

## Aplicación de Aisladores Sísmicos en Modelos de Edificaciones Hospitalarias

### Application of Seismic Insulators in Models of Hospital Buildings

Dr. Ing. Jaime Walter Blas Cano

[jbc\\_w@hotmail.com](mailto:jbc_w@hotmail.com)

ORCID:0000-0002-0919-9306

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú

Dr. Ing. Rocío del Pilar Blas Rebaza

[ing.rocio.b@hotmail.com](mailto:ing.rocio.b@hotmail.com)

ORCID: 0000-0002-9376-3095

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque Perú

Mg. Ing. Maruja Emélita Blas Rebaza

[mblas\\_r@hotmail.com](mailto:mblas_r@hotmail.com)

ORCID: 0000-0002-5555-7792

Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Lima Perú

#### Resumen:

El objetivo principal es Analizar la incidencia del sistema de aislamiento sísmico basal, realizando la comparación de comportamiento estructural de un Sistema de base aislada y una estructura convencional (base fija), mediante los análisis espectral y tiempo historia, aplicándose la normativa peruana y la Norma NCh 2745-2013 (CHILENA, 2013). De los procedimientos optados según la norma peruana se han determinado: vibración de la<sup>1</sup> estructura, distorsión de la estructura, desplazamientos de las esquinas entrantes, aceleraciones absolutas, y cortante basal. Finalmente se puede concluir que en ningún caso se ha superado los rangos máximos con la aplicación del sistema de aislación, por ende, el sistema HDR es ideal ya que aportaría un margen de reserva para un desplazamiento eventual mayor.

**Palabras claves:** Incidencia, Aislamiento, Espectral, Tiempo Historia, alto amortiguamiento, elastómero, interface, subestructura.

#### ABSTRACT

The main objective is to analyze the incidence of the basal seismic isolation system, comparing the structural behavior of an isolated base system and a conventional structure (fixed base), through spectral analysis and time history, applying the Peruvian regulations and the Standard NCh 2745-2013 (CHILEAN, 2013). From the procedures chosen according to the Peruvian standard, the following have been determined: vibration of the structure, distortion of the structure, displacements of the incoming corners, absolute accelerations, and basal shear. Finally, it can be concluded that in no case have the maximum ranges been exceeded with the application of the isolation system, therefore the HDR system is ideal since it would provide a reserve margin for an eventual greater displacement.

**Key Words:** Incidence, Privacy, Spectral, Time History, high damping, elastomer interface, substructure.

### **Introducción:**

En la presente investigación desarrollada, sobre las infraestructuras hospitalarias del Departamento de Ancash, de acuerdo al planteamiento de problema se ha medido la incidencia del sistema de aislamiento sísmico basal de las Infraestructuras Hospitalarias de la Provincia de Huaraz, Provincia Carhuaz y Monterrey, debido a que en la actualidad no se enfatiza la importancia de la aplicación de dispositivos reductores de respuesta así como aisladores sísmicos basales, a su vez no existe experiencia en la utilización debido a que recién se viene difundiendo la aplicación en la Norma Técnica Peruana; Solo se han analizado, diseñado, y se han construido hasta la actualidad estructuras clásicas ellas encontrándose muy vulnerable ante evento sísmico.

Se ha tomado en cuenta los antecedentes y las experiencias extranjeras que hasta la fecha existe, así como a nivel Latinoamérica el país de Chile contempla la norma NCh 2745-2003 (CHILENA, 2013) sobre sistema de aisladores sísmicos, que viene a ser una traducción, comentario, y adaptación del capítulo 16 del código Building Code del año 1997 (UBC 1997). Para los análisis de los modelos estructurales de infraestructuras hospitalarias se ha utilizado la información existente de cada uno de ellos, tales como: planos, zonificación, tipo de suelo, y entre otros.

Con la ayuda del software estructural Etabs V.17. Se ha logrado analizar la incidencia mediante el comportamiento de cada uno de los modelos estructurales. El análisis contempla la comparación de la estructura clásica versus la estructura de base aislada, para la primera (estructuras clásicas) se ha utilizado la Normativa Peruana que contempla la norma de cargas E.020, norma simorresistente E.030 (NTP, 2018)<sup>2</sup>, de suelos y cimentaciones E.050, de concreto E.060; y para la segunda (estructura de base aislada) se ha utilizado dos normas, porque esta se divide en tres etapas de proceso de construcción comenzando por la subestructura (base de cimentación rígida) luego por el sistema de aislación basal (interfaz de aislación), finalmente vendría la superestructura del modelo estructural para todos los hospitales, la diferencia es que para la subestructura y la superestructura se aplica la norma Peruana y para la interfaz de aislación se utilizó la normativa de Chile.

Para la estructura clásica y de base aislada, para los tres modelos hospitalarios del estudio, se ha analizado para el caso espectral, el Espectro Peruano, teniendo en consideración los parámetros especificados para los casos donde se desarrolló la investigación así como: factor de zona (Z) de 0.40, la importancia (U) es de categoría 1.5 (esencial), parámetro de suelo (S) 1.2, factor de amplificación sísmica (C) de 2.5, periodo de retorno de 1.6, coeficientes de reducción sísmica (R)

---

en ambas direcciones igual a ocho (8) por considerarse un sistema porticado; y para el análisis de Tiempo Historia se utilizó diez casos de registros sísmicos Históricos Peruanos, cinco casos de sismo en cada dirección X e Y, las mismas que fueron escaladas en un intervalo de tiempo de 0.02seg y normalizadas a una aceleración esperada de 0.4g, para obtener resultados y realizar la comparación optima se ha escogido el caso de máxima aceleración siendo los casos de CASOX2 y CASOY2 pertenecientes a los registros 66N08E, 66N82W, respectivamente.

Respecto al desarrollo de los resultados de la estructura clásica y de base aislada, para cada uno de las infraestructuras hospitalarias se ha obtenido: la participación másica de cada nivel siendo obteniéndose el metrado automático por el computador, la participación modal vibración de la estructura, distorsión en planta de los modelos estructurales, desplazamientos máximos y derivas según la normativa en las esquinas entrantes, aceleraciones absolutas que genéricamente se dan en la mayor altura de una estructura, finalmente la cortante basal se da en el primer nivel de cada uno de los modelos estructurales, en resumen se obtienen las fuerzas estáticas en las bases de las estructuras y el coeficiente sísmico que es lo determinante de los desplazamientos; para el sistema de aislación (interfaz) se utilizó como parte del objetivo específico el aislador de alto amortiguamiento (HDR) por ser lo más recomendado, utilizado y tener gran importancia las infraestructuras hospitalarias, por ende se ha desarrollado un flujograma con catorce pasos obligatorios, como debe procederse el análisis y diseño de un aislador elastómero de alto amortiguamiento, así como el análisis bilineal en el rango no lineal que es recomendado por la Norma Chilena. Y finalmente se obtiene las características finales del aislador para su colocación en el sistema de aislación basal de los modelos estructurales hospitalarios.

### **Métodos y pruebas realizadas**

**Tipo:** De acuerdo al fin que persigue: Básica y Aplicada.

De acuerdo al diseño de investigación: Descriptiva y Longitudinal.

#### **Diseño de Investigación**

El diseño de la investigación es Cuasi experimental.

#### **Estrategia de prueba de hipótesis**

Se empleará la prueba estadística del análisis de Chi cuadrado con la finalidad de contrastar la hipótesis.

**Análisis y Diseño del Sistema de Aislación**, se efectuó el procedimiento recomendado por la NCh 2745 de diseño de sistemas de aislamiento basal, y la investigación desarrollada para el Modelamiento de Aislamiento Sísmico (BLAS, 2009)<sup>3</sup> el mismo que permitió la comparación de resultados con el sistema convencional de cada uno de las infraestructuras hospitalarias.

**Modelamiento Tridimensional de las infraestructuras hospitalarias**, se ha efectuado el modelamiento con el uso del programa estructural ETABS V.17 tanto para la estructura tradicional versus la estructura de base aislada de los diferentes hospitales del departamento Ancash.

**Procedimiento de y análisis de datos**, se ha efectuado según las recomendaciones de la Normas que lo limitan al comportamiento sismorresistente de una estructura tridimensional indicado en la

introducción. Cabe mencionar que se utilizó el análisis Espectral y Tiempo Historia para obtener la incidencia del sistema de aislamiento sísmico basal.

### Modelamiento Tridimensional Tradicional

#### Cargas

Carga Muerta: considera Columnas, vigas, las mismas que serán calculadas por el computador programa estructural (ETABS V.17), y losa aligerada, Muros, que serán optados según norma E.020. en el **cuadro N°1**, se visualiza un resumen de las cargas muertas y vivas que se considera según la norma peruana E.020.

**CUADRO N° 1. RESUMEN DE CARGAS**

Tipo de Carga	Und	Hz.					CHz.		My	
		1er Piso	2do Piso	3er Piso	4to Piso	5to Piso	1er Piso	2do Piso	1er Piso	2do Piso
Carga Muerta	Tn/m2	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440
Carga Viva	Tn/m2	0.35	0.350	0.350	0.350	0.100	0.35	0.1	0.35	0.100

*Elaboración propia*

Donde:

Hz: infraestructura hospitalaria de Huaraz

CHz: infraestructura hospitalaria de Carhuaz

My: infraestructura hospitalaria de Monterrey

#### Análisis de Edificio Base Fija

- ✓ Peso de la edificación, en edificios de categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva, y 100% de la Carga Muerta según la normativa vigente.
- ✓ Desplazamientos laterales, se calcularán multiplicando por 0,75R a la deformación del entrepiso, de los resultados obtenidos del análisis lineal y estático con las solicitaciones sísmicas reducidas.
- ✓ La cortante en la base del edificio debe cumplirse según el reglamento E.030. Para estructuras regulares, donde establece que la fuerza cortante obtenida mediante el análisis dinámico no podrá ser menor que el 80% de la Cortante Basal.
- ✓ El Diafragma Rígido en el programa Etabs V.17 se ha aplicado porque en un plano horizontal los elementos (Losas y Vigas) que conforman la estructura poseen en conjunto de rigidez muy significativa en términos del modelo que se está analizando, obteniéndose un comportamiento general como cuerpo rígido en el plano, referido a un centro de masas. La rigidez para un diafragma rígido está condicionada a la disposición y configuración geométrica del sistema. Al aplicar un diafragma rígido se limitan las deformaciones axiales y se permiten sólo tres grados de libertad (Ux, Uy y RZ) en la Planta.

#### Análisis Dinámico

El análisis dinámico del presente estudio se efectuó mediante procedimientos de combinación espectral.

#### I. Análisis por Combinación Modal Espectral

##### 1.1 Modos de Vibración

Los periodos naturales y los modos de vibración de la estructura se han calculado previo modelamiento de la edificación.

##### 1.2 Método de Combinación Modal “CQC”: Combinación Cuadrática Completa ejecutada por el computador

$$r^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} r_i r_j, \text{ donde } \rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1+a_{ij})a_{ij}^{3/2}}{(1-a_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 a_{ij}(1+a_{ij})^2}, \quad a_{ij} = \omega_i / \omega_j \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

- r : representa una determinada respuesta al movimiento sísmico en una dirección definida.
- $r_i$  y  $r_j$  : son las respuestas en cada modo  $i$  y  $j$  a ese movimiento sísmico, las cuales deben tomarse con el signo asociado a la forma modal.
- $\omega_i$ , y  $\omega_j$ : son las frecuencias de los respectivos modos.
- $\xi$  : es el coeficiente de amortiguamiento respecto del crítico, el cual debe tomarse igual a 5% (caso típico para estructura de base fija).
- N : está representa el número de modos utilizado en la combinación, y no el número de pisos de la edificación.

**Nota:** Para el caso de sistemas con frecuencias bien separadas entre sí, este criterio de combinación tiende al clásico dado por la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados "SRSS" de cada máximo modal.

### 1.3 Aceleración Espectral

Para cada uno de las direcciones X e Y, se ha utilizado un espectro pseudo inelástico de pseudos-aceleraciones, definido por la fórmula:

$$S_a = \frac{ZUSC}{R} * g \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde los parámetros considerados son: Factor de Zona  $Z = 0.40$ , Categoría de la Edificación  $U = 1.50$ , Facto de Amplificación Sísmica  $C = 2.50$ , Parámetro de suelo  $S = 1.20$ , Periodo  $T_p = 0.40\text{seg.}$ , Coeficiente de reducción Sísmica en X:  $R_x = 8.00$ , Coeficiente de reducción Sísmica en Y:  $R_y = 8.00$ , Gravedad  $g = 9.81\text{m/s}^2$ .

Según los antecedentes anteriores descritos de la Norma Peruana, resumidas en el Anexo en la ficha técnica de instrumentos y con la fórmula establecida anteriormente se diseña los espectros en ambas direcciones; los valores calculados de las aceleraciones en ambas direcciones se observan en el Cuadro N° 3.2.

Y la gráfica de los espectros en ambas direcciones X e Y, de Aceleración versus Periodo se muestran en las figuras 1 y 2.

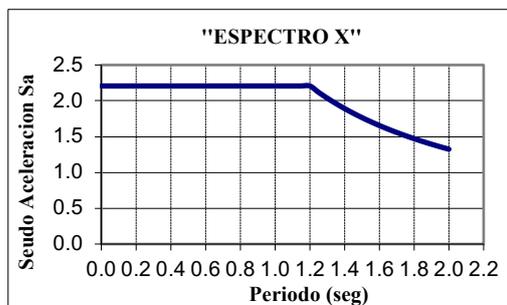


Figura 1. Espectro de Diseño en X

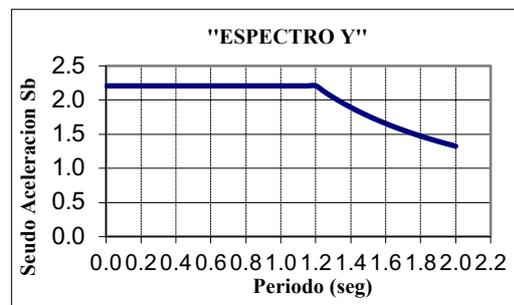


Figura 2. Espectro de Diseño en Y

## II. Análisis Sísmico Tiempo Historia

### 2.1 Registros Sísmicos en el Tiempo

Los registros sísmicos están dados en términos de historia en el tiempo, la que se aplican al modelo tridimensional serán las que tengan aceleración máxima de cada registro, por considerarse los más vulnerables en la Historia Sísmica Peruana; determinado por un intervalo de tiempo de 0.02seg. Para una excitación específica en cada dirección.

**CUADRO N° 2. Registro de Espectros de Máximas Aceleraciones en el Tiempo**

Dirección N°	Fecha de registro mm/dd/aaaa	Nominación de registro	Numero de intervalos de energía	intervalo de tiempo de ingreso (seg)	Aceleración Máxima (cm/seg <sup>2</sup> )	Velocidad (cm/seg)	Desplazamiento (cm)
X1	01/31/1951	51N08E	1480	0.02	45.70	0.92	0.15
Y1	01/31/1951	51N82W	1478	0.02	-60.40	-1.65	-0.31
X2	10/17/1966	66N08E	3282	0.02	-269.30	-21.60	-16.60
Y2	10/17/1966	66N82W	3283	0.02	-180.60	13.20	7.30
X3	05/31/1970	70N08E	2259	0.02	-97.70	6.98	2.60
Y3	05/31/1970	70N82W	2259	0.02	-104.80	4.71	1.60
X4	11/29/1971	71N08E	2010	0.02	86.50	-4.22	-1.20
Y4	11/29/1971	71N82W	2010	0.02	53.50	4.08	1.70
X5	10/03/1974	74N08E	4899	0.02	179.00	10.30	-5.30
Y5	10/03/1974	74N82W	4899	0.02	-192.50	14.50	6.40

FUENTE: Elaboración Propia

## 2.2 Espectros

Los espectros son calculados por el computador tales como Cortantes, desplazamientos, y espectros de diseño. Por ende, se han sometido al análisis tiempo historia, diez registros, cinco en cada dirección de análisis X e Y, en el orden cronológico.

## 2.3 Distorsión

La distorsión o drift será calculada por la siguiente ecuación, la misma que está establecida según la N.T.P. E.030:

$$\left[ \frac{D_2 - D_1}{h} \right] * R < 0.007 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde: D<sub>2</sub> es Deriva del piso 2 (piso superior), D<sub>1</sub> es Deriva del piso 1 (piso inferior), R es coeficiente de reducción (depende de la dirección de análisis)

## 2.4 Parámetros

Los parámetros sísmicos serán considerados los mismos valores que fueron determinados anteriormente del presente capítulo.

## 2.5 Factor de escala

El factor de escala está determinado por la división de la aceleración esperada entre la aceleración del registro; y multiplicada por factor de uso U, por el factor de escala, y dividida por el factor de reducción dependiendo de la dirección de análisis. La misma que está determinada por siguiente formula:

$$f = \frac{a_e \cdot U \cdot S}{a_r \cdot R} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Dónde: Aceleración esperada en cm/seg<sup>2</sup> a<sub>e</sub>=0.4g, Gravedad en g=981 cm/seg<sup>2</sup>, Factor de uso U=1.5, Factor de suelo S=1.2, Aceleración de registro en el tiempo (a<sub>r</sub>) en cm/seg<sup>2</sup>.

**CUADRO N° 3. CALCULO DEL FACTOR DE ESCALA EN LA DIRECCION X**

Caso de Tiempo Historia	Registro de Funciones	Numero de columnas del registro (und)	Aceleración Máxima de registro: ar (cm/seg <sup>2</sup> )	0.4g (cm/seg <sup>2</sup> )	f	Factor de escala fx10 <sup>-5</sup>

CASOX1	51N08E	X1	10	45.70	392.40	1.931947	1.931947E-05
CASOX2	66N08E	X2	10	-269.30	392.40	0.327850	3.278500E-06
CASOX3	70N08E	X3	10	-97.70	392.40	0.903685	9.036850E-06
CASOX4	71N08E	X4	10	86.50	392.40	1.020694	1.020694E-05
CASOX5	74N08E	X5	10	179.00	392.40	0.493240	4.932400E-06

FUENTE: Elaboración Propia

#### CUADRO N° 4. CALCULO DEL FACTOR DE ESCALA EN LA DIRECCION Y

Caso de Tiempo Historia	Registro de Funciones	Numero de columnas del registro (und)	Aceleración Máxima de registro: ar (cm/seg <sup>2</sup> )	0.4g (cm/seg <sup>2</sup> )	f	Factor de escala $f \times 10^{-5}$
CASOY1	51N82W Y1	10	-60.40	392.40	3.898013	3.898013E-05
CASOY2	66N82W Y2	10	-180.60	392.40	1.303654	1.303654E-05
CASOY3	70N82W Y3	10	-104.80	392.40	2.246565	2.246565E-05
CASOY4	71N82W Y4	10	53.50	392.40	4.400748	4.400748E-05
CASOY5	74N82W Y5	10	-192.50	392.40	1.223065	1.223065E-05

FUENTE: Elaboración Propia

### 2.6 Modos de Vibración

Los modos de vibración deberán considerarse de tal forma que la participación másica acumulada del modelo trabaje al 100%, según la norma peruana E.030 deberá trabajarse al 90%.

**Modelo Tridimensional Basado en el Sistema de Aislamiento Sísmico basal** Se ha modelado tomando las mismas consideraciones del modelamiento tradicional, con la única diferencia que la estructura en su conjunto fue aislada mediante aisladores de tipo elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) en la base para los tres modelos hospitalarios según las configuraciones que se muestran en la figura 3, 4, y 5, para los hospitales de Huaraz, Carhuaz y Monterrey respectivamente.

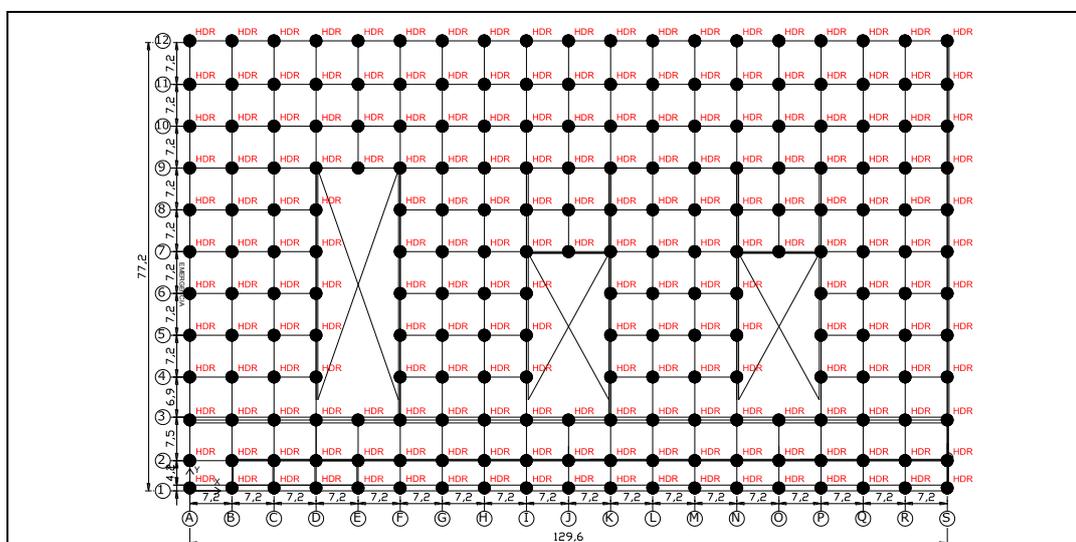
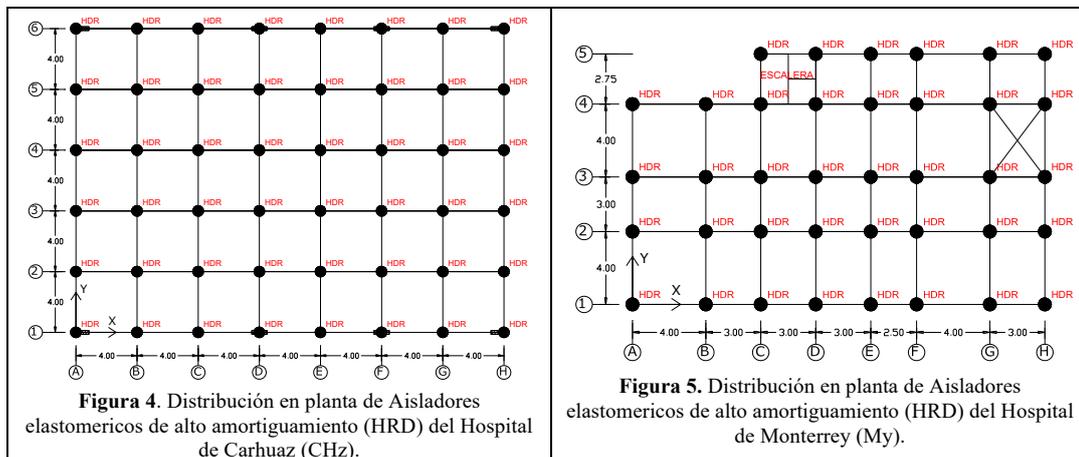


Figura 3. Distribución en planta de Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HRD) del Hospital de Huaraz (Hz)



A continuación, se detallan las variaciones mínimas del modelamiento estructurales, el cual permitirá que el sistema se considere aislado a la base del edificio:

- El modelo será el mismo Tipo de servicio de Infraestructura hospitalaria, para el hospital de Huaraz cinco niveles el primer piso de 3.5m más la altura del aislador sísmico, el Hospital de Carhuaz de dos niveles se ha considerado la altura entre piso 2.80m. más la altura del aislador y similarmente a esta última para el hospital de Monterrey.
- Datos de Diseño según las Normas Peruanas: serán consideradas las mismas que han sido consideradas para una estructura clásica, para las superestructuras de los modelos aislados de las infraestructuras hospitalarias.
- Las Dimensiones generales de la estructura son las mismas que se consideró para el modelamiento tridimensional tradicional, con los siguientes implementos mínimos obligatorios:
  - ✓ Se ha colocado una losa en el interfaz del plano aislado, considerando las mismas masas y pesos para un diafragma de techo para un primer piso de análisis, a la vez contando con el mismo espesor de análisis (0.05m tipo membrana), con fines de modelamiento optado por criterio para dicha investigación.
  - ✓ Por último, se colocaron doscientos veintiocho aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) para el hospital de Huaraz, cuarentaiocho aisladores para el Hospital de Carhuaz, y treintaiocho aisladores para el Hospital de Monterrey; colocadas en los tres modelos en toda la base del sistema estructural (interfaz del aislador).

A continuación, en la figura 6, 7, 8, para los Hospitales de Huaraz. Hospital de Carhuaz y Monterrey, respectivamente. Se presentan las configuraciones estructurales de los sistemas de modelamiento de las estructuras con bases aisladas modeladas en el Programa Etabs V.17 - No Lineal, según las consideraciones anteriores.

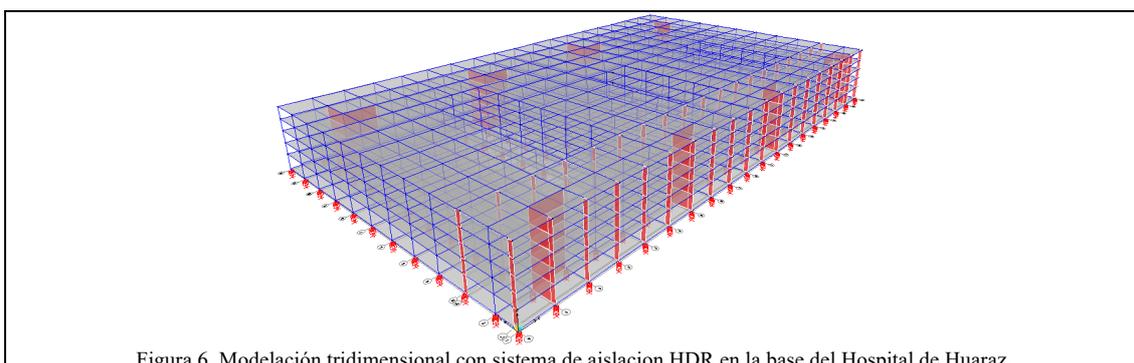


Figura 6. Modelación tridimensional con sistema de aislacion HDR en la base del Hospital de Huaraz.

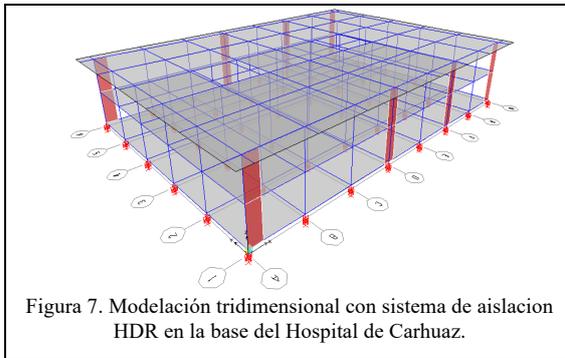


Figura 7. Modelación tridimensional con sistema de aislacion HDR en la base del Hospital de Carhuaz.

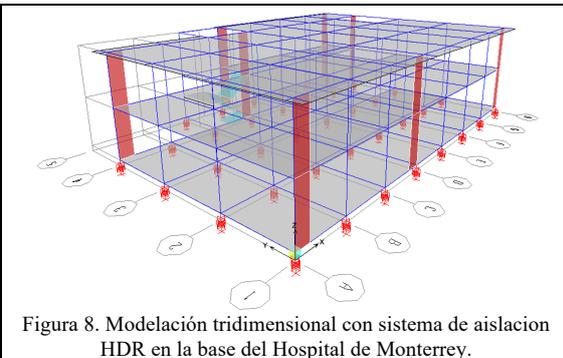


Figura 8. Modelación tridimensional con sistema de aislacion HDR en la base del Hospital de Monterrey.

- a) Cargas, Al igual que para el sistema tradicional se han considerado el mismo criterio de la N.T.P. E.020. Es importante recordar que se ha considerado la carga sobre la losa del piso aislado, el mismo que el aislador estará más cargado que el sistema tradicional (modelamiento para un caso real).

#### **Análisis de Edificio Base Aislada**

A continuación del análisis de los sistemas aislados se deducen según la NCh2745 (CHOPRA, 2007), y según la Dinámica de Estructuras (CHOPRA, 2007)<sup>4</sup> lo siguiente:

- ✓ Peso de la edificación será similar al tipo del modelo tradicional, se tomará el 50% de la carga viva, y 100% de la Carga Muerta, según el cálculo del computador.
- ✓ El límite de desplazamientos de entre piso no debe ser mayor que la altura de entre piso multiplicada por 0.002 para el caso espectral; y para el tiempo historia será no mayor a la altura de entre piso multiplicado por 0.0025.
- ✓ El desplazamiento total máximo del sistema aislado es  $80\%D_{TM}$ .
- ✓ La cortante del sistema aislado es  $80\%V_s$ , donde  $V_s$  es fuerza lateral mínima.

#### **Análisis Estático y Dinámico**

Los Análisis Estático y Dinámico, se han considerado los mismos criterios de estructuración para los tres modelos aislados que para el sistema tradicional, así como se consideraron dos espectros de diseño para cada dirección X y Y; diez registros de funciones sísmicos peruanos en Tiempo Historia, cinco para cada dirección X e Y respectivamente, con un amortiguamiento efectivo del sistema de 12% según la Nch 2745 (CHILENA, 2013), según las experiencias.

Las variaciones consideradas de los modelos, para este Análisis No lineal y Lineal, por estar aplicado la base a un sistema de Aislamiento Basal, corresponde al comportamiento No Lineal; para que toda la estructura se comporte dentro del rango Lineal, nos hemos basado a la Norma Chilena.

El tipo de aislación en la base de estructura para el presente estudio de tesis, se ha considerado un tipo de aislación Elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) ya que estas cuentan con el respaldo de una sólida base teórica, y su comportamiento ha sido demostrado tanto teórica y experimentalmente, demostradas inicialmente con experiencias de países de Norte América, Italia, Japón, y entre otras.

#### **Análisis y Diseño del Sistema de Aislación**

Según la referencia de la NCh 2745-2003 (CHILENA, 2013) y las bases teóricas de las bibliografías consultadas, se ha efectuado el siguiente procedimiento optado para el presente estudio.

## CUADRO N° 5. DATOS INICIALES PARA EL ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLACION

A. DATOS INICIALES				Hosp. Hz	Hosp. CHz	Hosp. My
		SIMB.	Und.			
A.1	Conexión fija o de pernos			Si	Si	Si
A.2	Numero de Aisladores en planta:	(N)	Und.	228	48	38
A.3	Peso real sísmico de toda la estructura:	(W)	tn	48231.12	1588.40	776.73
A.4	Periodo objetivo de acuerdo a la experiencia:	(TD)	seg.	2	2	2
A.5	Carga máxima en un aislador	Pmax	tn	328.67	62.04	56.97
A.6	Carga mínima en un aislador	Pmin	tn	73.25	40.82	12.13
A.7	Deformación de Corte directa máxima	$\gamma_s$		150%	150%	150%
A.8	Deformación de corte directa máxima admisible	$\gamma_{max}$		250%	250%	250%
A.9	Sección anular del aislador sísmico	$D_i$	cm	2.4	2.4	2.4
A.10	Amortiguamiento efectivo del sistema	$\beta$		12%	12%	12%
A.11	Tensión admisible de compresión	$\sigma_{AC}$	kg/cm <sup>2</sup>	70	70	70
A.12	Cortante de la aceleración de gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9.806	9.806	9.806

*Fuente: Elaboración propia*

### Diseño del Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDR)

Se desarrollará el procedimiento de cálculo que está basado según la NCh 2745, y algunas bibliografías revisadas al respecto. A continuación, describimos algunos datos para este tipo de aislador elastomérico de alto amortiguamiento HDR.

- 1) Establecer los límites de deformación de corte directa máxima  $\gamma_s$ , y la deformación de corte directa admisible  $\gamma_{max}$ . (ver cuadro anterior N° 3.6)
- 2) Cálculo del desplazamiento de diseño ( $D_D$ ), y el desplazamiento máximo ( $D_M$ ).
- 3) Estimación de un valor de amortiguamiento ( $\beta$ ). (ver cuadro anterior N° 3.6)
- 4) Definición de la forma de la sección transversal (para nuestro caso es circular).
- 5) Establecer la tensión admisible de compresión  $\sigma_{AC}$  (ver cuadro anterior N° 3.6)
- 6) Se determina el sistema de conexión de los aisladores (este nuestro caso es de cohesión fija de pernos). (ver cuadro anterior N° 3.6)

A continuación, mostramos las consideramos el diagrama de flujo de diseño del aislador HDR, la misma que se presenta en la figura 3.6.

### III. Discusión y análisis de resultados

#### 3.1 Periodo de Vibración de la Estructura Aislada y Base Fija

Para el primer modo de vibración que pertenece a la dirección en X tenemos, la estructura con sistema de base aislada que tiene un periodo de 2.093648seg con una participación del 81.62%, y para la estructura de base fija el periodo es 0.321958 seg con una participación 14.05%; lo que significa que la estructura del sistema de aislación amplifica en un noventa y cuatro por ciento (85%); con un factor de amplificación que está dada por la relación del periodo de base aislada entre el periodo de base fija que es 6.503, lo que significa que el sistema de base aislado a amplificado en por lo menos en 7 veces. Por ende, comportándose la estructura como un cuerpo rígido durante el periodo de vibración.

## CUADRO N° 6. FACTOR DE AMPLIFICACION DEL PERIODO DE VIBRACION

MODO	PERIODO DE BASE AISLADA	PERIODO DE BASE FIJA	Amplificación del sistema de
------	-------------------------	----------------------	------------------------------

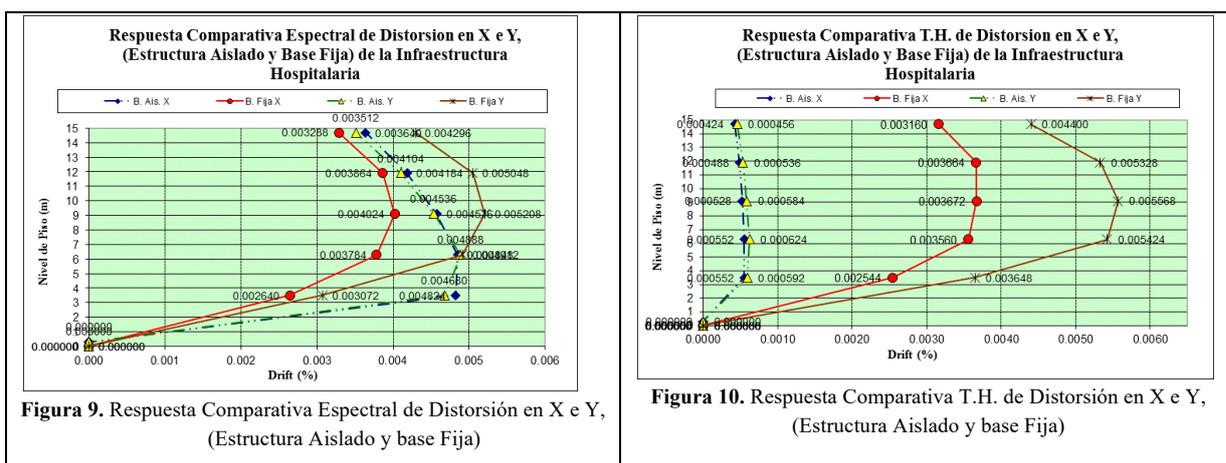
	Periodo de Vibración	Participación Modal	Periodo de Vibración	Participación Modal	FACTOR DE AMPLIFICACION (AØ)	aislación en % de Ø
	(seg)	(%)	(seg)	(%)	AØ	%
1.00	2.093648	81.62	0.321958	14.05	6.503	85%
2.00	2.080263	96.05	0.307806	39.79	6.758	85%
3.00	1.998473	14.46	0.282713	53.01	7.069	86%

FUENTE: Elaboración Propia

### 3.2 Distorsión de la Estructura Aislada y Base Fija

**Del Análisis Espectral.** - según la figura 5.1. El análisis de la distorsión en la dirección X de la estructura aislada del quinto nivel es de 0.003640% y 0.003512% en la dirección Y; mientras que para la estructura de base fija la distorsión en X es de 0.003288% para el quinto nivel y 0.004296% en la dirección Y.

**Del Análisis Tiempo Historia.** - según la figura 5.2. El análisis de la distorsión en la dirección X de la estructura aislada del quinto nivel es de 0.000424% y 0.000456% en la dirección Y; mientras que para la estructura de base fija la distorsión en X es de 0.003160% para el quinto nivel y 0.004400% en la dirección Y.



### 3.3 Desplazamiento Relativo de la Estructura Aislada y Base Fija

**Del Análisis Espectral.** - El desplazamiento en la dirección X de la estructura aislada del quinto nivel es de 0.7381cm y 0.7778cm en la dirección Y; mientras que para la estructura de base fija el desplazamiento en X es de 0.6132cm para el quinto nivel y 0.7582cm en la dirección Y.

**Del Análisis Tiempo historia.** - El desplazamiento en la dirección X de la estructura aislada del quinto nivel es de 0.08cm y en la dirección Y 0.10cm; mientras que para la estructura de base fija el desplazamiento en X es de 1.033cm para el quinto nivel y 1.508cm en la dirección Y, pero siempre estos valores de desplazamiento son insignificantes (valores muy pequeños), porque la estructura es muy rígida en ambas direcciones.

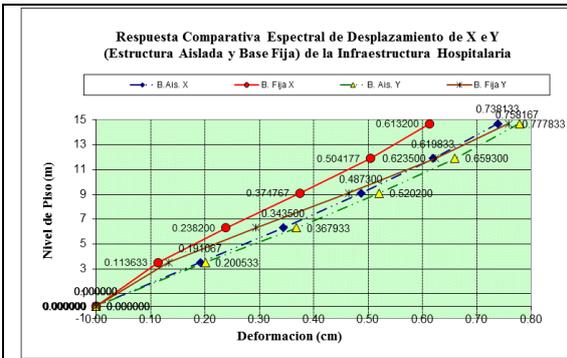


Figura 11. Respuesta Comparativa Espectral de Desplazamiento en X e Y, (Estructura Aislado y base Fija)

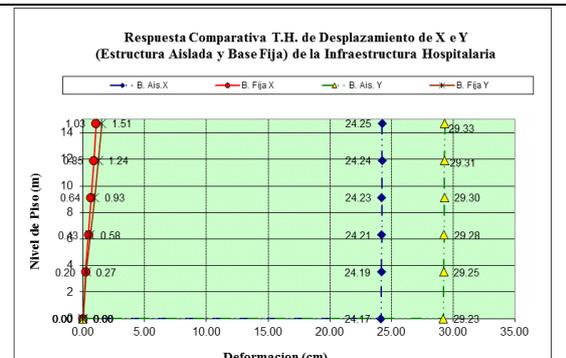


Figura 12. Respuesta Comparativa T.H. de Desplazamiento en X e Y, (Estructura Aislado y base Fija)

### 3.4 Aceleración Absoluta de la Estructura Aislada y Base Fija

**Del Análisis Espectral.** - La aceleración para la estructura aislada del quinto nivel en la dirección X es de 0.000724g y 0.000679g en la dirección Y; y para la estructura de base fija es de 0.03338g en X y 0.032889g en la dirección Y.

**Del Análisis Tiempo Historia.** - La aceleración para la estructura aislada del análisis T.H. del quinto nivel en la dirección X es de 0.023038g y 0.038226g en la dirección Y; y para la estructura de base fija es de 0.295945g en X y 0.206636g en la dirección Y.

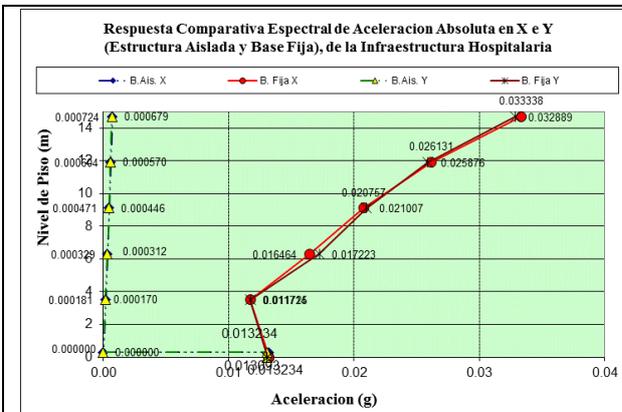


Figura 13. Respuesta Comparativa Espectral de Aceleración Absoluta en X e Y, (Estructura Aislado y base Fija)

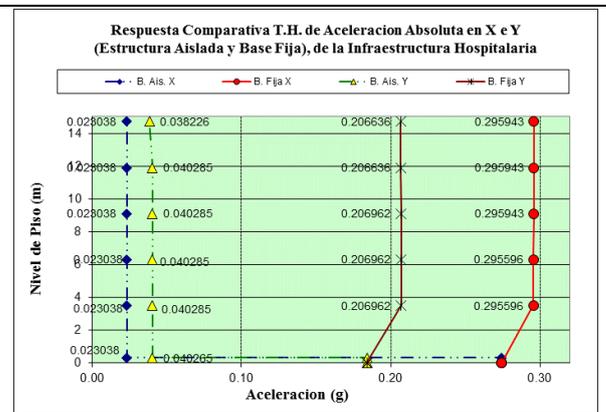
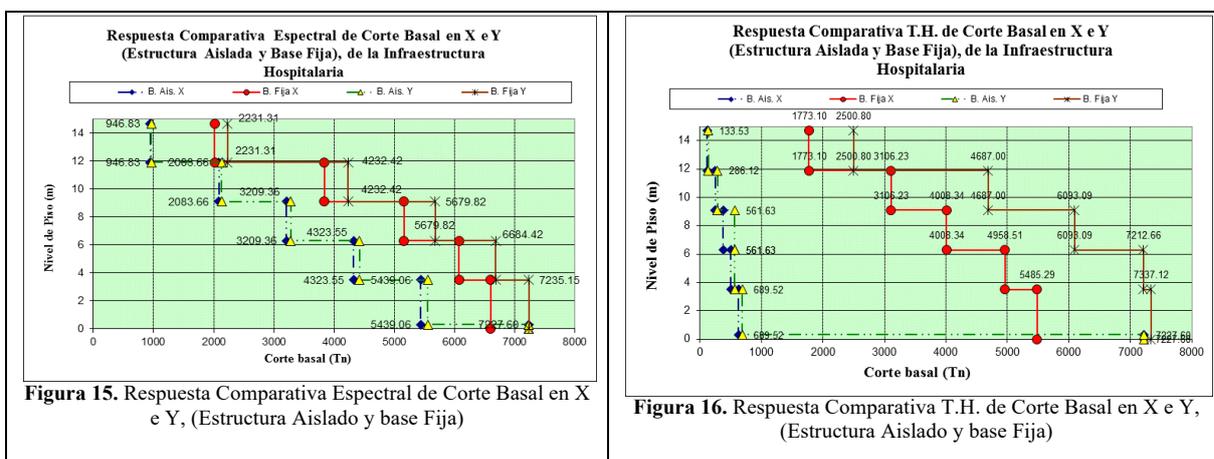


Figura 14. Respuesta Comparativa T.H. de Aceleración Absoluta en X e Y, (Estructura Aislado y base Fija)

### 3.5 Corte Basal de la Estructura Aislada y Base Fija

**Del Análisis Espectral.** - la estructura aislada el corte en el quinto nivel es de 946.83tn en X y en la dirección Y de 967.80tn, y para la estructura de base fija es de 214.48tn en la dirección X y 2231.31tn en Y.

**Del Análisis Tiempo Historia.** - para la estructura aislada en la dirección X el corte en el último nivel es de 114.67tn y en la dirección Y de 133.53tn, y para la estructura de base fija es de 1773.10tn en la dirección X y 2500.80tn en Y.



### 3.6 ANALISIS DEL DISEÑO DE AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

Para el modelo tridimensional de base aislada, se ha utilizado el mismo modelo tridimensional de base fija con la única diferencia que se han colocado 228 aisladores del tipo HDR, en el plano de la base de la superestructura se ha colocado una losa con igual peso del techo del primer nivel, se ha considerado la altura del aislador de 34cm. en el primer nivel según diseño y predimensionamiento del mismo; se ha implementado un proceso iterativo para el tipo de sistema de aislación en estudio (HDR), así mismo se definió las características mecánicas y geométricas del dispositivo, se verificó los niveles de seguridad adecuados, los cálculos de diseño bilineal para el aislador y se implementó el ingreso de datos para el computador efectuado con el programa Etabs Versión 10, el mismo que sirve para el modelamiento e implementación de la estructura de base aislada, así como las propiedades de NLLink; la definición del peso y la masa del aislador no son necesarios porque estos se localizan en el interfaz de la aislación ya que el objetivo es analizar la superestructura del edificio tridimensional, ello no interfiriendo en el análisis de la superestructura; las propiedades direccionales así como Dirección U1-Lineal (rigidez vertical del aislador, propiedad en la dirección axial del aislador o localizada en la dirección Z del sistema tridimensional del computador) se ingresa la rigidez efectiva o rigidez efectiva vertical  $K_v=291779.14\text{tn/m}$ , el valor de amortiguamiento se ingresa valor cero  $\beta=0\%$  debido a que el programa ya lo considera los coeficientes de amortiguamientos en los análisis sísmicos Espectrales y Tiempo Historia; en Dirección U2 y U3-No Lineal ( propiedades en la dirección X e Y respectivamente del sistema tridimensional) propiedad lineal  $K_{eff}=212.91\text{tn/m}$  (rigidez efectiva); propiedades No lineales  $K_{eff}=212.91\text{tn/m}$  (rigidez),  $F_y=11.23\text{tn}$  (resistencia de fluencia) y relación de rigidez posterior es  $KH/K_v=7.297E-04$ .

## IV. Conclusiones

1. El desplazamiento del sistema de aislación HDR, que ocurre en la interfaz del sistema de aislación en ningún caso se ha superado el margen de desplazamiento, por ende, el sistema HDR es ideal ya que se tiene todavía un margen de reserva para un desplazamiento eventual mayor.
2. El resultado de comparación del desplazamiento para el caso espectral máximo en la dirección X e Y par la estructura de Huaraz son insignificantes por alcanzar resultados negativos en cuanto a su factor de reducción, pero considerados valores muy inferiores.

3. El control de las derivas son las más importantes ya que están relacionados con los daños estructurales de los modelos; las máximas derivas para las infraestructuras hospitalarias ocurren en la dirección Y, el sistema porticado consecuentemente es muy rígida, por ende, arrojan valores muy inferiores a 0.007 valor límite establecido por la N.T.P. E.030 del año 2018.
4. La capacidad del aislador de fuerza cortante para la infraestructura Hospitalaria de Huaraz es de  $V_b=7227.60\text{tn}$ , para la infraestructura de Carhuaz es de  $V_b=760.80\text{tn}$ ; y para la infraestructura hospitalaria de monterrey es de  $V_b=602.30\text{tn}$ .
5. Finalmente, la aplicación de aisladores sísmicos en modelos de edificaciones de hospitales influye favorablemente en los modelos analizados reduciendo la robustes de los elementos ello traduciéndose en costos de la edificación.

## V. Referencias

- Aguiar & Carrillo (1983). ANÁLISIS SÍSMICO ESPACIAL DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS APLICANDO EL MODELO DE PAN Y KELLY.
- Aguiar R. & Peña F.(2008). COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN EL PLANO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES DE BASE ELASTOMÉRICOS.
- BLAS, J. (17 de NOVIEMBRE de 2009). MODELAMIENTO CON SISTEMA DE AISLAMIENTO SISMICO EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA. *MODELAMIENTO CON SISTEMA DE AISLAMIENTO SISMICO EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA*. HUARAZ, HUARAZ, PERU.
- Genatios & Lafuente (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Corporación Andina de Fomento.
- Bueno R. & Reyes J.C. (2008) Criterios para el Uso de Aisladores en la Base de una Estructura en Concreto
- Bunge (1989). La investigación científica, su estrategia y su filosofía. Edit. Ariel. Barcelona.
- CHILENA, N. (2013). Analisis y Diseño de Edificios con Aislacion Sismica. *INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION*, 106. Obtenido de Analisis y Diseño de Edificios con Aislacion Sismica.
- CHOPRA. (2007). *DYNAMICS OF STRUCTURES Theory and Applications to Earthquake Engineering*. United States of America: Greg Dulles.
- GUARDIA C., SOTELO C., BLONDET M., ZEGARRA L., & MUÑOZ A. (2006). *Proyecto para el ensayo de Simulacion Sismica de una Estructura*. Estados Unidos.
- Oviedo & Duque (2006). SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES, Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia), en <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5557910.pdf>

- Marshall & Bowman (1988). "Case History of Seismic Base Isolation of a Building – The Foothill Communities Law and Justice Center". International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Paper 3. <http://scholarsmine.mst.edu/icchge/2icchge/2icchge-session4/3>.
- Naderzadeh (2009). "Historical Aspects of Seismic Base Isolation Application" [http://www.cibw114.net/symposium2009/pdf/OS09\\_Ahmad\\_Naderzadeh.pdf](http://www.cibw114.net/symposium2009/pdf/OS09_Ahmad_Naderzadeh.pdf)
- NTP. (2018). NORMA TECNICA E.030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE". *DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA LA NORMA TECNICA E.030*.