures*", John Wiley & Sons, 1999.
- [6] SENCICO - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, "*Reglamento Nacional de Edificaciones - E.030: Diseño Sismoresistente*", 2006.
- [7] SENCICO - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, "*Reglamento Nacional de Edificaciones - E.060: Concreto Armado*", pp. 64, 2009.