

**INFLUENCIA DE LOS SUELOS DE BUCARAMANGA Y SU ÁREA  
METROPOLITANA EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA  
AISLADA EN LA BASE**

**DIEGO FERNEY SUAZA GUARNIZO  
SILVIA DAYANN LOZANO SIERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**INFLUENCIA DE LOS SUELOS DE BUCARAMANGA Y SU ÁREA  
METROPOLITANA EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA  
AISLADA EN LA BASE**

**DIEGO FERNEY SUAZA GUARNIZO  
SILVIA DAYANN LOZANO SIERRA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Civil**

**Director**

**OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARRILLO  
Doctor en Ingeniería de Estructuras**

**Co-Director**

**JESÚS DANIEL VILLALBA MORALES  
Doctor en Ingeniería de Estructuras**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

A Dios todo honor y gloria.

A mi familia, especialmente a mi mejor amigo ONORIO SUAZA y a la luz de mis ojos LIDA GUARNIZO por ser los mejores, gracias por el infinito e incondicional apoyo que me han brindado, también a mis hermanas que han sido pilares fundamentales para la materialización de este sueño logrado.

A mi compañera sentimental infinitas gracias por su incondicional cariño, amistad, comprensión y acompañamiento en este proceso.

De igual forma también a todos mis compañeros y nuevos amigos que aportaron de una u otra forma con su amplio conocimiento para lograr la culminación de esta etapa.

*Diego F. Suaza Guarnizo.*

*A Dios por su infinito amor, misericordia y fidelidad. ¡Gloria a ti Señor!*

*A mi padre SAMUEL LOZANO por enseñarme que sin sacrificio no hay éxito.*

*A mi madre JARIET SIERRA por brindarme su comprensión y fortaleza.*

*A mi bonito amor por creer en mí, por su constante compañía y complicidad.*

*A mi familia, amigos, compañeros y demás personas que estuvieron a mí alrededor aportando su granito de arena.*

*Este logro es por ustedes.*

***“No temas, porque yo estoy contigo, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudaré, siempre te sostendré con mi diestra de justicia” Isaías 41:10***

***Silvia Dayann Lozano Sierra***

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2. METODOLOGÍA .....	20
3. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS .....	21
3.1 SUELO RÍGIDO .....	22
3.2 SUELO MEDIO .....	23
3.3 SUELO SUELTO .....	24
4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	25
4.1 DISEÑO EN FUNCIÓN DEL SUELO.....	26
4.2 ASIGNACIÓN DE CARGAS .....	27
4.3 ESPECIFICACIONES EN EL MODELO .....	27
4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	28
5. SISTEMA DE AISLACIÓN SÍSMICA .....	29
5.1 PARÁMETROS DE ANÁLISIS PARA LA ESTRUCTURA AISLADA EN LA BASE .....	30
5.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOS AISLADORES HDRB .....	31
5.3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN EN ETABS.....	40
6. ANÁLISIS PUSHOVER.....	42
7. RESULTADOS.....	46
7.1 CARACTERÍSTICAS FINALES DE LOS AISLADORES HDR.....	46
7.2 RESULTADOS PUSHOVER.....	50
7.2.1 Estructura con base fija.....	50

7.2.2 Estructura aislada en la base.....	52
7.3 CANTIDADES DE OBRA.....	55
8. CONCLUSIONES .....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	62

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Metodología para el desarrollo del proyecto .....	20
Figura 2. Modelo Edificio 7 pisos vista en elevación ejes (x, z), unidades en metros.....	25
Figura 3. Modelo Edificio 7 pisos vista en planta, unidades en metros. Vista en planta ejes (x, y).....	26
Figura 4. Diagrama de flujo para el diseño de aislador tipo HDRB.....	39
Figura 5. Placa aislada apoyada sobre los aisladores de alto amortiguamiento (HDRB), vista en planta en el eje (x, y).....	41
Figura 6. Modelamiento de la estructura sobre los aisladores de alto amortiguamiento (HDRB), vista en planta en el eje (x, z). Nivel +0.00 hasta nivel +2.70 de 18.00, unidades en metros.....	41
Figura 7. Cargas laterales incrementales .....	43
Figura 8. Puntos destacados en la curva de capacidad Cortante en la base Vs vs Desplazamiento. ....	44
Figura 9. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Rígido (Tipo B).....	50
Figura 10. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Medio (Tipo D). ....	51
Figura 11. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Suelto (Tipo E).....	51
Figura 12. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Rígido (Tipo B).....	52
Figura 13. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Medio (Tipo D) .....	52

Figura 14. Número de rotulas plásticas y nivel de daño correspondiente, estructura con base fija y estructura con base aislada en suelo rígido (Tipo B). .....53

Figura 15. Número de rotulas plásticas y nivel de daño correspondiente, estructura con base fija y estructura con base aislada en suelo medio (Tipo D). .....54

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tipos de suelos de Bucaramanga y su área metropolitana .....	21
Tabla 2. Tipos de suelos .....	22
Tabla 3. Tipos de suelos .....	24
Tabla 4. Secciones de los elementos estructurales en base fija.....	28
Tabla 5. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo Rígido (Tipo B) .....	46
Tabla 6. Propiedades de los aisladores HDRB, apoyados sobre el suelo medio (Tipo D).....	47
Tabla 7. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo suelto (Tipo E)	47
Tabla 8. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo Rígido (Tipo E) .....	48
Tabla 9. Comparación de los periodos fundamentales de las estructuras sin aisladores y con aisladores.....	49
Tabla 10. Resultados Fuerzas cortantes sísmicas.....	49
Tabla 11. Reducción en porcentaje según el tipo de base de la estructura y el tipo de suelo. ....	49
Tabla 12-Tabla 14. Cortantes y desplazamientos en X y Y. ....	54
Tabla 13. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo rígido (Tipo B).....	55
Tabla 14. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo medio (Tipo D).....	56
Tabla 15. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo suelto (Tipo E). ....	56

Tabla 16. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base aislada en suelo rígido (Tipo B). .....56

Tabla 17. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base aislada en suelo medio (Tipo D). .....57

Tabla 18. Reducción de cantidades de obra estructura aislada en la base .....57

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR – 10 en función de $A_a$ y $A_v$ .....	62
ANEXO B. Espectros de los tres tipos de suelo.....	63
ANEXO C. Cargas muertas y vivas y propiedades de la losa aligerada .....	64
ANEXO D. Derivas (Sin aislador).....	65
ANEXO E. Modelamiento del sistema de aislación en ETABS .....	66
ANEXO F. Columna tipo suelo rígido- Base fija.....	68
ANEXO G. Carta.....	78

## RESUMEN

**TÍTULO:** Influencia de los suelos de Bucaramanga y su Área Metropolitana en el comportamiento de una estructura aislada en la base.\*

**AUTORES:** Diego Ferney Suaza Guarnizo\*\*  
Silvia Dayann Lozano Sierra

**PALABRAS CLAVE:** Tipos de suelos, estructura, aislador sísmico, Pushover, comportamiento sísmico.

### DESCRIPCIÓN

En esta investigación se analiza la influencia de tres tipos de suelos (rígido, medio y suelto) para una estructura conformada por pórticos de concreto reforzado de siete pisos realizando una comparación con la estructura fija en su base y aislada sísmicamente en su base. El diseño del aislador sísmico se realizó siguiendo las recomendaciones mencionadas en la ASCE/ SEI 7-05, validado por la NSR-10. Para determinar la respuesta estructural, se realiza un análisis estático no lineal (Pushover) que demostró que el tipo de suelo influye en el comportamiento sísmico de una estructura aislada en la base. En el suelo rígido se obtuvo la diferencia del periodo fundamental de la estructura aislada en la base con la estructura fija en la base en un promedio de 64% y en el suelo medio el promedio de reducción de los periodos fundamentales fue del 70%. Se demostró que la reducción del cortante basal  $V_s$  de las estructuras aisladas con respecto a las estructuras fijas en la base disminuyó. En el suelo tipo B disminuyó un 59.58% en dirección X y en dirección Y un 53.64% y en el suelo medio tipo D se redujo un 60.59% en dirección X, y en dirección Y en 60.87%.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Doctor en Ingeniería de Estructuras. Co-Director: Jesús Daniel Villalba Morales, Doctor en Ingeniería de Estructuras

## ABSTRACT

**TITLE:** Influence of the soils of Bucaramanga and its Metropolitan Area on the behavior of an isolated structure at the base. \*

**AUTHORS:** Diego Ferney Suaza Guarnizo\*\*  
Silvia Dayann Lozano Sierra

**KEYWORDS:** Soil types, structure, seismic isolator, Pushover, seismic behavior.

### DESCRIPTION

In this research, we analyze the influence of three different types of soils for a structure conformed by seven reinforced concrete frame floors. The types of soils are rigid, medium and loose. A comparison is made between the fixed structures at its base and also seismically isolated at its base. The design of the seismic isolator was made following the recommendations mentioned in the ASCE / SEI 7-05 validated by the NSR-10. To determine the structural response, we made a non-linear static analysis (called as Pushover) which prove that the type of soil influences the seismic behavior of an isolated structure in the base. In the rigid soil, we obtained the difference between the fundamental period of the base isolated structure with the base fixed structure in an average of 64 percent and 70 percent in the medium soil. It proves that the reduction of the basal shear  $V_s$  of the isolated structures decreased against the base fixed structure. In the B type of soil decreased a 59.58 percent in the X direction and 53.64 percent in the Y direction, and in the D type of medium soil it decreased a 60.59 percent in X direction and a 60.87 percent at Y direction.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Oscar Javier Begambre Carrillo, Doctor in Structural Engineering. Co-Director: Jesús Daniel Villalba Morales, PhD in Structural Engineering

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país de alto riesgo sísmico debido a su ubicación en el Cinturón de fuego del Pacífico ya que yace sobre dos áreas de subducción importantes, la de la placa de Nazca con la placa Sudamericana y la de la placa Sudamericana con la placa del Caribe. Por lo tanto, la ocurrencia de terremotos puede traer la pérdida de vidas humanas y materiales. Para mitigar estos efectos toda estructura debe ser diseñada para resistir este tipo de sollicitaciones como lo define la norma sismo resistente del año 2010 (NSR-10).<sup>1</sup>

Los sistemas de control pasivos estratégicamente ubicados en las estructuras hacen un rol fundamental al limitar la energía de deformación y la energía cinética que esta pueden recibir durante un evento telúrico (Valerio, 2015, pág. 13). En ese sentido se pueden utilizar aisladores en la base con los cuales se busca disminuir las fuerzas inducidas sobre las estructuras durante un sismo. Dado que no se puede alertar de la ocurrencia de ellos (sismos) se deben combatir aislando las estructuras del terreno, esto se logra mediante la incorporación de una capa (aislador) con la flexibilidad horizontal suficiente entre el suelo y la estructura, de modo que el periodo de vibración natural de la estructura sea modificado.<sup>2</sup>

Sin embargo, el tipo de suelo influye en los resultados, debido a que el estudio a cada suelo tiene un cálculo de espectro el cual determina las características de diseño constructivo.

---

<sup>1</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente - NSR-10.” 2010

<sup>2</sup> VALERIO, Jacob. Análisis Comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos De aisladores sísmicos. Perú. 2015 pp 13

Evidenciando los hechos ocurridos en la ciudad de México el día 19 de septiembre del año 2017, “se demostró que en suelos profundos y suaves no amortiguan los terremotos, producen una exageración de sus efectos”<sup>3</sup>. Estudios realizados como el de Jaime Sandoval Ballarte, recomienda que en suelos blandos no consolidados, no cohesivos o fácilmente disgregables y saturados en agua no se deben diseñar con aisladores sísmicos<sup>4</sup> y Michael Rendel, asegura que el diseño de aisladores sísmicos para la base de un edificio de baja altura permite filtrar el movimiento del suelo, “Reduciendo el efecto de un terremoto hasta un 90%”.<sup>5</sup>

La ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana se encuentran en una zona de amenaza sísmica alta, y está constituida por un gran depósito de suelos, “los cuales constan de la sucesión de mantos casi horizontales que varían litológicamente entre conglomerados, limolitas, arcillas, areniscas y gravas que forman la mesa sobre la cual se fundó”<sup>6</sup>. Por ende, en este trabajo busca determinar la influencia del suelo (rígido, medio y blando) en el comportamiento de una estructura aislada en su base localizada en el área metropolitana de Bucaramanga.

Esta investigación es desarrollada para analizar los efectos que tendría el tipo de suelo sobre la respuesta estructural de una edificación aislada en su base.

---

<sup>3</sup> JACKSON, James. Suelo blando de Ciudad de México amplifica temblores. Fecha de consulta: 22 de octubre 2017. Tomado de: <http://www.excelsior.com.mx>

<sup>4</sup> SANDOVAL BALLARTE, Jaime. Respuesta dinámica de edificios con aisladores sísmicos en su base. 2011. pp 3

<sup>5</sup> GONZÁLEZ ISLA, Carlos. ¿Por qué los edificios en México se desploman y en Chile no? . echa de consulta: 22 de Octubre de 2017. Tomado de: <http://www.latercera.com>

<sup>6</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB, Sistemas de gestión ambiental municipal SIGAN, Colombia Junio (2002).pp 17

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de los diferentes tipos de suelos de Bucaramanga y su área metropolitana en el diseño y comportamiento de una (1) estructura de concreto reforzado aislada en la base.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar las cantidades de obra, realizando el diseño para una (1) estructura de mediana altura, que consta de siete (7) pisos en función del tipo de suelo (rígido, medio y blando) según el estudio zonificación sísmogeotécnica indicativa del Área metropolitana de Bucaramanga.
- Escoger el aislador sísmico adecuado para la estructura de siete (7) pisos, según la norma ASCE 7-10 capítulo 17.
- Determinar el efecto del tipo del suelo sobre el desempeño de la estructura mediante el análisis pushover.

A partir del objetivo general como de los específicos propuestos en la memoria Plan de trabajo grado. Se consideran los siguientes alcances.

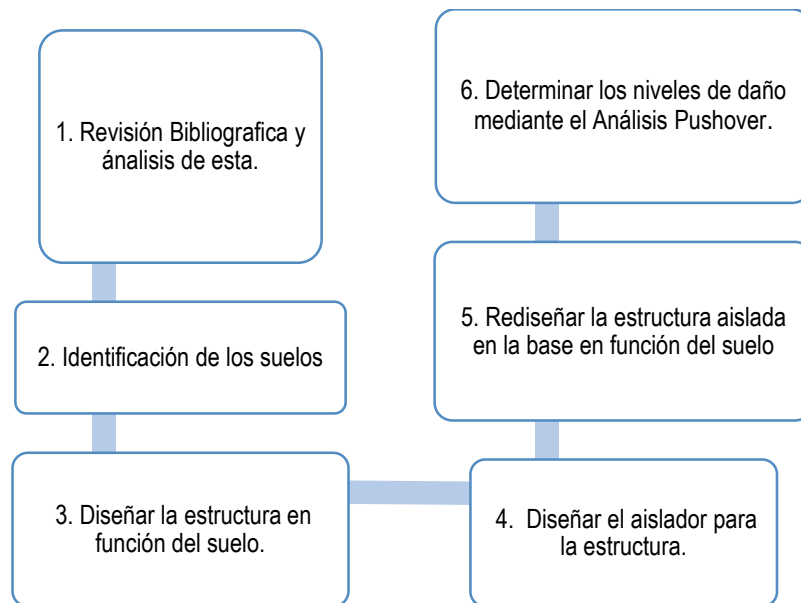
- Se diseña la estructura a partir de cimentación superficial, no se diseñan las zapatas ya que esta investigación es para fines académicos.

- La estructura planteada no cuenta con muros estructurales debido a que esta investigación está dirigida a estudiar principalmente el comportamiento de vigas y columnas de un sistema estructural aporticado.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el desarrollo de la investigación fue la siguiente, se inició con un estudio de la bibliografía, seguido de la identificación de los suelos con los cuales se diseñó las estructuras para posteriormente realizar el diseño del aislador para cada una de estas, finalmente se rediseño la estructura aislada determinando los niveles de daño. Esta metodología será explicada a detalle más adelante en cada ítem.

**Figura 1. Metodología para el desarrollo del proyecto**



### 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS

La obtención de los tipos de suelos no se pudo realizar mediante la microzonificación ya que la microzonificación no cuenta con la información detallada para determinar los diferentes tipos de suelos de Bucaramanga y su área metropolitana, tal y como se precisa para este trabajo de investigación. Por lo tanto, se determinó los tipos de suelos en Bucaramanga y su área metropolitana (Ver anexo 16) por medio de un estudio geotécnico de acuerdo al reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

Se supone una edificación de uso residencial, la cual se diseña teniendo en cuenta que se construirá sobre suelos tipos B, D y E (presentes en Floridablanca, Piedecuesta y Girón), ver tabla 1:

Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 1. Tipos de suelos de Bucaramanga y su área metropolitana**

Proyecto	Localización	Tipo de suelo
Proyecto 1	Floridablanca	(B) Suelo Rígido
Proyecto 2	Piedecuesta	(D) Suelo Medio
Proyecto 3	Girón	(E) Suelo Suelto

### 3.1 SUELO RÍGIDO

El suelo Rígido se encuentra en el municipio de Floridablanca.<sup>7</sup>

**Descripción General:** Se encuentra ubicada en el extremo occidental y norte del área metropolitana de Bucaramanga, conformando la mesa de Lebrija al occidente del escarpe del cerro Palonegro, la mesa de Ruitoque Alto incluyendo el área de Acapulco y el sector del barrio Cañaveral en Floridablanca.

- **Sismicidad:** La sismicidad de Bucaramanga y su área metropolitana es muy frecuente con varios sismos al día, la mayoría de los cuales proviene del nido sísmico de Bucaramanga.

De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, el municipio de Floridablanca, se encuentra localizada en la región 5, la cual se denomina zona de amenaza sísmica alta (ANEXO A).

**Valores obtenidos.**

**Tabla 2. Tipos de suelos**

Tipo de suelo	Perfil B
Aa	0,25
Av	0,25
Fa	1,0
Fv	1,0

---

<sup>7</sup> BUENAHORA BALLESTEROS, Carlos Andrés; INGEOTECNIA. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosión y deslizamiento. Enero 2015. Acceso: Ver Anexo 7

### 3.2 SUELO MEDIO

El suelo Medio se encuentra localizado en el municipio de Piedecuesta.<sup>8</sup>

- **Descripción General:** Se encuentra en la ZONA 5 Flujos de escombros del piedemonte del macizo de Santander, Los suelos subsuperficiales corresponden a arenas gravo-arcillosas, no cementadas, arenas limosas y mantos de conglomerado de los flujos de Escombros. Los niveles freáticos son poco profundos.
- **Sismicidad:** De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, el municipio de Piedecuesta, se encuentra localizada en la región 5, la cual se denomina zona de amenaza sísmica alta. (ANEXO1)

#### Valores obtenidos

Tipo de suelo	Perfil D
Aa	0,25
Av	0,25
Fa	1.3
Fv	1,9

---

<sup>8</sup> *Ibíd.*

### 3.3 SUELO SUELTO

El suelo Suelto se encuentra localizado en el municipio de Girón.<sup>9</sup>

- **Descripción General:** Contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas.
- **Sismicidad:** De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, el municipio de Piedecuesta, se encuentra localizada en la región 5, la cual se denomina zona de amenaza sísmica alta (ANEXO 1).

#### Valores obtenidos

**Tabla 3. Tipos de suelos**

Tipo de suelo	Perfil E
Aa	0,25
Av	0,25
Fa	1,45
Fv	3,0

Con la información obtenida se procede a realizar los espectros de diseño como lo indica el título A.2.5 de la NSR-10. (VER ANEXO B).

---

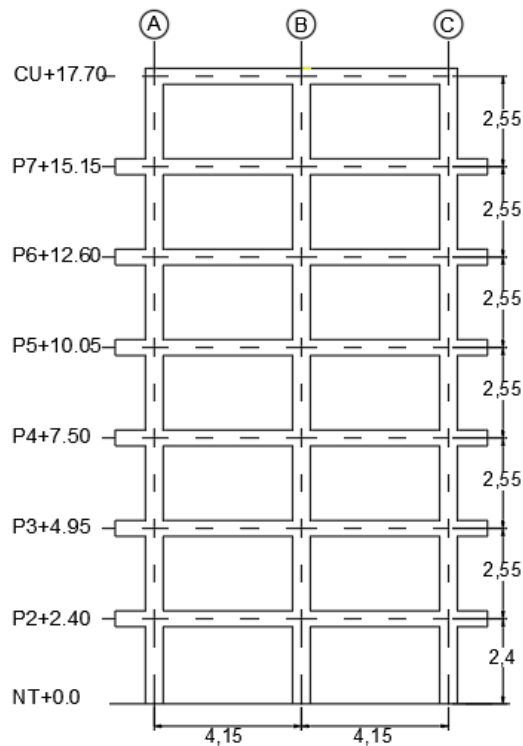
<sup>9</sup> Ibíd.

## 4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

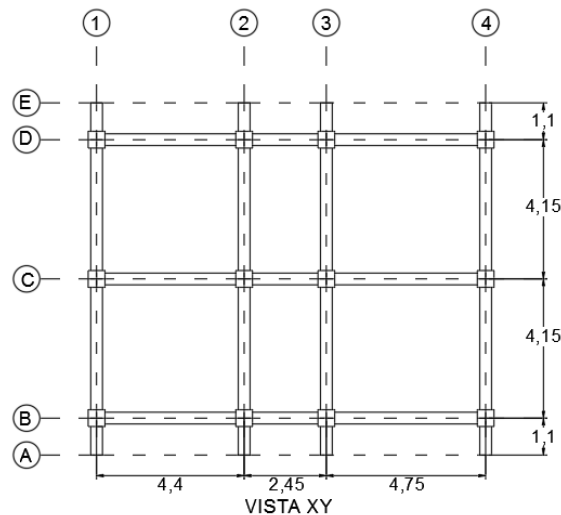
### Generalidades

Se utilizó una estructura de un edificio regular de siete pisos, con sistema a porticado. Para esta selección se optó por utilizar el diseño arquitectónico mostrado en la figura 2 que representa una edificación de uso residencial importancia I de la ciudad de Bucaramanga, diseñada para este trabajo de investigación.

**Figura 2. Modelo Edificio 7 pisos vista en elevación ejes (x, z), unidades en metros.**



**Figura 3. Modelo Edificio 7 pisos vista en planta, unidades en metros. Vista en planta ejes (x, y)**



La estructura cuenta con una planta de 11.6 m x 10.5 m, y una altura de 17.7m. Los pórticos son iguales en cada dirección: 3 luces de 4.4, 2.45 y 4.75 m en la dirección este-oeste (dirección x) y 2 luces y 2 voladizos exteriores de 4.15m y 1.1 m respectivamente en la dirección norte- sur (dirección y). La resistencia del concreto utilizado en placas, vigas y columnas es de 21 Mpa y la del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal 420 Mpa.<sup>10</sup>

#### 4.1 DISEÑO EN FUNCIÓN DEL SUELO

Con la identificación de los suelos en Bucaramanga y su área metropolitana, se realizó un modelo estructural para cada tipo de suelo (Ver tablas 2, 3,4) en el

<sup>10</sup> MORA ORTIZ, Mauricio; VILLALBA, Jesús Daniel; Análisis sísmico inelástico y cálculo de índices de daño en una edificación de mediana altura utilizando diferentes metodologías, Tesis de grado; Universidad Industrial de Santander, 2005

software ETABS ultimate 17.0.1 (Computer & Structure Inc., 2018), partiendo de los planos de la figura 2, 3 y 4.

Para cada modelo estructural se ejecutaron los siguientes pasos:

## **4.2 ASIGNACIÓN DE CARGAS**

Se establece un pre dimensionamiento de losa entre piso placa aligerada siguiendo los lineamientos según NSR-10 en el título C (Ver anexo 3).

Para la evaluación de cargas de servicio que se le aplica a la estructura cuyo uso es residencial “importancia I” se requiere conocer las cargas muertas y vivas de los elementos no estructurales en planta y altura, para el cálculo de las cargas muertas se basa según las especificaciones de la NSR-10 capítulo B3. Para el análisis de la carga viva se basa según las especificaciones de la NSR-10 capítulo B4 (Ver ANEXO C).

## **4.3 ESPECIFICACIONES EN EL MODELO**

- Se adoptaron los parámetros suministrados por el estudio del suelo para la determinación del espectro de diseño.
- No se tiene en cuenta el diseño de la cimentación ya que este estudio se basa en el diseño sobre una cimentación superficial de la edificación en los tres diferentes tipos de suelos.
- Es una estructura simétrica en planta y en altura. (Ver ANEXO C)

- Se utilizó el software de análisis y diseño ETABS ultimate 17.0.1 como apoyo en el análisis sísmico y diseño de los elementos estructurales.

#### 4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para el dimensionamiento de los elementos estructurales se realizó un riguroso control de desplazamientos horizontales de cada entrepiso (derivadas) procedimiento exigido por el reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Este procedimiento se realizó para obtener los valores requeridos para el diseño de los aisladores.

Los desplazamientos horizontales máximos que se obtienen en el diseño no exceden los límites establecidos en la tabla A.6.4-1 en la NSR-10<sup>11</sup> (Ver anexo 4).

Las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales iniciales sin aislamiento, ver tabla 5:

**Tabla 4. Secciones de los elementos estructurales en base fija**

Tipo de suelo	Viga (bxh) m	Columna (bxh) m
Suelo rígido	0.35x0.40	0.50x0.50
Suelo medio	0.40x0.40	0.60 x0. 60
Suelo suelto	0.45x0.45	0.65x0.65

---

<sup>11</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Óp. Cit.

## 5. SISTEMA DE AISLACIÓN SÍSMICA

Este sistema consiste en desacoplar una estructura del suelo, colocando un mecanismo entre la cimentación de la estructura y el suelo. Este dispositivo es muy flexible en la dirección horizontal, pero sumamente rígido en la dirección vertical.

La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el periodo de la estructura aislada sea, aproximadamente, tres veces mayor al periodo de la estructura sin sistema de aislación.<sup>12</sup>

- **Efectos del aislamiento de base en un edificio:**

- Reducir la cantidad de excitación que alcanza al edificio (cortante en la base).
- Añadir un nuevo modo de vibración de baja frecuencia y alto amortiguamiento que casi no conlleva deformaciones estructurales.
- AISLANDO SÍSMICAMENTE una estructura se busca obtener dos aspectos principales, el primero el alargamiento del periodo fundamental de la estructura y el segundo aumentar el amortiguamiento del sistema<sup>13</sup>.
- Además, el aislamiento sísmico se refiere a incorporar mecanismos de soporte que desacoplan la estructura de sus fundaciones, haciendo que la interacción suelo-estructura deje de existir de una forma directa, beneficiando su comportamiento ante eventos sísmicos<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> CHOPRA, A. K Earthquake Dynamics of Base-Isolated Buildings in Dinamica de estructuras, Cuarta edi. México: Pearson Educación, 2014, pp. 809–834

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> Ibid.

## 5.1 PARÁMETROS DE ANÁLISIS PARA LA ESTRUCTURA AISLADA EN LA BASE

El reglamento Colombiano de construcciones sismo resistentes NSR-10 establece las bases para un buen análisis y diseño sísmico, las cuales se pueden aplicar a diferentes tipos de edificios, sin embargo no se establecen ni se especifican criterios que puedan utilizarse para analizar y diseñar las estructuras aisladas de su base, sin embargo tiene como requisito que se cumplan los requisitos de dos normas vigentes.

### A.3.8- ESTRUCTURAS AISLADAS SÍSMICAMENTE EN SU BASE

A.3.8.1- Se permite el empleo de estructuras aisladas sísmicamente en su base, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de unos de los dos documentos siguientes:

- a) “NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings- Provisions and Commentary”, 2003 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 450, Building Seismic Safety Council, National Institute of Buildings Sciences, Washington, D.C., USA, 2004.
- b) “Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-05, Structural Engineering Institute Of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2006. [1]

Para el análisis de los modelos empleados en este estudio se emplearon las mismas metodologías empleadas para el análisis de base fija, siguiendo con las provisiones del “Minimum Design Loads for Building and Other Structures”. (ASCE/SEI 7-05).<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ASCE/SEI 7-05. Minimum design loads for buildings and other structures. 2006

Se eligió el aislador de alto amortiguamiento (HDRB- Aislador Elastomérico de alta amortiguación), porque estos tienen la ventaja de que son flexibles ya que tienen apoyos elastoméricos conformados por láminas de acero y neopreno vulcanizada, los cuales le otorgan más flexibilidad ante desplazamientos horizontales y amortiguación de energía.

## 5.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOS AISLADORES HDRB

En esta sección se presenta el proceso de diseño de los aisladores. Existen datos que son comunes para diferentes sistemas de aislación, los cuales serán los que de alguna manera determinarán el cómo iniciar el diseño, los datos en común son:

- El número de aisladores que se utilizaran en el sistema de aislación
- Peso de la estructura sobre el sistema de aislación:  $W$ , este corresponde al peso propio del edificio más un 30% de la sobrecarga de uso.
- Periodo objetivo deseado:  $T_D$ , de acuerdo a la experiencia que existe se decide por  $T_D = 2,5$  segundos.
- Carga mínima ( $P_{min}$ ) bajo la cual estará actuando el aislador durante su vida útil.

Siguiendo la metodología planteada al inicio de la investigación para el diseño del aislador se siguieron las recomendaciones por la norma ASCE/ SEI 7-16 en el capítulo 17.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ASCE/SEI 7-17: Minimum design loads for buildings and other structures. 2017

Se presenta el procedimiento paso a paso para el diseño del aislador de alto amortiguamiento (HDRB), en base al desarrollo presentado por Manrique y Meza<sup>17</sup> y también por Arriagada<sup>18</sup>.

Antes de iniciar con el diseño se deben revisar ciertos parámetros, mostrados a continuación:

- Determinar los límites de deformación de corte directa máxima  $\gamma_s$  y de la deformación de corte máxima admisible  $\gamma_{max}$ .
  - Calcular el desplazamiento de diseño DD de acuerdo a la ecuación 17.5-1 del ASCE 7-05.
  - Calcular el desplazamiento máximo  $D_{máx}$  según la ecuación 17.5-3 del ASCE 7-05.
  - Establecer la tensión admisible de compresión  $\sigma_{AC}$ .
- **Paso a paso para el diseño de los aisladores de alto amortiguamiento (HDRB):**

**Paso 1:** Determinar la rigidez horizontal del sistema de aislación y luego de cada aislador a partir de las ecuaciones. Ver ecuaciones 1 y 2.

$$K_{HTotal} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (1)$$

$$K_H = \frac{K_{HTotal}}{N} \quad (2)$$

---

<sup>17</sup> MANRIQUE HORTA, D. F. and MEZA ROSAS, J. A. "Evaluación Técnica Y De Costos Del Uso De Sistemas De Control Pasivo De Respuesta Sísmica En Centros Médicos: Caso De Estudio Aplicado a Una Estructura Regular De Siete Pisos De Altura Ubicada En Zona De Amenaza Sísmica Intermedia.," 2016

<sup>18</sup> ARRIAGADA ROSAS, J. A. "Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)." 2005

Donde:

$W$  = Peso sísmico

$T_D$  = Periodo objetivo

$g$  = Gravedad

**Paso 2:** Determinar el área del aislador a partir de la tensión admisible a compresión. A partir de dicha área se establece el diámetro del aislador.

$$A = \frac{P_{Max}}{\sigma_{AC}} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma_{AC}$  = Tensión admisible de compresión

$P_{Max}$  = Carga máxima

**Paso 3:** Calcular  $H_r$  a partir de la deformación lateral por corte y el desplazamiento de diseño.

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_s} \quad (4)$$

Donde:

$D_D$  = Desplazamiento de diseño

$\gamma_s$  = Deformación de cortante máxima

$H_r$  = Altura total de la goma

**Paso 4:** Calcular el valor del módulo de corte ( $G$ ) de la goma.

$$G = \frac{K_H H_r}{A} \quad (5)$$

Donde:

G = Modulo de corte de la goma

**Paso 5:** Estimar el espesor de la capa de goma,  $t_r$ . Este valor es importante debido a que a partir de este se controla la fuerza horizontal del aislador e influye en la rigidez vertical del dispositivo. Se recomienda iniciar con 6 mm.

**Paso 6:** Calcular el valor del factor de forma S. Este es un parámetro adimensional que mide el tamaño relativo de una lámina de goma. Se recomienda que esta relación sea mayor a 10 para asegurar una rigidez vertical adecuada.

$$S = \frac{D_e - D_i}{4t_r} \quad (6)$$

Donde:

$D_e$  = Diámetro exterior del aislador

$D_i$  = Diámetro interno del aislador

**Paso 7:** Determinar el número de capas de goma de acuerdo a la relación de espesor total de la goma y el espesor de la capa de goma.

$$n = \frac{H_r}{t_r} \quad (7)$$

Donde:

N= Numero de capas de goma

$H_r$  = Altura total de la goma

$t_r$  = Espesor de la capa de goma

**Paso 8:** Asumir un espesor para las placas de acero  $t_s$ , se recomienda un espesor de 3 mm.

Posteriormente verificar que la tensión no sobre pase el valor admisible para que el valor propuesto sea válido.

$$\sigma_s = 1.5 \frac{t_r}{t_s} \quad (8)$$

$$\sigma_{adm} = 0.75\sigma_y$$

Donde:

$\sigma_s$  = Tensión máxima de tracción en las placas

$t_r$  = Espesor de la capa de goma

$t_s$  = Espesor de las placas de acero

$\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia en las láminas de acero

**Paso 9:** Calcular la altura total del aislador la cual corresponde a la suma de las capas de goma, placas de acero y las placas superior e inferior sobre las cuales se instalará el aislador.

$$h = H_r + (n - 1)t_s \quad (9)$$

$$H = h + 2t_{ext} \quad (10)$$

Donde:

$n$  = Número de capas de goma

$H_r$  = Altura total de la goma

$H$  = Altura total del aislador

$t_s$  = Espesor de las placas de acero

$t_{ext}$  = Espesor de las placas de acero superior y inferior

**Paso 10:** Calcular la rigidez y frecuencia vertical.

$$K_v = \frac{E_c A}{H_r} \quad (11)$$

Donde:

Donde A es el área de las placas de acero y  $E_c$  es el módulo de compresión para el conjunto acero-goma. Se presenta el recomendado por la norma NCh 2745.

$$\frac{1}{E_c} = \left( \frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K} \right) \quad (12)$$

K corresponde al módulo de compresibilidad de la goma y su valor es de 20000 kg/cm<sup>2</sup>.

Con el objeto de disminuir las deformaciones verticales y amplificaciones de las aceleraciones se debe garantizar una frecuencia vertical mayor a 10Hz. Dicha frecuencia viene dada por la siguiente ecuación.

$$f_v = \sqrt{6 * S * f_h} \quad (13)$$

Donde:

**Paso 11:** Se calcula nuevamente el periodo de diseño objetivo a partir de la ecuación 17.5-2 del ASCE 7-05.

**Paso 12:** Calcular la deformación angular máxima, la cual está dada por la suma de las deformaciones angulares asociadas a corte, compresión y flexión del aislador,

sin embargo, esta última puede despreciarse debido a su poca influencia en el sistema.

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \leftrightarrow \gamma_s + \gamma_c \quad (14)$$

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} \quad (15)$$

$$\gamma_c = 6SE_c \quad (16)$$

$$E_c = \frac{\frac{P_{m\acute{a}x}}{A}}{E_0(1 + 2kS^2)} \quad (17)$$

Donde  $E_0$  es un valor suministrado por el fabricante del dispositivo y el valor de  $k$  se encuentra entre 0.7 y 1. Adicionalmente, la deformación máxima aceptable está dada por:

$$\gamma_{m\acute{a}x}^{aceptable} = \frac{0.85E_b}{F.S.} \quad (18)$$

Donde:

Donde  $\epsilon_b$  se considera generalmente 5.5 y el factor de seguridad mayor a 1.5. Finalmente se debe verificar que  $\gamma_{max} < \gamma_{max}^{aceptable}$ . En caso de no cumplir con esta consideración es necesario regresar al paso 3.

**Paso 13:** Verificar que no se produzca pandeo por flexión bajo la combinación de corte y compresión. Para esto, se calcula el valor de la carga crítica para la cual ocurre el fenómeno de pandeo y luego se verifica un factor de seguridad mayor a 2 ante la carga vertical máxima.

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \quad (19)$$

Donde  $P_s$  es la rigidez a corte efectiva y  $A_s$  es el área de corte efectiva.

$$P_s = (GA)_{eff} = GA_s \quad (20)$$

$$A_s = A \frac{h}{Hr} \quad (21)$$

Donde:

La carga de alabeo para una columna sin deformación al corte está dada por:

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2} \quad (22)$$

Donde  $(EI)_{eff}$  es la rigidez a la inclinación y está dada por:

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I \quad (23)$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right] \quad (24)$$

Donde:

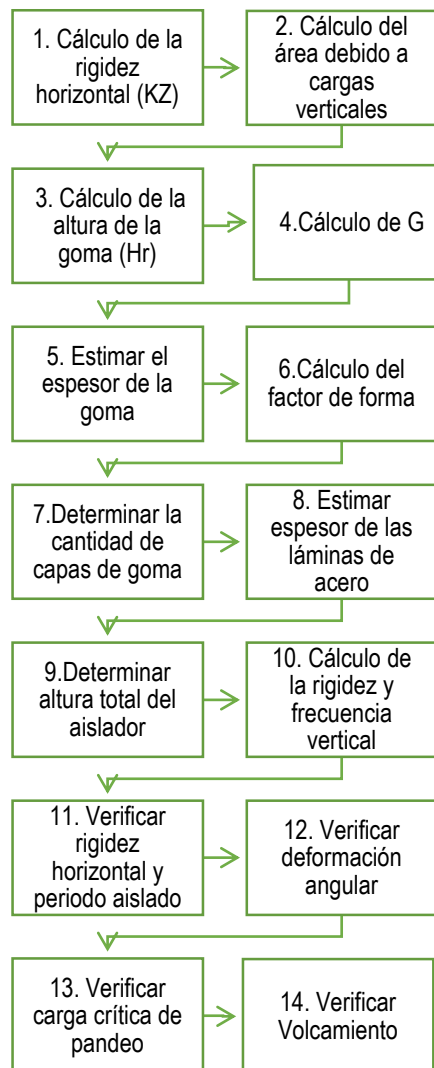
En este paso se debe verificar el factor de seguridad ante el pandeo del aislador.

En caso de contar con el factor de seguridad requerido es necesario regresar a los pasos 2 o 3.

$$\frac{P_{crit}}{P_{m\acute{a}x}} \geq F.S = 2$$

No se hace chequeo por volcamiento debido a que los aisladores HDRB se fijan por ambas caras (superior e inferior) por medio de pernos.

**Figura 4. Diagrama de flujo para el diseño de aislador tipo HDRB.**



Fuente: ARRIAGADA ROSAS, J. A. "Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)." 2005

### 5.3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN EN ETABS

Para poder ingresar al programa a diseñar este tipo de aislamiento de base, se requieren primero unos datos de entrada con los cuales se hará la simulación de que la estructura estará apoyada sobre este tipo de mecanismos descritos en los ítems del 5.2 del presente artículo.

En el programa ETABS V17.0.1<sup>19</sup> con el modelo de la estructura a realizar, se da click en la pestaña Define > Section Properties > Link/Support Properties y se crea una nueva propiedad de enlace. Se selecciona la lista desplegable de Link Type > Rubber Isolator, la cual simulará la existencia del aislador diseñado en el modelo estructural.

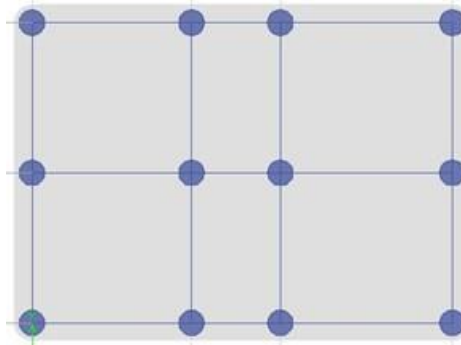
Seguidamente se habilita las opciones para las direcciones U1, U2, U3. Para poder ingresar los parámetros bilineales como la rigidez vertical en la dirección U1, la rigidez horizontal, rigidez inicial, fuerza de fluencia y la rigidez post-fluencia/rigidez inicial, en la dirección U2 y U3.

Una vez definido el aislador HDR se crea un material tipo caucho con propiedades cero. Seguido se crea una sección circular que simulara la configuración geométrica de los aisladores en la base. El plano de aislamiento que recibe la conexión del aislador debe de ser una losa de tipo elemento infinito “Shell-Thin” para que distribuya el peso de la superestructura aislada a los aisladores de base (Ver anexo 5)

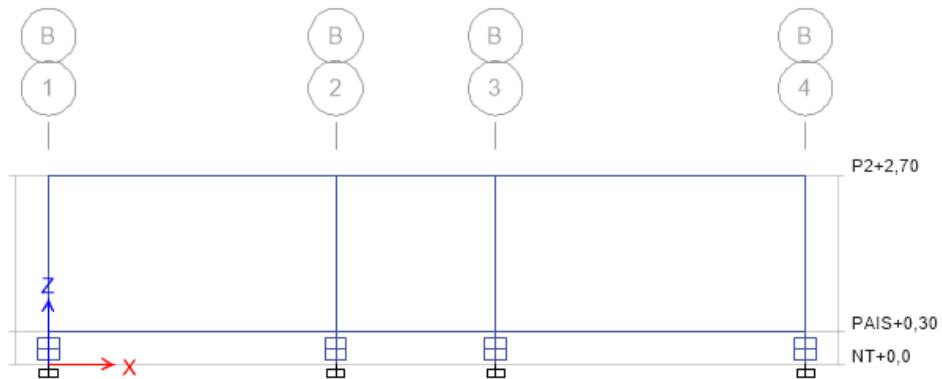
---

<sup>19</sup> COMPUTER & STRUCTURE INC., ETABS 17.0.1 [Software]. Licencia adquirida por el grupo de investigación INME de la escuela de ingeniería civil de la UIS.2018

**Figura 5. Placa aislada apoyada sobre los aisladores de alto amortiguamiento (HDRB), vista en planta en el eje (x, y)**



**Figura 6. Modelamiento de la estructura sobre los aisladores de alto amortiguamiento (HDRB), vista en planta en el eje (x, z). Nivel +0.00 hasta nivel +2.70 de 18.00, unidades en metros.**



## 6. ANÁLISIS PUSHOVER

Los métodos de análisis no lineales se clasifican en dos grupos: análisis dinámicos no lineales y análisis estáticos no lineales<sup>20</sup>.

Para el análisis dinámico, se utiliza el Análisis Dinámico Cronológico No Lineal, el cual permite conocer la variación de cualquier respuesta de la edificación (desplazamiento de piso, derivas, fuerza cortante, etc.) en el tiempo. Para los análisis estáticos, estos se realizan mediante las aplicaciones del Análisis Estático No Lineal (AENL) también llamado Pushover. Dentro de las limitaciones del Pushover se encuentra que este análisis solo tiene en cuenta el aporte del primer modo de vibración, el cual representa un sentido en la dirección de la fuerza sísmica. Asimismo, un aspecto importante de la aplicación de esta metodología es la construcción de la curva de capacidad de la edificación<sup>21</sup>.

Consiste en llevar al colapso la estructura ya diseñada, de la cual se conoce su armado; esto se logra mediante la aplicación de un patrón de cargas laterales incrementales y bajo cargas gravitacionales constantes, que se aplican en la misma dirección hasta que la estructura colapse o hasta cierto valor de carga. Con este análisis es posible evaluar el desempeño esperado de la estructura por medio de la estimación de fuerzas y demanda de deformaciones en el diseño sísmico.<sup>22</sup>

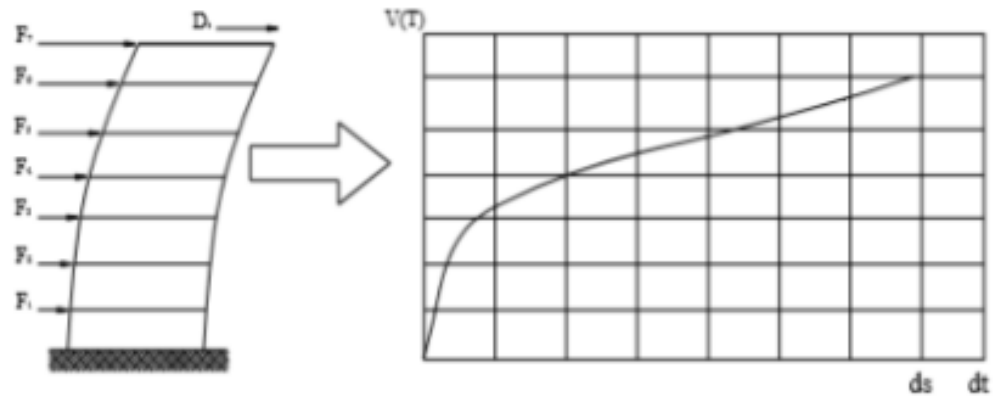
---

<sup>20</sup> BONDARENKO, Slawko. Seminario Análisis Estático No Lineal Pushover y Desempeño Estructural. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2018. Tomado de: <https://www.udocz.com>

<sup>21</sup> Ibid.

<sup>22</sup> Ibid..

**Figura 7. Cargas laterales incrementales**



Fuente: BONDARENKO, Slawko. Seminario Análisis Estático No Lineal Pushover y Desempeño Estructural. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2018. 2018. Tomado de: <https://www.udocz.com>

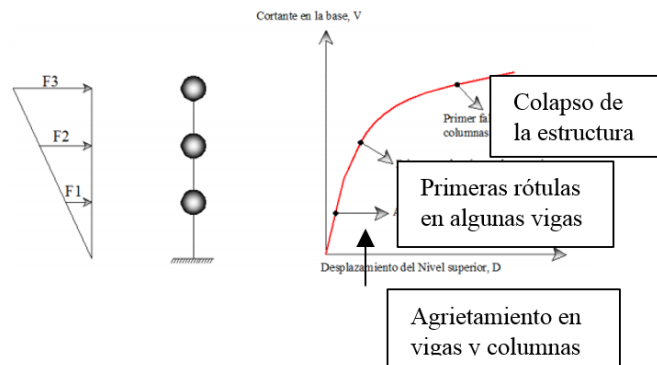
- **Curva de capacidad:**

La relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior de la estructura se representan en la curva de capacidad para cada incremento. Esta curva generalmente se construye para representar la respuesta del primer modo de vibración de la estructura basado en la suposición que el modo fundamental de vibración es el que predomina en la respuesta estructural. Esta suposición generalmente es válida para estructuras con un periodo fundamental de vibración alrededor de un segundo. Para edificios más flexibles con un periodo fundamental de vibración mayor de un segundo, el análisis debe considerar los efectos de los modos más altos de vibración<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Ibid.

**Figura 8. Puntos destacados en la curva de capacidad Cortante en la base Vs vs Desplazamiento.**



Fuente: Luis Xavier alemán García, Luis Fernando naranjo quimbiulco. Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigón armado mediante los códigos FEMA, utilizando ETABS. [Pregrado tesis]. Escuela politécnica del ejército carrera de ingeniería civil, Sangolquí Ecuador, 2011

En el capítulo 2 de la ASCE/SEI 41-13<sup>24</sup> indica niveles y rangos de rendimiento estructural. Los niveles clasifican los daños como IO (ocupación inmediata), LS (seguridad de la vida) y CP (colapso preventivo).

Ocupación inmediata IO: Es definido como el estado de daño en el cual una estructura sigue siendo seguro para ocupar después de un terremoto y esencialmente conserva su fuerza y rigidez.<sup>25</sup>

Seguridad de la vida LS: Se define como el estado de daño en el cual la estructura sufre daño, pero conserva un margen de seguridad contra el inicio de colapso parcial o total, garantizando la seguridad de sus ocupantes.<sup>26</sup>

Colapso preventivo CP: Ocurre un daño sustancial que incluye la degradación de la rigidez y la resistencia, adicional a una deformación permanente de la estructura.

<sup>24</sup> EVALUATION AN E. BUILDING, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building, 2017

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> Ibid.

Existe un riesgo alto de atentar contra la vida de las personas. La estructura no es práctica para reparar pues no es seguro ocuparla.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Ibid.

## 7. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del diseño de los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB) propuesto en el ítem 5.2.

### 7.1 CARACTERÍSTICAS FINALES DE LOS AISLADORES HDR

Siguiendo los pasos del ítem 5.2 en las siguientes tablas de la 6 a la 8 se muestran los datos utilizados para el diseño de cada aislador según el tipo de suelo.

**Tabla 5. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo Rígido (Tipo B)**

Características finales del aislador HDR	
Diámetro exterior (m)	0.600
Diámetro interno (m)	0.100
Altura total del aislador (m)	0.204
Área del aislador (m <sup>2</sup> )	0.256
# capas de goma	15
Espesor capa goma (m)	0.001
Espesor placa de acero (m)	0.003
# capas de acero (lamina)	16.8
Módulo de corte (ton/m <sup>2</sup> )	0.400
Modelación Bilineal	
Rigidez vertical (ton/m)	52929.748
Rigidez efectiva lineal (horizontal) (ton/m)	71.268
Fuerza de fluencia (ton)	3.878
Amortiguamiento efectivo (ton*seg)/m	6.462
Desplazamiento máximo (m)	0.220

**Tabla 6. Propiedades de los aisladores HDRB, apoyados sobre el suelo medio (Tipo D)**

<b>Características finales del aislador HDR</b>	
Diámetro exterior (m)	0.700
Diámetro interno (m)	0.100
Altura total del aislador (m)	0.314
Área del aislador (m <sup>2</sup> )	0.358
# capas de goma	35.000
Espesor capa goma (m)	0.006
Espesor placa de acero (m)	0.003
# capas de acero (lamina)	33.467
Módulo de corte (ton/m <sup>2</sup> )	0.428
<b>Modelación Bilineal</b>	
Rigidez vertical (ton/m)	138263.260
Rigidez efectiva lineal (horizontal) (ton/m)	76.658
Fuerza de fluencia (ton)	5.819
Amortiguamiento efectivo (ton*m)	6.462
Desplazamiento máximo (m)	0.330

**Tabla 7. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo suelto (Tipo E)**

<b>Características finales del aislador HDR</b>	
Diámetro exterior (m)	0.720
Diámetro interno (m)	0.100
Altura total del aislador (m)	0.526
Área del aislador (m <sup>2</sup> )	0.395
# capas de goma	43.000
Espesor capa goma (m)	0.007
Espesor placa de acero (m)	0.005
# capas de acero (lamina)	44.242
Módulo de corte (ton/m <sup>2</sup> )	0.616

<b>Modelación Bilineal</b>	
Rigidez vertical (ton/m)	107507.976
Rigidez efectiva lineal (horizontal) (ton/m)	80.004
Fuerza de fluencia (ton)	8.221
Amortiguamiento efectivo (ton*m)	6.462
Desplazamiento máximo (m)	0.456

Seguidamente se exponen los resultados de las estructuras aisladas, en la siguiente tabla se muestran las secciones que se eligieron para la estructura aislada, según el tipo de suelo.

**Tabla 8. Propiedades del aislador HDRB, apoyado sobre el suelo Rígido (Tipo E)**

Tipo de suelo	Desplazamiento de diseño (m)	Viga (bxh) m	Columna (bxh) m
Suelo rígido	0.22	0.35x0.40	0.40x0.40
Suelo medio	0.33	0.40x0.45	0.45x0.45

Debido a que el suelo suelto (tipo E) presenta un desplazamiento 2,41 metros y el límite del desplazamiento máximo es [ $D_m = 0.46$  m] de acuerdo a la ecuación 17.5-3 del ASCE 7-05. No se realizó el chequeo desplazamiento para hallar las secciones de los elementos estructurales. (Ver tabla 8)

Con el fin de verificar el incremento de los periodos fundamentales para cada estructura aislada según la metodología del diseño de los aisladores utilizada en la presente investigación se presenta esta tabla (Ver tabla 6).

Estos periodos fueron tomados al realizar el análisis estático no lineal pushover, según la ASCE 41-13 NSP.

**Tabla 9. Comparación de los periodos fundamentales de las estructuras sin aisladores y con aisladores.**

Suelo	T sin aisladores (sg)	T con aisladores (sg)	Diferencia
Rigido	0.779	2.168	64%
Medio	0.62	2.068	70%

Se realiza la siguiente tabla para mostrar la reducción de la fuerza cortante sísmica, al comparar la estructura con base fija en suelo rígido versus la estructura aislada en la base en suelo rígido, así mismo con el suelo medio y la reducción en porcentaje se evidencia en la tabla:

**Tabla 10. Resultados Fuerzas cortantes sísmicas**

FUERZAS CORTANTES SISMICAS			
		DIRECCIÓN	
ESTRUCTURA	SUELO	X	Y
BASE FIJA	RIGIDO	3425.6289	2890.1574
BASE FIJA	MEDIO	7385.5137	7357.3182
AISLADA	RIGIDO	1374.5088	1339.9828
AISLADA	MEDIO	2910.5975	2878.8097

**Tabla 11. Reducción en porcentaje según el tipo de base de la estructura y el tipo de suelo.**

Suelo	X	Y
Rígido	59.88%	53.64%
Medio	60.59%	60.87%

## 7.2 RESULTADOS PUSHOVER

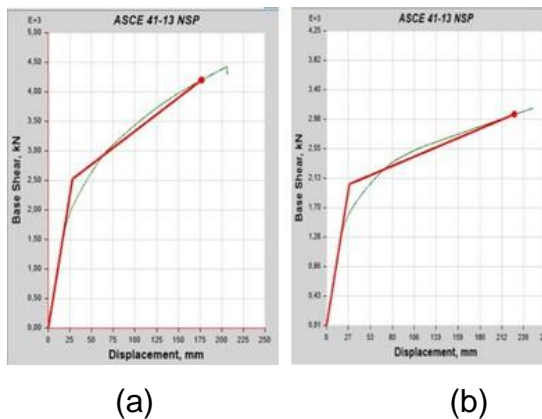
El software ETABS permitió la visualización de la curva ASCE 41-13NSP. Esta curva utiliza el método de coeficientes para hallar el punto de desempeño el cual es el desplazamiento máximo posible que sufrirá la estructura durante el sismo de diseño.

Las cargas horizontales definidas para este análisis corresponden a las calculadas mediante el método de la fuerza horizontal equivalente en cada estructura.

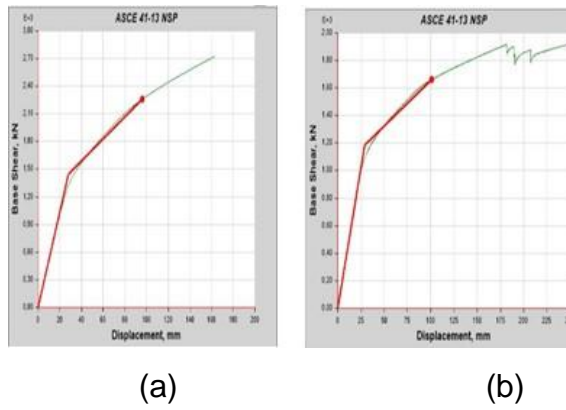
El punto de control en las estructuras fijas en su base fue un nodo en la cubierta. Y se llevó a las estructuras una deformación de 0.40 m con el objetivo de determinar la influencia que tiene el suelo en la estructura.

### 7.2.1 Estructura con base fija

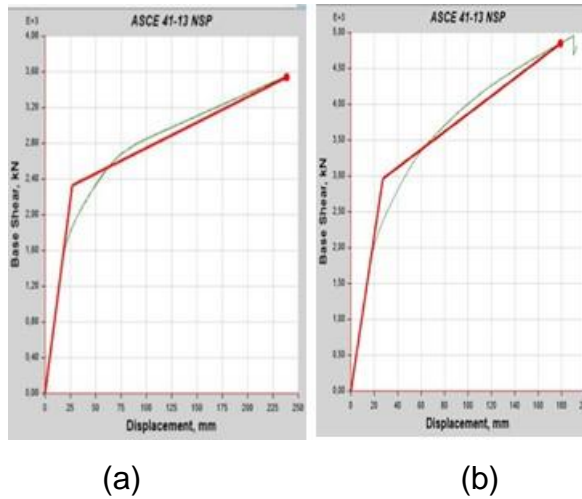
**Figura 9. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Rígido (Tipo B)**



**Figura 10. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Medio (Tipo D).**

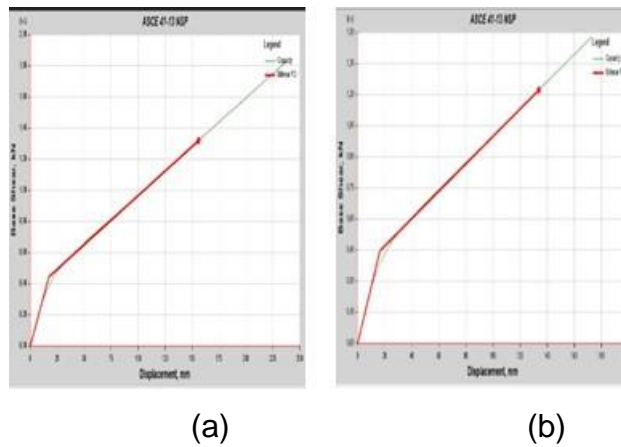


**Figura 11. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Suelto (Tipo E)**

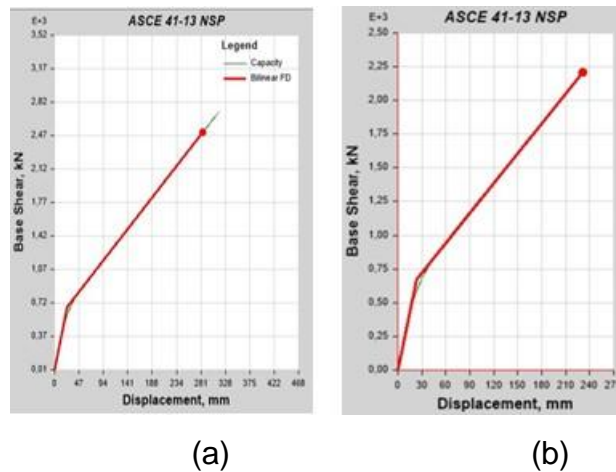


## 7.2.2 Estructura aislada en la base

**Figura 12. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Rígido (Tipo B)**

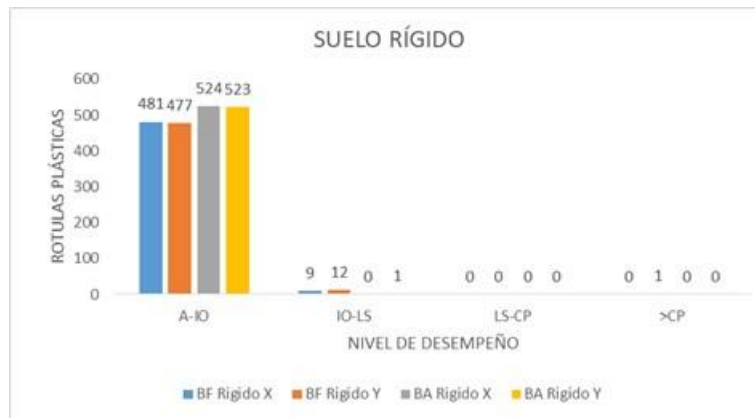


**Figura 13. Representación Bilineal de la curva de capacidad en dirección X (a) y en dirección Y (b). Suelo Medio (Tipo D)**



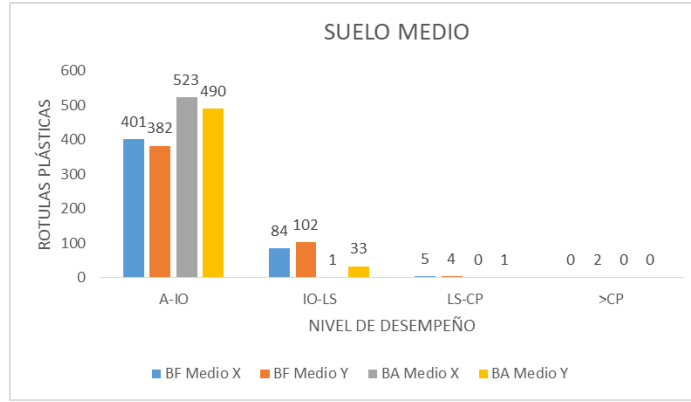
El estado de daño de las rotulas plásticas en los elementos hasta el punto de desplazamiento está dada en las siguientes figuras:

**Figura 14. Número de rotulas plásticas y nivel de daño correspondiente, estructura con base fija y estructura con base aislada en suelo rígido (Tipo B).**



Para la estructura en base fija en suelo rígido (Tipo B) se muestra que en el eje X de 490 rotulas, 481 se encuentran con un nivel de daño A-IO, 9 en IO-LS y en el eje Y de 490 rotulas, 477 se encuentran en un nivel de daño A-IO, 12 en IO-LS y 1 en CP; y para la estructura aislada en la base se muestra que en el eje X tiene 524 rotulas de las cuales todas se encuentran en el nivel de daño aceptable, y en el eje Y de 524 rotulas, 1 se encuentra en un nivel de daño IO-LS.

**Figura 15. Número de rotulas plásticas y nivel de daño correspondiente, estructura con base fija y estructura con base aislada en suelo medio (Tipo D).**



Para la estructura en base fija en suelo medio (Tipo D) se muestra que en el eje X de 490 rotulas, 401 se encuentran con un nivel de daño A-IO, 84 en IO-LS y 5 en LS-CP y en el eje Y de 490 rotulas, 382 se encuentran en un nivel de daño A-IO, 102 en IO-LS y 4 en LS-CP y 2 en CP; y para la estructura aislada en la base se muestra que en el eje X tiene 524 rotulas de las cuales 523 se encuentran en nivel de daño A-IO y 1 en IO-LS, y en el eje Y 490 se encuentra en un nivel de daño A-IO, y 33 en IO-LS y 1 se encuentra en LS-CP.

**Tabla 12-Tabla 14. Cortantes y desplazamientos en X y Y.**

ESTRUCTURA BASE FIJA						
Nivel de desempeño	Suelo Rígido (Tipo B)		Suelo Medio (Tipo D)		Suelo Suelto (Tipo E)	
	X	Y	X	Y	X	Y
<b>Desplazamiento (mm)</b>	95.91	101.079	176.363	229.29	179.177	234.397
<b>Cortante (kn)</b>	2259.4853	1661.8741	4195.8554	3044.982	4853.9568	3366.7403

ESTRUCTURA BASE AISLADA				
Nivel de desempeño	Suelo Rígido (Tipo B)		Suelo Medio (Tipo D)	
	X	Y	X	Y
Desplazamiento (mm)	156.18	133,901	284.846	231.641
Cortante (kn)	1321.5352	1223.7606	2505.0332	2206.9331

Las tablas 13 y 14 muestran el nivel de desempeño de la estructura, tanto para base fija y para base aislada.

### 7.3 CANTIDADES DE OBRA

Al realizar el análisis de diseño de los elementos estructurales, viga y columna, se determina la cantidad de acero de refuerzo y concreto requerido para la estructura con base fija y después la estructura aislada en la base.

Despieces de vigas y columnas en estructura con base fija y base aislada (VER ANEXO 6).

#### ➤ Cantidades de obra estructura con base fija

**Tabla 13. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo rígido (Tipo B).**

Elemento	Volumen	Barras
	(m <sup>3</sup> )	(kg)
Vigas	92.57	18778
Columnas	44.88	14047
<b>Total</b>	<b>137.45</b>	<b>32825</b>

**Tabla 14. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo medio (Tipo D).**

Elemento	Volumen	Barras
	(m <sup>3</sup> )	(kg)
Vigas	119.08	22072
Columnas	63.12	20628
<b>Total</b>	<b>182.2</b>	<b>42700</b>

**Tabla 15. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base fija en suelo suelto (Tipo E).**

Elemento	Volumen	Barras
	(m <sup>3</sup> )	(kg)
Vigas	133.56	24171
Columnas	73.92	21014
<b>Total</b>	<b>207.48</b>	<b>45185</b>

➤ **Cantidades de obra estructura con base aislada**

**Tabla 16. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base aislada en suelo rígido (Tipo B).**

Elemento	Volumen	Barras
	(m <sup>3</sup> )	(kg)
Vigas	92.1	19231
Columnas	28.32	15738
<b>Total</b>	<b>120.42</b>	<b>34969</b>

**Tabla 17. Cantidades de concreto y acero de elementos estructurales con base aislada en suelo medio (Tipo D).**

Elemento	Volumen	Barras
	(m <sup>3</sup> )	(kg)
Vigas	118.05	22200
Columnas	35.64	18894
<b>Total</b>	<b>153.69</b>	<b>41094</b>

En base a las anteriores tablas 20 y 21 se realiza la comparación de cantidad de acero y concreto requerido para la estructura aislada en la base, se ve la reducción de las cantidades respecto el suelo rígido versus suelo medio.

**Tabla 18. Reducción de cantidades de obra estructura aislada en la base**

	Concreto	Acero
Vigas	22%	13%
Columnas	21%	17%

En el anexo 6 se evidencia el despiece de las columnas tipo y viga tipo, para la estructura con base fija y aislada en su base. (Ver anexo 6)

## 8. CONCLUSIONES

- Se logró ejecutar con éxito el análisis estructural y el diseño del sistema de aislamiento en la base de la estructura en 3 diferentes tipos de suelo de Bucaramanga y su área metropolitana, habiendo obtenido las propiedades geométricas y bilineales de los aisladores en cada suelo estudiado.
- Para la estructura analizada en el suelo suelto “tipo E” se comprobó que los sistemas de aisladores en la base no son apropiados. Debido a que el aislador presenta desplazamiento que sobrepasa al desplazamiento de diseño calculado según la ecuación 17.5-1 del ASCE 7-05. Esto sucede ya que los suelos sueltos incrementan la demanda de aceleración en vez de reducirla.
- Con el método pushover se comprobó que el diseño de las estructuras fijas, varían su desempeño dependiendo del tipo de suelo. Estudiando los resultados de las rotulas se obtuvo que el nivel de desempeño en el suelo suelto tipo E presenta más daños en los elementos estructurales que en las demás estructuras diseñadas en suelo rígido y medio.
- La implementación de los aisladores en la base, reducen las secciones en suelo rígido tipo B, y en suelo medio tipo D y no en el suelo tipo E ya que no cumplió con la especificación de la ASCE 7-05 respecto al límite de desplazamiento del aislador y por esto no se realizó la evaluación de las derivas para determinar las nuevas secciones. Al comparar las secciones de las estructuras aisladas en los suelos tipo B y tipo D se obtuvo mayor cantidad de concreto y acero en la estructura aislada del suelo tipo D ya que las demandas de las fuerzas sísmicas son mayores en este suelo y por esto necesita más sección para soportar este fenómeno.

- Con la implementación de los aisladores en la base en los periodos fundamentales se logra obtener un incremento significativo para así disminuir la aceleración en cada tipo de suelo en el que se diseñó la estructura. En el suelo rígido se obtuvo la diferencia del periodo fundamental de la estructura aislada en la base con la estructura fija en la base en un promedio de 64% y en el suelo medio el promedio de reducción de los periodos fundamentales fue del 70%. Estas diferencias obedecen a la rigidez horizontal en el diseño de los aisladores en función del suelo.
- Se demostró que la reducción del cortante basal  $V_s$  de las estructuras aisladas con respecto a las estructuras fijas en la base disminuyó. En el suelo tipo B disminuyó un 59.58% en dirección X y en dirección Y un 53.64% y en el suelo medio tipo D se redujo un 60.59% en dirección X, y en dirección Y en 60.87%. (Ver tabla 12)

## BIBLIOGRAFÍA

American Society of Civil Engineers, ASCE/SEI 7-05. Minimum design loads for buildings and other structures. 2006

\_\_\_\_\_. ASCE/SEI 7-17: Minimum design loads for buildings and other structures. 2017

ARRIAGADA ROSAS, J. A. Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). 2005.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente - NSR-10. 2010.

BONDARENKO, Slawko. Seminario Análisis Estático No Lineal Pushover y Desempeño Estructural. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2018. Tomado de: <https://www.udocz.com>

BUENAHORA BALLESTEROS, Carlos Andrés; INGEOTECNIA. Estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos y diseños e instrumentación geotécnica para erosión y deslizamiento. Enero 2015. Acceso: Ver Anexo 7.

CHOPRA, A. K. Earthquake Dynamics of Base-Isolated Buildings. in Dinámica de estructuras, Cuarta edi. México: Pearson Educación, 2014, pp. 809–834.

COMPUTER & STRUCTURE INC., ETABS 17.0.1 [Software]. Licencia adquirida por el grupo de investigación INME de la escuela de ingeniería civil de la UIS. 2018

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB, Sistemas de gestión ambiental municipal SIGAN, Colombia Junio 2002. pp 17

Evaluation an E. Building, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building, 2017.

GONZÁLEZ ISLA, Carlos. ¿Por qué los edificios en México se desploman y en Chile no? Fecha de consulta: 22 de Octubre de 2017. Tomado de: <http://www.latercera.com>

JACKSON, James. Suelo blando de Ciudad de México amplifica temblores. Fecha de consulta: 22 de octubre 2017. Tomado de: <http://www.excelsior.com.mx>

MANRIQUE HORTA, D. F. and MEZA ROSAS, J. A. Evaluación Técnica Y De Costos Del Uso De Sistemas De Control Pasivo De Respuesta Sísmica En Centros Médicos: Caso De Estudio Aplicado a Una Estructura Regular De Siete Pisos De Altura Ubicada En Zona De Amenaza Sísmica Intermedia. 2016.

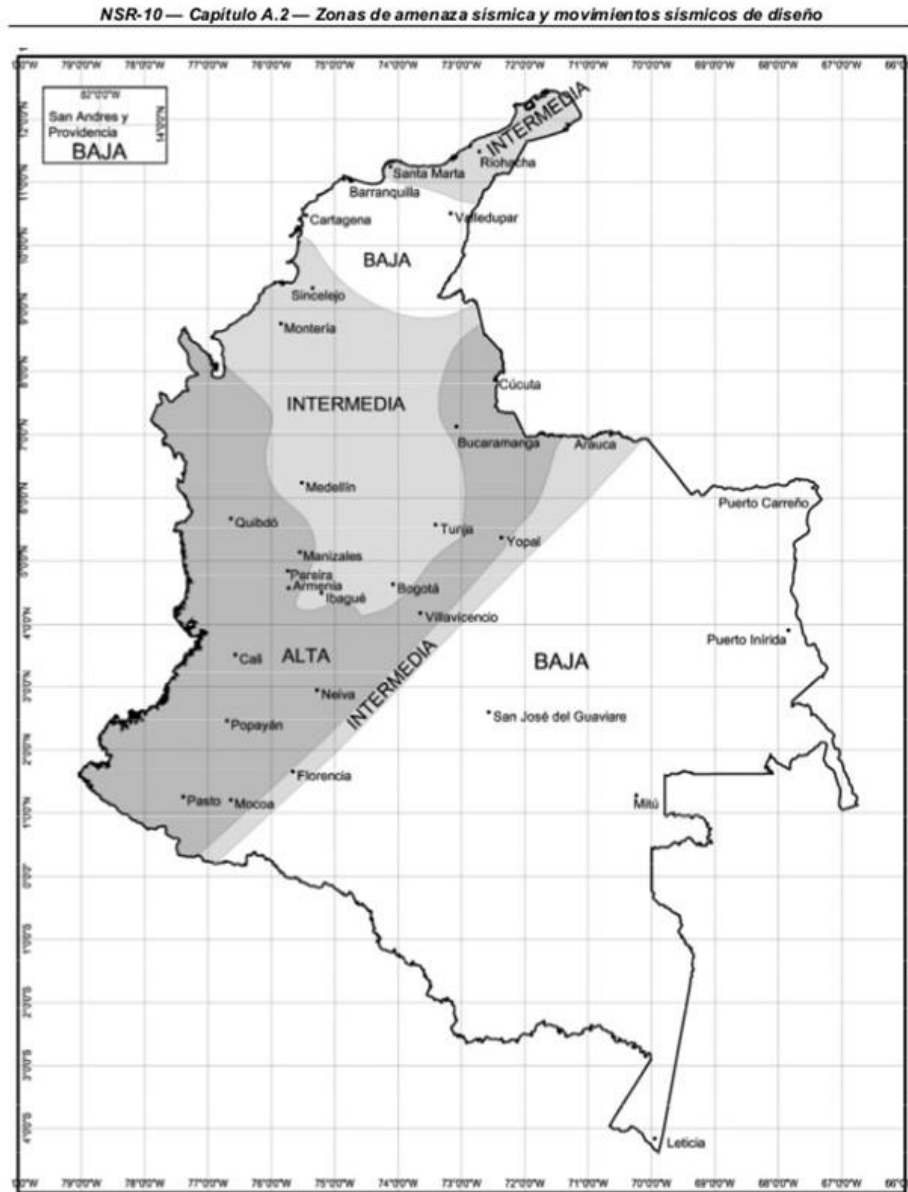
MORA ORTIZ, Mauricio; VILLALBA, Jesús Daniel. Análisis sísmico inelástico y cálculo de índices de daño en una edificación de mediana altura utilizando diferentes metodologías, Tesis de grado; Universidad Industrial de Santander, 2005.

SANDOVAL BALLARTE, Jaime. Respuesta dinámica de edificios con aisladores sísmicos en su base. 2011. pp 3

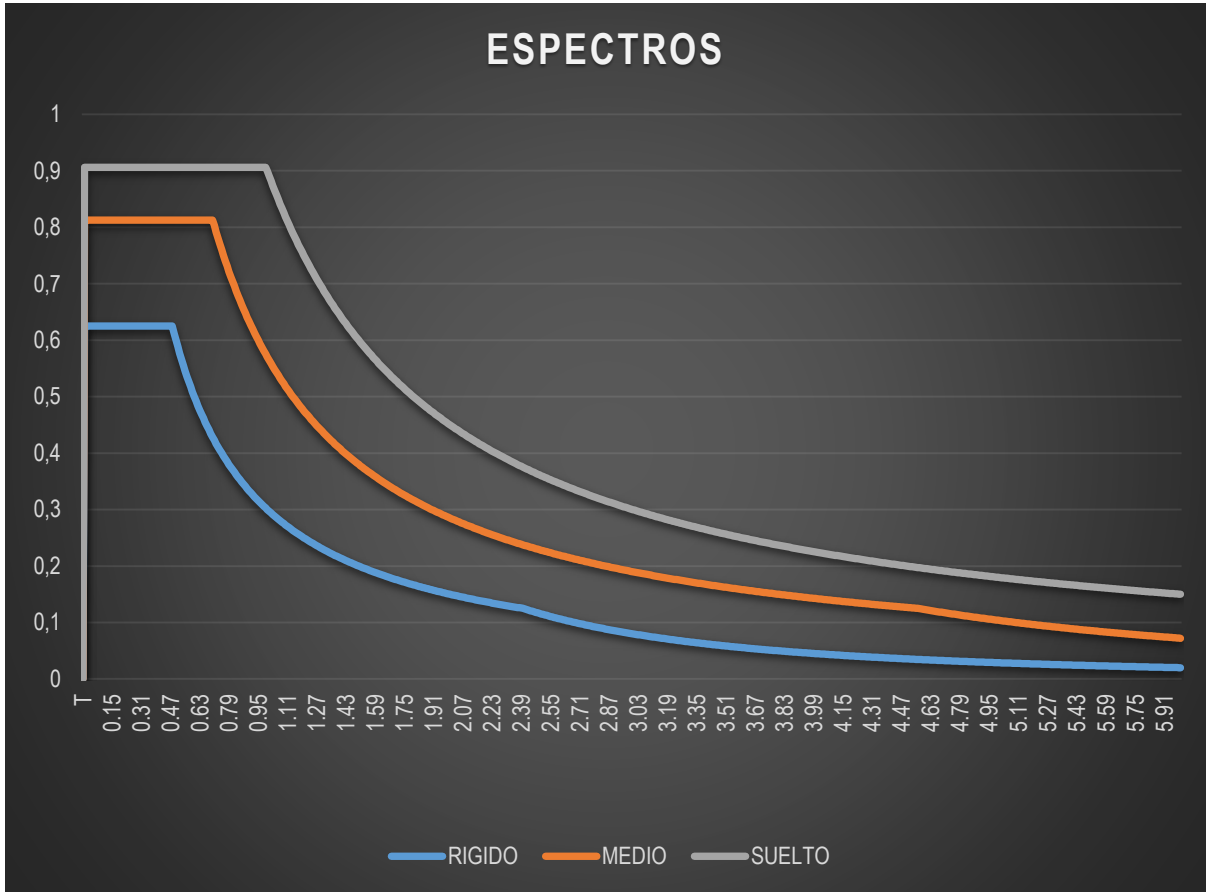
VALERIO, Jacob. Análisis Comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos. Perú. 2015. pp 13.

## ANEXOS

### ANEXO A. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR – 10 en función de $A_a$ y $A_v$



## ANEXO B. Espectros de los tres tipos de suelo



## ANEXO C. Cargas muertas y vivas y propiedades de la losa aligerada

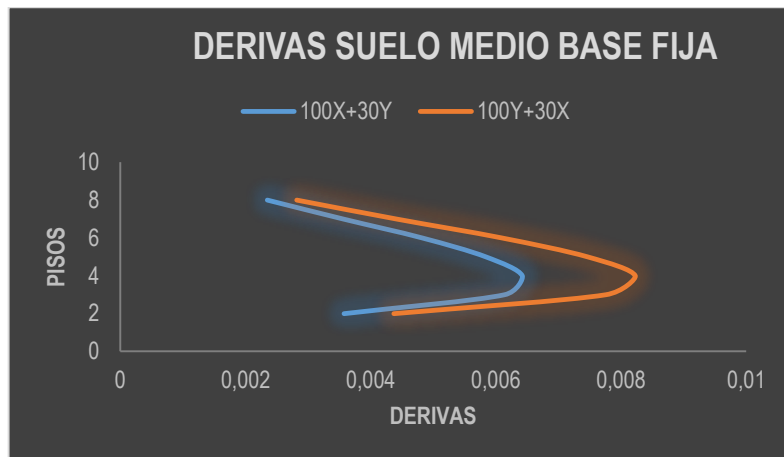
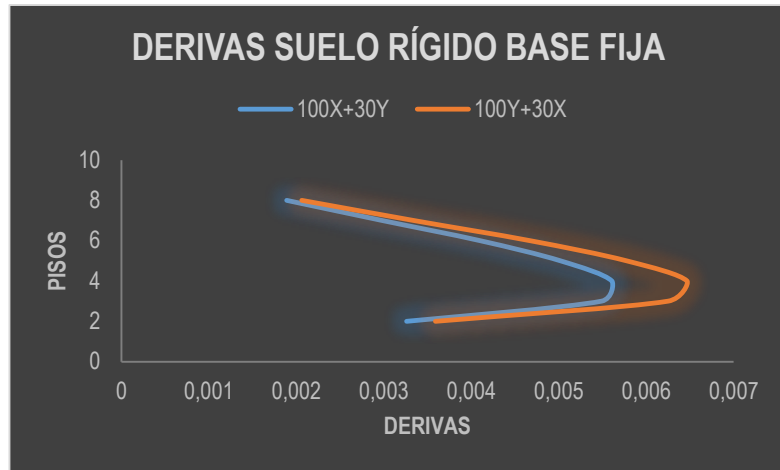
Altura de la losa	0,40 m
Espesor torta superior	0,06 m
Espesor torta inferior	0,02 m
Ancho de nervaduras	0,10 m
Separación máx. entre nervios	0,60 m
Ancho máximo del caseton	0,50 m
Altura libre de la losa	0,32 m
Densidad del concreto	24,00 kn/m <sup>3</sup>

PLANTA PISO TIPO		PLANTA PISO CUBIERTA	
Cargas muertas minimas NSR-10		Cargas muertas minimas NSR-10	
Afinado de piso	1,80 kn/m <sup>2</sup>	Afinado de piso	1,80 kn/m <sup>2</sup>
Fachada y particiones	3,00 kn/m <sup>2</sup>	Fachada y particiones	1,50 kn/m <sup>2</sup>
Acabados	1,50 kn/m <sup>2</sup>	Acabados	0,75 kn/m <sup>2</sup>
Caseton	0,03 kn/m <sup>2</sup>	Caseton	0,03 kn/m <sup>2</sup>
peso Wacabados	6,81 kn/m <sup>2</sup>	peso Wacabados	4,56 kn/m <sup>2</sup>

CARGA VIVA (Pisos, cuartos, corredores y escaleras)	4,80 kn/m <sup>2</sup>
CARGA VIVA (Pisos-balcones)	5,00 kn/m <sup>2</sup>
CARGA VIVA (Cubierta)	5,00 kn/m <sup>2</sup>

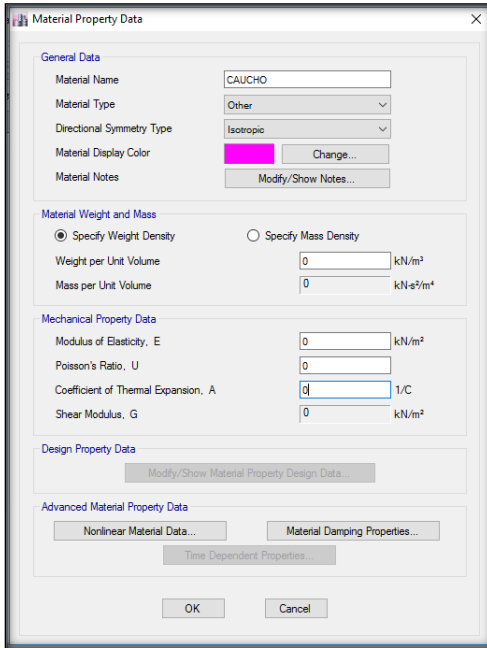
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA A.3		
Altura Total de la Estructura	h =	17,7
Capacidad de Disip. de Energia		DES
Coef. de Disip. de Energia básico	Ro =	7
Irregularidad en altura	ca =	1
Irregularidad en planta	cp =	1
Ausencia de redundancia (X)	crX =	1
Ausencia de redundancia (Y)	crY =	1
Coef. de Disipacion de Energia (X)	R =	7
Coef. de Disipacion de Energia (Y)	R =	7

## ANEXO D. Derivas (Sin aislador)

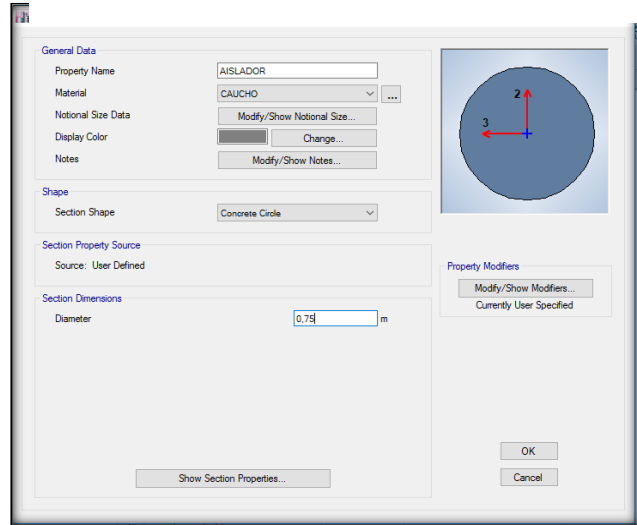


## ANEXO E. Modelamiento del sistema de aislación en ETABS

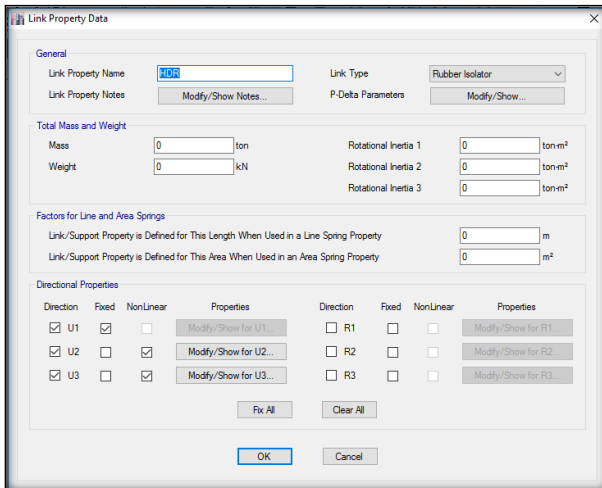
Definición de material para el simular el aislador en el software Etabs.



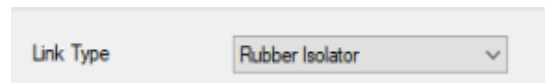
Se crea la sección geométrica del aislador, definiendo el diámetro de este.



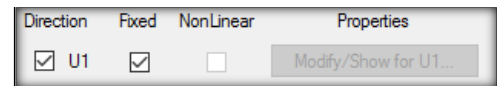
Modelamiento bilineal del aislador en el software Etabs.



En esta lista desplegable selecciono Rubber Isolator para indicar que el aislador es de alto amortiguamiento



Seleccionando estos comandos en la dirección U1 únicamente se indica que el aislador esta fijo en la cimentación, pero no en el suelo.



Se indica en U1 el valor de la rigidez vertical calculado en el ítem 5.2

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. Under the 'Identification' section, the 'Property Name' is 'HDR', 'Direction' is 'U1', 'Type' is 'Rubber Isolator', and 'NonLinear' is 'No'. In the 'Linear Properties' section, the 'Effective Stiffness' is set to 0 kN/m and 'Effective Damping' is set to 0 kN-s/m. Both input fields are highlighted with a red rectangle. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

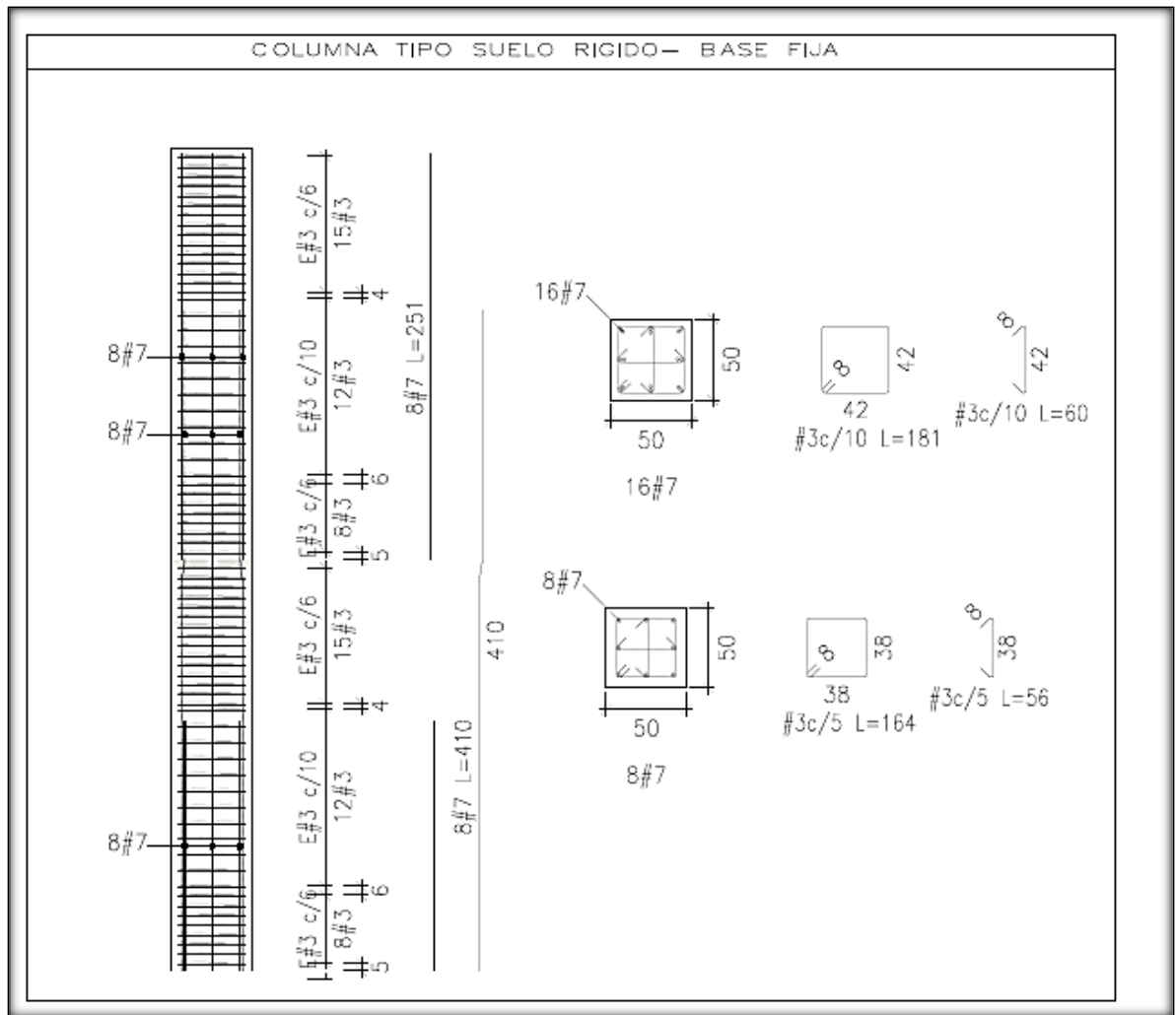
Se indica en U2 el valor de la rigidez horizontal calculado en el ítem 5.2

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. Under the 'Identification' section, the 'Property Name' is 'HDR', 'Direction' is 'U2', 'Type' is 'Rubber Isolator', and 'NonLinear' is 'No'. In the 'Linear Properties' section, the 'Effective Stiffness' is set to 0 kN/m and 'Effective Damping' is set to 0 kN-s/m. Both input fields are highlighted with a red rectangle. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

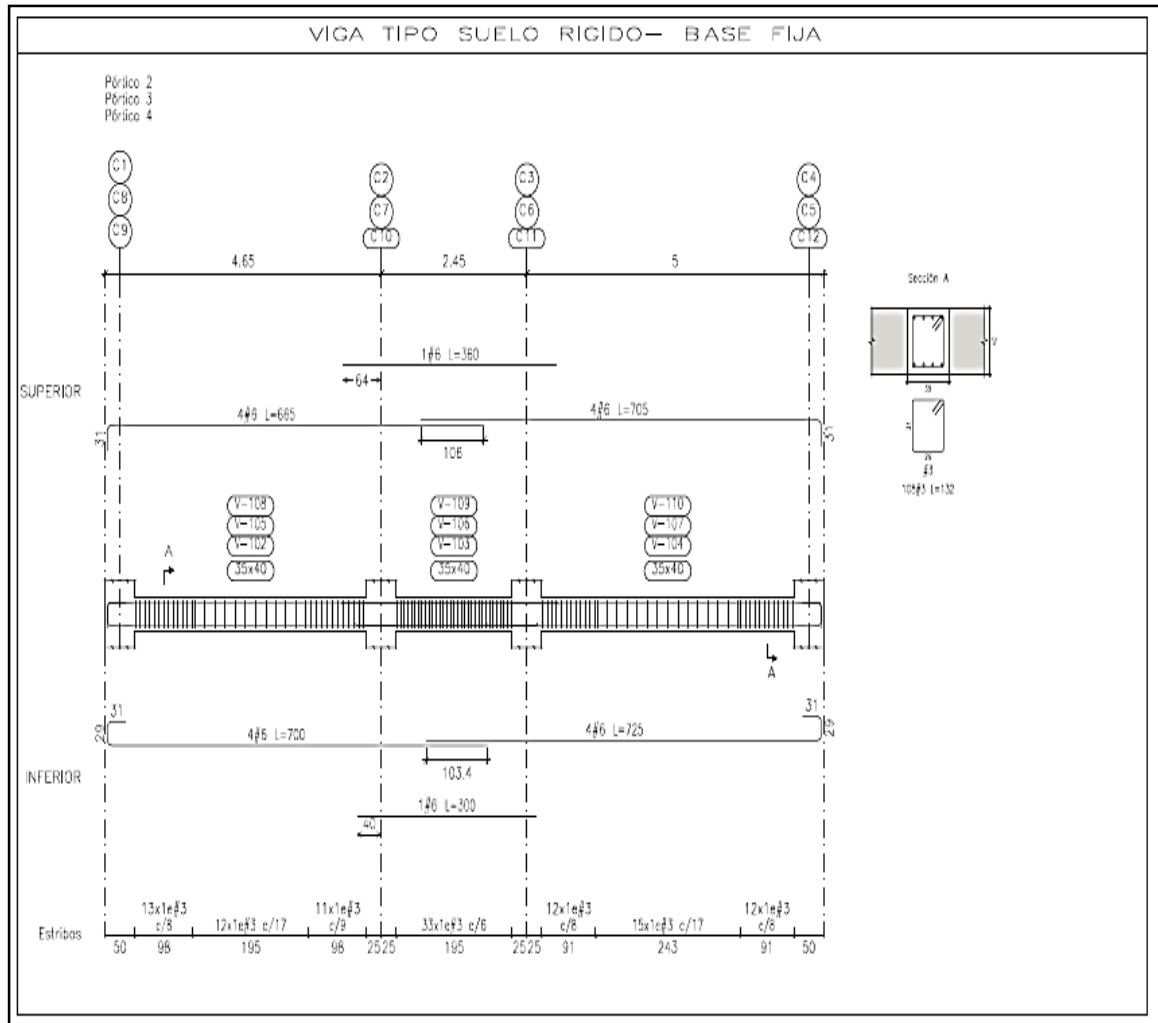
Se indica en U3 el valor de la rigidez horizontal calculado en el ítem 5.2

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. Under the 'Identification' section, the 'Property Name' is 'HDR', 'Direction' is 'U3', 'Type' is 'Rubber Isolator', and 'NonLinear' is 'No'. In the 'Linear Properties' section, the 'Effective Stiffness' is set to 0 kN/m and 'Effective Damping' is set to 0 kN-s/m. Both input fields are highlighted with a red rectangle. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

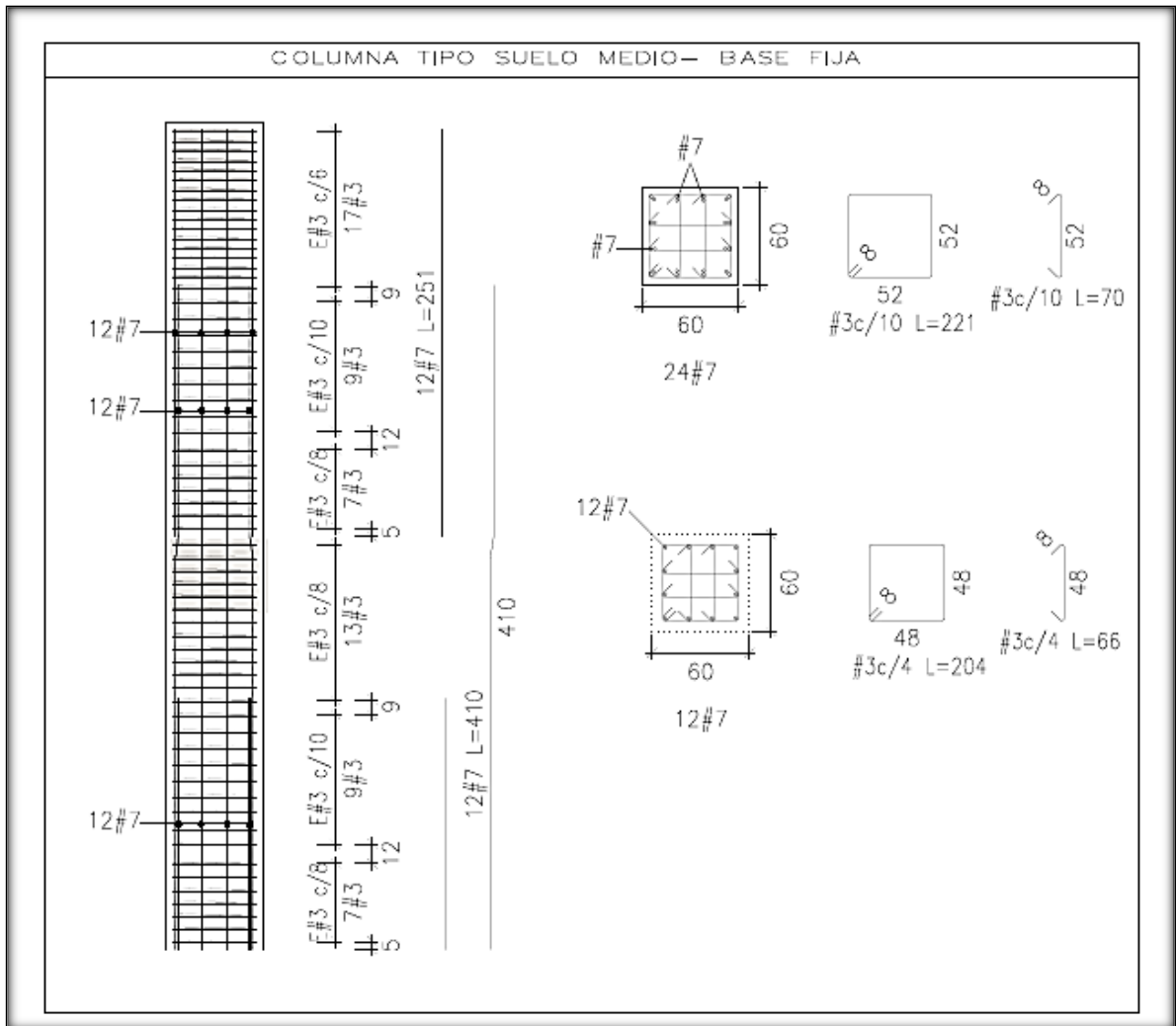
## ANEXO F. Columna tipo suelo rígido- Base fija



# Viga tipo suelo rígido- Base fija

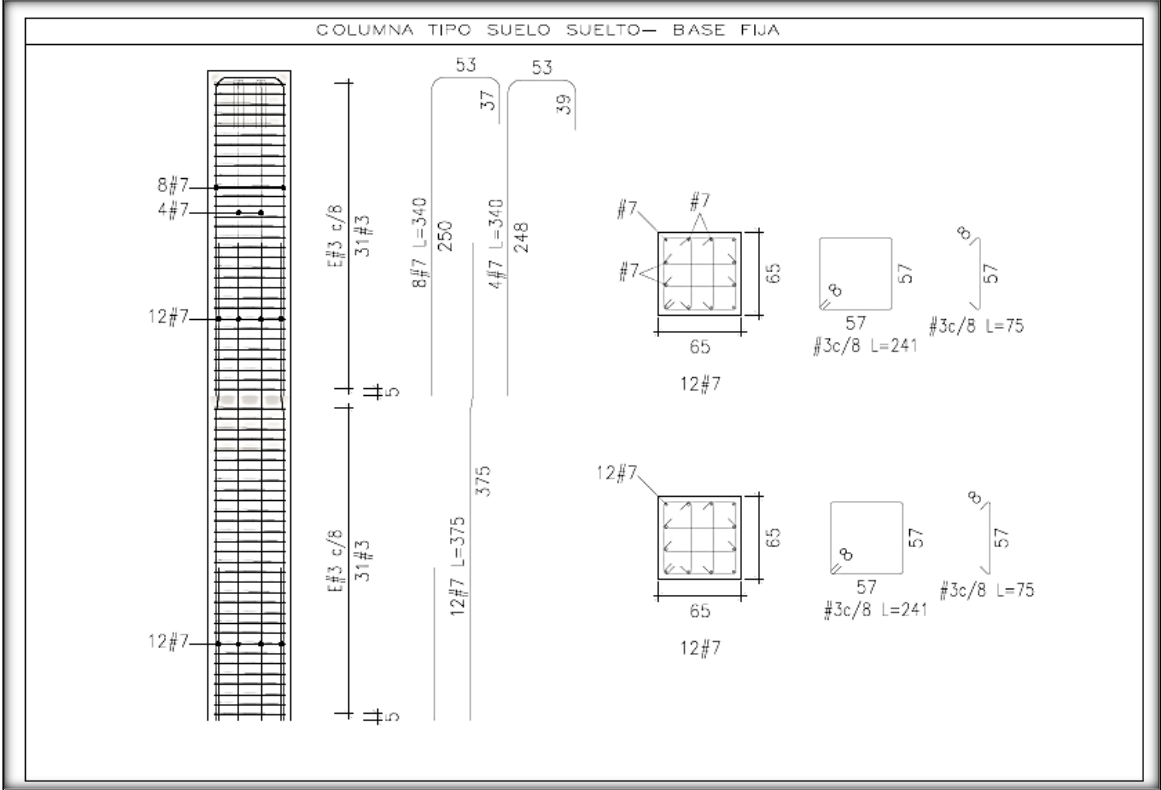


# Columna tipo suelo medio- Base fija





# Columna tipo suelo suelto- Base fija

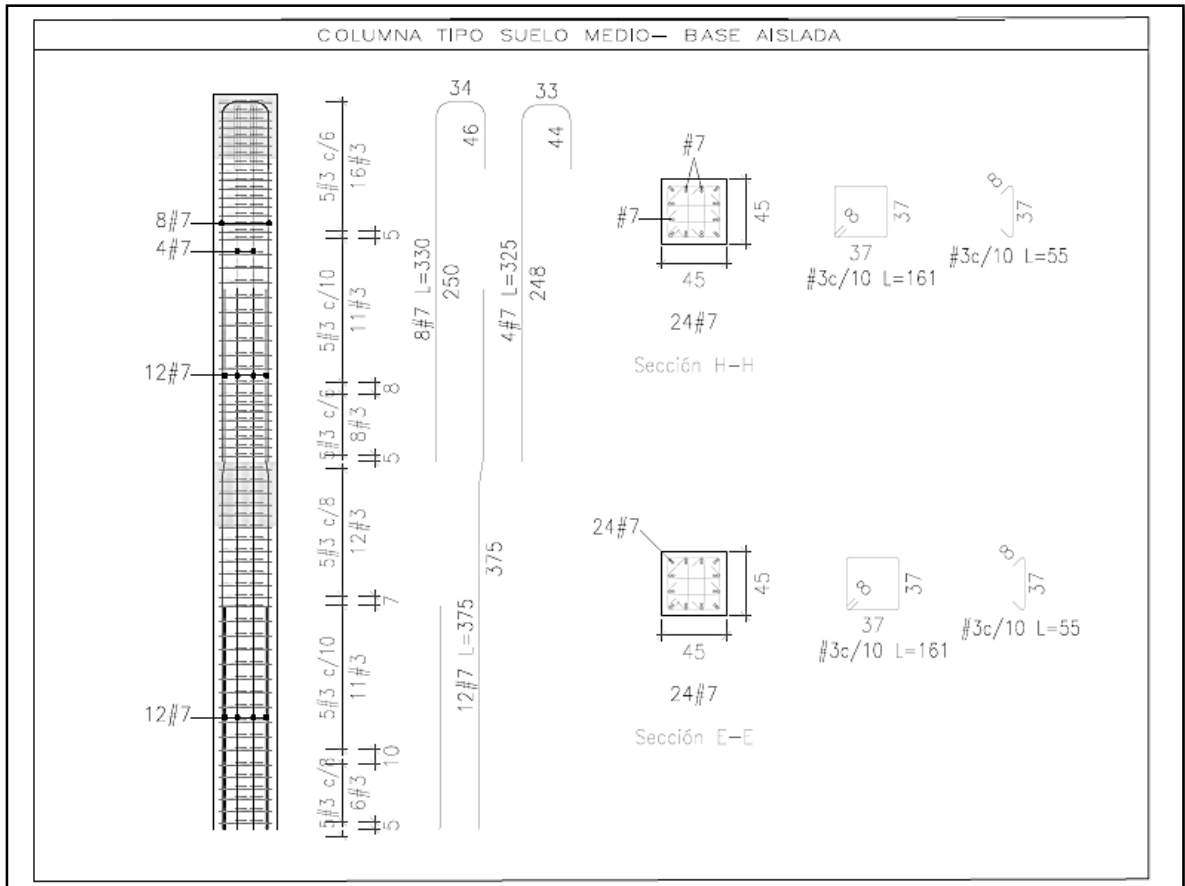




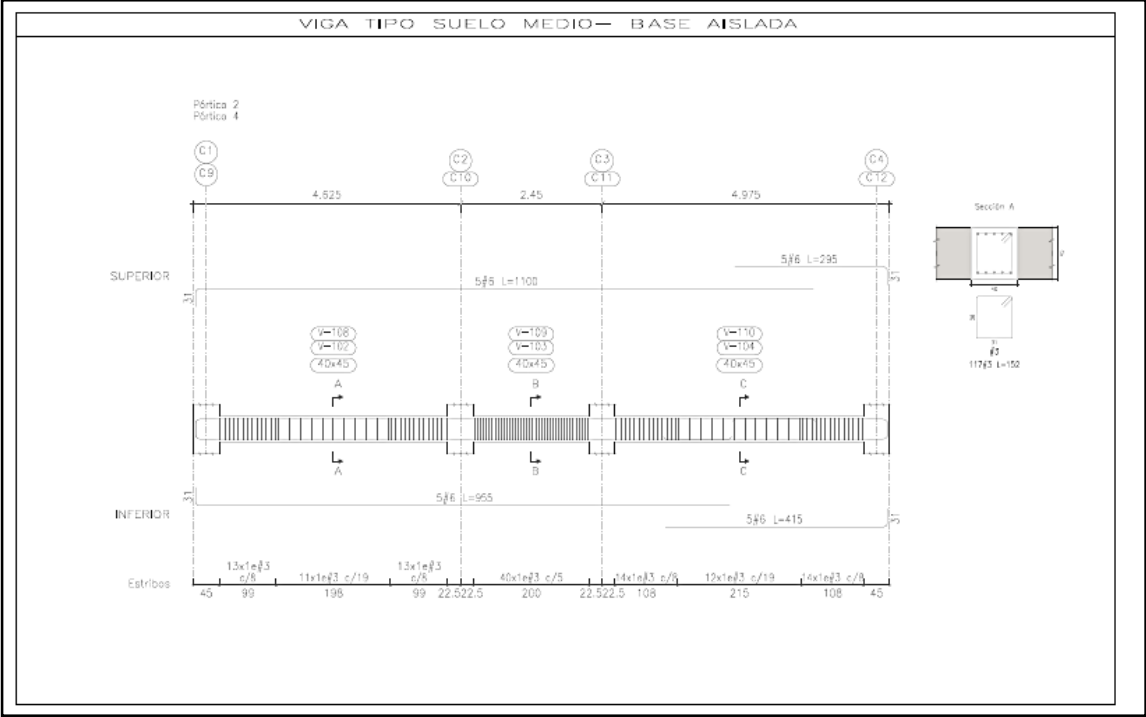




# Columna tipo suelo medio- Base aislada



# Viga tipo suelo medio- Base aislada



## ANEXO G. Carta



VISITE NUESTRA PAGINA:  
[WWW.INGEOTECNIA.COM.CO](http://WWW.INGEOTECNIA.COM.CO)

ADM-18-130

Bucaramanga, 9 de agosto 2018

A quien corresponda

Por medio de la presente, Yo CARLOS ANDRÉS BUENAHORA BALLESTEROS en mi calidad de Gerente general de la empresa INGEOTECNIA, autorizo a Silvia Dayann Lozano Sierra Cód. 2113523 y a Diego Ferrey Suaza Guarnizo Cód. 2123510 estudiantes de pregrado de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, al uso de los estudios de suelos CARRERA 18 CON CALLE 12 BARRIO LA MESETA Girón-Santander, E.G. Lote Conjunto Arooiris – Juan camilo San Miguel, Lote 45 Conjunto Residencial Buenavista (Ruitoque) – Floridablanca – Santander. Los cuales suministre vía correo electrónico solo para fines académicos. Información que me solicitaron los estudiantes para el desarrollo del proyecto de investigación para obtener el título de ingeniería civil el cual lleva como nombre "INFLUENCIA DE LOS SUELOS DE BUCARAMANGA Y SU AREA METROPOLITANA EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA ASILADA EN SU BASE".

Agradezco la atención prestada.

Cordialmente,

**CARLOS ANDRÉS BUENAHORA B.**  
I.C Msc en Geotecnia  
Gerente General INGEOTECNIA  
[director@ingetecnia.com.co](mailto:director@ingetecnia.com.co)

Calle 35C No 22C - 40 Cañaveral Plaza Teléfonos: 317-3723810, 6381004  
E-mail: [info@ingetecnia.com.co](mailto:info@ingetecnia.com.co), [director@ingetecnia.com.co](mailto:director@ingetecnia.com.co)  
Floridablanca – Colombia

