



**ANALISIS ESTRUCTURAL Y ECONOMICO DE  
EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE  
CARTAGENA, MEDIANTE ANALISIS  
ESTATICO Y EMPLEANDO AISLADORES  
SISMICOS**

---

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y ECONOMICO DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA  
CIUDAD DE CARTAGENA, MEDIANTE ANALISIS ESTATICO Y EMPLEANDO  
AISLADORES SISMICOS**

**JOSE ANDRES CASTILLA ROMERO  
LUIS CARLOS MONTES FLOREZ**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
CARTAGENA D. T. y C.**

**2011**

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y ECONOMICO DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA  
CIUDAD DE CARTAGENA, MEDIANTE ANALISIS ESTATICO Y EMPLEANDO  
AISLADORES SISMICOS**

**JOSE ANDRES CASTILLA ROMERO  
LUIS CARLOS MONTES FLOREZ**

**Tesis de grado Para optar al Titulo de Ingeniero Civil**

**Director**

**ARNOLDO BERROCAL OLAVE**

**Ingeniero Civil, MSc Estructuras**

**Grupo de Investigacion OPTICOS**

**Linea de Investigacion Optimizacion Estructural**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
CARTAGENA D. T. y C.**

**2011**





## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	22
1.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. EVOLUCIÓN Y ESTADO DEL ARTE	23
3. MARCO TEÓRICO	31
3.1. FILOSOFÍA DEL DISEÑO SÍSMICO	31
3.2. EVOLUCIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO	32
3.3. BASES DEL DISEÑO SÍSMICO DE AISLACIÓN DE BASE	33
3.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	34
3.4.1. Sistemas activos	35
3.4.2. Sistemas pasivos	36
3.4.2.1. Aisladores sísmicos	36
3.4.2.1.1. Apoyos Elastoméricos	37
3.4.2.1.2. Apoyos Deslizantes	38
3.4.2.2. Disipadores de energía	38
3.4.2.2.1. Disipadores Histerético	38
3.4.2.2.2. Disipadores Viscoelásticos	38
3.4.2.3. Osciladores resonantes	39
3.4.3. Sistemas híbridos	40
3.4.4. Sistemas Semi-activos	41
3.4.5 Aisladores sísmicos de base	42
3.4.5.1. Comportamiento de los aisladores sísmicos de base	43
3.5 CONTROL SÍSMICO EN LAS ESTRUCTURAS	43
5.5.1. Disipación de energía	43
5.5.2. Mecanismo y experimentación de los sistemas de disipación de energía	43
3.5.3. Análisis sísmico estático para edificios con aislamiento sísmico de base	44



3.6. HIGH DAMPING MULTI RUBBER BEARING (MRB HD-HS)	45
3.6.1. Soporte de caucho de alto amortiguamiento	45
3.6.2 Mecanismo de Generación de Amortiguamiento del HDR	47
3.7 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL AISLADOR SÍSMICO	49
3.8 ECUACIONES Y TERMINOLOGÍA	51
3.9. COSTOS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO DE BASE	58
3.9.1. Costos de los aisladores	58
3.9.2. Ahorro	59
3.10. APORTE SÍSMICO	59
4. METODOLOGÍA	61
5. RESULTADOS	65
5.1. ESTRUCTURA SIN AISLADOR	65
5.1.1. Descripción de modelos	65
5.1.1.1 Datos del modelo Taipei 23	65
5.1.1.2. Datos del modelo Torre del Laguito	68
5.1.1.3. Datos del modelo Prototipo	71
5.1.2. Cálculo del periodo de las estructuras	74
5.1.3. Cálculo de la aceleración espectral	74
5.1.4. Cálculo del cortante basal	75
5.1.5. Cálculo del cortante basal de diseño	75
5.1.6. Análisis de las fuerzas de viento	75
5.1.7. Análisis de Viento vs Análisis Sísmico	76
5.1.8. Análisis sísmico y determinación de derivas	78
5.1.9. Cantidades de Material	81
5.2 ESTRUCTURA CON AISLADOR	81
5.2.1. Descripción de modelos	82
5.2.1.1. Taipei	82
5.2.1.2. Torre del Laguito	82
5.2.1.3. Prototipo	83
5.2.2. Calculo del periodo de las estructuras	83
5.2.3. Calculo de la aceleración espectral	84



5.2.4. Calculo del cortante basal	87
5.2.5. Calculo del cortante basal de diseño	87
5.2.6. Análisis de Viento	89
5.2.7. Análisis de Viento vs Análisis Sísmico	90
5.2.8. Análisis Sísmico y Determinación de Derivas	91
5.2.9. Cantidades de material	98
5.3. DISEÑO DE AISLADORES	99
5.3.1. Datos básicos de los modelos	99
5.3.2. Especificaciones del Código UBC	100
5.3.3. Cargas de Diseño	100
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	104
6.1 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	104
6.1.1 Alternativas	104
6.1.2. Resultados por modelo	108
6.1.2.1. Periodo de la estructura	108
6.1.2.2. Cortante basal en la estructura	109
6.2. ANÁLISIS DE CANTIDADES	111
6.2.1. Cantidad de concreto. (M3)	111
6.2.2. Cantidad de acero (KG)	112
6.2.3. Peso de las estructuras	113
6.2.4. Cortante Basal	114
6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO	115
6.3.1 Análisis económico de los costos de construcción de las Estructuras sin incluir los costos de cimentación, mampostería, Instalaciones y acabados	115
6.3.2 Análisis económico de los costos de construcción de las Estructuras incluyendo los costos de cimentación, mampostería, Instalaciones y acabados	119
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
8. BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	127



## LISTA DE TABLAS

	Pagina
TABLA 1. PAÍSES CON ESTRUCTURAS AISLADAS SÍSMICAMENTE	26
TABLA 2. PERIODO DE LA ESTRUCTURA	74
TABLA 3. PERIODO DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	74
TABLA 4. ACELERACIÓN ESPECTRAL	74
TABLA 5. CORTANTE BASAL	75
TABLA 6. CORTANTE BASAL DE DISEÑO	75
TABLA 7. FUERZAS DE VIENTO	76
TABLA 8. CANTIDAD DE CONCRETO MODELOS EMPOTRADOS (M3)	81
TABLA 9. CANTIDAD DE ACERO MODELOS EMPOTRADOS (KG)	81
TABLA 10. PERIODO DE LAS ESTRUCTURAS AISLADAS	84
TABLA 11. CORRELACION ENTRE ESPECTROS	84
TABLA 12. ACELERACIÓN ESPECTRAL PARA MODELOS AISLADOS	86
TABLA 13. CORTANTE BASAL PARA MODELOS AISLADOS	87
TABLA 14. CORTANTE BASAL DE DISEÑO PARA MODELOS AISLADOS	87
TABLA 15. FUERZAS DE VIENTO PARA MODELOS AISLADOS	89
TABLA 16. CANTIDAD DE CONCRETO MODELOS AISLADOS (M3)	98
TABLA 17. CANTIDAD DE ACERO MODELOS AISLADOS (KG)	98
TABLA 18. DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES	99
TABLA 19. ESPECIFICACIONES UBC PARA EL DISEÑO DE AISLADORES	100
TABLA 20. CARGAS DE DISEÑO TAIPÉI 23	101
TABLA 21. CARGAS DE DISEÑO TORRE DEL LAGUITO	102
TABLA 22. CARGAS DE DISEÑO PROTOTIPO	103
TABLA 23. ALTERNATIVA DE AISLAMIENTO TAIPÉI 23	105
TABLA 24 ALTERNATIVA DE AISLAMIENTO TORRE DEL LAGUITO	106





TABLA 25. ALTERNATIVA DE AISLAMIENTO PROTOTIPO	107
TABLA 26. CANTIDAD DE CONCRETO MODELOS AISLADOS (M3)	110
TABLA 27. CANTIDAD DE ACERO MODELOS AISLADOS (KG)	110
TABLA 28. COMPARACIÓN ENTRE CANTIDADES DE CONCRETO	111
TABLA 29. COMPARACION ENTRE CANTIDADES DE ACERO	112
TABLA 30. COMPARACION ENTRE PESOS DE LAS ESTRUCTURAS	113
TABLA 31. COMPARACION ENTRE CORTANTES BASALES DE LAS ESTRUCTURAS	114
TABLA 32. PRECIOS UNITARIOS DE CONCRETO Y ACERO	115
TABLA 33. PRECIOS UNITARIOS DE AISLADORES	115
TABLA 34. PRECIOS AISLADORES MODELO TAIPEÍ	116
TABLA 35. PRECIOS AISLADORES MODELO TORRE DEL LAGUITO	116
TABLA 36. PRECIOS AISLADORES MODELO PROTOTIPO	116
TABLA 37. COSTO ESTRUCTURAS EMPOTRADAS	117
TABLA 38. COSTO ESTRUCTURAS AISLADAS	117
TABLA 39. AHORRO Y RENTABILIDAD	117
TABLA 40. COSTO TOTAL EDIFICIO TAIPEI-EMPOTRADO	120
TABLA 41. COSTO TOTAL EDIFICIO LAGUITO-EMPOTRADO	120
TABLA 42. COSTO TOTAL EDIFICIO PROTOTIPO-EMPOTRADO	120
TABLA 43. COSTO TOTAL EDIFICIO TAIPEI-AISLADO	121
TABLA 44. COSTO TOTAL EDIFICIO LAGUITO- AISLADO	121
TABLA 45. COSTO TOTAL EDIFICIO PROTOTIPO- AISLADO	121
TABLA 46. REDUCCIÓN TOTAL DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	122



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SISMO DE KOBE.1995	24
FIGURA 2. SISMO DE NORTHRIDGE. 1994	25
FIGURA 3. VIADUCTO EL HELICOIDAL	27
FIGURA 4. SISTEMA DE AISLADORES VIADUCTO EL HELICOIDAL	27
FIGURA 5. PUENTE LA ESTAMPILLA	28
FIGURA 6. SISTEMA DE AISLADORES PUENTE LA ESTAMPILLA	28
FIGURA 7. CLINICA COMFANDI	29
FIGURA 8. SISTEMA DE AISLADORES CLINICA COMFANDI	29
FIGURA 9. EDIFICIOS APARTAMENTOS – BOGOTA	30
FIGURA 10. PUENTE GUALANDAY	30
FIGURA 11. ESQUEMA DE LA FILOSOFÍA DEL DISEÑO SÍSMICO	31
FIGURA 12. ESQUEMA DE LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO	32
FIGURA 13. ESPECTROS DE RESPUESTA	33
FIGURA 14. ESQUEMA DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	34
FIGURA 15. ESQUEMA DE SISTEMAS ACTIVOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	35
FIGURA 16. ESQUEMA DEL PROCESO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	35
FIGURA 17. ESQUEMA DE RESPUESTA FRENTE A SISMOS SEVEROS	37
FIGURA 18. APOYO ELASTOMÉRICO	37
FIGURA 19. DISIPADOR VISCOELÁSTICO	39
FIGURA 20. TMD	39
FIGURA 21. ESQUEMA DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	40
FIGURA 22. ESQUEMA DE SISTEMAS SEMI- ACTIVOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	41
FIGURA 23. ESQUEMA DE AISLADOR DE BASE (APOYO ELASTOMÉRICO)	42
FIGURA 24. COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA DE UN EDIFICIO SIN AISLACIÓN BASAL Y UNO CON AISLACIÓN BASAL	43
FIGURA 25. PARTES DE UN HDR	46
FIGURA 26. DIAGRAMA MODELO DE LOS ELEMENTOS AMORTIGUADORES	48
FIGURA 27. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL AISLADOR SÍSMICO	49



## LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA 1.VISTA EN 3D MODELO TAIPEÍ	66
GRAFICA 2. VISTA EN PLANTA MODELO TAIPEÍ	67
GRAFICA 3. VISTA EN 3D MODELO TORRE DEL LAGUITO	69
GRAFICA 4. VISTA EN PLANTA MODELO TORRE DEL LAGUITO	70
GRAFICA 5. VISTA EN 3D MODELO PROTOTIPO	72
GRAFICA 6. VISTA EN PLANTA MODELO PROTOTIPO	73
GRAFICA 7.SISMO VS. VIENTO TAIPEÍ	76
GRAFICA 8.SISMO VS. VIENTO TORRE DEL LAGUITO	77
GRAFICA 9.SISMO VS. VIENTO PROTOTIPO	77
GRAFICA 10. DERIVAS TAIPEI	78
GRAFICA 11. DERIVAS TORRE DEL LAGUITO	79
GRAFICA 12. DERIVAS PROTOTIPO	80
GRAFICA 13. COMPARACION DE ESPECTROS DE RESPUESTA	86
GRAFICA 14. COMPARACION DE CORTANTE BASAL TAIPEI	88
GRAFICA 15. COMPARACION DE CORTANTE BASAL TORRE DEL LAGUITO	88
GRAFICA 16. COMPARACION DE CORTANTE BASAL PROTOTIPO	89
GRAFICA 17. SISMO VS. VIENTO TAIPEÍ-AISLADO	90
GRAFICA 18. SISMO VS. VIENTO TORRE DEL LAGUITO-AISLADO	90
GRAFICA 19. SISMO VS. VIENTO PROTOTIPO-AISLADO	91
GRAFICA 20. DERIVAS EN X TAIPEÍ AISLADO Y NO AISLADO	92
GRAFICA 21. DERIVAS EN Y TAIPEÍ AISLADO Y NO AISLADO	93
GRAFICA 22. DERIVAS EN X TORRE DEL LAGUITO AISLADO Y NO AISLADO	94
GRAFICA 23. DERIVAS EN Y TORRE DEL LAGUITO AISLADO Y NO AISLADO	95
GRAFICA 24 .DERIVAS EN X PROTOTIPO AISLADO Y NO AISLADO	96
GRAFICA 25. DERIVAS EN Y PROTOTIPO AISLADO Y NO AISLADO	97
GRAFICA 26. PERIODOS DE CADA ALTERNATIVA POR MODELO	108





## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1. INFORMACIÓN GENERAL DE AISLADORES	
BRIDGESTONE	128
ANEXO 2. TABLAS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES	
- CODIGO UBC-98	148
ANEXO 2. ANALISIS DE VIENTO	154



## DEFINICIONES Y NOMENCLATURA

- Aa: Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para diseño.
- I: Coeficiente que representa la importancia de la edificación.
- S: coeficiente de sitio, representa el tipo de suelo donde se asienta las fundaciones de la estructura.
- Sa: valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado, máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como fracción de la gravedad, para un sistema de  $u$  grado de libertad con un periodo de vibración  $T$ .
- T: periodo de vibración del sistema elástico, en segundos.
- Ta: periodo fundamental aproximado de vibración
- Tc: periodo de vibración, en segundos, correspondiente a la transición de la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos y la parte descendente del mismo.
- Tl: periodo de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos largos.
- E: Fuerza sísmica reducida de diseño.
- R: coeficiente que representa la capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente básico de capacidad de disipación, ( $R_o$ ), afectado por los coeficientes de capacidad de disipación de energía de la estructura,  $\phi_a$  y  $\phi_p$ .
- $\phi_a$ : coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en la altura de la edificación.
- $\phi_p$ : coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en la planta de la edificación.
- Cortante sísmico en la base  $V_s$ : equivale a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño.
- Deriva: se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o más de la edificación



- M: Es la masa total del edificio, debe ser igual a la masa del edificio más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios, particiones, equipos permanentes, tanques y su contenido.
- D: carga muerta del edificio, consistente en la masa total del edificio más el peso de los equipos permanentes y el peso de todos los materiales de construcción incorporados a la edificación y que son soportados permanentemente por el elemento, incluyendo muros y particiones divisorias.
- L: carga viva debido al uso y la ocupación del edificio, incluyendo cargas debidas a objetos móviles, particiones que se puedan cambiar de sitio
- $S_1$ : coeficiente de topografía que afecta la velocidad básica del viento de diseño. (Tabla B.6.5-1. NSR-10).
- $S_2$ : coeficiente de rugosidad, tamaño del edificio y del altura sobre el terreno, afecta a la velocidad básica del viento de diseño. (Tabla B.6.5-2. NSR-10).
- $S_3$ : este coeficiente también afecta la velocidad básica del viento de diseño y tiene en cuenta el grado de seguridad y de vida útil de la estructura.
- $S_4$ : coeficiente que tiene en cuenta la variación de la densidad de aire con respecto a la altura sobre el nivel del mar.

Para una mejor comprensión de estas definiciones y si desea ampliar a otras definiciones no presentes en este documento, el lector puede remitirse a los títulos A, B y C del código NSR-10.



## **RESUMEN**

El principio de aislación sísmica consiste en la separación suelo-estructura, independizando así a la estructura del movimiento que se propaga a través del suelo en donde esta cimentada. Esta situación es ideal ya que es imposible separar totalmente a la estructura de su fundación, pero con el desarrollo de los aisladores sísmicos se ha logrado este objetivo, reduciendo notablemente la rigidez de la estructura y aumentando el valor del periodo fundamental. Para determinar la factibilidad económica de este sistema y su aplicabilidad en edificios de gran altura como los de la ciudad de Cartagena, se desarrollo esta investigación, se tomaron tres modelos de edificios, actualmente en construcción, los cuales fueron rediseñados con un análisis estático y considerándolos pórticos resistentes a momentos acorde con la norma NSR-10, luego estos mismos edificio se diseñaron bajo los parámetros del aislamiento sísmico, es decir, solo actúan cargas verticales y los apoyos ya no se consideran empotramientos sino elementos con características de aisladores, todo este proceso se realizo con la ayuda del software ETABS. Las características del aislador se tomaron del Manual de diseño Bridgestone. Una vez se diseñaron ambos modelos (aislado y no aislado) se utilizo el software DC-CAD para determinar las cantidades de acero y concreto en los elementos de cada estructura, necesarias para el diseño de cada modelo y con esta información se realizo el análisis económico de los costos de construcción y los porcentajes de reducción de costos de cada estructura. Con esta información se concluyo que con una reducción del orden del 15% en concreto y 29% en acero, el sistema es factible de aplicar, pero en el costo total de construcción se logra un ahorro entre el 3.3% y el 4.15% de los costos finales, lo cual hace que sea irrelevante la aplicación del aislamiento sísmico, no obstante se recomienda la aplicación en construcción de edificios institucionales.





## **ABSTRACT**

The principle of seismic isolation is the soil-structure separation, separating the structure and movement that spreads through the soil in which this ideal situation is rooted as it is impossible to completely separate the structure of its foundation, but the development of seismic isolators has achieved this goal, significantly reducing the rigidity of the structure and increasing the value of fundamental period. In Cartagena, despite the numerous buildings that currently exist, is not applying this technology because of the lack of research and expertise available, therefore, to determine the economic feasibility of this system and its applicability in high-rise buildings as the city of Cartagena, is developing this research. As models of analysis were taken three buildings currently under construction, which were redesigned with a static analysis and considering moment-resisting frames in accordance with the NSR-10, then the same building was designed under the parameters of seismic isolation, ie, acting only vertical loads and supports are no longer considered abutments but elements with insulating characteristics, the whole process was done with the help of ETABS software. Insulating characteristics were taken from Bridgestone Design Manual. Once designed both models (isolated and not isolated) was used DC-CAD software to determine the quantities of steel and concrete in the elements of each structure, necessary for the design of each model and this information was conducted economic analysis construction costs and cost reduction rates of each structure. With this information it was concluded that a reduction of about 15% concrete and 29% in steel, the system is feasible to implement, but the total construction cost savings are achieved between 3.3% and 4.15% of costs, which makes irrelevant the application of seismic isolation, however it is recommended the application in institutional buildings.



## **INTRODUCCIÓN**

A pesar de todos los avances científicos y tecnológicos que hemos logrado los seres humanos en el curso de nuestra vida en la Tierra, existen fenómenos que no están bajo nuestro total control, uno de los más representativos son los sismos, resultado de la interacción de las placas tectónicas. Los sismos son eventos en donde se despliega una gran cantidad de energía, y cuyos efectos se ven reflejados en el estado en que quedan nuestras viviendas, vías, costas, etc. después de la ocurrencia de alguno de estos fenómenos. La frecuencia de ocurrencia de estos eventos catastróficos es incierta y ha llevado al hombre a la necesidad de buscar herramientas que le permitan enfrentar de manera eficaz los efectos de los mismos, estudiando sus causas, sus manifestaciones y sus consecuencias, lo cual se ha traducido en la formulación de teorías de análisis y diseño sísmico, y en la elaboración de códigos de diseño y construcción sismorresistentes, que han sido modificados conforme a la ocurrencia de sismos, en donde son los jueces que estiman la eficacia de estas teorías.

El efecto del sismo en las estructuras se manifiesta en la transmisión de la energía que despliega el evento sísmico, esta es disipada por la estructura, lo que genera desplazamientos dando como resultado el daño de elementos estructurales y no estructurales, colapso parcial o total de la estructura y la pérdida de innumerables vidas humanas. Estos efectos han llevado a los ingenieros civiles a formular teorías tendientes a minimizar estos efectos adversos, la primera teoría de protección sísmica consistió en aumentar la rigidez de la estructura, este enfoque permitió evitar el colapso de las estructuras, pero el mecanismo de transmisión de la energía sísmica se aceleraba, lo que daba como resultado el daño sobre los inmuebles, cuyo costo de reparación alguna veces supera al de la estructura en sí.

A través de múltiples investigaciones se llegó a la promulgación de la teoría de aislación sísmica, la cual se basa en la hipótesis de la separación suelo-estructura, buscando así independizar a la estructura del movimiento que se propaga a través del suelo en donde esta



cimentada<sup>1</sup>. Esta situación es ideal ya que es imposible separar totalmente a la estructura de su fundación, pero se han desarrollado dispositivos que logran cumplir con este objetivo, reduciendo notablemente la rigidez de la estructura y aumentando el valor del periodo fundamental. Entre los países que han implementado la técnica de la aislación sísmica tanto en edificios como en puentes se destacan Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda y China. A nivel latinoamericano el primer país en implementar la aislación sísmica en el diseño y construcción de edificios fue Chile, país que tiene un gran historial de eventos sísmicos, por lo que no es extraño que lleven la delantera en este tema.

Colombia es un país que tiene una larga historia de eventos sísmicos, y en cada uno de ellos se ha logrado medir el grado de avance en la aplicación de las teorías de análisis y diseño sismorresistentes, a pesar de esto, el uso de los aisladores y su análisis de aplicación al medio local es relativamente nuevo, el primer registro documentado es el del viaducto El Helicoidal entre Dos Quebradas y Santa Rosa en Risaralda, El puente La Estampilla en Manizales y la Clínica Comfandi en Cali, aunque ya se proyectan nuevas obras donde se utilizaran aisladores sísmicos. Los estudios realizados para conocer la aplicabilidad de los aisladores sísmicos al medio nacional corresponden a proyectos de grado de universidades como la Universidad Nacional, la Universidad Javeriana, la Universidad de los Andes y la Escuela Colombiana de Ingeniería. En el panorama local, este sistema aun no se muestra como una opción viable de construcción, este hecho motivó la realización de esta investigación, la cual fue desarrollada en la ciudad de Cartagena, considerada patrimonio histórico y cultural de la humanidad, lo cual la hace un destino turístico por excelencia, esto ha generado un gran desarrollo, manifestado en el crecimiento de su industria y en especial el campo de la construcción. Tradicionalmente en Cartagena se han diseñado y construido las edificaciones de manera que existe una total interacción suelo- estructura, así que en el caso de la ocurrencia de un evento sísmico, la forma en que estas estructuras disipan la energía que les transmite el sismo, se manifiesta como desplazamiento lateral o deriva.

---

<sup>1</sup> SAAVEDRA, Marcelo. Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados. Universidad Austral de Chile.



A medida que se aumenta la altura de los edificios se incrementan los valores de las derivas, esto se ve reflejado en la necesidad de aumentar la rigidez de la estructura, obligando a que los diseñadores dimensionen los elementos estructurales tales como vigas, columnas y zapatas con un gran tamaño, para de esta manera cumplir con los requisitos de deriva máxima establecidos por la Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Es importante en este punto resaltar que con la implementación del sistema de aislación sísmica se reduce el valor de la deriva, este valor se reduce debido a que el aislador hace que la estructura se mueva en conjunto, esto no ocurre con un edificio empotrado, donde el movimiento es similar al de un péndulo invertido, esta situación es propicia para que se presenten daños en la estructura. La reducción en las derivas implica la reducción en las dimensiones de las vigas y columnas debido al pequeño desplazamiento, de esta forma se cumplen los parámetros establecidos en la NSR-10. La ventaja de mayor importancia es el aumento del amortiguamiento de la estructura. La norma NSR-98 establece que el diseño de una estructura debe hacerse basado en un espectro de respuesta establecido para un 5% de amortiguamiento, pero el uso de los aisladores permiten incrementar este valor a un rango entre el 13% y 20%, esto implica un menor valor de aceleración espectral y un menor valor de cortante basal (Bohórquez y Gómez, 2009).

De acuerdo con lo anterior, la implementación de aisladores sísmicos permite reducir la aceleración espectral y la deriva, por consiguiente los requerimientos de diseño de las estructuras también se reducen, así como los costos de construcción de las mismas, ya que los costos de construcción de las edificaciones no aisladas son elevados debido a las grandes dimensiones finales de los elementos estructurales resultantes del diseño, así como también la cantidad de acero de refuerzo necesaria para mejorar el comportamiento de dichos miembros, teniendo en cuenta el alto precio de los materiales utilizados para la construcción de estas estructuras (Concreto y Acero). La investigación se enfoco en analizar el comportamiento de estructuras altas como las que vemos en la ciudad de Cartagena, este análisis se enfoco en determinar las variaciones en los valores de variables como el periodo fundamental, las derivas, el cortante basal y el amortiguamiento, todo esto basado en un análisis de tipo estático. Además, también se analizo la influencia del uso de los aisladores en la variación del costo de las estructuras, es decir, en las cantidades de



concreto y acero en vigas y columnas, siendo este el objetivo principal de esta investigación. El proceso para determinar la viabilidad del uso del sistema de aislamiento sísmico se puede resumir así: (1). Diseño de las estructuras no aisladas de acuerdo a los parámetros establecidos por la NSR-10, se diseñaron 3 edificaciones que están actualmente en construcción en Cartagena. (2). Diseño de las estructuras aisladas acorde con los parámetros establecidos por la norma colombiana y se agregaron otros parámetros de código UBC. El principal parámetro que se maneja es que las estructuras solo trabajan a carga vertical, siendo esta una gran ventaja del uso de los aisladores sísmicos. (3). Diseño de los aisladores sísmicos, en esta investigación se utilizaron los HDR de la compañía Bridgestone, para el diseño de estos aisladores se utilizaron manuales y otras herramientas que permitieron conocer las características de cada aislador. (4). Análisis y Comparación de alternativas, en esta parte se analizaron los datos obtenidos en el diseño de las estructuras aisladas y no aisladas y se determinó la factibilidad económica de la implementación del sistema. Para obtener los datos necesarios para el análisis se utilizaron los software ETABS y DC-CAD.

Como se menciona anteriormente, en la ciudad de Cartagena no existen estudios de este tipo, y la finalidad de esta investigación es continuar con la investigación iniciada por el Grupo de Investigación OPTICOS, en su línea de investigación Optimización Estructural, con este trabajo esperamos hacer un aporte al enriquecimiento de la investigación en la Universidad de Cartagena y al mejoramiento de la industria de la construcción a nivel local, regional y nacional.



## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el comportamiento estructural y los costos de construcción de edificios de 30 pisos de la ciudad de Cartagena, mediante el análisis estático y empleando aisladores sísmicos modelados en ETABS.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar el diseño estructural (dimensiones y refuerzo) de los elementos de las estructuras.
- Determinar el periodo de la estructura mediante la NSR-10
- Determinar la variación del periodo haciendo uso de los aisladores sísmicos.
- Determinar la variación en el espectro de diseño de las estructuras modeladas con aisladores sísmicos.
- Diseñar los aisladores sísmicos para las estructuras a modelar.
- Determinar el análisis comparativo de la rentabilidad del sistema de aislamiento sísmico.



## 2. EVOLUCION Y ESTADO DEL ARTE

Las primeras aplicaciones de los aisladores sísmicos de base actuales fueron en puentes, ya que estas estructuras generalmente se apoyan sobre placas de neopreno para permitir el desplazamiento ocasionado por los cambios de temperatura. Estas placas de neopreno se sustituyeron por los aisladores sísmicos de base.

El primer intento moderno por utilizar un sistema de aislamiento en edificios se realizó en la Escuela Heinrich Pestalozzi, en Skopje, Yugoslavia, en 1969. El sistema, llamado “Aislamiento total de la base en tres direcciones” consistía en vigas de caucho natural sin reforzar.

Otros métodos ensayados en los años 60 fueron el aislamiento con rodillos o con capas de arena u otros materiales que le permitieran a la estructura deslizarse. Se construyeron algunas edificaciones usando estos métodos, como por ejemplo en México se construyó un colegio de 5 pisos sobre rodillos y en Sevastopol, Ucrania, un edificio residencial.

En la década de 1970, se intentó generar el aislamiento con lo que se llama un “piso suave”, sobre columnas con una gran ductilidad, confinadas, con muchos estribos. Estos elementos toleraban una deformación máxima del orden de un 2% de la altura total del piso. Esto se experimentó en el hospital Olive View en Los Ángeles, California, que sufrió un terremoto que generó una deformación mayor a ese 2% produciéndose el colapso de la estructura. La solución se buscó entonces por el lado de los compuestos elastoméricos, con aplicaciones que fueron evolucionando tecnológicamente hasta llegar a las que tenemos hoy día.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> REYNA, Roy. Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura. Universidad Nacional de Ingeniería Perú.2005



La efectividad del sistema de aislación sísmica de base fue evidenciada por los registros de la respuesta dinámica de los edificios con aislamiento de base sacudido por los sismos de Northridge en 1994 y Kobe en 1995.



*Figura 1. Sismo de Kobe.1995*

*Fuente: REYNA, Roy. Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura. Universidad Nacional de Ingeniería Perú.2005*

Actualmente existen numerosas aplicaciones de sistemas de aislamiento de base en países como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda e Italia. Estas aplicaciones corresponden principalmente a la construcción de nuevos edificios y el mejoramiento sísmico de estructuras existentes. Uno de los edificios en los que se mostro la factibilidad de los sistemas de aislamiento sísmico es el Fire Command and Control Facility en Los Ángeles, este edificio es una central de emergencia que debe permanecer en operación incluso después de un sismo extremo, para su construcción se realizó una comparación entre los esquemas de diseño convencional y de aislamiento sísmico para proveer el mismo grado de protección; en estos términos se estimo que el costo del edificio con aislamiento sísmico era un 6% menor que el correspondiente a un diseño convencional.<sup>3</sup>

En Japón se construyo en 1989 el edificio Kobayashi Seiwa, en este se hizo la primera aplicación del sistema activo de protección sísmica a escala natural, se le instalaron dos

---

<sup>3</sup> REYNA, Roy. Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura. Universidad Nacional de Ingeniería Perú.2005





osciladores AMD, uno para controlar el movimiento transversal, y otro para reducir los movimientos torsionales. El objetivo del sistema instalado en el edificio es reducir las vibraciones producidas por vientos fuertes y solicitaciones sísmicas moderadas, con el fin de incrementar el confort de sus habitantes.

La prueba más severa a la que fue sometido un edificio con aislamiento sísmico hasta la fecha corresponde al Hospital de Docencia de la Universidad de Southern, California. El edificio está ubicado a 36 km. del epicentro del terremoto de Northridge, ocurrido en 1994 con magnitud 6.8  $M_w$ , durante el terremoto el terreno bajo el edificio alcanzo una aceleración máxima de 0.49g, mientras que las aceleraciones en el interior del edificio estuvieron entre 0.10g y 0.13g, esto significa que la estructura fue aislada en forma efectiva de los movimientos del suelo, teniendo en cuenta que los movimientos fueron lo suficientemente intensos como para provocar daños importantes en edificios adyacentes.<sup>4</sup>



Figura 2. Sismo de Northridge. 1994

Fuente: REYNA, Roy. *Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura.* Universidad Nacional de Ingeniería Perú.2005

El sistema se ha probado exitosamente en violentos sismos reales en la costa oeste de Estados Unidos y en Japón. Se ha implementado en Chile también, en la Clínica San Carlos de Apoquindo, en el edificio de San Agustín en el 2002, ubicado en el Campus San Joaquín de la Universidad Católica, con cerca de 6.000 m<sup>2</sup> de construcción, y en el nuevo edificio de la Asociación Chilena de Seguridad.

---

<sup>4</sup> REYNA, Roy. *Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura.* Universidad Nacional de Ingeniería Perú.2005



La división Estructuras-Construcción del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile investiga la forma de desarrollar este tipo de tecnología y aplicarla en Chile. Fruto de estos trabajos son aplicaciones pioneras de la aislación sísmica de base en Chile, tales como el edificio Andalucía que es el primer edificio habitacional sismorresistente de Chile, el Viaducto Marga-Marga que introdujo en Chile la aplicación de aislación sísmica en obras viales y el Puente Amolanas que introdujo la aplicación de disipación de energía en obras viales.<sup>5</sup>

PAIS	ESTRUCTURAS	PUNTES
Japón	1000	34
USA	38	114
Nueva Zelanda	8	43
China	19	
Chile	3	2
Indonesia	1	
Suiza	1	
Macedonia		1
Colombia	1	2

*Tabla 1. Países con estructuras aisladas sísmicamente.*

*Fuente: REYNA, Roy. Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura. Universidad Nacional de Ingeniería Perú. 2005*

Colombia cuenta con dos puentes con aislamiento sísmico que fueron inaugurados en junio de 2008 tales como el Puente la Estampilla ubicado en Manizales y el Viaducto el Helicoidal entre Dos Quebradas y Santa Rosa en el departamento de Pereira, Zonas con amenaza sísmica alta y la Clínica Comfandi en el Departamento del Valle del Cauca. Se adelantan proyectos en el país que contarán con aislamiento sísmico en sus estructuras tales

---

<sup>5</sup> SAAVEDRA, Marcelo. Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados. Universidad Austral de Chile.



como un edificio de apartamentos en Bogotá, el Puente de Gualanday en el Departamento del Tolima.<sup>6</sup>



*Figura 3. Viaducto El Helicoidal*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: GRISA*



*Figura 4. Aislador Viaducto El Helicoidal*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: GRISA*

---

<sup>6</sup> Jorge Rendón, [rendon.jorge@co.sika.com](mailto:rendon.jorge@co.sika.com).



*Figura 5. Puentes La Estampilla*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: GRISA*



*Figura 6. Aislador Puente La Estampilla*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: GRISA*



*Figura 7. Clínica Comfandi*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: Solarte & Cía.*



*Figura 8. Sistema de Aisladores Clínica Comfandi*

*Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: Solarte & Cía.*

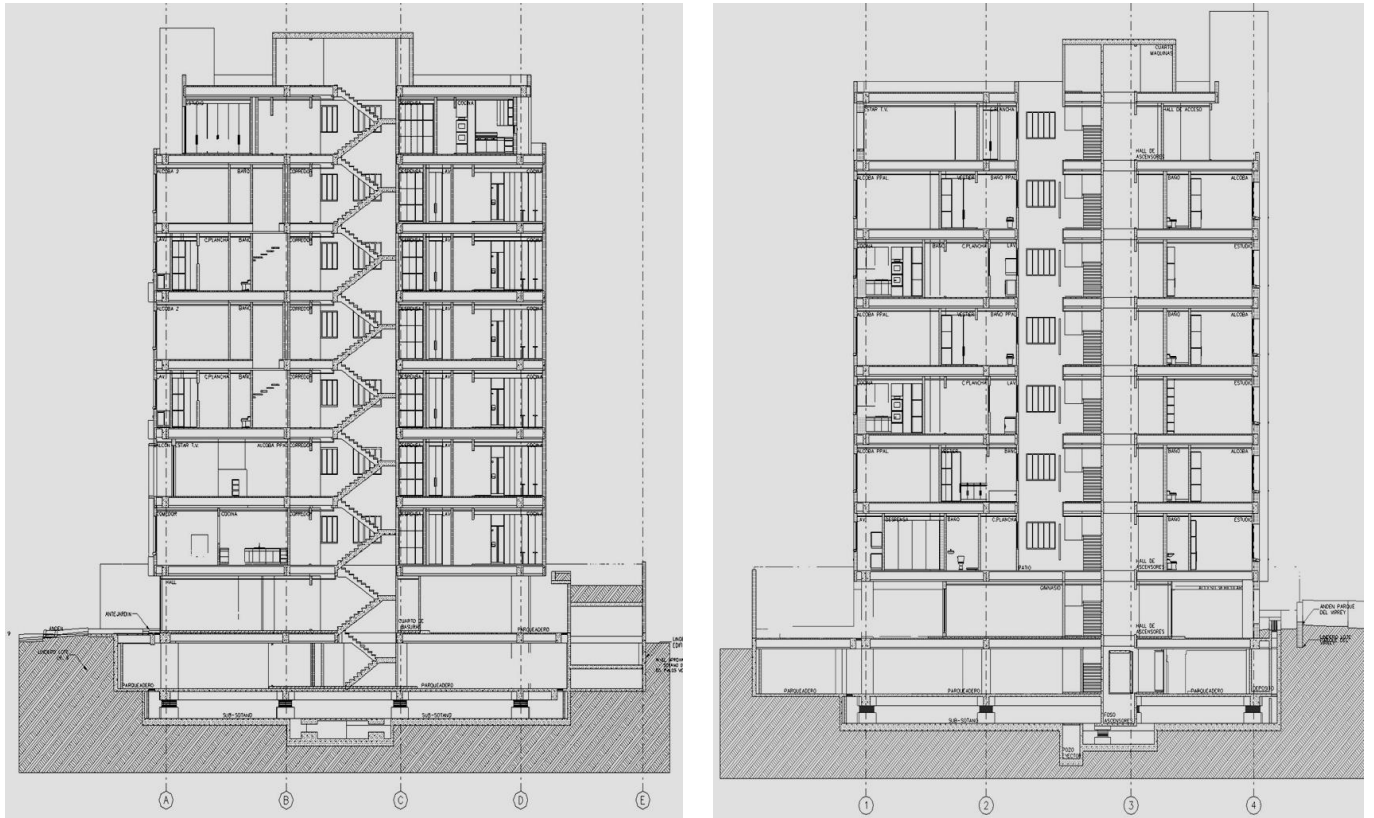


Figura 9. Edificios de Apartamentos-Bogotá

Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: Ing. Mauricio Gallego.

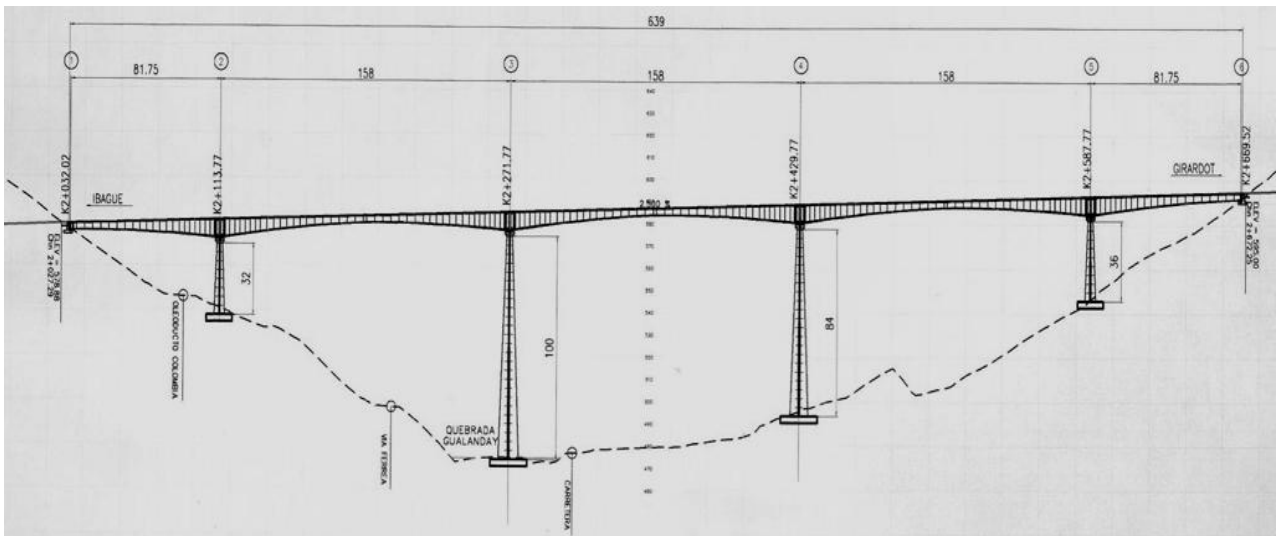


Figura 10. Puente Gualanday

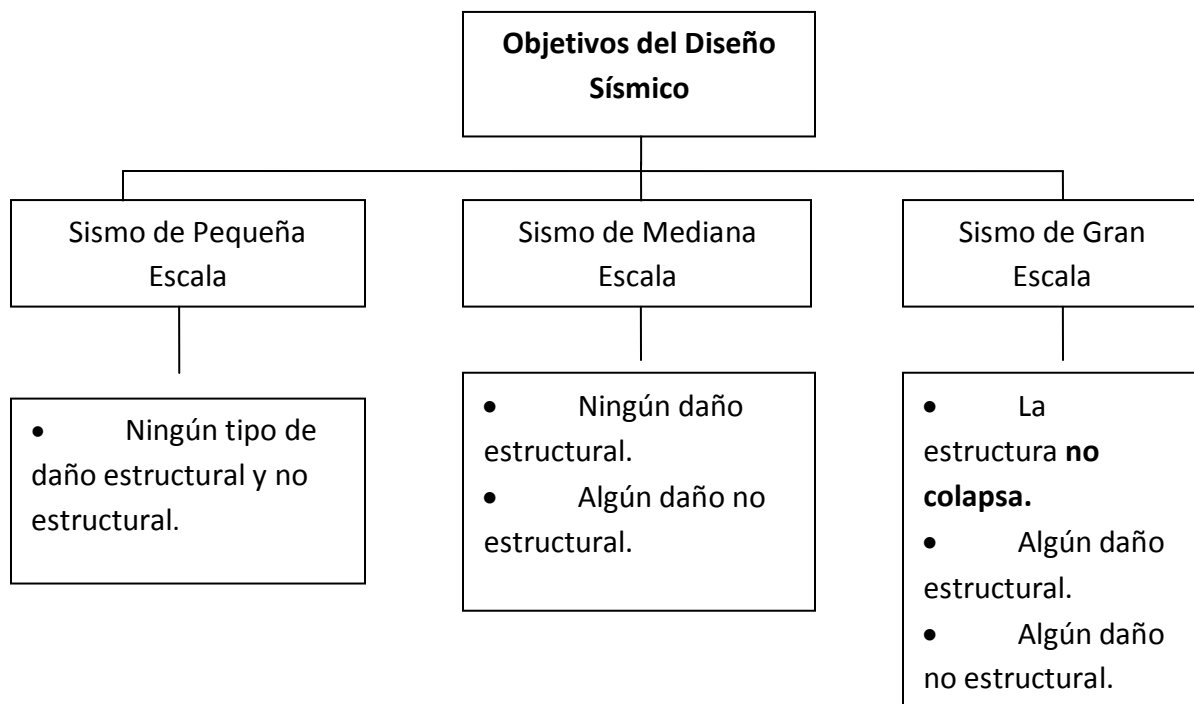
Fuente: JORGE RENDON. Aislamiento de Sísmico de Estructura. Cortesía: GRISA.



### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1. FILOSOFIA DEL DISEÑO SISMICO

La filosofía u objetivos de diseño sísmico pueden resumirse mediante el siguiente esquema.



*Figura 11. Esquema de la filosofía del diseño sísmico*

*Fuente: Saavedra, Marcelo. Sistemas innovadores usados para el diseño sísmico. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile, 2005.*



### 3.2. EVOLUCIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO

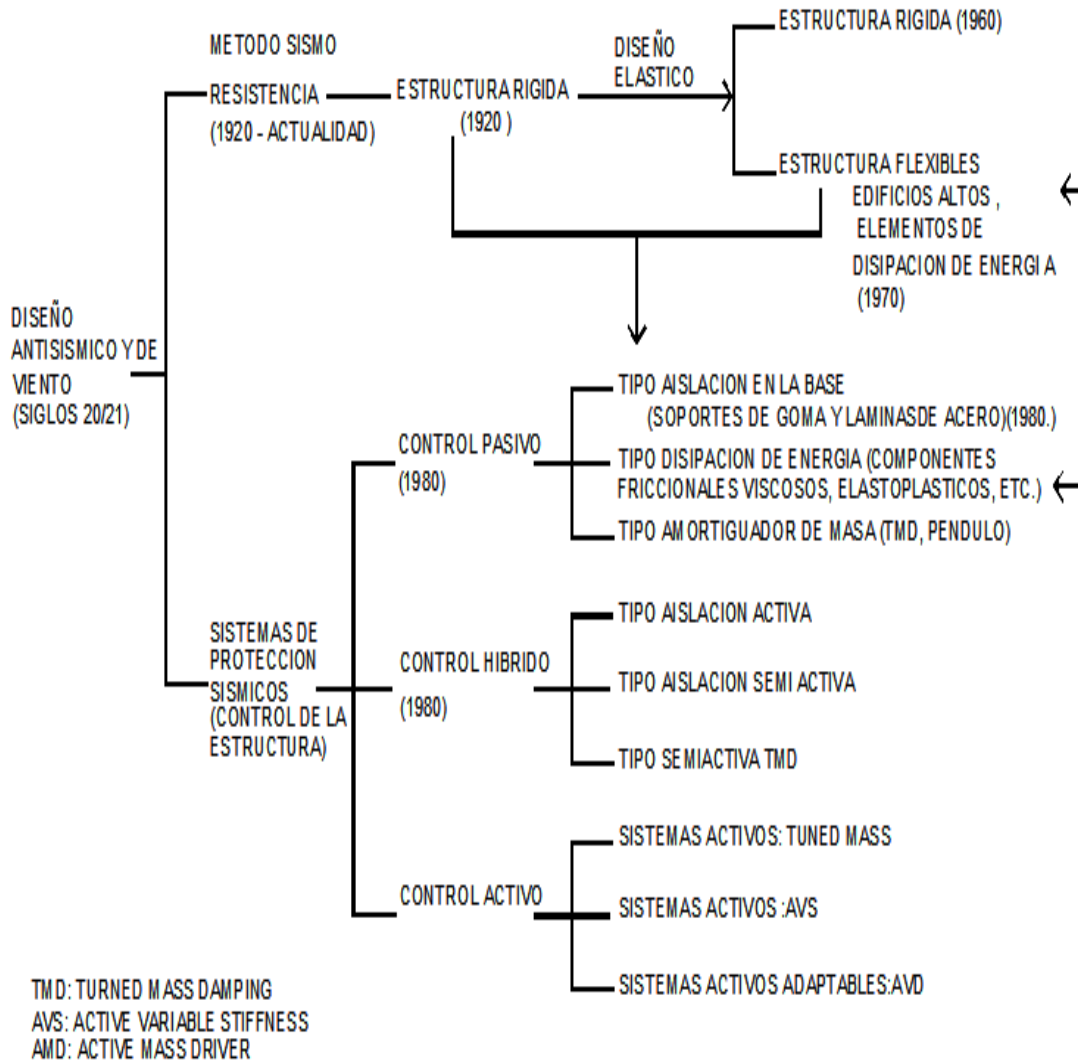


Figura 12. Esquema de la evolución del diseño sísmico.

Fuente: Saavedra, Marcelo. Sistemas innovadores usados para el diseño sísmico. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile, 2005





### 3.3. BASES DEL DISEÑO SÍSMICO DE AISLACIÓN DE BASE

La teoría de aislación sísmica se basa en la hipótesis de la separación suelo-estructura, buscando así independizar a la estructura del movimiento que se propaga a través del suelo en donde esta cimentada. Esta situación es ideal ya que es imposible separar totalmente a la estructura de su fundación, pero se han desarrollado dispositivos que logran cumplir con este objetivo, reduciendo notablemente la rigidez de la estructura y aumentando el valor del periodo fundamental. Estudios anteriores han demostrado un excelente comportamiento de este sistema de protección de estructuras sometidas a eventos sísmico moderados o severos.

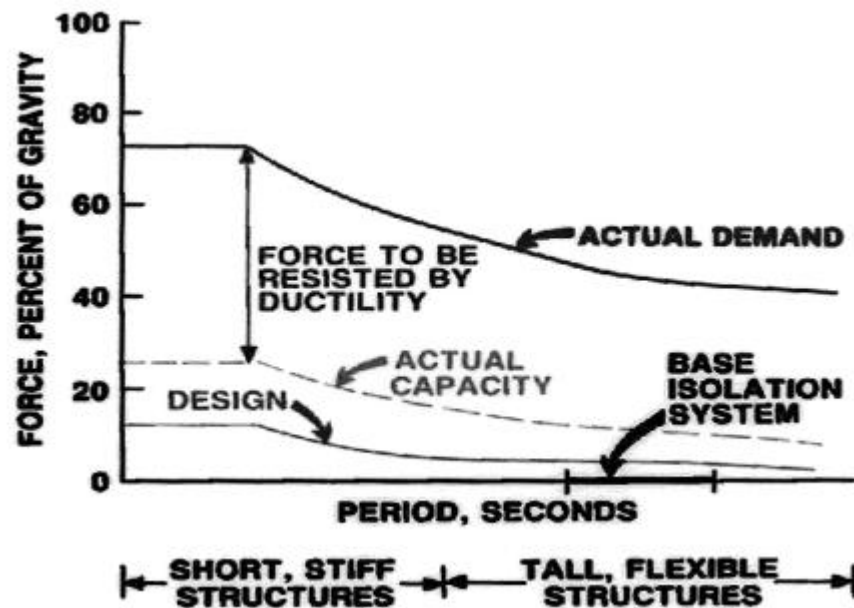


Figura 13. Espectros De Respuesta.

Fuente: Saavedra, Marcelo. *Sistemas innovadores usados para el diseño sísmico*. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile, 2005



### 3.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA.

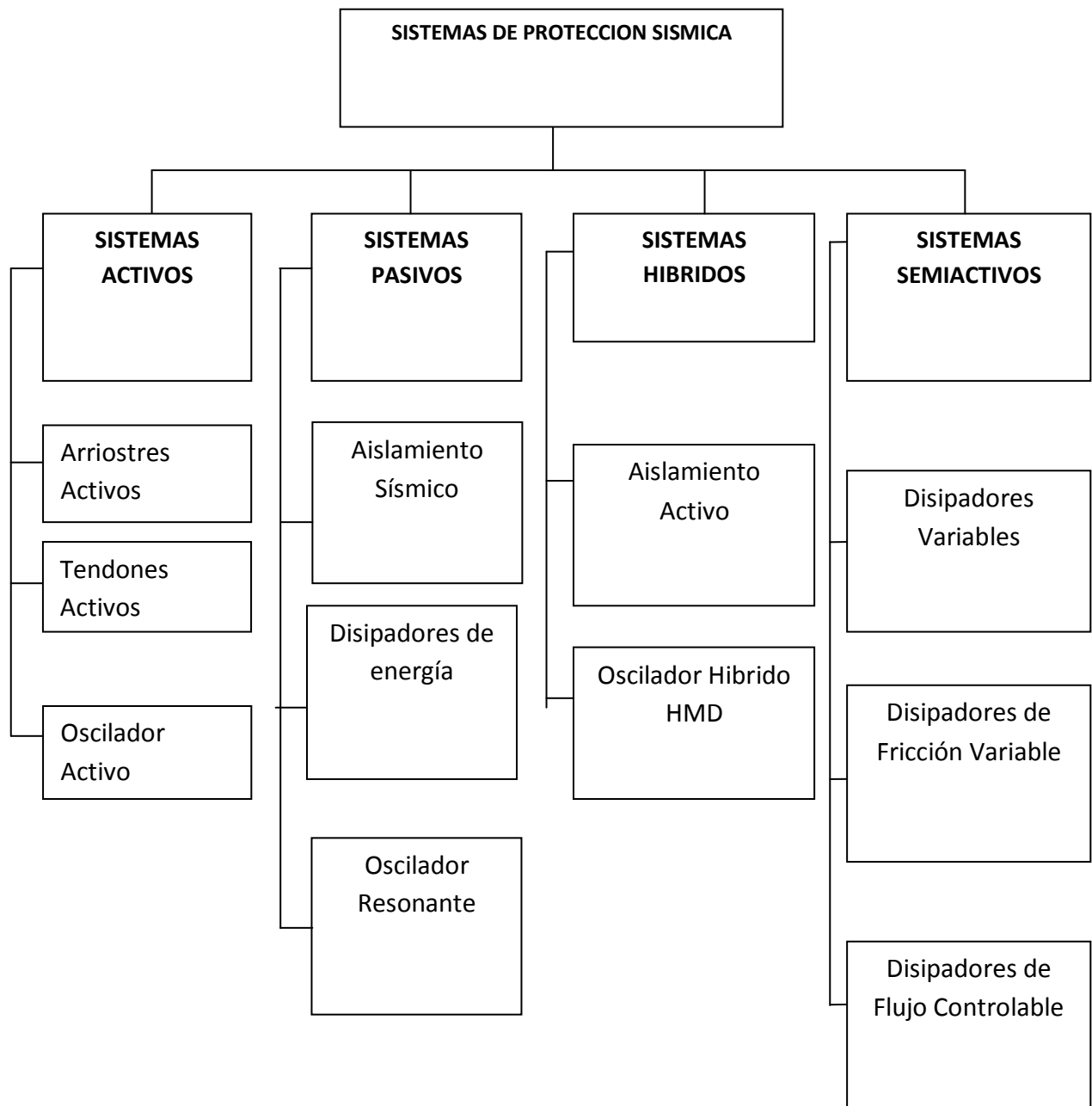


Figura 14. Esquema de los sistemas de protección sísmica.

Fuente: Estudio Comparativo Económico de Edificios con Aislamiento Sísmico en la Base. Universidad de Chile.2003



### 3.4.1. Sistemas activos

Estos sistemas son dispositivos que generan fuerzas de control en la búsqueda de modificar la respuesta dinámica de una estructura. Estas fuerzas de control son aplicadas mediante actuadores integrados a un conjunto de sensores, controladores y procesadores de información en tiempo real. El siguiente esquema describe esquemáticamente el proceso.

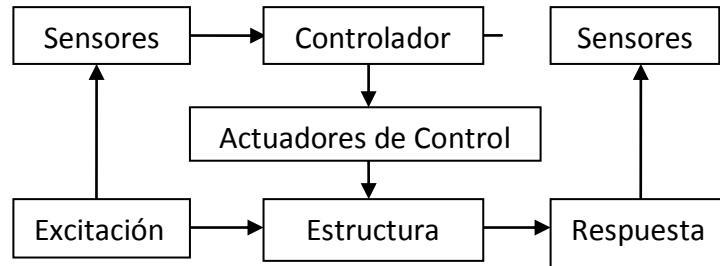


Figura 15. Esquema de los sistemas activos de protección sísmica.

Fuente: Estudio Comparativo Económico de Edificios con Aislamiento Sísmico en la Base. Universidad de Chile.2003

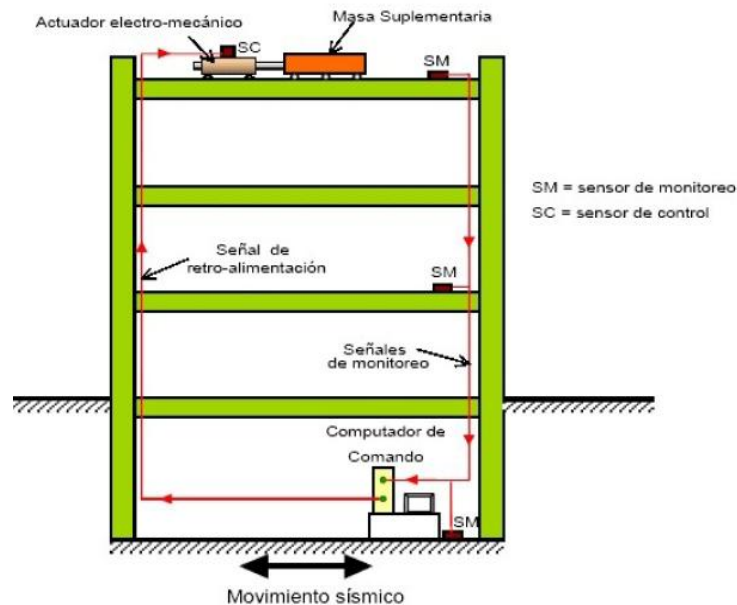


Figura 16. Esquema del Proceso de Sistemas Activos de Protección Sísmica

Fuente: Estudio Comparativo Económico de Edificios con Aislamiento Sísmico en la Base. Universidad de Chile.2003



Los sensores instalados en la estructura miden las excitaciones externas y la respuesta dinámica de la estructura; los dispositivos de procesamiento en tiempo real procesan la información proveniente de los sensores y calculan las fuerzas de control necesarias para estabilizar la estructura; finalmente los actuadores generan las fuerzas necesarias para contrarrestar los movimientos sísmicos.

Las fuerzas de control pueden ser aplicadas a la estructura mediante una masa activa (AMD), arriostres activos (ABS), o tendones activos. Los osciladores de masa activa (AMD) proporcionan la forma más simple y compacta de aplicar fuerzas de control a una estructura. Los arriostres y tendones activos requieren un diseño más complicado y se encuentran en etapa experimental.

### **3.4.2. Sistemas pasivos**

Los sistemas de control pasivo utilizan dispositivos bastante simples que reducen la respuesta dinámica por medios mecánicos. Los sistemas pasivos más comunes son los aisladores sísmicos, los disipadores de energía y los osciladores resonantes (TMD). Cada sistema emplea enfoques diferentes para lograr este control de la respuesta estructural y son más efectivos para diferentes tipos de estructuras.

3.4.2.1. Aisladores Sísmicos: El aislamiento sísmico es una estrategia de diseño basada en la premisa de la posibilidad de separar una estructura de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su cimentación. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor en comparación con el de la misma estructura de base fija.



### RESPUESTA DE UN EDIFICIO FRENTE A SISMOS SEVEROS

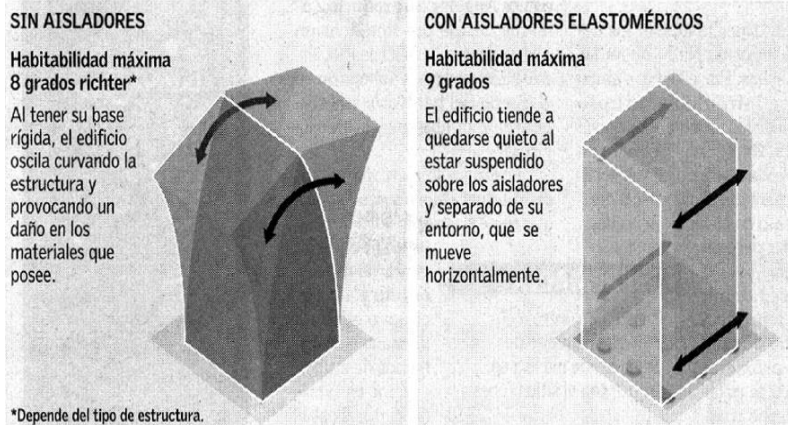


Figura 17. Esquema de respuesta de un edificio frente a sismos severos.

Fuente: DE LA LLERA, Juan. Aisladores Sísmicos en el Hospital Militar. Chile. 2002.

3.4.2.1.1. Apoyos Elastoméricos: Estos apoyos emplean un elastómero de caucho natural o neopreno reforzado con láminas de acero. La notable flexibilidad lateral en el elastómero permite el desplazamiento lateral de los extremos del aislador, mientras que las láminas de refuerzo evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical. Existen tres tipos de apoyos elastoméricos ampliamente usados: Apoyos de caucho natural (NRB), Apoyos de caucho con núcleo de plomo (LRB), y apoyos de caucho de alta disipación de energía (HDR).



Figura 18. Apoyo elastomérico

Fuente: REYNA, Roy. Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la base y su interacción con la estructura. Universidad Nacional de Ingeniería Perú. 2005



3.4.2.1.2. Apoyos Deslizantes: Los apoyos deslizantes poseen una superficie de deslizamiento que permite la disipación de energía por medio de fuerzas de rozamiento. Uno de los sistemas más innovador es el sistema pendular friccionante que combina la acción del deslizamiento con la generación de una fuerza de restitución debido a la geometría del deslizador.

3.4.2.2. Disipadores de energía: Los disipadores de energía son dispositivos diseñados con el fin de absorber la mayoría de la energía sísmica, evitando que esta sea disipada mediante deformaciones inelásticas por los elementos estructurales. Se clasifican en:

3.4.2.2.1. Disipadores Histeréticos: Incluyen los disipadores metálicos y los disipadores friccionantes, y dependen de los desplazamientos de la estructura. Los disipadores metálicos están basados en la fluencia de los metales debido a flexión, corte, torsión, o extrusión. Uno de los dispositivos metálicos más reconocidos es el ADAS, que está compuesto por placas de acero de sección transversal en forma de X instaladas en paralelo sobre los arriostres.

Los disipadores friccionantes disipan la energía mediante las fuerzas de fricción que se presentan por el desplazamiento relativo entre dos placas de contacto en contacto. Se diseñan para deslizar a una carga predeterminada, y permanecen inactivos mientras no exista una demanda sísmica importante en la estructura.

3.4.2.2.2. Disipadores Viscoelásticos: Están conformados por los sistemas de sólidos viscoelásticos, fluidos viscoelásticos y disipadores fluido-viscosos. Los dispositivos viscoelásticos dependen de la velocidad, están constituidos por una capa de material viscoelástico ubicada entre dos placas de acero, usualmente unidas a los arriostres que conectan los extremos del entrepiso.

Los dispositivos viscoelásticos líquidos disipan la energía mediante deformaciones inducidas por un pistón en una sustancia altamente viscosa. Los disipadores fluido-viscosos disipan la energía forzando a un flujo de un fluido a través de un orificio. Estos dispositivos



se asemejan a los amortiguadores de un vehículo, obviamente su operatividad es a grandes fuerzas y se fabrican para que su vida útil sea alta.



*Figura 19. Dissipador Viscoelástico.*

*Fuente: Aislación Sísmica y Disipación. Universidad de Chile. Chile. 2002.*

3.4.2.3. Osciladores resonantes (tuned mass damper): Un oscilador resonante (TMD) es un sistema de un grado de libertad constituido por una masa, un elemento restitutivo y un mecanismo de disipación de energía, usualmente montado en la parte superior de la estructura. Para que el TMD pueda reducir la respuesta dinámica de una estructura debe existir una coincidencia entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y el oscilador resonante. Los osciladores resonantes son muy efectivos en la reducción de las vibraciones producidas por los efectos del viento en edificios altos, y también pueden ser empleados para la protección sísmica.



*Figura 20. TMD.*

*Fuente: Aislación Sísmica y Disipación. Universidad de Chile. Chile. 2002.*



### 3.4.3. Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos utilizan una combinación de dispositivos pasivos y activos con el fin de incrementar la confiabilidad y eficiencia del control y protección estructural.

Algunas de las restricciones que presenta un sistema completamente activo pueden ser superadas por los sistemas híbridos debido a que estos operan múltiples dispositivos de control, logrando un mejor rendimiento.

Las investigaciones en el campo de los sistemas de control híbrido han sido enfocadas principalmente al desarrollo de dos tipos de sistemas: el oscilador híbrido (HMD) y el aislamiento activo.

Todos los sistemas híbridos funcionan según el esquema mostrado en la Figura 20.

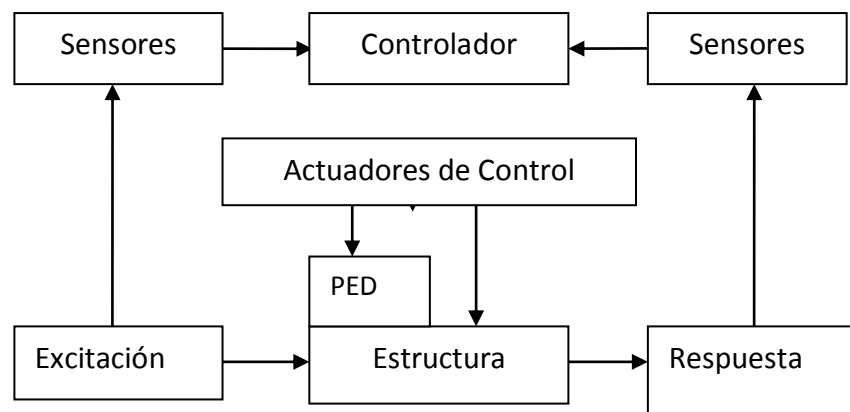


Figura 21. Esquema del Proceso de Sistemas Híbridos de Protección Sísmica

Fuente: Estudio Comparativo Económico de Edificios con Aislamiento Sísmico en la Base. Universidad de Chile.2003

El oscilador híbrido HMD (*Hybrid Mass Damper*) es el resultado de la combinación de un oscilador resonante (TMD) y un actuador de control activo. La capacidad de este dispositivo para reducir la respuesta estructural radica principalmente en el movimiento natural del oscilador resonante.





Las fuerzas de control generadas por el actuador son empleadas para mejorar el desempeño del oscilador resonante, incrementando de esta manera la eficiencia del sistema y permitiendo su adaptabilidad a los cambios en las características dinámicas de la estructura.

#### 3.4.4. Sistemas Semi-activos.

Los Sistemas Semi-Activos no aplican fuerzas de control en el sistema estructural, pero tienen ciertas propiedades variables que pueden ser controladas para reducir óptimamente la respuesta del sistema estructural.

En la figura 14 se muestra el esquema de funcionamiento de estos sistemas.

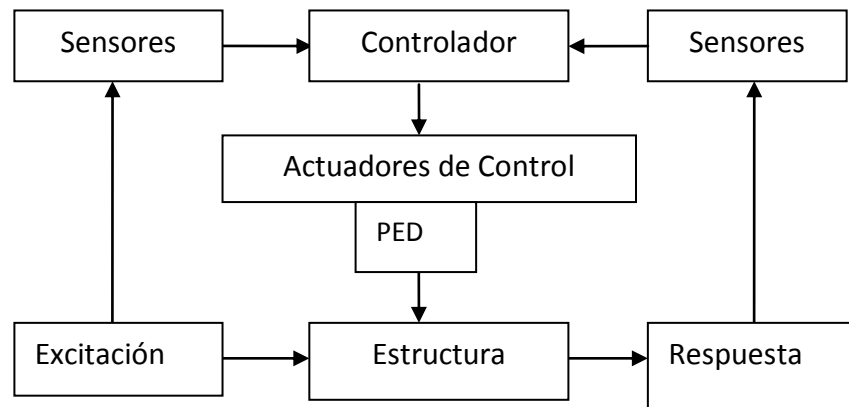


Figura 22. Esquema del Proceso de Sistemas Semi-activos de Protección Sísmica.

Fuente: Estudio Comparativo Económico de Edificios con Aislamiento Sísmico en la Base. Universidad de Chile.2003

El interés que se ha generado en este tipo de sistemas radica en que los sistemas de control Semi-activos ofrecen la adaptabilidad de los sistemas de control activo sin la demanda de grandes fuentes de energía.



### 3.4.5 Aisladores sísmicos de base

Los aisladores sísmicos de base se basan en el concepto de la reducción de la demanda sísmica. Estos sistemas tienen como finalidad aislar la cimentación de la superestructura. Al colocarlos en una estructura se alarga considerablemente el periodo fundamental de vibración de esta, llevándolo a zonas en donde las aceleraciones espectrales son reducidas y, consecuentemente, las fuerzas que producen resultan de menor cuantía.

Como la frecuencia disminuye, las aceleraciones introducidas disminuyen al igual que los efectos dañinos del movimiento del suelo en la estructura. El mayor beneficio se encuentra en estructuras con periodos del orden de 1 segundo o un poco menor, o en edificios de ciertas características en donde se acentúa la torsión.

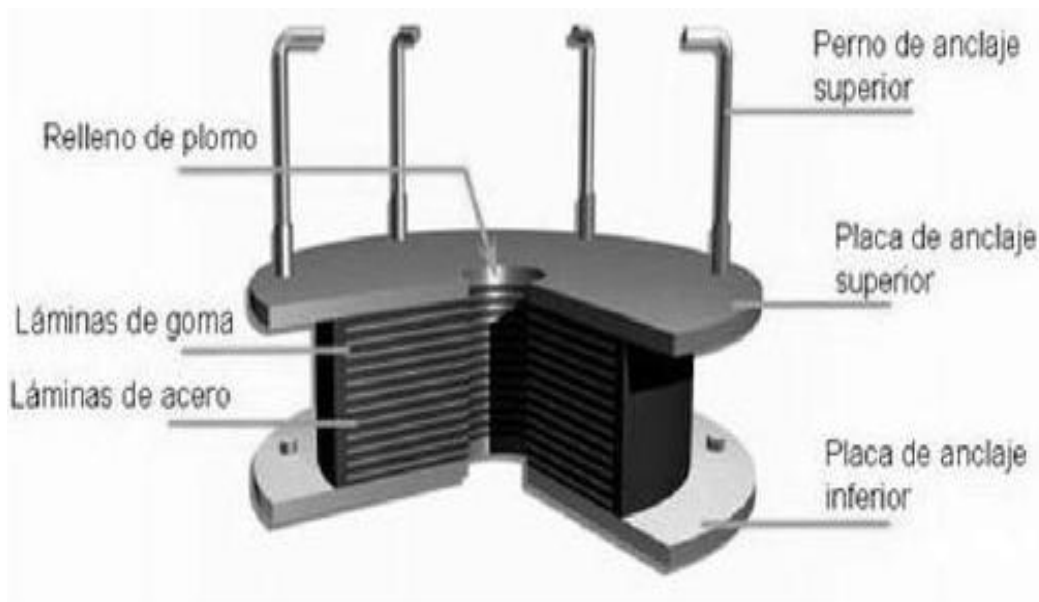


Figura 23. Esquema de un Aislador Sísmico de Base (apoyo elastomérico).

Fuente: DE LA LLERA, Juan. Aisladores Sísmicos en el Hospital Militar. Chile. 2002.



3.4.5.1 Comportamiento de los aisladores sísmicos de base: Los Aisladores Sísmicos de Base consisten en una serie de “paquetes” colocados entre la cimentación y el edificio.

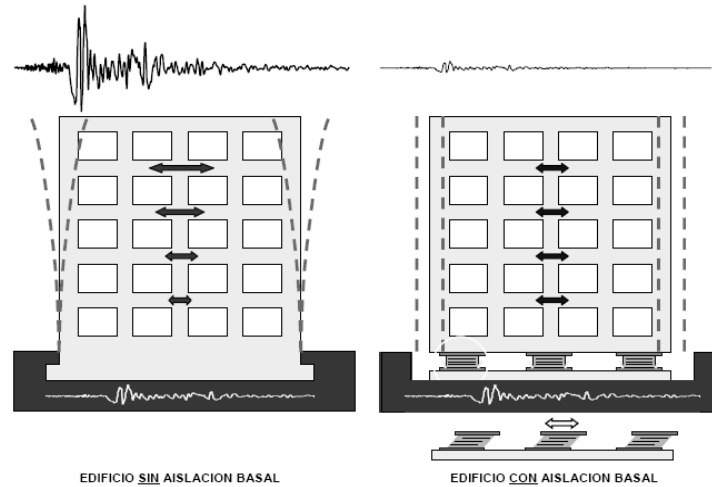


Figura 24. Comparación de la respuesta de un edificio sin aislación basal y uno con aislación basal.  
Fuente: DE LA LLERA, Juan. Aisladores Sísmicos en el Hospital Militar. Chile. 2002

### 3.5 CONTROL SISMICO EN LAS ESTRUCTURAS

#### 3.5.1. Disipación de energía.

Un sistema de aislamiento se forma sumando aisladores de energía en la estructura. Los aisladores de energía proveen la estructura con gran capacidad de amortiguación que ayudara a disipar mas la energía generada por las vibraciones, esto asegura ue la estructura será segura en un terremoto o para satisfacer el requisito de viento. Los aisladores de energía pueden hacer más pequeña la necesidad de respuesta estructural, del orden del 40%-60% comparado con estructuras tradicionales sin aisladores (Zhou y Xian, 1999)

#### 3.5.2. Mecanismo y experimentación de los sistemas de disipación de energía.

Para las estructuras con disipadores de energía, la ecuación de balance de energía en cualquier instante de tiempo durante el sismo es (Zhou y Xian, 1999):



$$E_{in} = E_p + E_k + E_d + E_b \quad (1)$$

Donde  $E_{in}$  es el aporte de energía para la estructura,  $E_p$  es la energía potencial de vibración en la estructura,  $E_k$  representa la energía cinética de vibración en la estructura,  $E_d$  es la energía que disipo por la amortiguación de la estructura y  $E_b$  es la energía disipada por el disipador de energía. La experimentación y la investigación determinan que estos dispositivos pueden disipar cerca del 90% del aporte total de energía al final del sismo (Zhou y Xian,1999). El efecto de  $E_d$  es relativamente pequeño, razón por la cual puede omitirse dentro de la ecuación, por tanto la disipación de energía de diseño para la necesidad de resistencia del sismo puede satisfacerse con

$$E_{in} < E_b \quad (2)$$

Para determinar el aporte de energía  $E_{in}$ , el sistema puede considerarse como un sistema de múltiples grados de libertad. La energía disipada por los disipadores de energía  $E_b$  depende del área encerrada en la curva carga-desplazamiento. Los disipadores de energía proveen a la estructura grandes cantidades de amortiguamiento lo cual disipara la mayoría de la energía de vibración del sismo o del viento antes de que la estructura alcance su respuesta limite, asegurando así que la estructura no sufra ningún daño y mantenga su desempeño normal durante un sismo (Zhou y Xian, 1999).

### 3.5.3. Análisis sísmico estático para edificios con aislamiento sísmico de base.

El análisis sísmico estático es un método simplificado para el análisis de edificios que están ajustados a ciertas hipótesis de comportamiento y tipos de configuración estructural, el diseño del sistema sísmico de aislamiento incluye el cálculo del esfuerzo cortante en la base, desplazamiento del soporte, etc., acorde con las características específicas del sitio, las condiciones de diseño y las propiedades del soporte, este método es suficiente para analizar estructuras con irregularidades geométricas sutiles( Zarate et al, 2003). El análisis dinámico no lineal es el que mejor se ajusta a ese tipo de irregularidades.

A nivel mundial se están usando muchos sistemas de protección sísmica, activos, pasivos, semiactivos, etc., pero el de mayor uso es el de protección pasiva, dada su simplicidad y



fácil operación y mantenimiento (Zarate et al, 2003). Las principales ventajas de este tipo de sistemas de protección son:

- Los sistemas no están sometidos por la energía que entra al conjunto de aisladores y,
- Los principios de la construcción son simples, lo cual permite la misma facilidad de operación y mantenimiento.

El principio de este sistema sísmico es el de detener el proceso de propagación de las ondas sísmicas al equipo importante, mediante la capacidad de los compuestos de caucho de incorporar la energía cinética y transformar esta deformación en energía potencial. El principal requerimiento de estos sistemas es la magnificación de los valores de deformación estática y dinámica, es decir, se obtienen valores bajos para las frecuencias del sistema de aislamiento y el sistema estaría trabajando en un estado de pos-resonancia, lejos de la zona de las fuerzas perturbadoras (Holmes Consulting Group Ltda., 2008)

### **3.6. HIGH DAMPING MULTI RUBBER BEARING (MRB HD-HS)**

#### **3.6.1. Soporte de caucho de alto amortiguamiento.**

Los aisladores sísmicos de Bridgestone son de forma cilíndrica y consisten en un núcleo central de capas alternadas de caucho de alto amortiguamiento (HD) y placas de acero. Tienen unas pestañas de acero pesado que son atornilladas permanentemente a los bordes de cada núcleo para permitir su amarre a la estructura con tonillos anchos.

De 41 moldes y 4 compuestos de caucho HD No lineales se han generado 164 aisladores estándar, para cubrir un amplio rango de amplitud de requerimientos de desempeño, incluyendo:

- Amortiguamiento viscoso desde el 14% al 17%.
- Cargas de tensión por encima de los 100 psi en cada desplazamiento de diseño.
- Cargas de larga duración (D+L) desde 112,5 Tons hasta 1800 Tons.



- Creep menor del 5% en 50 años de uso<sup>7</sup>.

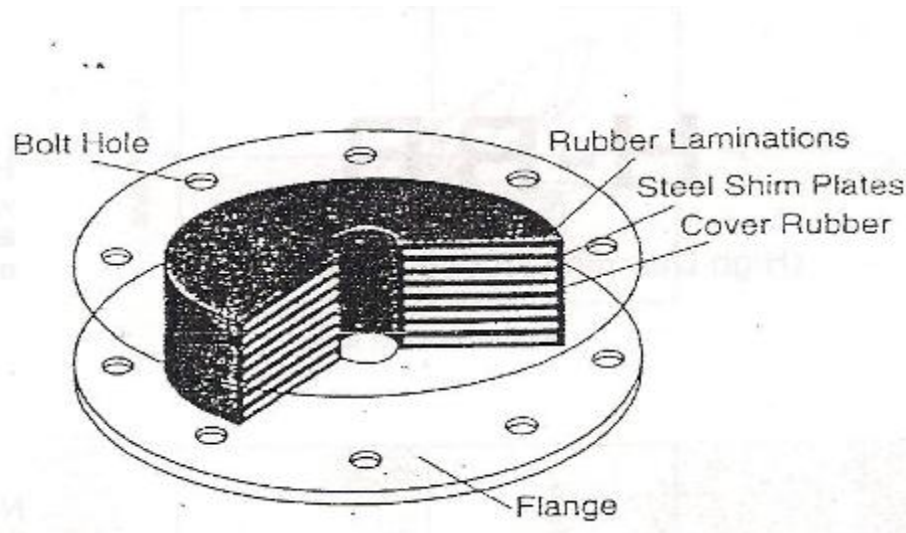


Figura 25. Partes de un HDR.

Fuente: Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000.

El aislador sísmico de alto amortiguamiento MRB HD-HS combina la función de soporte de carga con la función de amortiguamiento. El MRB HD ha sido desarrollado con el objetivo de fortalecer la función de absorción de energía entre las moléculas de caucho (viscosidad y fricción) a través del desarrollo de una fórmula de caucho especial basado en la tecnología de los materiales propios de Bridgestone. Este innovador caucho tiene una capacidad de amortiguamiento seis veces mayor que los sistemas basados en caucho natural<sup>8</sup>.

El soporte de alto amortiguamiento patentado por Bridgestone es el mayor avance ya que hace de una notable función de amortiguamiento (amortiguamiento viscoso equivalente constante mayor del 15%) una realidad mientras que elimina también los adversos efectos laterales. El MRB HD tiene las siguientes características<sup>9</sup>:

- Capacidad de soporte de carga de más de 800 toneladas por soporte.

<sup>7</sup> : Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000

<sup>8</sup> : Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000

<sup>9</sup> : Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000



- La función de amortiguamiento elimina la necesidad de aparatos de amortiguamiento separados.
- Vida útil de más de 60 años, confirmada por simulaciones.
- La característica de una suave curva histerética, produce no solo un efecto gatillo contra las vibraciones causadas por el viento, sino también un efecto de alta separación sísmica contra los sismos de pequeña y mediana escala. Un efecto de alta separación sísmica es, por supuesto, mantenido contra sismos de gran escala.
- Retiene pequeños desplazamientos residuales, incluso después de estar sujeto a sismos de gran escala. Hasta que no haya cambios en las características de su desempeño, no hay necesidad de reemplazar el MRB-HD.
- Baja dependencia a los cambios de temperatura en la rigidez del resorte y su capacidad de amortiguamiento. Con excelentes crio-características, especialmente por debajo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , este puede ser usado en una amplia gama de aplicaciones.
- Mejores características de “creep” que los sistemas basados en caucho natural.
- Alta durabilidad, ya que el caucho está cubierto por una capa de caucho EPDM, para protegerlo del ozono y de los rayos ultravioleta.

### 3.6.2. Mecanismo de Generación de Amortiguamiento del HDR.

El material de caucho de alto amortiguamiento de Bridgestone proporciona una excelente capacidad de amortiguamiento porque está diseñado para tener una estructura especial entre los enlaces de las moléculas de caucho. Cuando el material de caucho (moléculas de caucho) es estirado en una dirección dada, los siguientes tres fenómenos se dan dentro del material:

- Elemento Resorte: Las moléculas de caucho se expanden y contraen elásticamente.
- Elemento Amortiguador Friccionante: Intrincada y entrelazadamente, las moléculas del material rozan unas con otras.



- Elemento Amortiguador Viscoso: Cuerpos viscosos especialmente formulados entre las moléculas del material, producen resistencia.

Después que los tres elementos anteriores se presenten simultáneamente, el material presenta unas características histeréticas en una onda suave. Esto da como resultado el mecanismo de generación de amortiguamiento<sup>10</sup>.

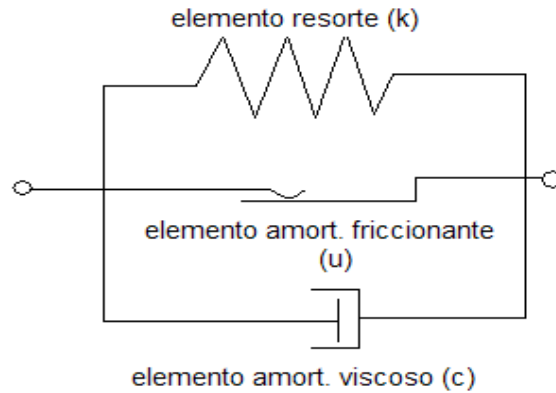


Figura 26. Diagrama modelo de los elementos amortiguadores

Fuente: *Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company, 2000.*

Todas las otras características del HDR se encuentran en el anexo.

<sup>10</sup> : Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000





### 3.7 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL AISLADOR SISMICO

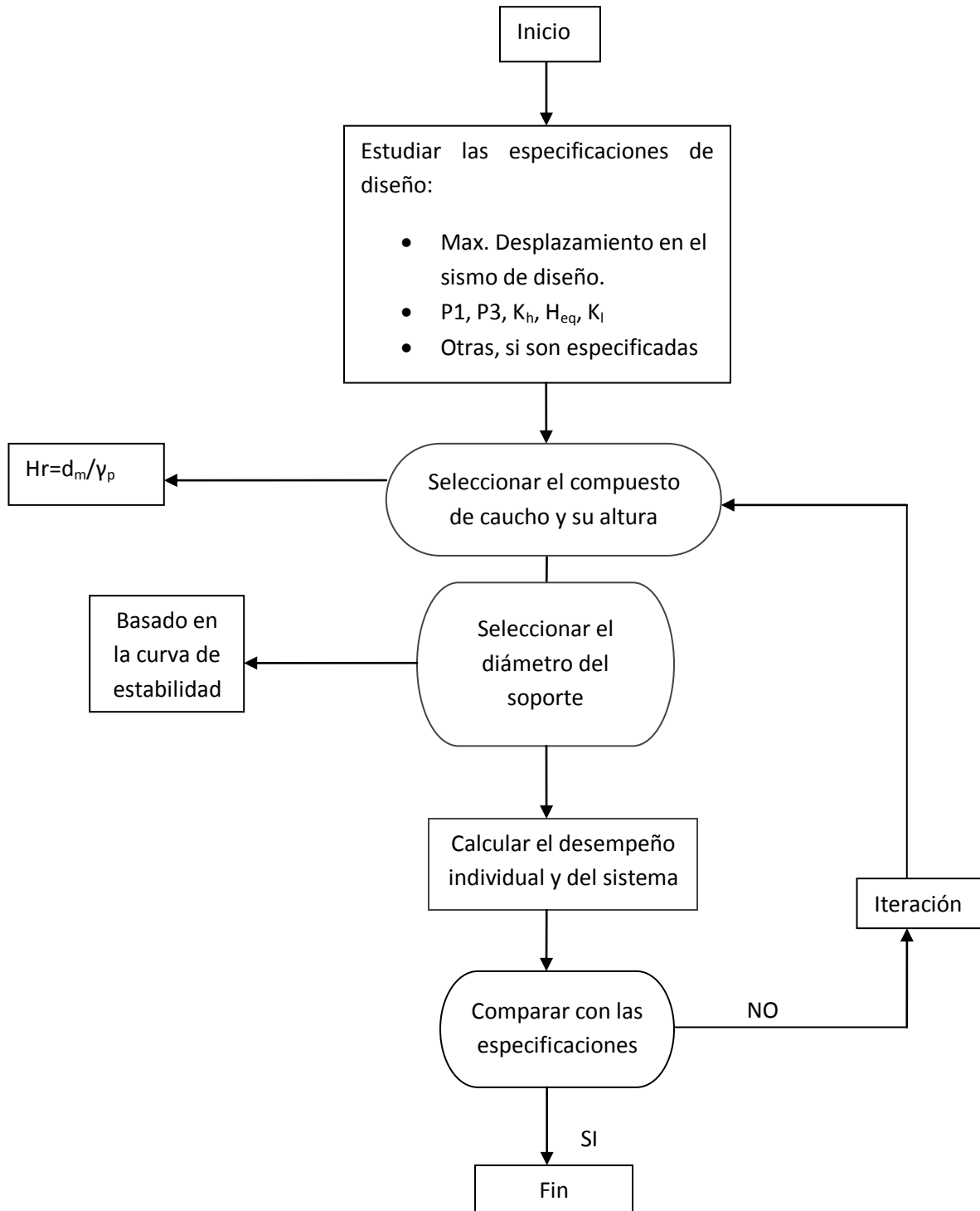


Figura 27. Procedimiento de diseño del aislador sísmico

Fuente: Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company, 2000



El diagrama de flujo del proceso de diseño puede ser explicado así:

- Estudiar las especificaciones de diseño.
- Asegurarse de que las siguientes condiciones están identificadas:
  - Desplazamiento de diseño durante el sismo básico de diseño.
  - Desplazamiento máximo durante el sismo máximo actuante.
  - Cargas en columnas de larga duración (carga muerta + carga viva).
  - Máximas cargas de corta duración a tensión y a compresión.
  - Sistema objetivo de rigidez o sistema de periodo natural.
  - Amortiguamiento objetivo equivalente.
  - Rigidez objetiva inicial.
  - Rigidez objetiva vertical.
  - Otras restricciones como el creep, la deflexión vertical, factor de seguridad, etc.
- Seleccionar el compuesto de caucho y la altura.
  - Antes de que tenga lugar el proceso de diseño, el diseñador debe saber que el costo está en función del volumen del aislador.
  - Cada compuesto tiene su propio esfuerzo cortante admisible. Por ejemplo, el compuesto H6 tiene un cortante admisible por encima de un 270%. dentro de este esfuerzo cortante admisible, el desempeño del soporte esta garantizado.
  - Considerando los factores anteriores y el máximo desplazamiento, el compuesto de caucho y su altura pueden ser estimados como:

$$H_r = \frac{d_m}{\gamma_p}$$

- Seleccionar el tamaño del soporte (diámetro interno y diámetro externo).
  - Antes de determinar el tamaño del soporte, el diseñador debe conocer el compuesto del soporte, el primer factor de forma, y el segundo factor de forma influye en la capacidad de carga.
  - Basado en las curvas de estabilidad del tamaño estándar de soporte, el diseñador puede determinar el soporte apropiado para una columna en particular.



- Calcular el desempeño individual del soporte, y el desempeño del sistema, después comparar con las especificaciones de diseño.
  - Este paso le dirá al diseñador si el soporte seleccionado es el apropiado o no.
  
- Comparar con la especificación de diseño.
  - Si los soportes seleccionados cumplen con las especificaciones de diseño, el proceso de diseño esta completo. De otro modo las iteraciones de diseño son las necesarias para seleccionar el soporte adecuado.

### 3.8 ECUACIONES Y TERMINOLOGIA

#### 3.8.1 Ecuaciones

##### 1. Periodo natural ( $T_h$ , $T_v$ ).

Es el inverso de la frecuencia natural. El periodo natural es calculado por la siguiente fórmula:

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g * K_v}} \qquad T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g * K_h}}$$

##### 2. Frecuencia natural $f_h$ y $f_v$ .

Es la frecuencia de vibración libre del sistema. Para un sistema de múltiple grado de libertad la frecuencia natural es la frecuencia de los modos normales de vibración. Se calcula así:

$$f_h = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g * K_h}{W}} \qquad f_v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g * K_v}{W}}$$



### 3. Rigidez horizontal total del sistema.

Es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$K_{h \text{ sistema}} = \sum_{j=1}^n K_{hi}$$

### 4. Modulo cortante (G).

Es determinado a través de la ecuación de función de esfuerzos. A fin de determinar G, las siguientes condiciones deben ser determinadas.

- Compuesto de caucho H4, H6, H8 o H12.
- La magnitud de  $\gamma$  (la menor de las dimensiones).

$$G = f(\gamma)$$

El valor del modulo de cortante puede ser obtenida de la tabla de especificaciones de los compuestos de caucho para los MRB-HD.

### 5. Rigidez ( $K_h$ )

Es la relación de cambio de fuerza (o torque) al correspondiente cambio en la deflexión translacional (o rotacional) de un elemento elástico. La rigidez horizontal puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$K_h = \frac{G * A}{n * t_r}$$

### 6. Rigidez horizontal inicial ( $K_{h \text{ inicial}}$ ).

Es calculada por la siguiente fórmula:

$$K_{h \text{ inicial}} = \frac{G(\gamma) * A}{H_r}$$

$\gamma=0.1$  para H4 y H12

$\gamma$ =el resultado de la función de esfuerzo cortante menor ( $\gamma<0.1$ ) para H6 y H8.



7. Esfuerzo cortante ( $\gamma$ ).

Es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{d}{n * t_r}$$

8. Rigidez vertical ( $K_v$ ).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$K_v = \frac{E_{ap} * A}{n * t_r}$$

9. Modulo aparente considerando el modulo de masa ( $E_{ap}$ ).

$$E_{ap} = \frac{E_{aparente} * E_{\infty}}{E_{aparente} + E_{\infty}}$$

10. Modulo aparente sin considerar el modulo de masa ( $E_{ap}$ ).

Puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$E_{aparente} = E_a * (1 + 2kS_1^2)$$

11. Primer factor de forma ( $S_1$ ).

Se calcula así:

$$S_1 = \frac{\text{Area cargada}}{\text{Area libre de carga}}$$

Con los diámetros externos e internos del soporte,  $D_o$  y  $D_i$ , respectivamente,  $S_1$  es calculado por la siguiente fórmula:

$$S_1 = \frac{\frac{\pi(D_o^2 - D_i^2)}{4}}{t_r(\pi D_o + \pi D_i)} \rightarrow S_1 = \frac{\pi(D_o + D_i) * (D_o - D_i)}{4\pi * t_r(D_o + D_i)}$$
$$S_1 = \frac{(D_o - D_i)}{4t_r}$$



12. Segundo factor de forma ( $S_2$ ).

Se calcula mediante la fórmula:

$$S_2 = \frac{\text{diametro externo}}{\text{altura del caucho}} \longrightarrow S_2 = \frac{D_0}{H_R}$$

13. Altura del caucho ( $H_R$ ).

Se calcula mediante la fórmula:

$$H_R = n * t_r$$

Donde n=numero de capas

$t_r$ = espesor de capas

14. Presión de superficie ( $\sigma$ ) ejercida sobre el soporte.

Se calcula con la formula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

15. Presión de superficie admisible de larga duración.

Se calcula basada en la curva de estabilidad. Remitirse a la estabilidad del aislador para más detalle. Varios parámetros tienen que ser determinados en el avance.

1. Tipo de compuesto, como el H4, H6, H8 o H12.
2. Segundo factor de forma ( $S_2$ ).
3. Esfuerzo cortante ( $\gamma$ ).

16. Presión de cara admisible de corta duración.

Puede ser determinado siguiendo el procedimiento anterior.



17. Factor de amortiguamiento equivalente ( $H_{eq}$ ).

Es determinado a través de la ecuación de función de cortante. A fin de calcular  $H_{eq}$  deben conocerse:

- Componentes de caucho H4, H6, H8 o H12.
- La magnitud de  $\gamma$  (la menor dimensión).

$$H_{eq} = f(\gamma)$$

18. Amortiguamiento total del sistema ( $H_{eq \text{ sistema}}$ ).

Puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$H_{eq \text{ sistema}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{eq} * K_{hi} * d_i^2}{\sum_{i=1}^n K_{hi} * d_i^2}$$

19. Esfuerzo local.

Se calcula así:

$$Esfuerzo \text{ local} = \frac{d}{H_r} + \frac{6 * S_1 * P}{E_{aparente} * A_{eff}}$$

20. Área efectiva de traslapo ( $A_{eff}$ ).

Se calcula así:

$$A_{eff} = \frac{1}{2} * \left[ D_0^2 * \left\{ \text{sen}^{-1} \frac{(D_0^2 - d^2)^{1/2}}{D_0} * \frac{\pi}{80} \right\} - d * (D_0^2 - d^2)^{1/2} \right] - \pi * \frac{D_i^2}{4}$$

21. Factor de seguridad.

Puede ser calculado así:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{0.85 * \varepsilon_b}{esfuerzo \text{ local}}$$



22. Deflexión vertical inicial.

Se calcula mediante la fórmula:

$$\text{deflexion inicial} = \frac{P}{K_v}$$

23. Capacidad de elevación.

Puede ser calculado así:

$$\text{capacidad de elevacion} = \frac{1}{2} * E_a \left[ 1 - \frac{1}{S_1} \right] * A$$

24. Rigidez del sistema aislado ( $R_x$ ,  $R_y$ ).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_x = \frac{\sum_{i=1}^n K_{hi} * X_i}{\sum_{i=1}^n K_{hi}} \quad R_y = \frac{\sum_{i=1}^n K_{hi} * Y_i}{\sum_{i=1}^n K_{hi}}$$

25. Excentricidad ( $e_x$ ,  $e_y$ ).

Pueden ser calculadas de la siguiente manera:

$$e_x = [X_G - R_x] \quad e_y = [Y_G - R_x]$$

### 3.8.2 Terminología

A= Área de la sección transversal del soporte de caucho.

$A_{\text{eff}}$ =Área efectiva de la sección transversal bajo un desplazamiento particular.

d= Desplazamiento.

$D_o$ = Diámetro exterior.





$D_i$ = Diámetro interior.

$D_{TM}$ = Máximo desplazamiento total.

$e_x, e_y$ = Excentricidad.

$E_{\text{apparent}}$  = Modulo aparente sin considerar el modulo de masa.

$E_{\text{ap}}$  = Modulo aparente considerando el modulo de masa.

$E_o$ = Modulo de Young.

$E_a$ = Modulo de Masa.

$f_h$ = frecuencia natural en la dirección horizontal.

$f_v$ = frecuencia natural en la dirección vertical.

$g$ = aceleración de la gravedad.

$G$ = Modulo cortante

$H_{\text{eq}}$ = Factor equivalente de amortiguamiento.

$H_{\text{eq, system}}$ = Amortiguamiento total del sistema.

$H_r$ = Altura del caucho.

$K$ =factor de correccion por endurecimiento.

$K_h$ = Rigidez horizontal.

$K_{h, \text{system}}$ = Rigidez horizontal total del sistema.

$K_{h, \text{initial}}$ = Rigidez horizontal inicial.

$K_v$ = Rigidez Vertical.

$N$  =numero de capas de caucho.

$P$ = Carga vertical.

$R_x, R_y$ = Rigidez del sistema de aislamiento.

$S_1$ = primer factor de forma (20-35)

$S_2$ =segundo factor de forma (4-8)

$t_h$ = periodo natural en dirección horizontal.



$t_v$ = periodo natural en dirección vertical.

$t_r$ = espesor de la capa de caucho.

$t_s$ = espesor de la lamina metálica.

$W$ = peso total del edificio.

$X_G, Y_G$ = centro de masa.

$\gamma$ = Modulo de corte.

$\gamma_p$ = Modulo de corte permisible.

$\sigma$ = presión o esfuerzo aplicado.

$\sigma_{cr}$ = presión o esfuerzo critico.

### **3.9. COSTOS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO DE BASE**

La primera pregunta que se hace cuando se habla de considerar el aislamiento sísmico de base como una opción constructiva es: ¿Cuánto cuesta? El costo del aislamiento es un factor de suma importancia, debido a los costos directos e indirectos y de salvamento que trae consigo la implementación de este sistema. El costo de transporte y de instalación debe adicionarse al costo básico de los aisladores.

La estructura es diseñada para un nivel de desempeño más alto en comparación a una estructura de base fija, entonces se establece que el uso de aisladores permite ahorros significativos en la construcción debida a la baja ductilidad de la estructura aislada, esto significa que la cantidad de acero y de concreto se disminuye.

#### **3.9.1. Costos de los aisladores.**

Para varios tipos de aisladores, el costo está influenciado en gran medida por el desplazamiento máximo de la base y en menor medida por las cargas que soportan. Para cierto nivel de carga sísmica, el desplazamiento es proporcional al periodo, de ahí que



exista gran variedad de aisladores y su correspondiente variabilidad en los costos. Cada dispositivo puede costar entre US\$ 7.100 y US\$ 16.000. El costo final del sistema de aislamiento depende de la eficiencia del sistema, esta eficiencia se refiere a la disposición del aislador, entre mas carga reciba, mayor eficiencia.

### **3.9.2. Ahorro.**

El sistema de aislamiento sísmico se diseña para reducir fuerzas y por tanto disminuir costos, pero la reducción lograda no tiene el mismo valor para fuerzas y para costos, una reducción de las fuerzas por un factor de 3 no reduce costos por la misma cantidad (Bohórquez y Gómez, 2009), el sistema estructural debe resistir otras cargas como la gravedad o el viento, los cuales establecen dimensiones mínimas de los elementos. La reducción de fuerza prevista por el sistema está en el mismo orden de la reducción de fuerza utilizada por motivo de ductilidad en una estructura de base fija. Por ejemplo, según el UBC la máxima fuerza de sismo en un edificio no aislado es disminuida por un factor  $R$  de mínimo valor de 2.2 para edificios con columnas de ménsulas a un valor de 8.5 para pórticos espaciales resistentes a momentos. Si la súper-estructura fue diseñada para los mismos niveles de ductilidad como para una estructura de base fija, entonces se tiene que la baja resistencia de la estructura disminuye la eficiencia del sistema (Bohórquez y Gómez, 2009).

### **3.10. APORTE SISMICO.**

El análisis de una estructura aislada utiliza los mismos métodos que para una estructura no aislada, esto es, el análisis estático equivalente y el análisis dinámico del espectro de respuesta. Los códigos permiten un análisis espectral de respuesta ya que este requiere menos esfuerzo analítico. Aunque un análisis del espectro de respuesta puede ser usado para la mayoría de las estructuras, el método es usualmente más complejo que para las estructuras no aisladas como un método lineal de análisis usado para representar un sistema no lineal (Bohórquez y Gómez, 2009). En la mayoría de los sistemas de aislamiento, la rigidez y el amortiguamiento son dependientes del desplazamiento, aunque para un sismo



dado, el desplazamiento es por si mismo un factor de rigidez y la amortiguación, entonces ya que la estructura aislada es dominada por el primer modo de desempeño entonces la evaluación basada en una sola aproximación masiva dará una buena estimación del desplazamiento, disminuyendo así el numero de iteraciones a una o dos. Este análisis del espectro de respuesta puede realizarse con programas como el ETABS y el SAP 2000 (Bohórquez y Gómez, 2009). Los códigos intentan establecer la representación de la carga de un sismo en una manera más adecuada para las condiciones de diseño, estos especifican las cargas sísmicas a través de dos métodos:

- Método de la Fuerza Horizontal Equivalente,
- Método del Análisis del Espectro de respuesta.

Para mayor detalle sobre estos métodos el lector puede remitirse a la norma NSR-10 en su capítulo A.3.2.



#### 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, la cual es de tipo experimental, se llevaron a cabo cuatro etapas:

1. Digitalización y diseño de modelos: Esta etapa inicia con la consecución de los planos estructurales y los modelos a evaluar, que son tres edificios ubicados en la ciudad de Cartagena cuyas alturas de diseño oscilan entre de 12 y 23 pisos, aunque para efectos de la investigación se rediseñaron con una altura de 30 pisos y se considero un análisis de tipo estático; los planos fueron suministrados por el director del proyecto Ing. Arnoldo Berrocal Olave. La digitalización de los modelos se realizo con los programas ETABS y AUTOCAD, estos son programas de ingeniería adecuados para este tipo de análisis. En el numeral 3 se detalla este procedimiento.
2. Evaluación de variables básicas: En esta etapa se determino de qué manera se comportara la estructura ante la incidencia de cargas sísmicas y de viento, determinando así cual de las dos es de mayor influencia en el comportamiento y diseño de la estructura. Esta influencia se determina a través de un análisis de carga sísmica y un análisis de cargas de viento. Ya que el análisis es de tipo estático y se enfoca únicamente a estructuras con sistema estructural aporticado, el método utilizado para el análisis sísmico es el de la fuerza horizontal equivalente. Esta etapa es de gran importancia ya que se debe realizar el diseño de los modelos acorde con las especificaciones establecidas en la NSR-10, y se debe verificar que las derivas de piso se encuentren en un rango adecuado (90% - 100% de la deriva máxima permitida).
3. Recopilación y análisis de información: Después de evaluar las variables se puede determinar el factor predominante para el diseño de las estructuras aisladas y no aisladas (sismo o viento), con esta información se procede al



diseño de la estructura y al cálculo de las fuerzas actuantes sobre esta. Para los casos en estudio se determinó que la fuerza sísmica es la preponderante en el diseño ya que es la de mayor incidencia en el tipo de aisladores. Paralelo a esta etapa se hace el diseño detallado de los modelos, en otras palabras, el cálculo de las secciones de los elementos y del refuerzo de acero.

El proceso de diseño de los modelos no aislados se describe a continuación:

- **Predimensionamiento:** Se determinaron unas dimensiones iniciales de vigas y columnas basadas en la NSR-10.
- **Generación del modelo estructural en ETABS:** Una vez se dimensionaron todos los elementos de los modelos de análisis, se procedió a generar un modelo tridimensional de las estructuras utilizando el programa ETABS, este programa suministra el valor del periodo de la estructura, el cual se determina mediante un análisis estático asignando fuerzas ficticias en cada piso.
- **Fuerzas de diseño:** Ya que el análisis es de tipo estático, la distribución de las fuerzas sísmicas debió realizarse manualmente basados en el espectro de diseño de la NSR-10 cuyo factor de amortiguamiento es del 5%, a través del método de las fuerzas equivalentes establecidos en el capítulo A.3.4.2.1. de la norma colombiana. Para el caso del análisis de viento se realizó un análisis completo basados en el capítulo B.6. de dicha norma.
- **Simulación y análisis en ETABS:** Las fuerzas finales de diseños fueron asignadas a cada modelo generado en ETABS, es decir, distribuyendo un porcentaje del total del cortante basal en cada piso y verificando que la estructura cumpliera con los parámetros establecidos en la NSR-10, concretamente con las derivas, considerando cada una de las combinaciones de carga establecidas en dicha norma.



- **Calculo del refuerzo:** Una vez se finalizo la fase de análisis, se crearon archivos de salida de datos proporcionados por el programa ETABS, estos archivos son necesarios para el correcto funcionamiento del software DC-CAD, este programa permite calcular las cantidades de refuerzo necesarias para el correcto funcionamiento de la estructura, a la vez que permite conocer los cantidades totales de refuerzo necesario para realizar el análisis económico.

El proceso de diseño de los modelos aislados se describe a continuación:

- **Predimensionamiento:** Esta fase se realizo en forma similar al proceso que se utilizo en las estructuras no aisladas, teniendo en cuenta el hecho de que los elementos estructurales solo estarían sometidos a cargas verticales.
- **Generación del modelo estructural en ETABS:** Esta etapa se desarrollo en forma similar al proceso para la generación de la estructura de los modelos no aislados, pero con la condición de que la estructura no está apoyada sobre empotramientos sino sobre apoyos con características de los aisladores, estas características se tomaron del manual de aisladores Bridgestone (Ver Anexo 1.).
- **Fuerzas de diseño:** El sistema de aislamiento incrementa el amortiguamiento de la estructura, por lo tanto el cálculo de las fuerzas de diseño no se pudo realizar usando el espectro de diseño de la NSR-98, ya que este espectro tiene un amortiguamiento del 5%, mientras que las estructuras aisladas tienen un amortiguamiento entre el 10% y el 20%, por tanto, se aplicó un método especial para amortiguar manualmente el espectro de la NSR-10 al valor de amortiguamiento de la estructura aislada, este valor de amortiguamiento depende del sistema de



amortiguamiento usado. El método utilizado para realizar este proceso fue desarrollado por Shibata-Sozen, el cual establece que a partir de un espectro con amortiguamiento del 2% y aplicando un coeficiente de amortiguamiento es posible determinar el espectro para cualquier amortiguamiento deseado. Luego de este proceso las fuerzas se distribuyeron en cada nivel similar a la estructura no aislada.

- Simulación y análisis en ETABS: Esta etapa se desarrollo en forma similar a la estructura no aislada, pero además, se agregaron combinaciones de carga de diseño del aislamiento sísmico establecidas en el código UBC 2010.
  - Aislamiento sísmico: Para el diseño de los aisladores se siguió el proceso de diseño descrito en la sección 5.7 y con la ayuda de hojas de cálculo en Microsoft Excel 2007 se realizaron las iteraciones necesarias para establecer las alternativas a utilizar. Se evaluaron entre 4 y 5 alternativas por modelo basados en la eficiencia del aislador, para la selección de la mejor alternativa se tuvieron en cuenta criterios como menor valor de cortante, mayor amortiguamiento, menores derivas.
  - Calculo del refuerzo: Similar a la estructura no aislada.
4. Elaboración de las Conclusiones: Con los datos de la estructura sin aisladores y ya habiendo seleccionado la alternativa de aislamiento sísmico para la estructura aislada, se procede a la organización y tabulación de estos datos con el fin de poder analizar el comportamiento estructural comparando derivas, periodos, cortantes basales, entre otros factores. En el aspecto económico se tabularan las cantidades totales de acero y concreto para cada tipo de estructura y basados en los precios unitarios actuales de estos materiales en la ciudad de Cartagena se validara o no las hipótesis planteada para el desarrollo de esta





investigación, es decir, determinar si el uso de aisladores sísmicos reduce los costos de construcción de estructuras de 30 pisos en la ciudad de Cartagena.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. ESTRUCTURA SIN AISLADOR.**

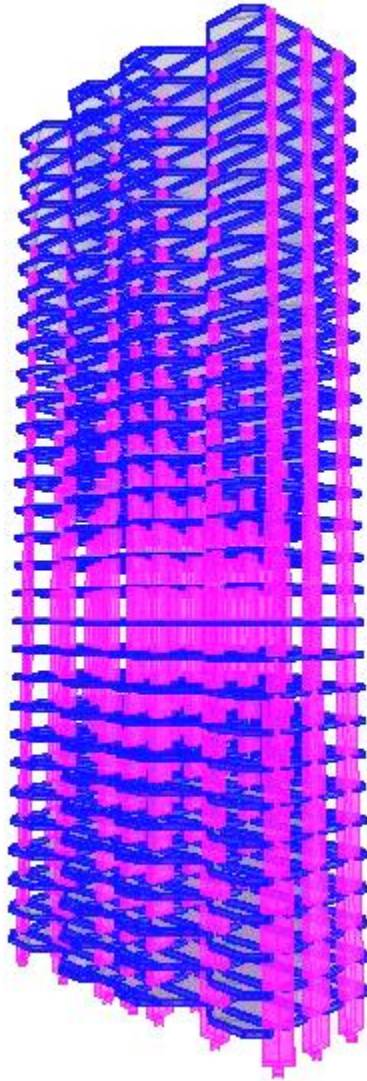
#### **5.1.1. Descripción de modelos.**

##### 5.1.1.1 Datos del modelo Taipei.

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- Aa: 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 Mts
- Número de niveles: 30 pisos.
- F'c: 280 kg/cm<sup>2</sup>
- Fy: 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- R=2.5
- Área total de losa: 18705.38 m<sup>2</sup>



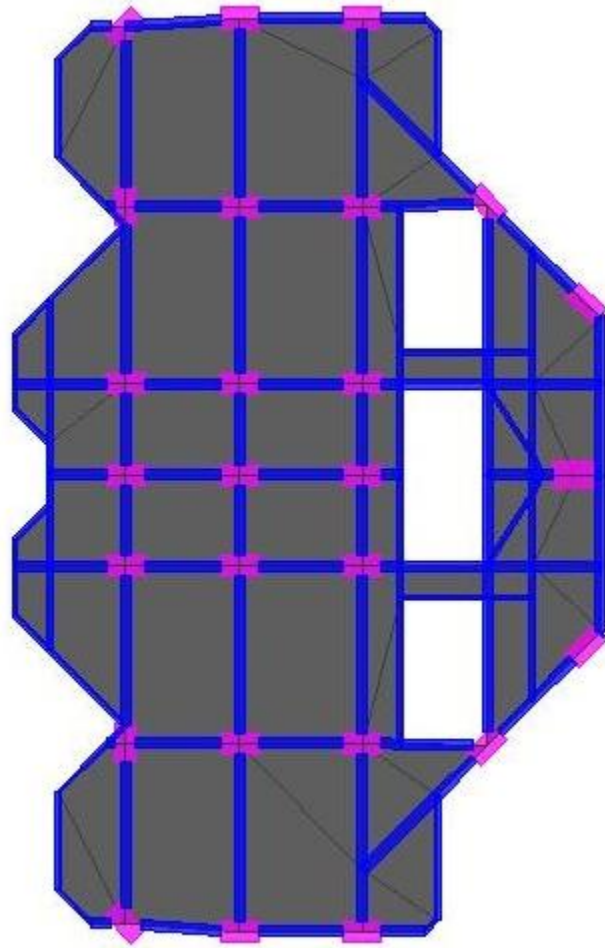
### VISTA EN 3D



*Grafica 1. Vista en 3D Modelo Taipéi.*



## VISTA EN PLANTA



*Grafica 2. Vista en Planta Modelo Taipéi*

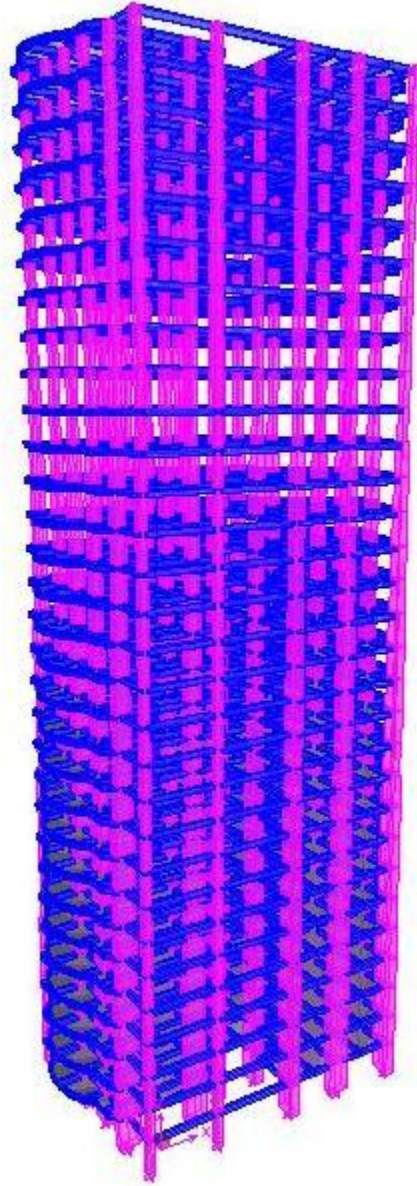


5.1.1.2. Datos del modelo Torre del Laguito:

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- Aa: 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 MTS
- Número de niveles: 30
- F'c: 280 kg/cm<sup>2</sup>
- Fy: 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- R=2.5
- Área total de losa: 15416.61 m<sup>2</sup>



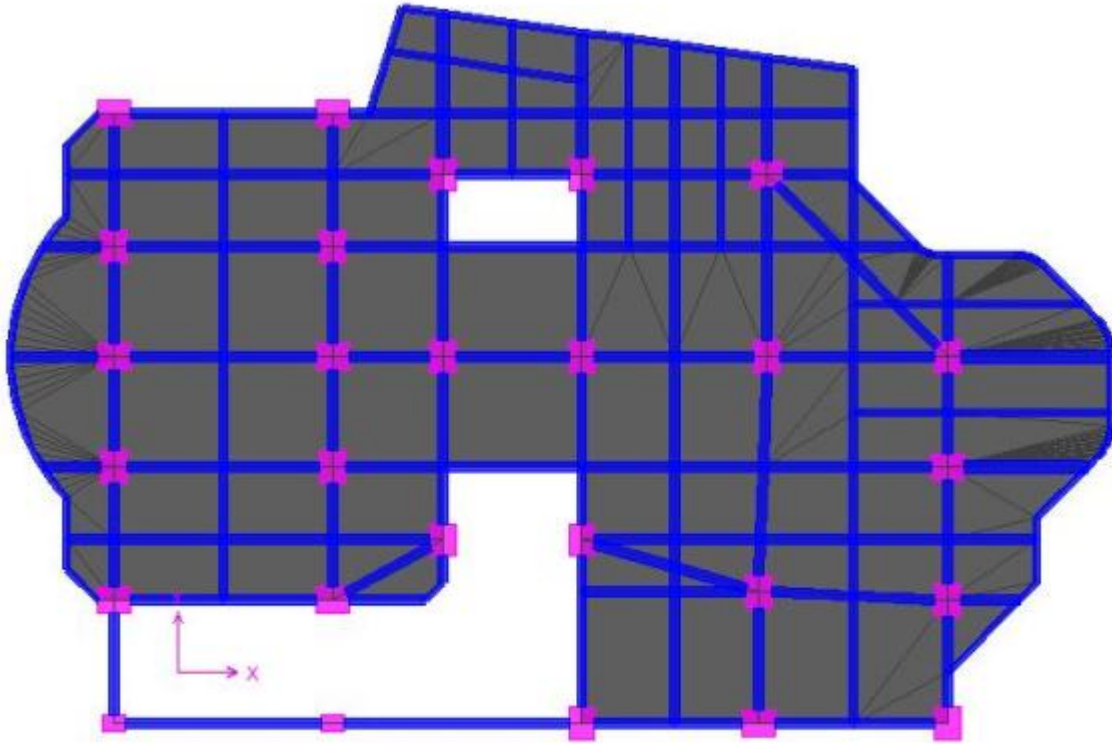
### VISTA EN 3D



*Grafica 3. Vista en 3D Modelo Torre del Laguito*



## VISTA EN PLANTA



*Grafica 4. Vista en planta Modelo Torre del Laguito*

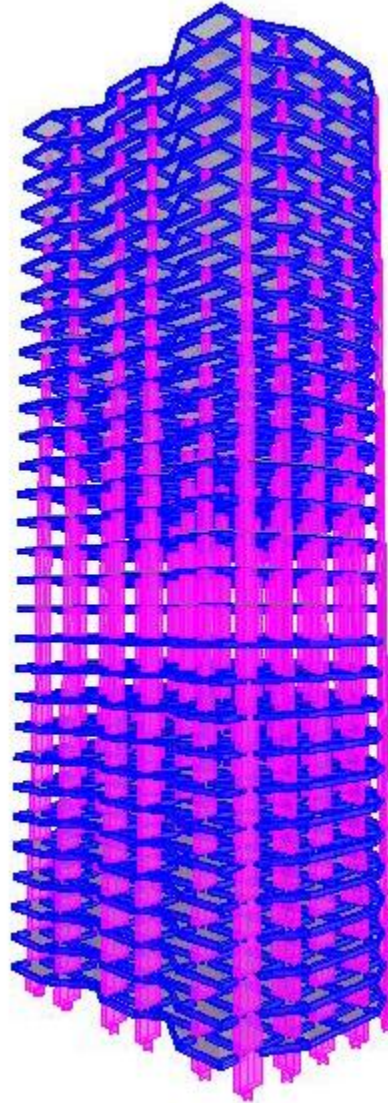


#### 5.1.1.3. Datos del modelo Prototipo

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- Aa: 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 Mts
- Número de niveles: 30 pisos.
- $F'c$ : 210 a 350 kg/cm<sup>2</sup>
- $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $R=2.5$
- Área total de losa: 24495.36 m<sup>2</sup>



### VISTA EN 3D

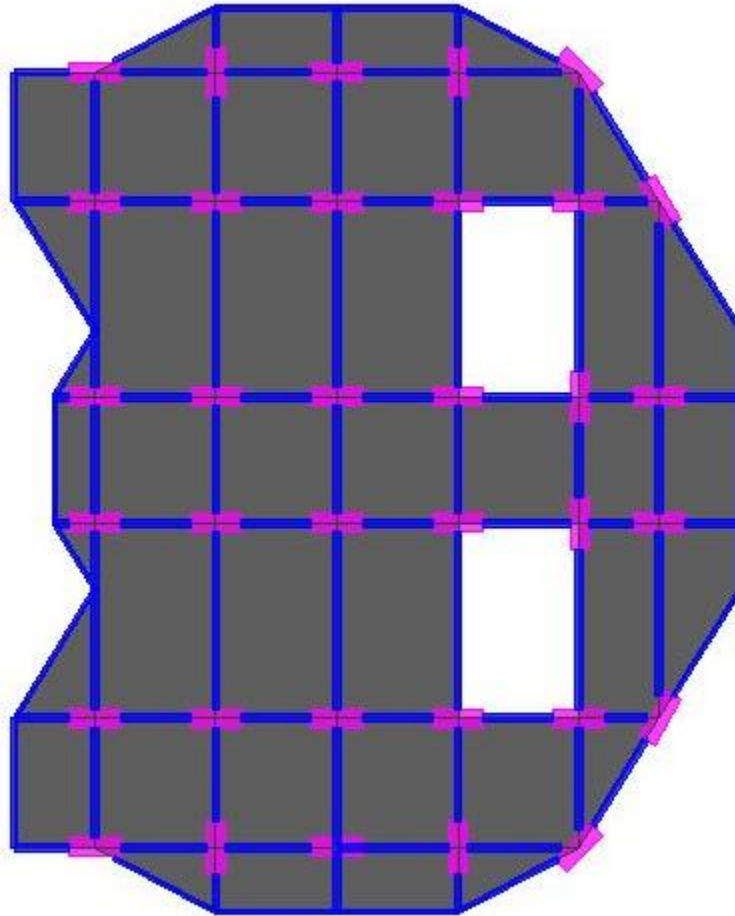


*Grafica 5. Vista en 3D Modelo Prototipo*





## VISTA EN PLANTA



*Grafica 6. Vista en planta Modelo Prototipo*



### 5.1.2. Calculo del periodo de las estructuras.

Para determinar el periodo de las estructuras en las direcciones X y Y, se asumieron fuerzas ficticias  $F_x$  y  $F_y$  de valor 10 toneladas, aplicadas en el centro de masa de los diafragmas rígidos, en todos los niveles. En la tabla 2 se muestran los resultados

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI (Seg)</i>	<i>LAGUITO (Seg)</i>	<i>PROTOTIPO (Seg)</i>
<i>X</i>	2.9145	3.02	2.92
<i>Y</i>	2.8124	3.01	2.94

Tabla 2. Periodo de la estructura

Este periodo es mayor que  $T_l$ , por tanto se toma como periodo de diseño  $1.2 T_a$ .

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI (Seg)</i>	<i>LAGUITO (Seg)</i>	<i>PROTOTIPO (Seg)</i>
<i>X</i>	2.81	2.81	2.81
<i>Y</i>	2.81	2.81	2.81

Tabla 3. Periodo de diseño de la estructura

### 5.1.3. Calculo de la aceleración espectral.

Los periodos se hallan en la parte baja del espectro de diseño determinado por la NSR-10, es decir, son mayores que  $1.2 T_a$ , por esto se asume como periodo de diseño este valor. Para cada estructura este valor de periodo proporciona un valor de aceleración espectral  $S_a$ , como se ve en la tabla 4.

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI ( cm/seg<sup>2</sup>)</i>	<i>LAGUITO ( cm/seg<sup>2</sup>)</i>	<i>PROTOTIPO ( cm/seg<sup>2</sup>)</i>
<i>X</i>	0.064	0.064	0.064
<i>Y</i>	0.064	0.064	0.064

Tabla 4. Aceleración Espectral



#### 5.1.4 Calculo del cortante basal.

Aplicando el valor de  $S_a$  en la ecuación  $V_s = S_a g M$ , obtenemos el valor del cortante basal de cada estructura en las direcciones X y Y. en la tabla 5 se muestran los resultados.

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI (Ton)</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO (Ton)</i>	<i>PROTOTIPO (Ton)</i>
<i>X</i>	1332.91	1166.31	1819.34
<i>Y</i>	1332.91	1166.31	1819.34

Tabla 5. Cortante Basal

#### 5.1.5. Calculo del cortante basal de diseño.

De acuerdo a la NSR-98, el cortante basal debe ser reducido por un factor o coeficiente de disipación de energía  $R=2.25$ , con lo cual se obtiene un valor de cortante basal que es con el cual se realiza el diseño de la estructura. En la tabla 6 se muestran los resultados.

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI (Ton)</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO (Ton)</i>	<i>PROTOTIPO (Ton)</i>
<i>X</i>	592.40	518.36	808.60
<i>Y</i>	592.40	518.36	808.60

Tabla 6. Cortante Basal de diseño.

#### 5.1.6. Análisis de las fuerzas de viento.

Debido a que Cartagena es una ciudad costera, se realizo un análisis de la incidencia del viento en las estructuras, se analizaron y calcularon todos los factores ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  y  $S_4$ ) que afectan el valor de la presión ejercida por el viento sobre las estructuras, esta presión varia



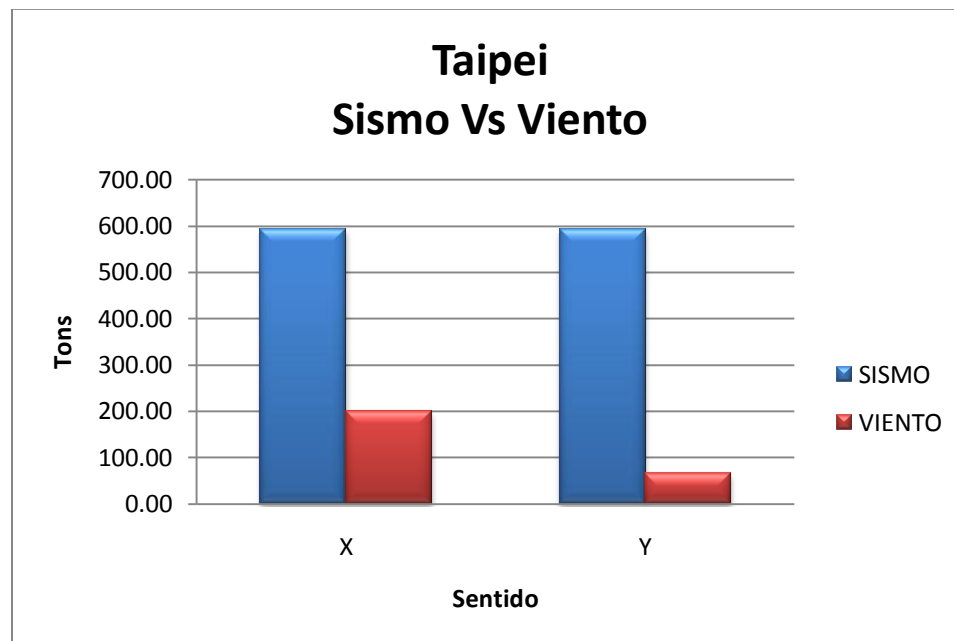
con la altura, por tanto se genera un cortante basal en las dos direcciones X y Y, los valores se muestran en la tabla.

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO</i>	<i>PROTOTIPO</i>
X	199.16 Ton.	187.75 Ton.	237.50 Ton.
Y	66.04 Ton.	39.16 Ton.	63.34 Ton.

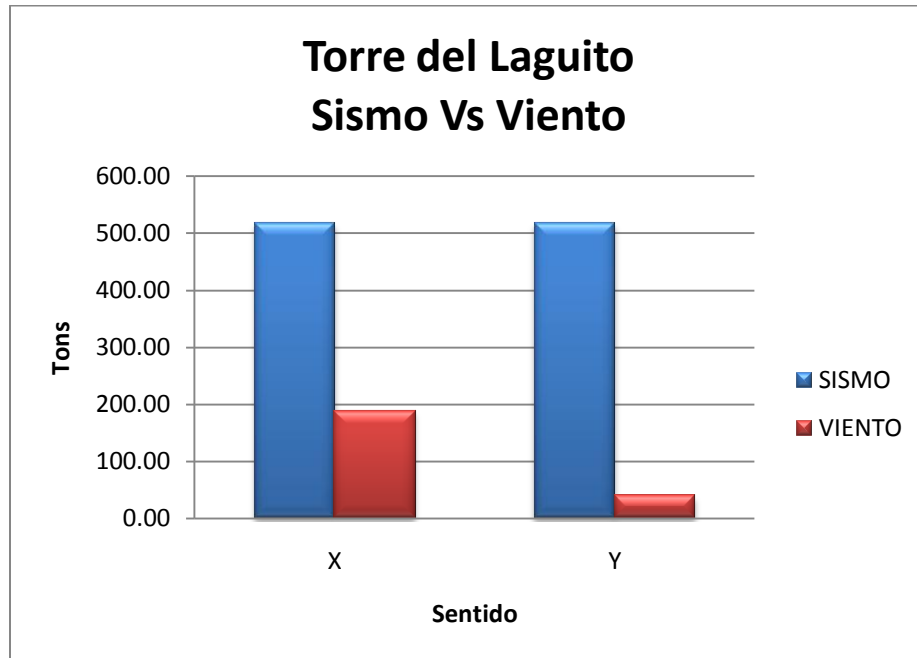
*Tabla 7. Fuerzas de viento*

### 5.1.7. Análisis de Viento vs Análisis Sísmico.

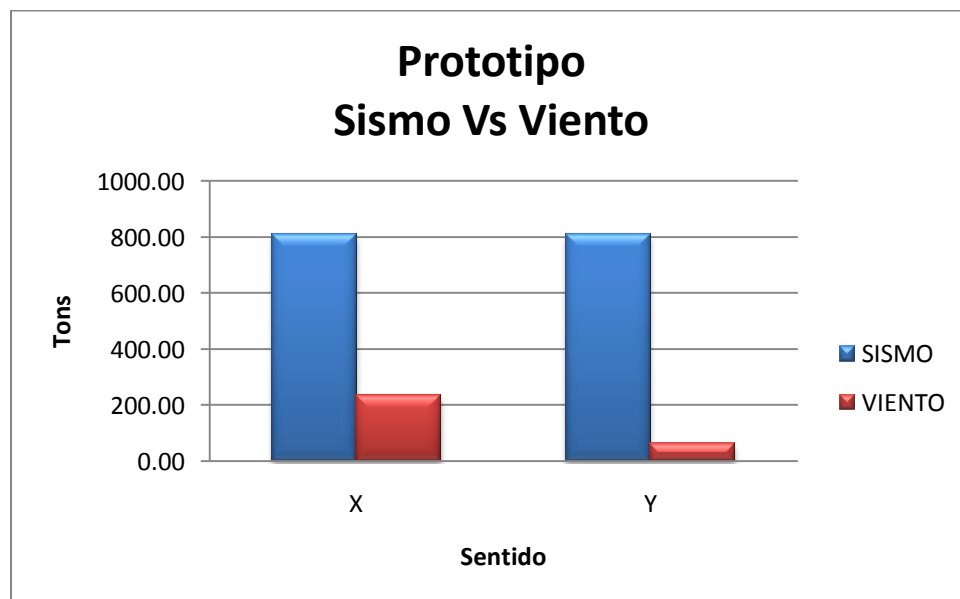
Analizando los valores de cortante basal generados por el viento y los generados por el sismo, podemos concluir que en el diseño de las estructuras está gobernado por la incidencia de un sismo, esto se aprecia en las figuras.



*Grafica 7. Sismo vs. Viento Taipéi*



Grafica 8. Sismo vs. Viento Torre del Laguito

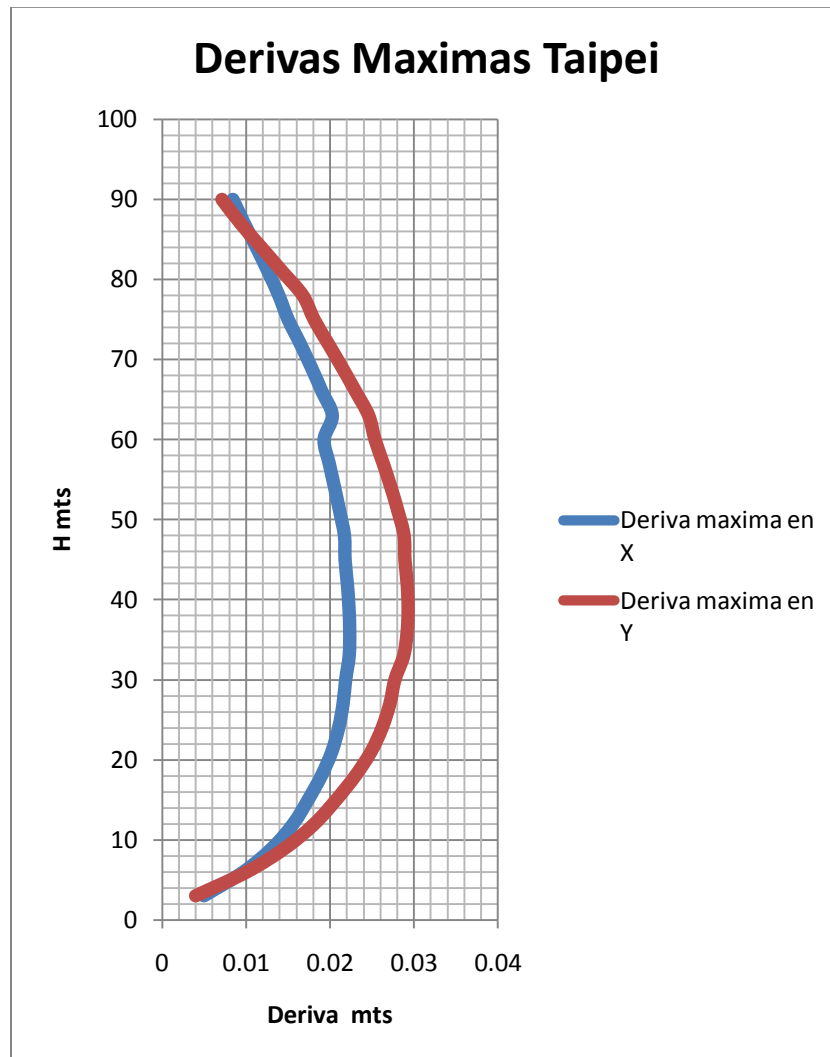




Grafica 9. Sismo vs. Viento Prototipo.

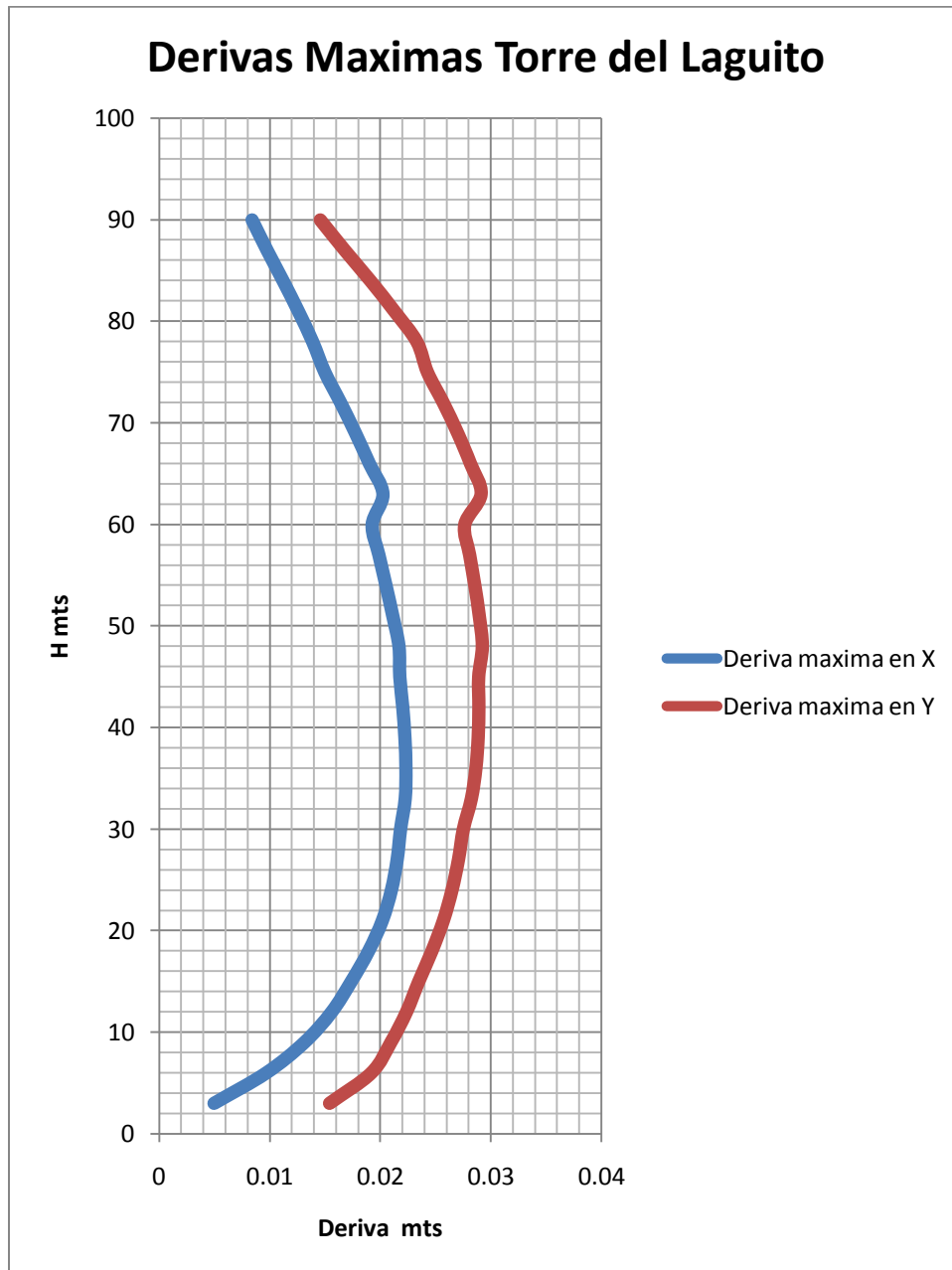
### 5.1.8. Análisis sísmico y determinación de derivas

Una vez identificado que el sismo es el evento que rige en el diseño, se procede a realizar el análisis de los 3 modelos, en este caso se realizo un análisis de tipo estático y de esta manera se calculo el valor de la deriva. Para conseguir un diseño óptimo se estableció como criterio que las derivas máximas deben estar a un 98% de la deriva máxima permitida. Los resultados se muestran en la figura 27, 28 y 29.

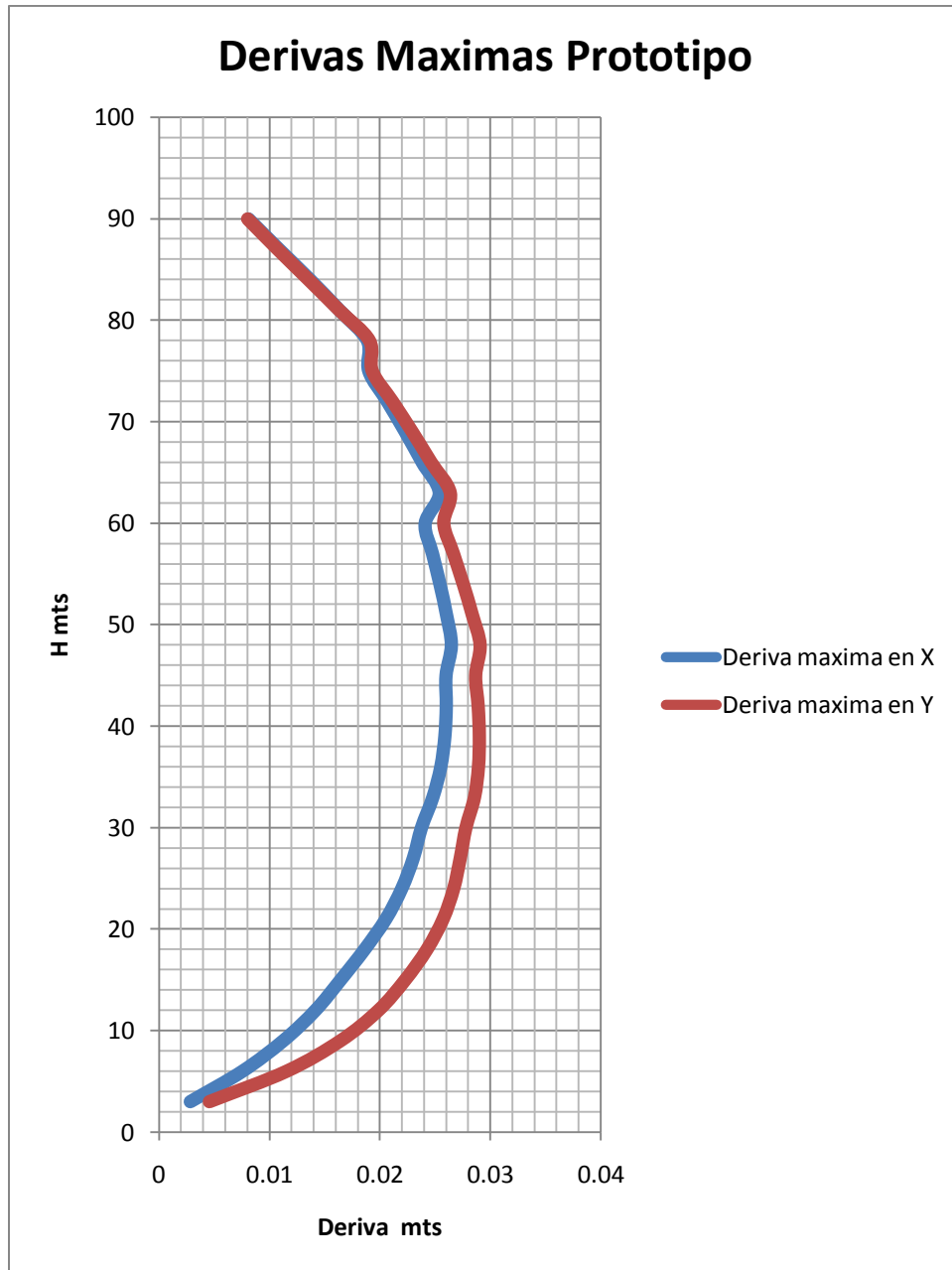




Grafica 10. Derivas Taipéi.



Grafica 11. Derivas Torre del Laguito.



*Grafica 12. Derivas prototipo*





### 5.1.9. Cantidades de Material.

Una vez verificado el valor de la deriva y su cumplimiento con la NSR-10 (1% hn), se procede a determinar las cantidades de concreto y acero de cada estructura, este paso se realizo con la ayuda del Software DC-CAD Versión 2004, el cual facilita la contabilización de estos materiales.

<b>CANTIDADES DE CONCRETO MODELOS EMPOTRADOS EN M3</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>COLUMNAS</b>	2488.5	2092.5	2646.9
<b>VIGAS</b>	1490.208	2194.5804	1634.40807
<b>LOSA</b>	2618.753172	1541.6607	2939.44284
<b>TOTAL</b>	<b>6597.461172</b>	<b>5828.7411</b>	<b>7220.75091</b>

*Tabla 8. Cantidad de Concreto Modelos Empotrados (m3)*

<b>CANTIDADES DE ACERO MODELOS EMPOTRADOS EN KG</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>ACERO LOSA</b>	561161.39	462498.21	734860.71
<b>ACERO V Y C</b>	875657.34	931701.03	1007604.47
<b>TOTAL</b>	<b>1436818.734</b>	<b>1394199.24</b>	<b>1742465.18</b>

*Tabla 9. Cantidad de Acero Modelos Empotrados (Kg)*

## 5.2 ESTRUCTURA CON AISLADOR

Las consideraciones básicas para el diseño de las estructuras con aisladores sísmicos son:

- Las columnas prácticamente trabajan a carga vertical, esto es una gran ventaja que brinda el uso de los aisladores sísmicos.
- El amortiguamiento de la estructura aumenta. El valor del amortiguamiento desarrollado por el conjunto de aisladores se tomo entre el 13% y el 20%, la norma NSR-10 proporciona un espectro de diseño de estructuras para un amortiguamiento del 5% por tanto se hizo necesario obtener un nuevo espectro de diseño esta vez con el valor del amortiguamiento de diseño requerido por cada modelo; por tratarse de un análisis estático se recurrió al método desarrollado por Shibata –Sozen



(GARCÍA, 1998), este método permite determinar a partir de un espectro para un valor de amortiguamiento del 2%, el espectro para cualquier valor de amortiguamiento deseado. Para la aplicación de este método al código colombiano fue necesario hacer una correlación que permitiera encontrar el valor de las incógnitas dadas por el método de Shibata-Sozen en función de los valores conocidos en la NSR-98, como son  $A_a$ ,  $S$  e  $I$ .

### 5.2.1. Descripción de modelos

#### 5.2.1.1. Taipéi 23:

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- $A_a$ : 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 Mts.
- Numero de niveles: 30 pisos.
- $F'_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>
- $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $R=2$  según Código UBC
- Área total de losa: 18705.38 m<sup>2</sup>

#### 5.2.1.2. Torre del Laguito:

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- $A_a$ : 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 Mts
- Numero de niveles: 30 pisos.



- $F'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>
- $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $R= 2$  según código UBC
- Área total de losa: 15416.61 m<sup>2</sup>

#### 5.2.1.3. Prototipo:

- Ubicación: Cartagena.
- Zona de amenaza sísmica: Baja.
- $A_a$ : 0.10.
- Tipo de suelo: S3
- Importancia de la estructura: I
- Altura total de la estructura: 90 Mts.
- Número de niveles: 30 pisos.
- $F'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>
- $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $R= 2$  según código UBC
- Área total de losa: 24495.36 m<sup>2</sup>

#### 5.2.2. Cálculo del periodo de las estructuras.

Para el cálculo del periodo de los modelos, se asumió un tipo de aislador cualquiera en los apoyos, con el objetivo de conocer el comportamiento de la estructura en estas condiciones, además se conocieron los valores de carga vertical y cortante actuantes en cada apoyo. Estos datos son cruciales a la hora de la selección de los aisladores. El siguiente paso a seguir es igual al de las estructuras no aisladas, o sea, se asumen fuerzas ficticias  $F_x$  y  $F_y$  y se mide el tiempo necesario para que la estructura haga una oscilación. En la tabla 10 se muestran los resultados.



<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI (Seg)</i>	<i>LAGUITO (Seg)</i>	<i>PROTOTIPO (Seg)</i>
<i>X</i>	4.10	4.14	4.56
<i>Y</i>	4.10	4.14	4.56

Tabla 10. periodo de las estructuras aisladas

### 5.2.3. Calculo de la aceleración espectral.

Como las estructuras a diseñar tiene un amortiguamiento diferente al de la NSR-10 (5%), se determino un nuevo espectro para el amortiguamiento de cada uno de los modelos, con base en este espectro se obtiene el valor de la aceleración espectral, el proceso para determinar el nuevo espectro se presenta a continuación:

- Primero se determina el factor de amortiguamiento  $C_{fa} = \frac{8}{6+100\varepsilon}$ , de la ecuación de Shibata-Sozen.

$$S_a = (T, \varepsilon) = S_a(T, \varepsilon = 0.02) * \frac{8}{6 + 100\varepsilon}$$

$\varepsilon$  es el valor de amortiguamiento deseado, a partir de esto se determina el coeficiente de amortiguamiento para cualquier de  $\varepsilon$ , este es el valor de amortiguamiento total del sistema de aisladores empleados en cada modelo.

- Se establece una correlación entre espectros, y se halla el factor Aet (Aceleración efectiva del terreno), que es la incógnita en la ecuación de Shibata-Sozen.

<b>CORRELACIÓN ENTRE ESPECTROS</b>			
	<i>Shibata-Sozen</i>	<i>NSR-98</i>	<i>Correlación</i>
<i>Zona de periodo corto</i>	2.7 Aet	2.5 Aa*I	Aet=0.9*Aa*I
			Aet= 0.09
<i>Zona intermedia</i>	1.1 Aet/T	1.2Aa*S*I/T	Aet=1.1 Aa*S*I
			Aet= 0.17
<i>Zona de periodo largo</i>	0.45Aet	0.5Aet	

Tabla 11. Correlación entre espectros.



• **Ejemplo de Amortiguamiento:**

Sea  $A_a=0.1$ ;  $S=1.5$ ;  $I=1$

$$C_{fa5\%} = \frac{8}{6+100(e5\%)} = \frac{8}{6+100(0.05)} \quad C_{fa5\%} = \mathbf{0.727}$$

$$C_{fa16\%} = \frac{8}{6+100(e16\%)} = \frac{8}{6+100(0.16)} \quad C_{fa16\%} = \mathbf{0.363}$$

**Análisis de la Zona Constante del Espectro:**

$$S_{aS-S} = 2.7 * A_{et} * C_{fa5\%} \qquad S_{aNSR-98} = 2.5 * A_a * I$$

Igualamos en la misma zona las ecuaciones de Shibata-Sozen y NSR-98:

$$2.7 * A_{et} * C_{fa5\%} = 2.5 * A_a * I$$

$$A_{et} = \frac{2.5 * A_a * I}{2.7 * C_{fa5\%}} = \frac{2.5 * 0.1 * 1}{2.7 * 0.727} \quad A_{et} = \mathbf{0.127}$$

Entonces con la formula de Shibata, se amortigua el espectro del 5% al 16%:

$$S_{aS-S16\%} = 2.7 * A_{et} * C_{fa16\%} = 2.7 * 0.127 * 0.363$$

$$S_{aS-S16\%} = \mathbf{0.125}$$

**Análisis de la zona de periodo largo del espectro:**

$$S_{aS-S} = \frac{1.1 * A_{et} * C_{fa5\%}}{T} \qquad S_{aNSR-98} = \frac{1.2 * A_a * S * I}{T}$$

Igualamos en la misma zona las ecuaciones de Shibata-Sozen y NSR-98:

$$\frac{1.1 * A_{et} * C_{fa5\%}}{T} = \frac{1.2 * A_a * S * I}{T}$$

$$A_{et} = \frac{1.2 * A_a * S * I}{1.1 * C_{fa5\%}} = \frac{1.2 * 0.1 * 1.5 * 1}{1.1 * 0.727}$$

$$A_{et} = \mathbf{0.225}$$

Entonces con la fórmula de Shibata-Sozen, amortiguamos el espectro del 5% al 16%:

$$S_{aS-S} = \frac{1.1 * A_{et} * C_{fa16\%}}{T} = \frac{1.1 * 0.225 * 0.363}{T}$$

$$S_{aS-S} = \frac{\mathbf{0.09}}{T}$$

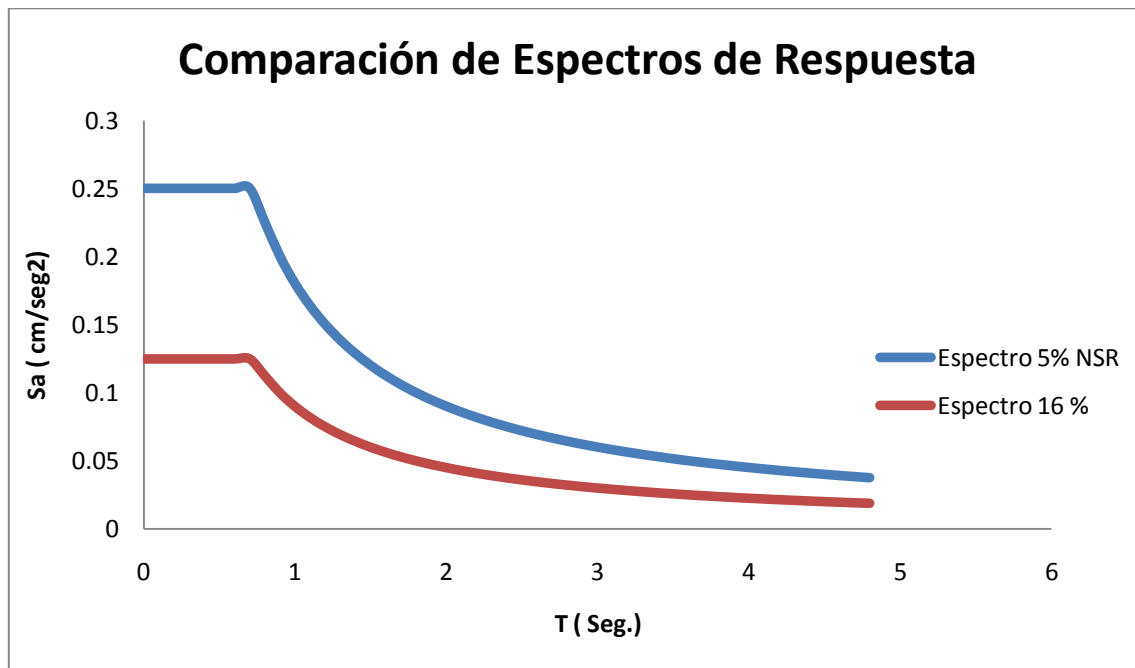
Se procede a analizar el periodo de la estructura en el programa ETABS, se verifican las derivas, si no cumplen se modifican las dimensiones y todos los demás datos, luego se analiza el periodo nuevo y se introduce en la formula y con esto obtenemos un nuevo periodo y la nueva aceleración espectral.



Los valores establecidos en la anterior tabla permiten determinar la aceleración espectral para cada uno de los modelos. Para los valores de periodo de la tabla 9, tenemos los siguientes valores de aceleración espectral.

<i>SENTIDO</i>	<i>TAIPEI</i> ( cm/seg <sup>2</sup> )	<i>LAGUITO</i> ( cm/seg <sup>2</sup> )	<i>PROTOTIPO</i> ( cm/seg <sup>2</sup> )
<i>X</i>	0.02196	0.02176	0.0197
<i>Y</i>	0.02196	0.02176	0.0197

Tabla 12. Aceleración espectral para modelos aislados



Gráfica 13. Comparación de Espectros de Respuesta.



#### 5.2.4. Calculo del cortante basal.

El procedimiento para calcular el cortante basal de una estructura aislada es similar al de una estructura de base fija. Aplicando la ecuación  $V_s = S_a g M$ , obtenemos el valor del cortante basal para cada estructura.

<b>SENTIDO</b>	<b>TAIPEI (Ton)</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO (Ton)</b>	<b>PROTOTIPO (Ton)</b>
<b>X</b>	408.02	355.74	519.94
<b>Y</b>	408.02	355.74	519.94

Tabla 13. Cortante basal para modelos aislados

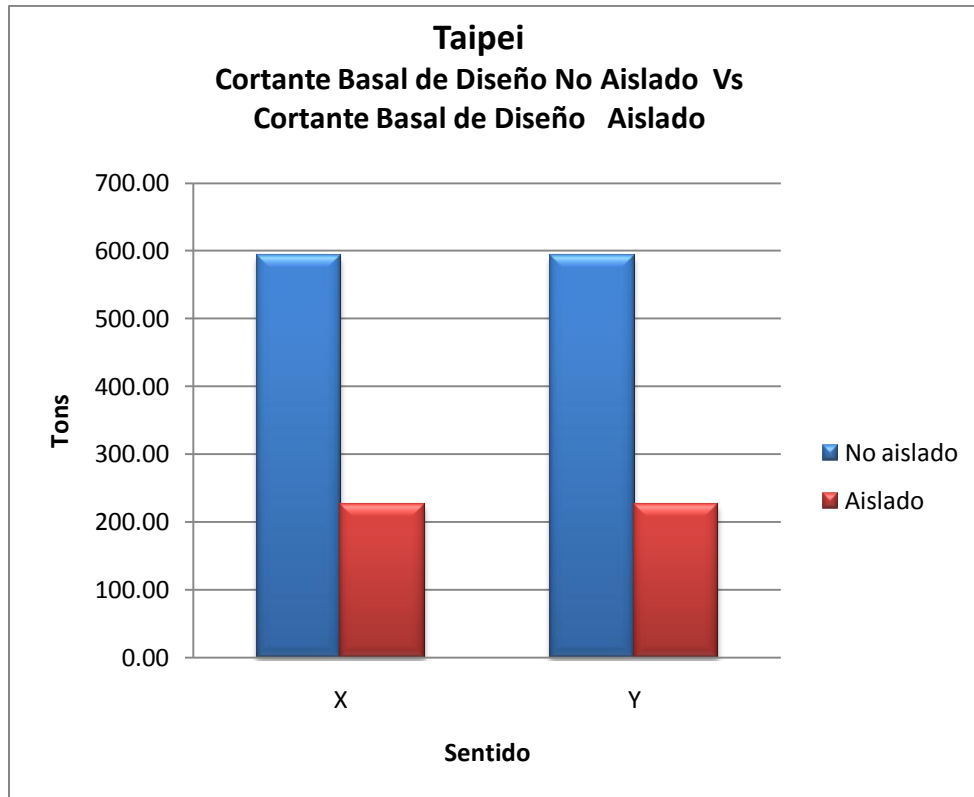
#### 5.2.5. Calculo del cortante basal de diseño.

Para este tipo de estructuras el valor de reducción R es igual a 1.8, este valor se toma del código UBC (ver anexo) para edificios con pórticos resistentes a momentos  $R=2$  y se afecta por los coeficientes de reducción. En la tabla 15 se muestran los resultados.

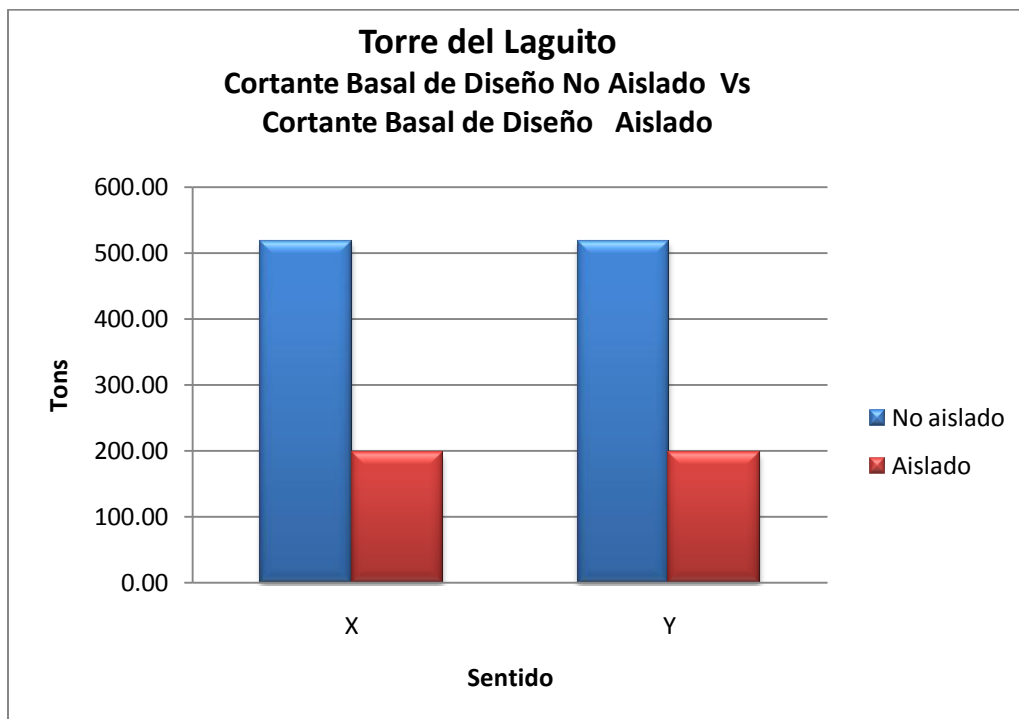
<b>SENTIDO</b>	<b>TAIPEI (Ton)</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO (Ton)</b>	<b>PROTOTIPO (Ton)</b>
<b>X</b>	226.68	197.64	259.97
<b>Y</b>	226.68	197.64	259.97

Tabla 14. Cortante basal de diseño para modelos aislados

Analizando los datos podemos establecer que el cortante basal de las estructuras aisladas es mucho menor que el de las estructuras sin aislar, la reducción es del orden del 60%. Como se trata de un análisis estático, las fuerzas repartidas en la altura del edificio son pequeñas, razón por la cual el valor de deriva es pequeño también.

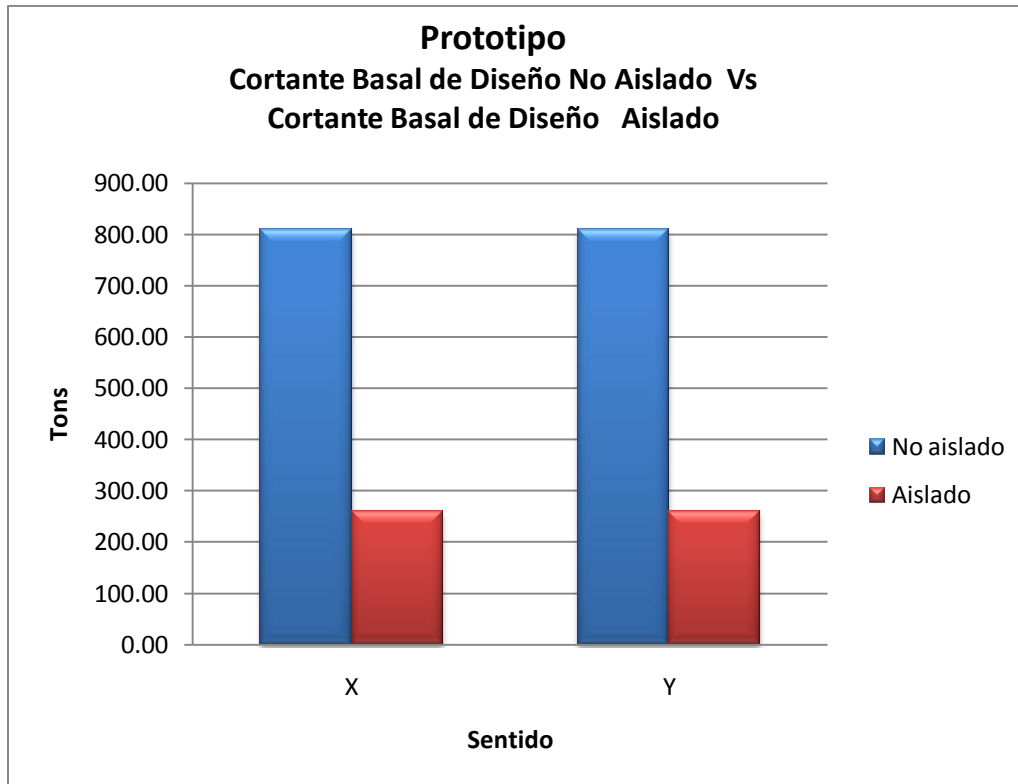


*Grafica 14. Comparación de cortantes basales. Modelo Taipei.*



*Grafica 15. Comparación de cortantes basales. Modelo Torre del Laguito.*





Grafica 16. Comparación de cortantes basales. Modelo Prototipo.

### 5.2.6. Análisis de viento

El análisis de viento es necesario para conocer cuál de los dos eventos prima en el comportamiento y diseño de la estructura. Los valores de las fuerzas de viento para estructuras aisladas son las mismas que para las estructuras de base fija, puesto que las condiciones de la estructura y los factores son los mismos. En la tabla 16 se muestran los resultados.

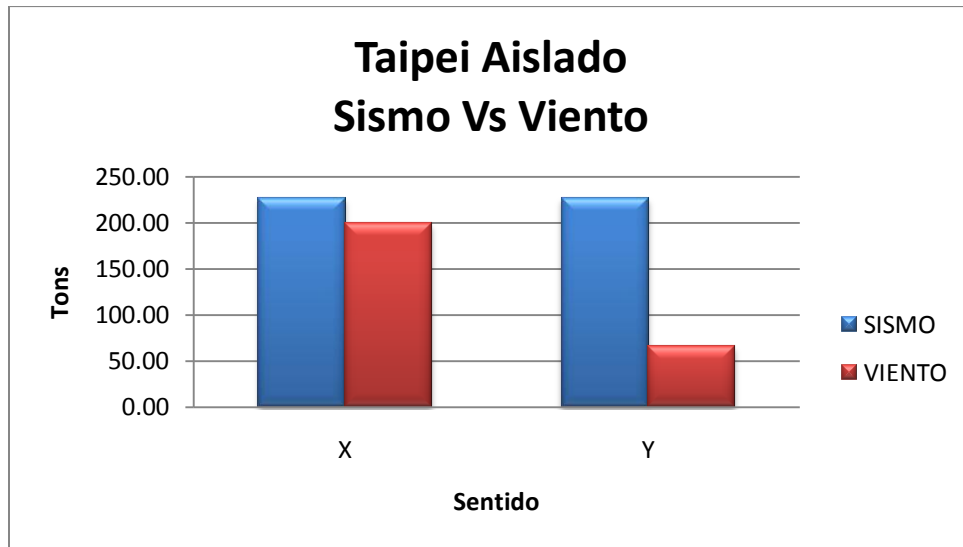
<b>SENTIDO</b>	<b>TAIPEI (Ton)</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO (Ton)</b>	<b>PROTOTIPO (Ton)</b>
<b>X</b>	199.16	187.75	237.50
<b>Y</b>	66.04	39.16	63.34

Tabla 15. Fuerzas de viento para modelos aislados

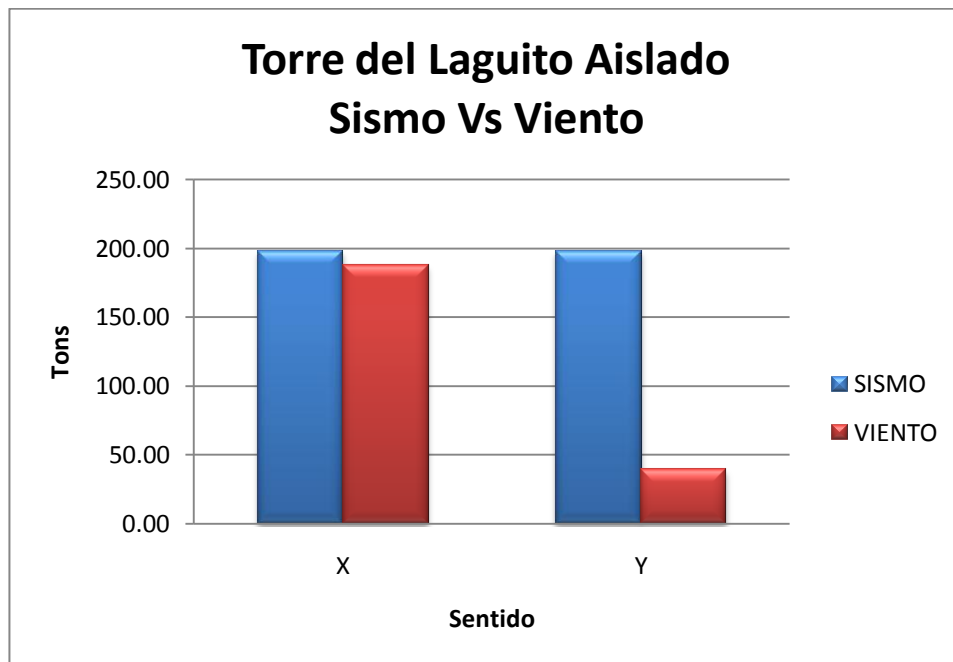


### 5.2.7. Análisis de viento vs Análisis Sísmico

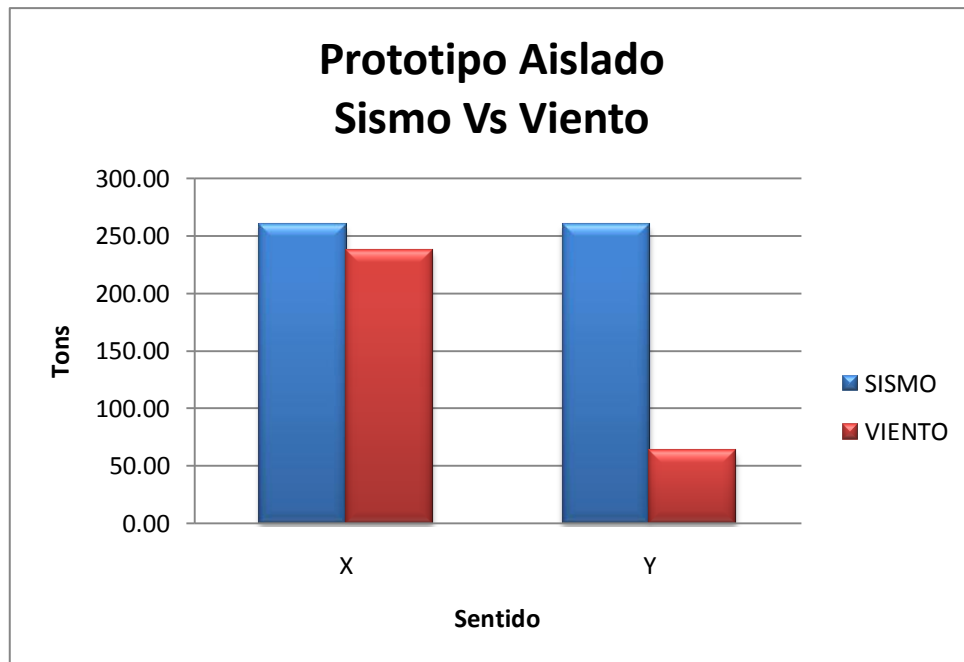
Analizando los valores de cortante basal generados por el viento y los generados por el sismo, podemos concluir que en el diseño de las estructuras está gobernado por la incidencia de un sismo, esto se aprecia en las figuras:



Grafica 17. Sismo vs. Viento Taipéi aislado



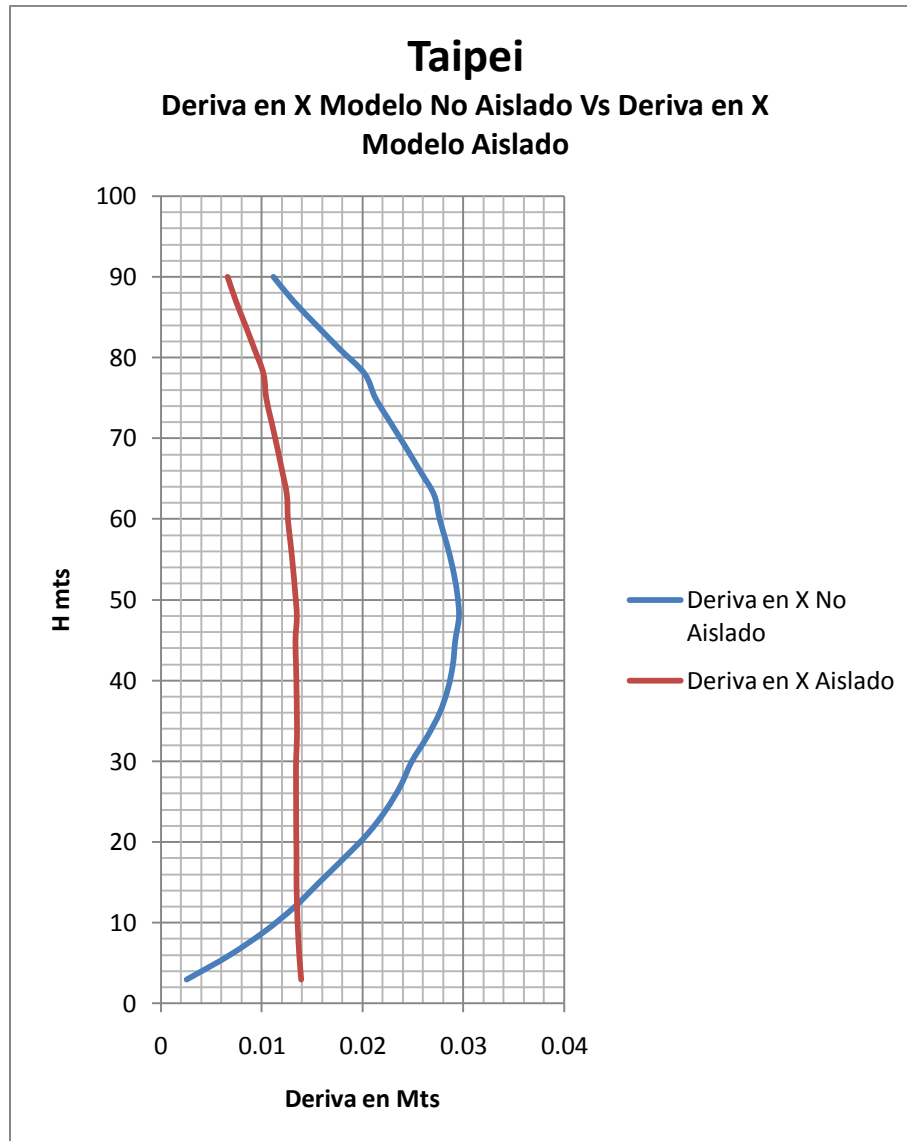
Grafica 18. Sismo vs. Viento Torre del Laguito-aislado.



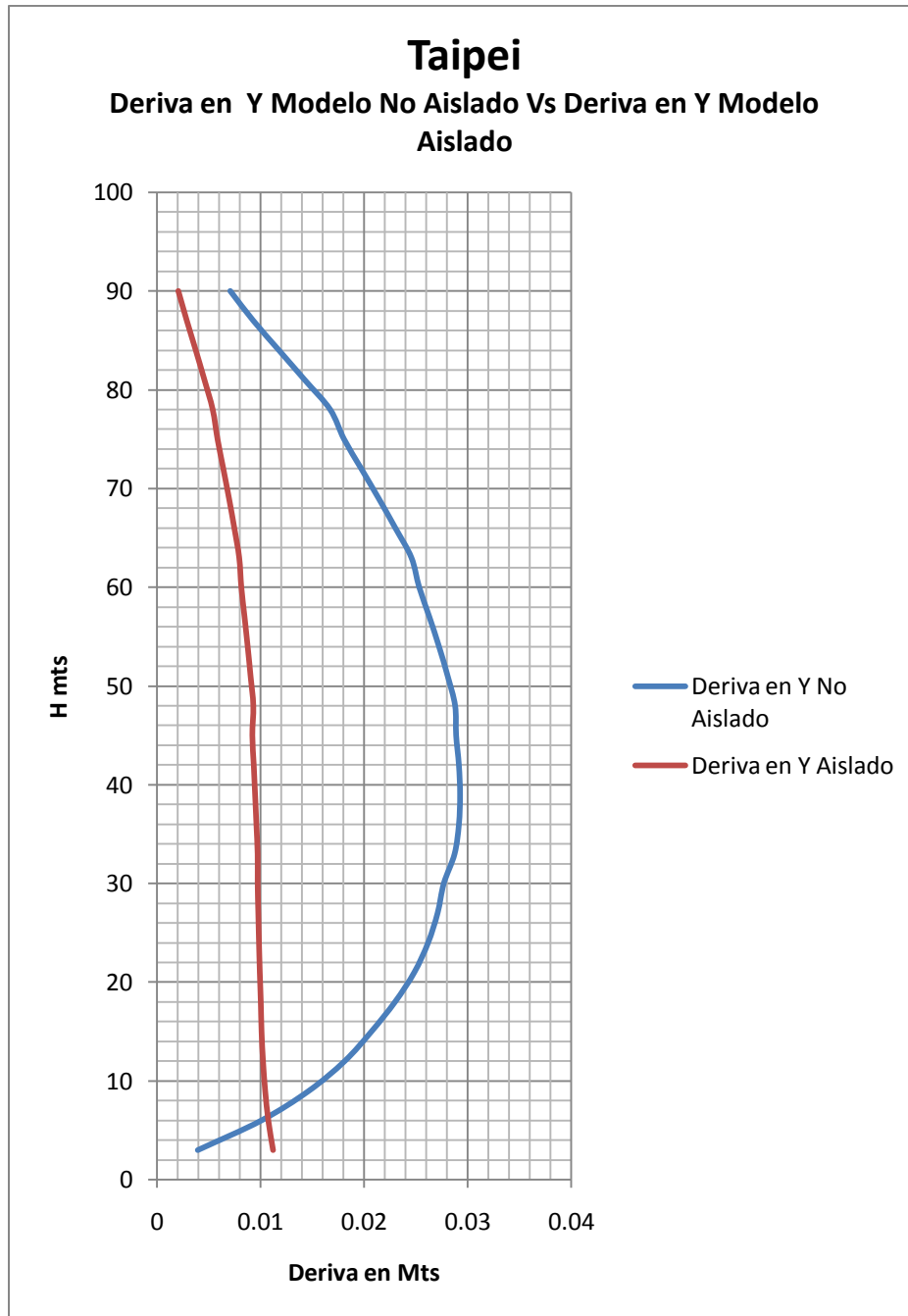
*Grafica 19. Sismo vs. Viento Prototipo-aislado.*

### 5.2.8. Análisis sísmico y determinación de derivas.

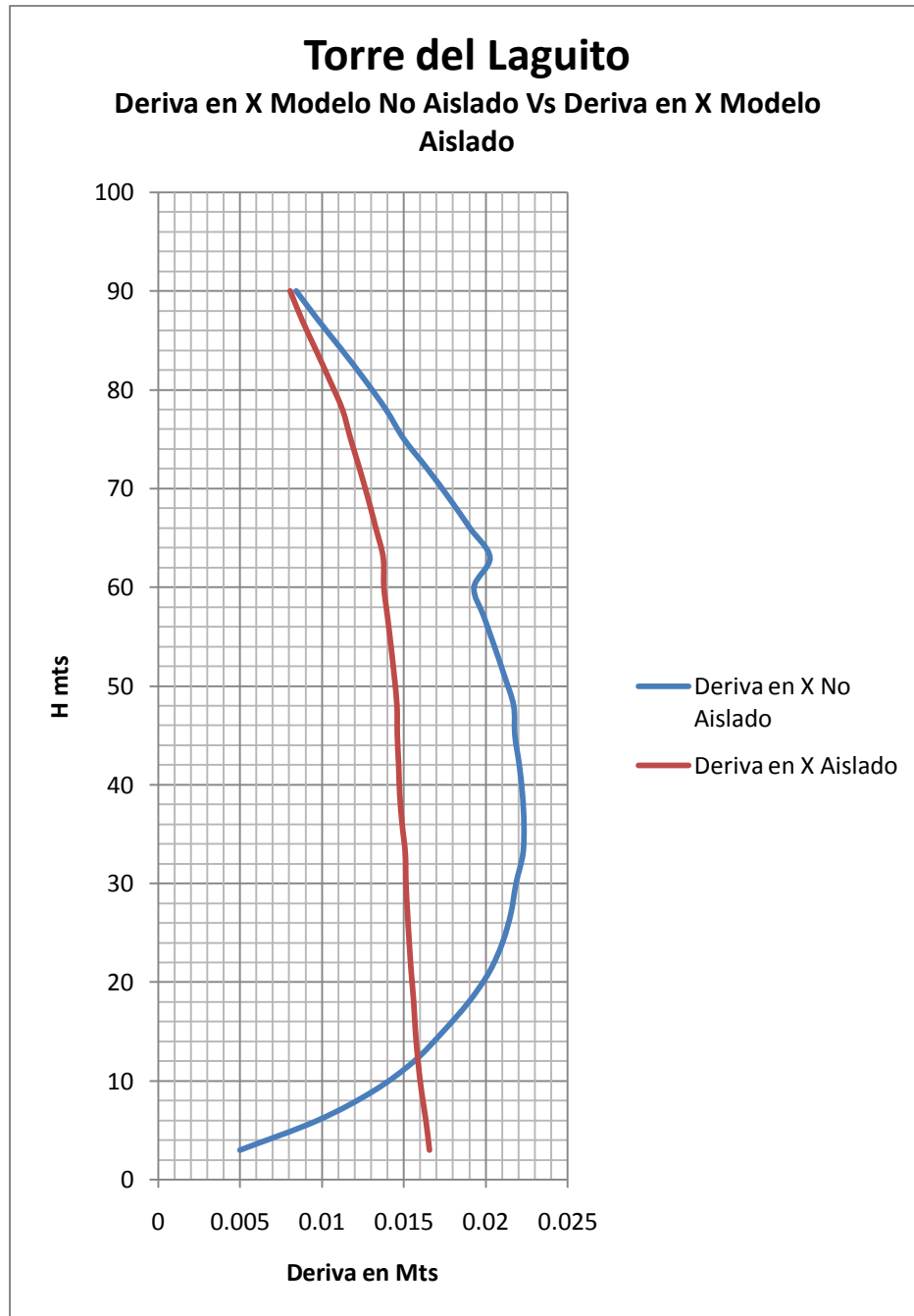
Una vez identificado que el sismo es el evento que rige en el diseño, se procede a realizar el análisis de los 3 modelos, en este caso se realizó un análisis de tipo estático y de esta manera se calculó el valor de la deriva. Para conseguir un diseño óptimo se estableció como criterio que las derivas máximas deben estar a un 98% de la deriva máxima permitida. Los resultados se muestran en la figura 34.



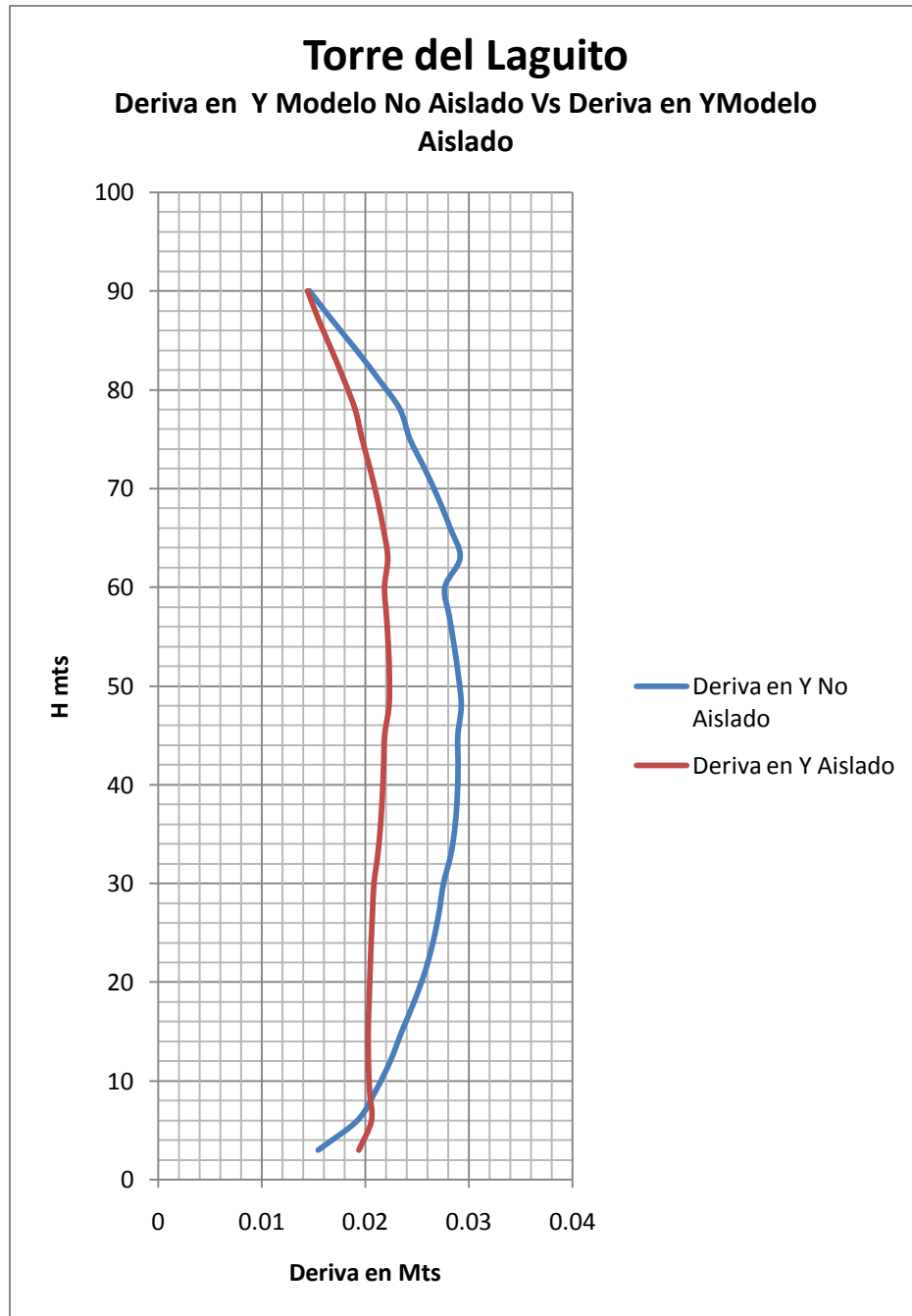
Grafica 20. Derivas en x Taipéi aislado y no aislado



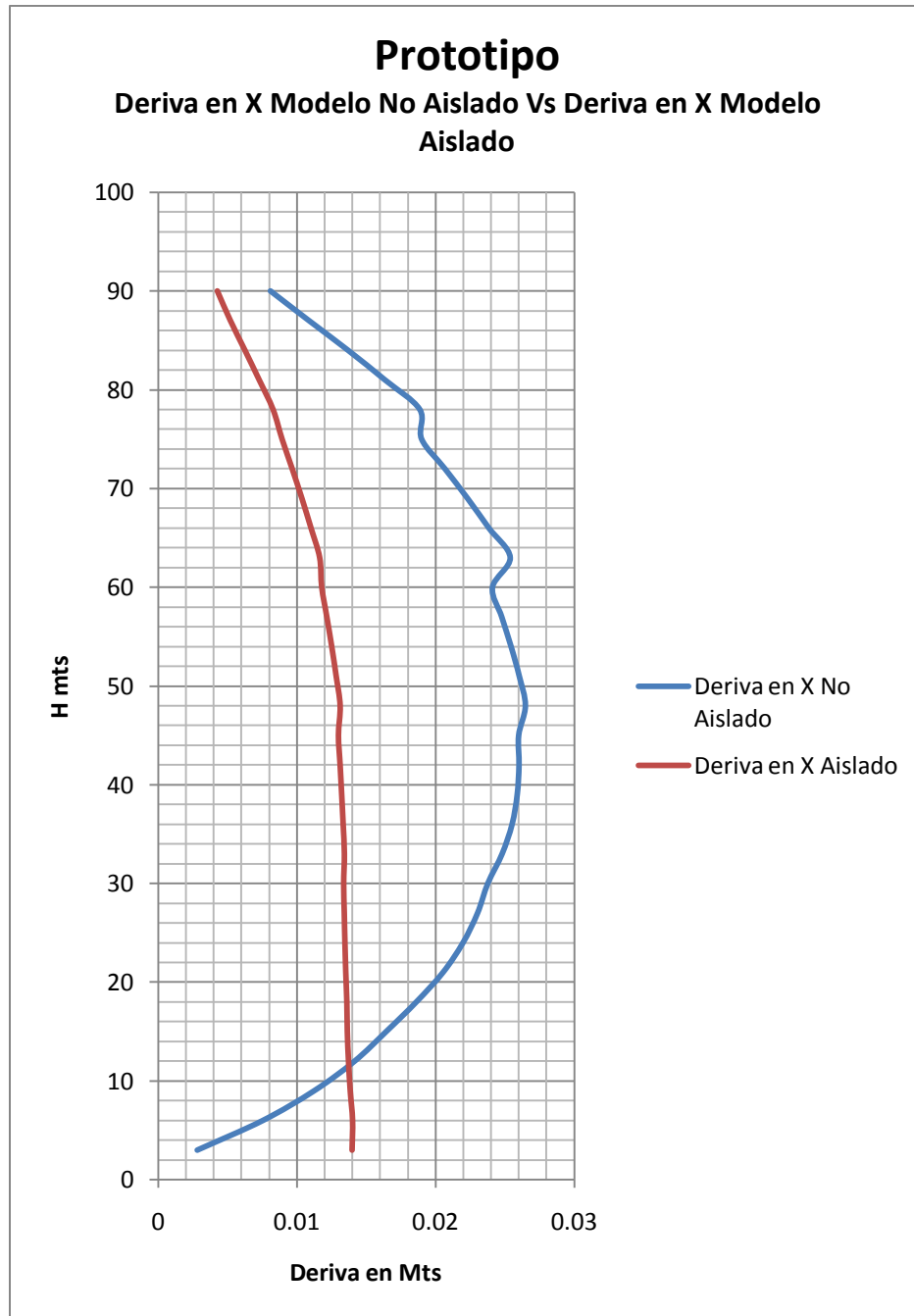
*Grafica 21. Derivas en Y Taipéi aislado y no aislado*



*Grafica 22. Derivas en x Torre del Laguito aislado y no aislado*

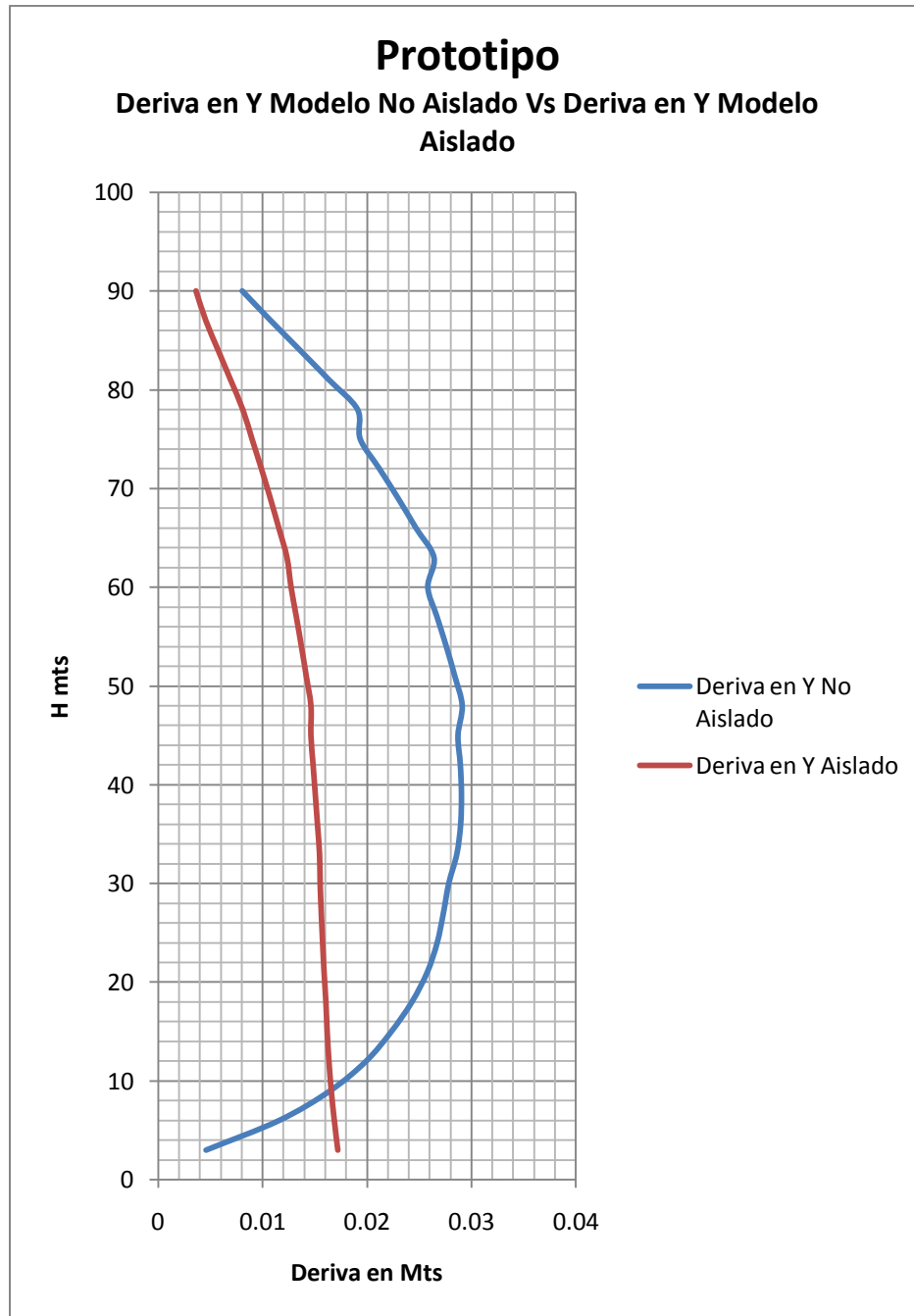


Grafica 23. Derivas en Y Torre del Laguito aislado y no aislado



Grafica 24. Derivas en x Prototipo aislado y no aislado





*Grafica 25. Derivas en Y Prototipo aislado y no aislado*



### 5.2.9. Cantidades de material.

<b>CANTIDADES DE CONCRETO MODELOS AISLADOS EN M3</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>COLUMNAS</b>	1979.55	1792.875	2386.8
<b>VIGAS</b>	1087.0863	1449.1575	1064.26572
<b>LOSA</b>	2618.753172	1557.7335	2939.44284
<b>TOTAL</b>	<b>5685.389472</b>	<b>4799.766</b>	<b>6390.50856</b>

*Tabla 16. Cantidad de Concreto Modelos Aislados (m3)*

<b>CANTIDADES DE ACERO MODELOS EMPOTRADOS EN KG</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>ACERO LOSA</b>	561161.39	462498.21	734860.71
<b>ACERO V Y C</b>	516311.49	531032.62	496442.46
<b>TOTAL</b>	<b>1077472.884</b>	<b>993530.83</b>	<b>1231303.17</b>

*Tabla 17. Cantidad de Acero Modelos Aislados (Kg)*



### 5.3. DISEÑO DE AISLADORES.

El proceso de diseño de los aisladores se encuentra descrito en la sección 3.7, el diagrama de flujo muestra los pasos a seguir para un correcto diseño de los aisladores. En esta sección se muestra el diseño de los aisladores basado en las ecuaciones y términos establecidos en la sección mencionada, es por esto que en esta sección se procede a mostrar los resultados de diseño y no se enfatiza en el proceso.

#### 5.3.1. Datos básicos de los modelos.

Son los datos básicos para la selección de las alternativas de aislamiento. Estos datos son tomados de las tablas de diseño del código UBC (ver anexo 2).

	<i>TAIPEI 23</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO</i>	<i>PROTOTIPO</i>
<i>Tipo de sismo</i>	C	C	C
<i>Zona sísmica</i>	1	1	1
<i>Cercanía al sismo</i>	1.5 Km	1.5 Km	1.5 Km
<i>perfil de suelo</i>	SD	SD	SD
<i>Amort del sistema</i>	16 %	16 %	16 %
<i>Periodo de diseño</i>	4.10 seg.	4.14 seg.	4.56 seg.
<i>Número de apoyos</i>	26	27	34

Tabla 18. Datos básicos para el diseño de aisladores



### 5.3.2. Especificaciones del código UBC

<b>Z</b>	0.3
<b>C<sub>vD</sub></b>	0.45
<b>B<sub>D</sub></b>	1.2
<b>D<sub>D</sub> (cm)</b>	21.41
<b>N<sub>v</sub></b>	1
<b>M<sub>M</sub></b>	1.5
<b>M<sub>M</sub>N<sub>v</sub>Z</b>	0.45
<b>C<sub>vM</sub></b>	0.63
<b>D<sub>M</sub> (cm)</b>	29.98
<b>Altura del Aislador (cm)</b>	<b>20</b>
<b>G(γ)</b>	8.03
<b>H<sub>equ.</sub>(γ)</b>	0.16
<b>U(γ)</b>	0.32

Tabla 19. Especificaciones UBC para el diseño de aisladores

### 5.3.3. Cargas de diseño.

Las cargas de diseño son las cargas aplicadas en los apoyos. En el proceso de diseño se necesita conocer tres tipos de carga:

- Carga permanente vertical: es la carga aplicada al apoyo cuando la estructura solo está sometida a carga viva y carga muerta.
- Carga no permanente vertical o rápida: es la carga aplicada al apoyo cuando la estructura está sometida a carga viva, carga muerta y sismo.
- Carga horizontal: es el valor del cortante presente en cada apoyo.



**TAIPEI**

	<b>COLUMNA</b>	<b>Point</b>	<b>D+0.5L</b>	<b>0.8D-EX</b>	<b>1.2D+L+EX</b>
	Columna	4	1383.49	156.996	2609.984
	Columna	61	1360.125	253.944	2466.306
	Columna	5	1381.89	314.096	2449.684
	Columna	60	1363.76	280.272	2447.248
	Columna	1	1242.04	197.4	2286.68
	Columna	113	1382.755	595.09	2170.42
	Columna	3	997.535	-57.492	2052.562
	Columna	66	1190.785	433.092	1948.478
	Columna	68	1189.085	442.66	1935.51
	Columna	84	970.915	93.138	1848.692
	Columna	17	987.725	129.58	1845.87
	Columna	65	1397.785	1014.094	1781.476
	Columna	67	1015.31	260.806	1769.814
	Columna	69	1030.015	314.528	1745.502
	Columna	12	1354.165	981.5	1726.83
	Columna	15	963.855	210.984	1716.726
	Columna	14	1262.025	823.19	1700.86
	Columna	80	956.31	263.214	1649.406
	Columna	70	1220.745	816.472	1625.018
	Columna	7	834.715	60.926	1608.504
Columna	56	833.655	149.458	1517.852	
Columna	62	1161.415	859.432	1463.398	
Columna	64	1162.065	863.652	1460.478	
Columna	63	1050.4	788.126	1312.674	
Columna	13	967.585	690.474	1244.696	
Columna	18	917.625	670.976	1164.274	

Tabla 20. Cargas de diseño Taipéi 23



### TORRE DEL LAGUITO

COLUMNA	Point	D+0.5L	0.8D-EX	1.2D+L+EX
Columna	2947	1396.28	401.606	2390.954
Columna	2949	1402.225	642.072	2162.378
Columna	2961	1275.085	484.856	2065.314
Columna	2955	1399.575	771.506	2027.644
Columna	2942	690.855	-321.244	1702.954
Columna	2939	978.595	268.266	1688.924
Columna	2936	924.66	193.51	1655.81
Columna	2945	1075.645	518.768	1632.522
Columna	2946	1283.73	960.028	1607.432
Columna	2937	1117.22	701.776	1532.664
Columna	2929	887.965	274.378	1501.552
Columna	2953	1050.595	603.652	1497.538
Columna	2931	811.7	133.118	1490.282
Columna	2930	853.995	226.246	1481.744
Columna	2944	882.065	333.392	1430.738
Columna	2926	808.165	191.276	1425.054
Columna	2924	994.94	574.438	1415.442
Columna	2925	908.285	467.1	1349.47
Columna	2923	760.89	252.314	1269.466
Columna	2932	584.04	-97.354	1265.434
Columna	2940	512.905	-138.964	1164.774
Columna	2928	554.8	-27.092	1136.692
Columna	2927	772.425	409.5	1135.35
Columna	2935	491.51	95.736	887.284
Columna	2941	624.475	377.614	871.336
Columna	2933	99.745	-176.908	376.398
Columna	2934	199.36	141.686	257.034

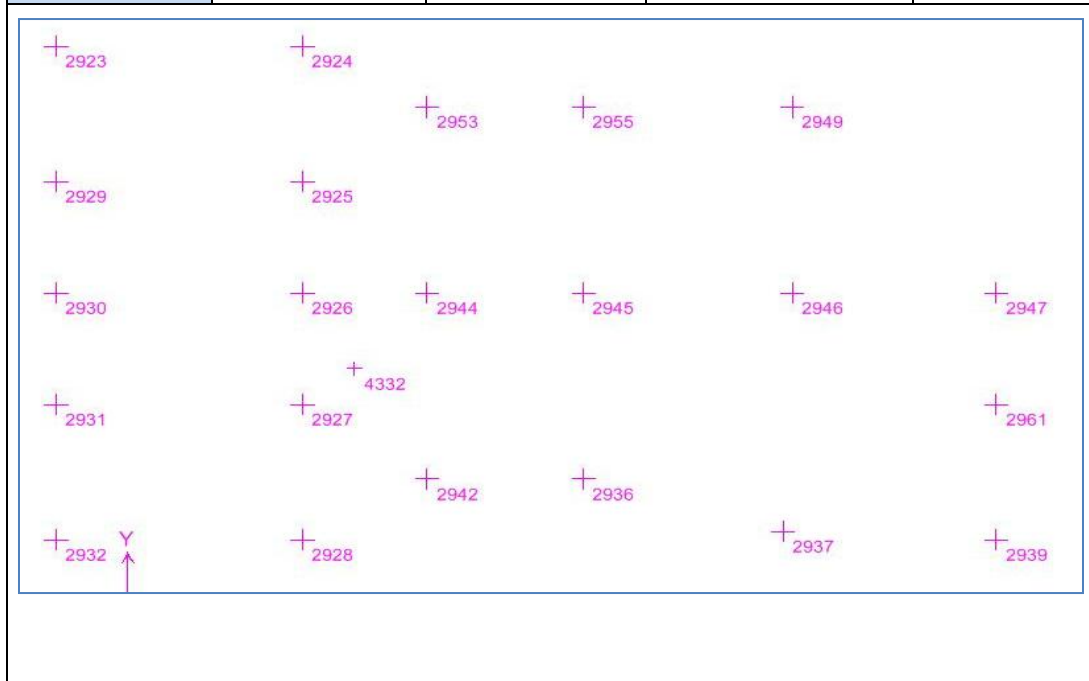


Tabla 21. Cargas de diseño Torre del laguito



**PROTOTIPO**

	<b>COLUMNA</b>	<b>Point</b>	<b>D+0.5L</b>	<b>0.8D-EX</b>	<b>1.2D+L+EX</b>
	Columna	17	1319.295	220.746	2417.844
	Columna	51	1144.285	-57.498	2346.068
	Columna	54	1144.285	-51.968	2340.538
	Columna	19	1319.325	403.39	2235.26
	Columna	27	1217.41	219.182	2215.638
	Columna	18	1217.385	248.446	2186.324
	Columna	30	845.765	-473.904	2165.434
	Columna	1	1032.125	48.348	2015.902
	Columna	29	845.78	-282.276	1973.836
	Columna	5	1032.095	131.624	1932.566
	Columna	35	1307.965	843.224	1772.706
	Columna	33	1293.65	827.312	1759.988
	Columna	34	1307.975	873.562	1742.388
	Columna	36	1293.705	878.592	1708.818
	Columna	39	1283.645	945.102	1622.188
	Columna	38	1283.645	956.422	1610.868
	Columna	37	1261.1	931.314	1590.886
	Columna	46	1261.255	943.696	1578.814
	Columna	4	778.91	52.496	1505.324
	Columna	21	1121.18	739.8	1502.56
	Columna	45	1150.045	848.992	1451.098
	Columna	20	1121.33	794.562	1448.098
	Columna	8	778.9	114.648	1443.152
	Columna	25	1150.08	869.706	1430.454
	Columna	42	1077.4	747.046	1407.754
	Columna	41	1077.4	754.776	1400.024
	Columna	50	992.715	595.086	1390.344
	Columna	40	1051.075	716.394	1385.756
	Columna	43	1051.12	735.836	1366.404
	Columna	44	1046.5	746.916	1346.084
	Columna	53	992.715	641.896	1343.534
	Columna	23	1046.64	767.06	1326.22
	Columna	49	866.44	608.322	1124.558
	Columna	22	866.42	612.226	1120.614

Tabla 22. Cargas de diseño Prototipo



## 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La selección del tipo de Aislador se baso en el análisis de las condiciones iniciales, esto es, el periodo de diseño, el desplazamiento de diseño, y la carga transmitida por columna, con estos datos es posible determinar la altura del aislador, que para los tres modelos se determino que era de 20 cm, por lo cual se selecciono el aislador HA, con goma tipo H8.

### 6.1 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS.

#### 6.1.1 Alternativas.

Para la selección de las alternativas se tomo como criterio la eficiencia del aislador, es decir, el porcentaje de trabajo realizado por el aislador cuando recibe la carga transmitida por la columna, el rango establecido para la selección de la eficiencia fue de 80% al 100%. A cada alternativa se le analizo el periodo de vibración, y el cortante basal, todo esto con el fin de seleccionar la alternativa mas adecuada para cada edificio. A continuación se presentan las alternativas establecidas para cada modelo.





TAIPEI 23

Point	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
4	HA120	HA120	HA120	HA120	HA120
61	HA120	HA120	HA120	HA120	HA120
5	HA120	HA110	HA120	HA120	HA120
60	HA120	HA110	HA120	HA120	HA120
1	HA120	HA110	HA110	HA120	HA120
113	HA110	HA110	HA110	HA120	HA110
3	HA110	HA110	HA110	HA110	HA110
66	HA110	HA110	HA110	HA110	HA110
68	HA110	HA110	HA110	HA110	HA110
84	HA110	HA100	HA100	HA110	HA110
17	HA110	HA100	HA100	HA110	HA110
65	HA100	HA100	HA100	HA110	HA110
67	HA100	HA100	HA100	HA110	HA100
69	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
12	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
15	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
14	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
80	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
70	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
7	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
56	HA100	HA100	HA090	HA100	HA100
62	HA090	HA100	HA090	HA100	HA090
64	HA090	HA085	HA090	HA100	HA090
63	HA085	HA085	HA085	HA090	HA085
13	HA085	HA085	HA085	HA090	HA085
18	HA085	HA085	HA085	HA085	HA085

Tabla 23. Alternativa de Aislamiento Taipéi 23



### TORRE DEL LAGUITO

Point	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
2947	HA120	HA120	HA120	HA120	HA120
2949	HA120	HA120	HA120	HA120	HA120
2961	HA120	HA120	HA120	HA120	HA120
2955	HA110	HA110	HA120	HA120	HA110
2942	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2939	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2936	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2945	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2946	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2937	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2929	HA100	HA100	HA100	HA100	HA100
2953	HA100	HA090	HA100	HA090	HA090
2931	HA090	HA090	HA090	HA090	HA090
2930	HA090	HA085	HA090	HA090	HA090
2944	HA090	HA085	HA090	HA090	HA090
2926	HA085	HA085	HA090	HA090	HA090
2924	HA085	HA085	HA090	HA090	HA085
2925	HA085	HA085	HA090	HA085	HA085
2923	HA085	HA085	HA090	HA085	HA085
2932	HA085	HA085	HA085	HA085	HA085
2940	HA085	HA085	HA085	HA085	HA085
2928	HA085	HA085	HA085	HA085	HA085
2927	HA085	HA080	HA085	HA080	HA085
2935	HA080	HA080	HA080	HA080	HA080
2941	HA080	HA080	HA080	HA080	HA080
2933	HA070	HA070	HA070	HA070	HA070
2934	HA070	HA070	HA070	HA070	HA070

Tabla 24 Alternativa de Aislamiento Torre del laguito



**PROTOTIPO**

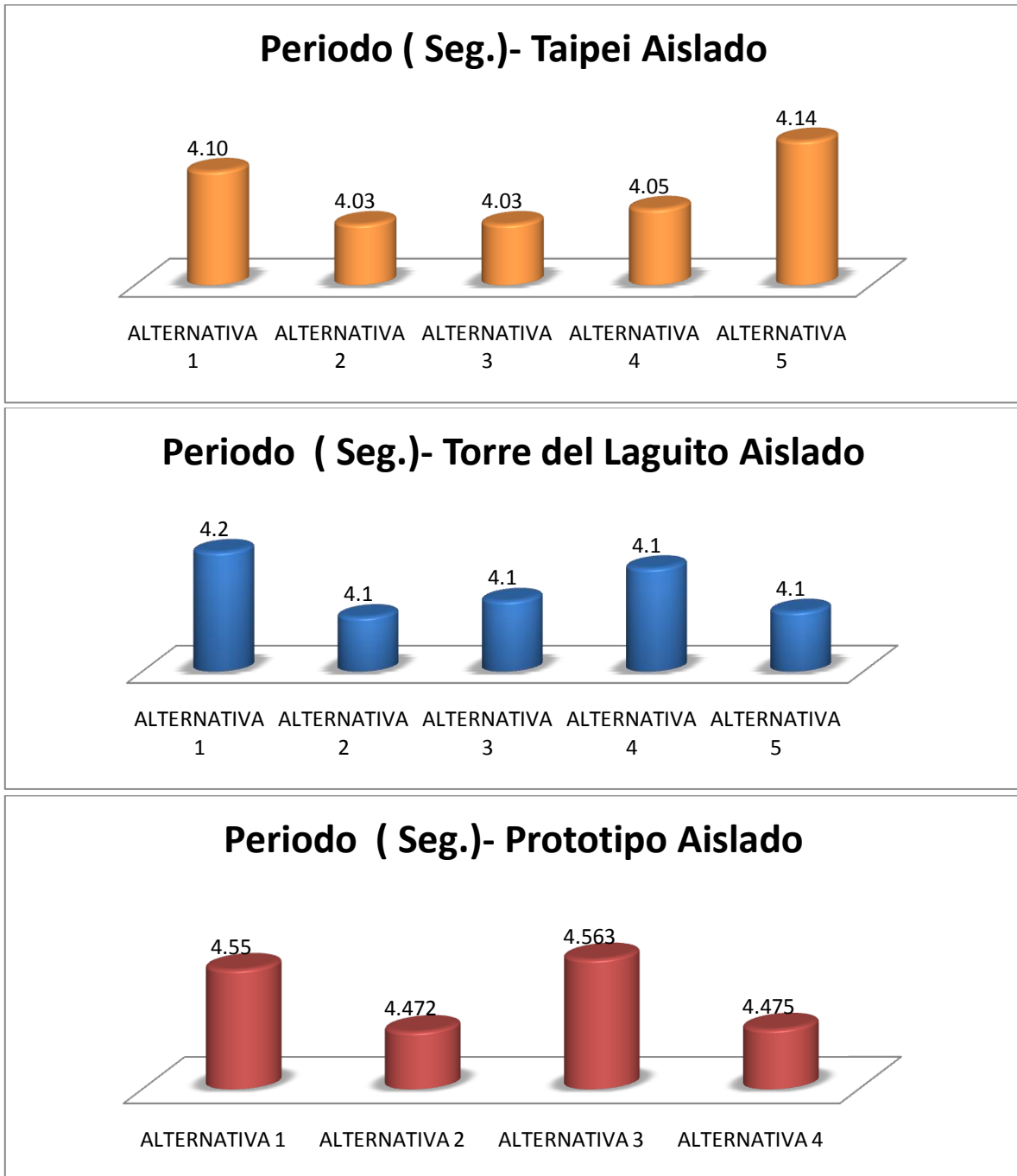
Point	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
17	HA120	HA120	HA120	HA120
51	HA120	HA120	HA120	HA120
54	HA120	HA120	HA120	HA120
19	HA120	HA110	HA120	HA120
27	HA120	HA110	HA120	HA110
18	HA110	HA110	HA120	HA110
30	HA110	HA110	HA120	HA110
1	HA110	HA110	HA110	HA110
29	HA110	HA110	HA110	HA110
5	HA110	HA110	HA110	HA110
35	HA100	HA100	HA110	HA100
33	HA100	HA100	HA100	HA100
34	HA100	HA100	HA100	HA100
36	HA100	HA100	HA100	HA100
39	HA100	HA100	HA100	HA100
38	HA100	HA100	HA100	HA100
37	HA100	HA100	HA100	HA100
46	HA100	HA100	HA100	HA100
4	HA100	HA090	HA100	HA100
21	HA100	HA090	HA100	HA090
45	HA090	HA090	HA100	HA090
20	HA090	HA090	HA100	HA090
8	HA090	HA090	HA090	HA090
25	HA090	HA090	HA090	HA090
42	HA090	HA090	HA090	HA090
41	HA090	HA090	HA090	HA090
50	HA090	HA090	HA090	HA090
40	HA090	HA090	HA090	HA090
43	HA090	HA085	HA090	HA090
44	HA090	HA085	HA090	HA090
53	HA090	HA085	HA090	HA085
23	HA090	HA085	HA090	HA085
49	HA085	HA085	HA085	HA085
22	HA085	HA085	HA085	HA085

Tabla 25. Alternativa de Aislamiento Prototipo.



## 6.1.2. Resultados por modelo

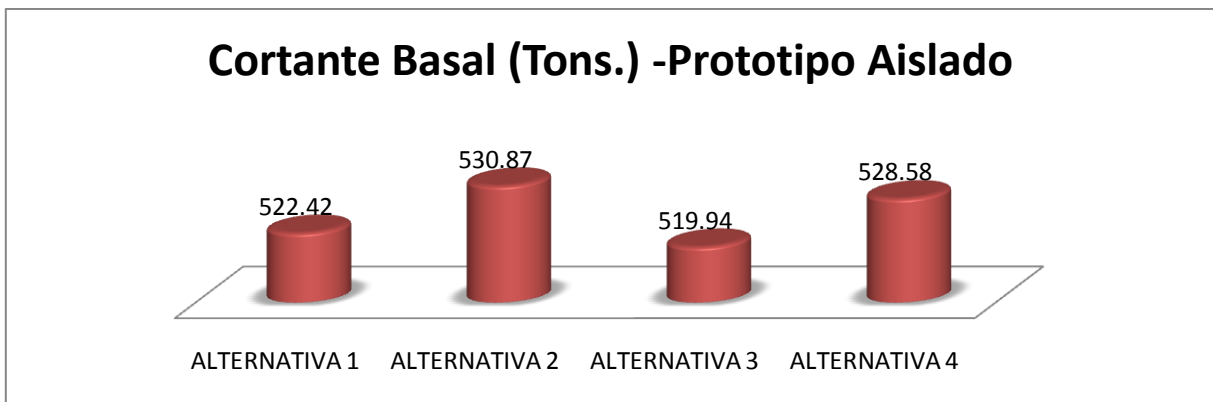
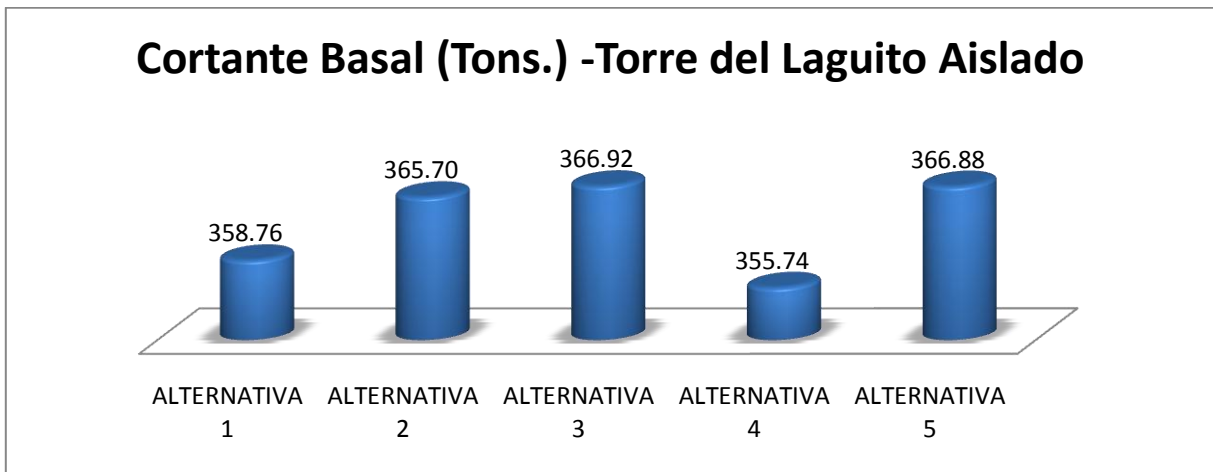
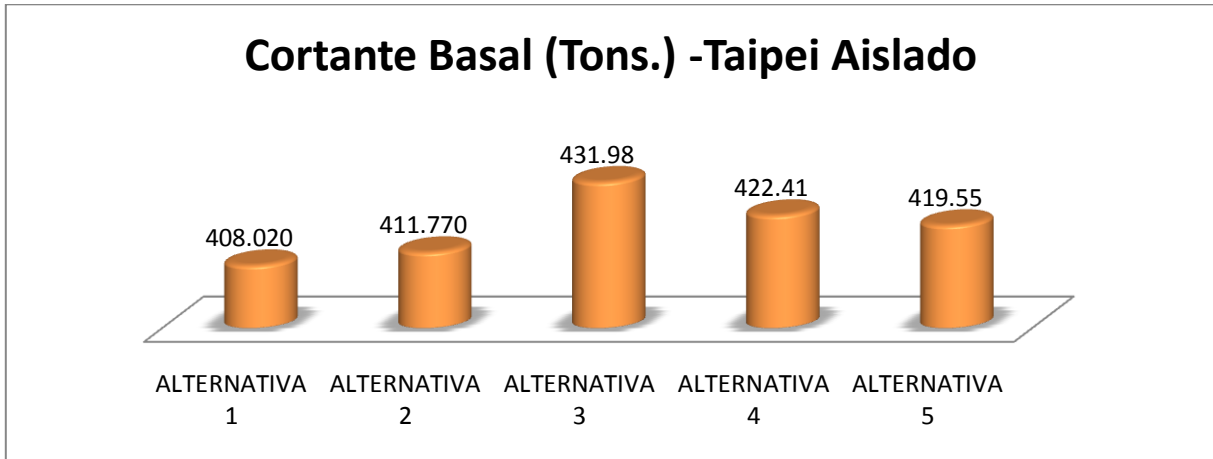
### 6.1.2.1. Periodo de la estructura (seg.):



Grafica 26. Periodos de cada alternativa por modelo



6.1.2.2. Cortante basal en la estructura (Ton).



Grafica 27. Cortante basal de cada alternativa por modelo



La selección de la mejor alternativa se realizó evaluando los resultados se hizo teniendo especial interés en el cortante basal, ya que este es el de mayor influencia en el evento de que ocurra un sismo. Acorde con lo anteriormente expuesto, las alternativas seleccionadas son:

- **TAIPEI:** Alternativa 1.
- **TORRE DEL LAGUITO:** Alternativa 4.
- **PROTOTIPO:** Alternativa 3.

Posteriormente se realizó la contabilización de la cantidad de acero y de concreto de cada modelo, obteniéndose así los resultados mostrados en la tabla 26 y 27.

<b>CANTIDADES DE CONCRETO MODELOS AISLADOS EN M3</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>COLUMNAS</b>	1979.55	1792.875	2386.8
<b>VIGAS</b>	1087.0863	1449.1575	1064.26572
<b>LOSA</b>	2618.753172	1557.7335	2939.44284
<b>TOTAL</b>	<b>5685.389472</b>	<b>4799.766</b>	<b>6390.50856</b>

*Tabla 26. Cantidad de Concreto Modelos Aislados (m3)*

<b>CANTIDADES DE ACERO MODELOS AISLADOS EN KG</b>			
	<b>TAIPEI</b>	<b>LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>ACERO LOSA</b>	561161.39	462498.21	734860.71
<b>ACERO V Y C</b>	516311.49	531032.62	496442.46
<b>TOTAL</b>	<b>1077472.884</b>	<b>993530.83</b>	<b>1231303.17</b>

*Tabla 27. Cantidad de Acero Modelos Aislados (Kg)*



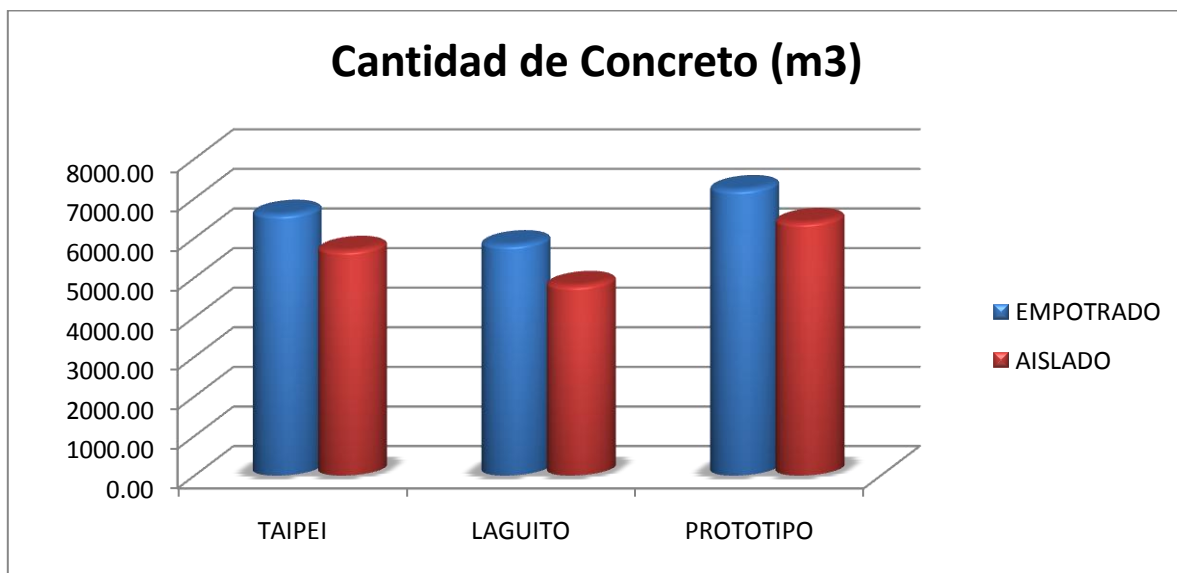
## 6.2. ANÁLISIS DE CANTIDADES

Con la contabilización de las cantidades de acero y concreto de los modelos tanto aislados como no aislados, procedemos a comparar estas cantidades, con el fin de validar la hipótesis planteada, es decir, el uso de los aisladores sísmicos en edificios disminuye la cantidad de acero y de concreto utilizados en su construcción. En las tablas 28 y 29 se hace un análisis de estas cantidades.

### 6.2.1. Cantidad de concreto. (M3)

MODELO	TAIPEI	LAGUITO	PROTOTIPO
EMPOTRADO	6597.46	5828.74	7220.75
AISLADO	5685.39	4799.77	6390.51
AHORRO	912.07	1028.98	830.24
% REDUCCIÓN	14%	18%	11%

Tabla 28. Comparación entre cantidades de concreto.



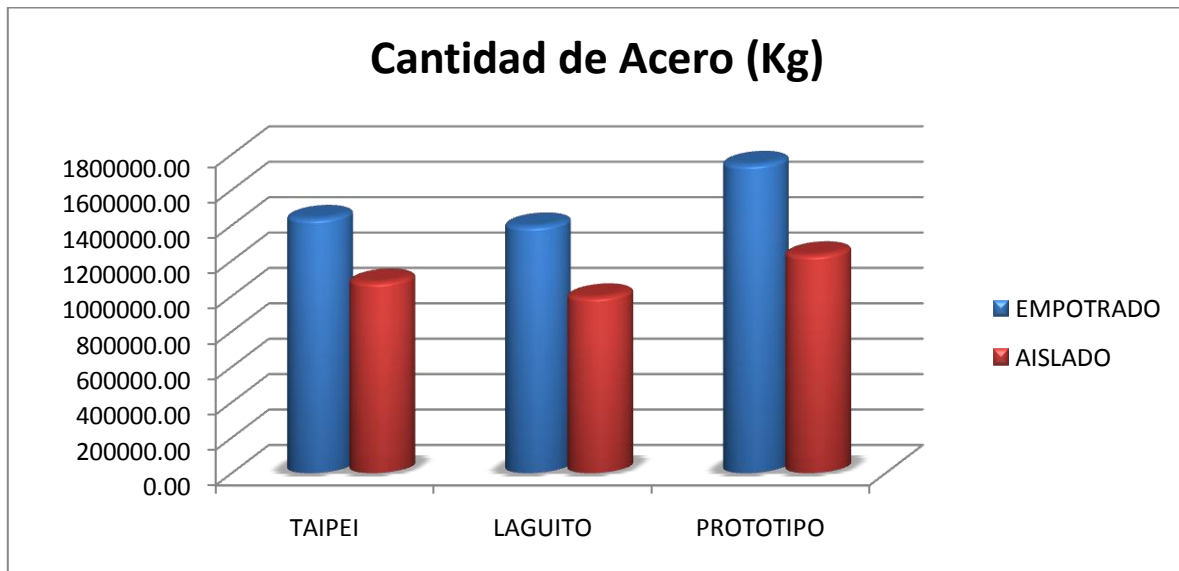
Grafica 28. Comparación entre cantidades de concreto



### 6.2.2. Cantidad de acero (KG).

MODELO	TAIPEI	LAGUITO	PROTOTIPO
EMPOTRADO	1436818.73	1394199.24	1742465.18
AISLADO	1077472.88	993530.83	1231303.17
AHORRO	359345.85	400668.41	511162.01
% REDUCCIÓN	25%	29%	29%

Tabla 29. Comparación entre cantidades de acero.



Grafica 29. Comparación entre cantidades de Acero

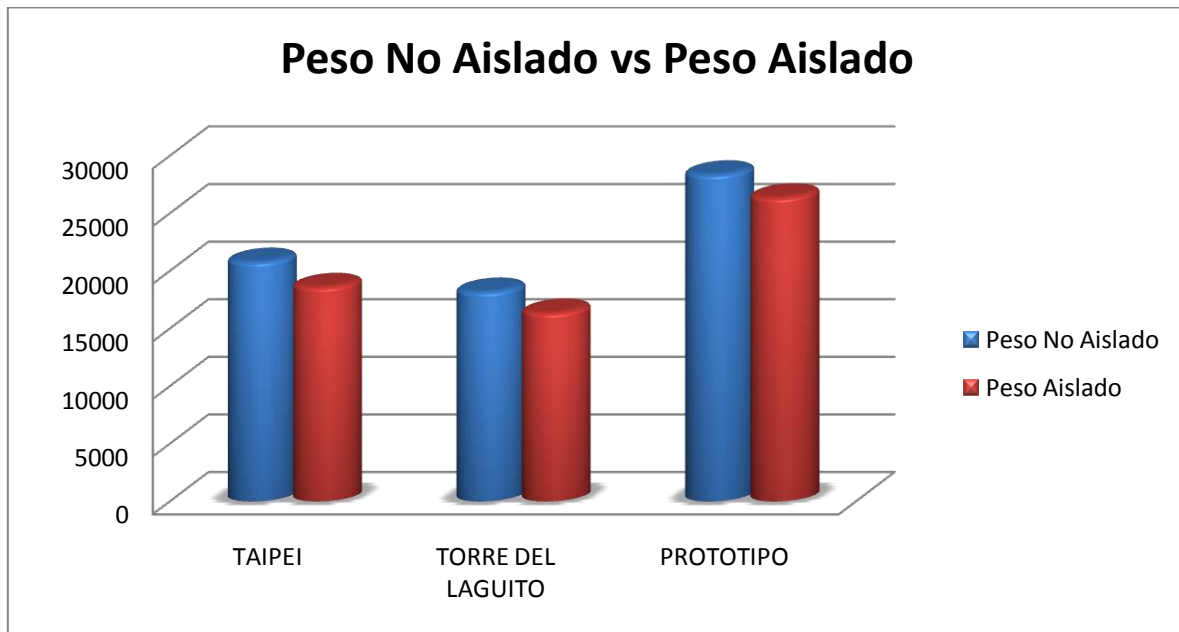




### 6.2.3 Peso de las estructuras.

<i>MODELO</i>	<i>TAIPEI</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO</i>	<i>PROTOTIPO</i>
<i>NO AISLADO</i>	20772.12708	18175.84065	28352.71283
<i>AISLADO</i>	18583.155	16348.41225	26360.13119
<i>% REDUCCIÓN</i>	11%	10%	7%

Tabla 30. Comparación entre pesos de las estructuras.



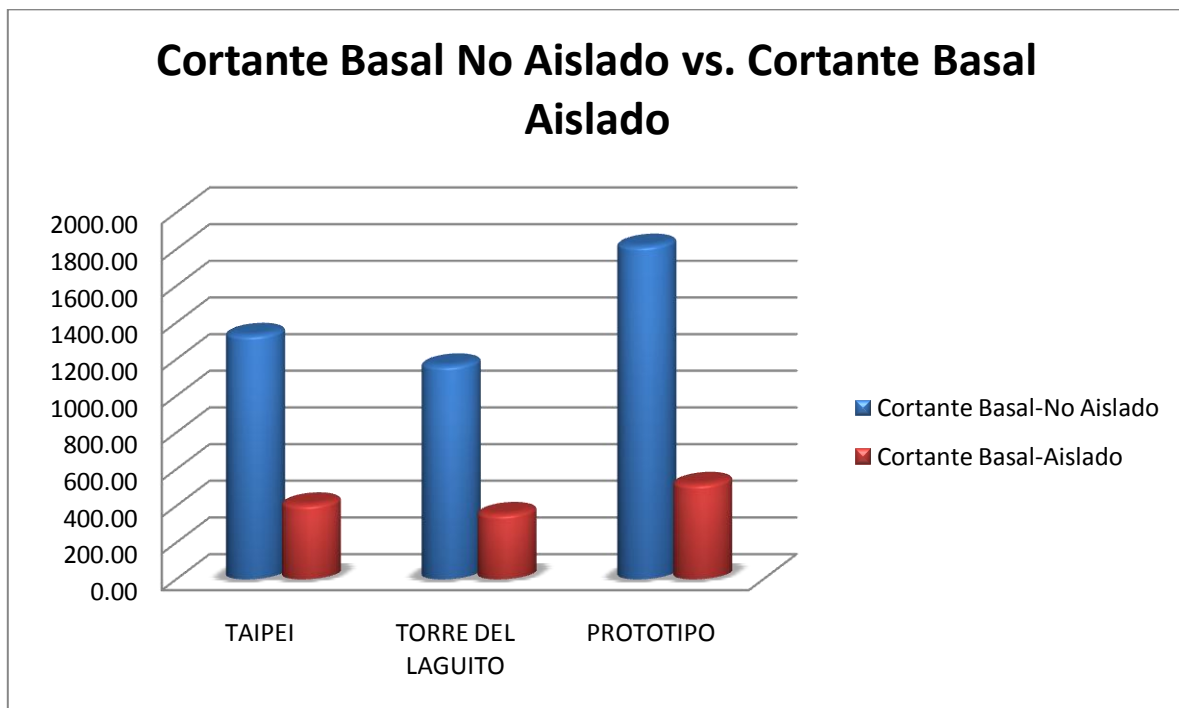
Grafica 30. Comparación entre pesos de las estructuras.



## 6.2.4 Cortante Basal

<i>MODELO</i>	<i>TAIPEI</i>	<i>TORRE DEL LAGUITO</i>	<i>PROTOTIPO</i>
<i>NO AISLADO</i>	1332.91	1166.31	1819.34
<i>AISLADO</i>	408.02	355.74	519.94
<i>% REDUCCION</i>	69%	69%	71%

Tabla 31. Comparación entre Cortantes Basales de las estructuras.



Grafica 31. Comparación entre Cortantes Basales de las estructuras.



## 6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

### 6.3.1 Análisis económico de los costos de construcción de las estructuras sin incluir los costos de cimentación, mampostería, instalaciones y acabados.

Conociendo las cantidades de acero y de concreto de las estructuras, procedimos a realizar el análisis económico para conocer el costo de los modelos aislados y no aislados, para esto se consulto con empresas constructoras de la ciudad de Cartagena los precios actuales de estos Items, los valores tomados para realizar este análisis son mostrados en la tabla 29.

PRECIOS UNITARIOS (DÓLARES)	
CONCRETO COLUMNAS	\$ 394.74
CONCRETO VIGAS	\$ 236.84
CONCRETO LOSA	\$ 289.47
ACERO KG	\$ 1.53

Tabla 32. Precios unitarios de concreto y acero (dólares).

Para un análisis total es necesario conocer el costo de los aisladores sísmicos Bridgestone-HDR, estos valores fueron actualizados al año 2011. Ver tabla 33.

PRECIOS AISLADORES (DÓLARES) INCLUYE IVA E IMPUESTOS DE ADUANA	
HA120	\$ 24,160.00
HA110	\$ 21,895.00
HA100	\$ 19,781.00
HA090	\$ 16,610.00
HA085	\$ 12,835.00
HA080	\$ 12,080.00
HA070	\$ 10,721.00

Tabla 33. Precios unitarios de aisladores, Jorge Rendón, [rendon.jorge@co.sika.com](mailto:rendon.jorge@co.sika.com)



Las tablas 34, 35 y 36 muestran el costo total del sistema de aislamiento para cada modelo analizado. En estos costos no están incluidos los costos de transporte e instalación. Todas las unidades monetarias están en dólares. Con los precios mostrados en la tabla 30, procedemos a calcular el costo de cada sistema y analizaremos la incidencia en el costo final de la estructura.

<b>TIPO</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
HA120	120	5	\$ 24,160.00	\$ 120,800.00
HA110	110	6	\$ 21,895.00	\$ 131,370.00
HA100	100	10	\$ 19,781.00	\$ 197,810.00
HA090	90	2	\$ 16,610.00	\$ 33,220.00
HA085	85	3	\$ 12,835.00	\$ 38,505.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 521,705.00</b>

Tabla 34. Precios aisladores Modelo Taipéi.

<b>TIPO</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
HA120	120	4	\$ 24,160.00	\$ 96,640.00
HA100	100	7	\$ 19,781.00	\$ 138,467.00
HA090	90	6	\$ 16,610.00	\$ 99,660.00
HA085	85	5	\$ 12,835.00	\$ 64,175.00
HA080	80	3	\$ 12,080.00	\$ 36,240.00
HA070	70	2	\$ 10,721.00	\$ 21,442.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 456,624.00</b>

Tabla 35. Precios aisladores Modelo Torre del Laguito

<b>TIPO</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
HA120	120	7	\$ 24,160.00	\$ 169,120.00
HA110	110	4	\$ 21,895.00	\$ 87,580.00
HA100	100	11	\$ 19,781.00	\$ 217,591.00
HA090	90	10	\$ 16,610.00	\$ 166,100.00
HA085	85	2	\$ 12,835.00	\$ 25,670.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 666,061.00</b>

Tabla 36. Precios aisladores Modelo Prototipo



Una vez conocidos los precios unitarios de concreto, acero y de los aisladores, o mejor del grupo de aisladores, podemos establecer los costos finales de cada modelo analizado. De esta manera podemos conocer la rentabilidad del sistema de aislamiento y confirmar la viabilidad o no del uso de aisladores sísmicos en edificios de gran altura (Ver tabla 37, 38,39 y Grafica 33).

<b>COSTO DE ESTRUCTURAS EMPOTRADAS (DÓLARES)</b>			
	<b>TAIPÉI</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>COLUMNAS</b>	\$ 982,302.63	\$ 825,986.84	\$ 1,044,828.95
<b>VIGAS</b>	\$ 352,944.00	\$ 519,769.04	\$ 387,096.65
<b>LOSA</b>	\$ 758,060.13	\$ 446,270.20	\$ 850,891.35
<b>ACERO</b>	\$ 2,193,039.12	\$ 2,127,988.31	\$ 2,659,552.12
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4,286,345.88</b>	<b>\$ 3,920,014.40</b>	<b>\$ 4,942,369.06</b>

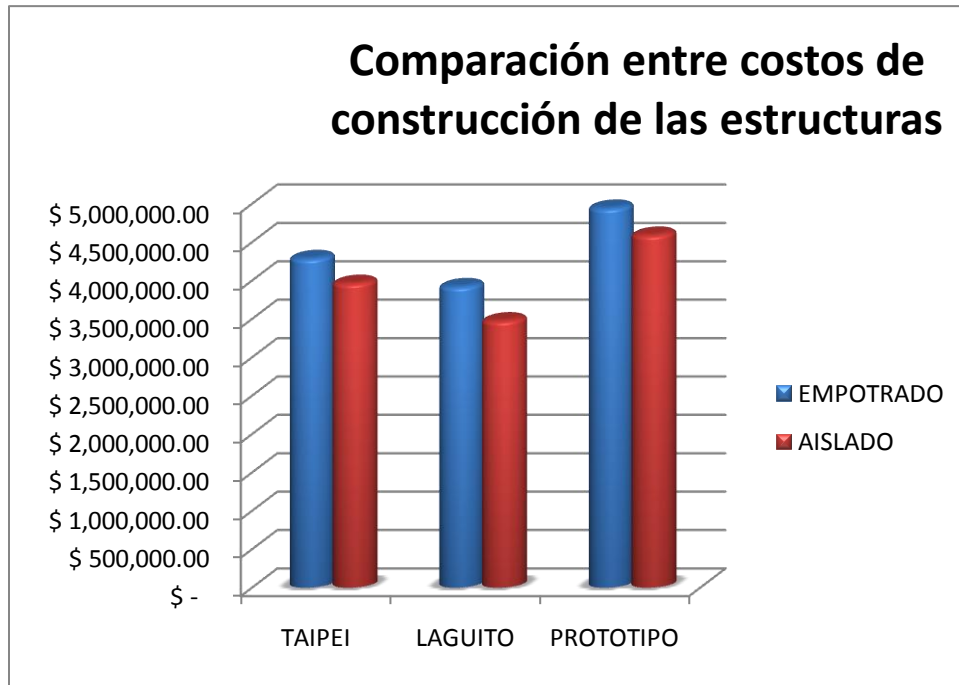
Tabla 37. Costo Estructuras Empotradas.

<b>COSTO DE ESTRUCTURAS AISLADAS ----CONCRETO Y ACERO (DÓLARES)</b>			
	<b>TAIPÉI</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>COLUMNAS</b>	\$ 781,401.32	\$ 707,713.82	\$ 942,157.89
<b>VIGAS</b>	\$ 257,467.81	\$ 343,221.51	\$ 252,062.93
<b>LOSA</b>	\$ 758,060.13	\$ 450,922.86	\$ 850,891.35
<b>ACERO</b>	\$ 1,644,563.88	\$ 1,516,441.79	\$ 1,879,357.47
<b>AISLADORES</b>	\$ 521,705.00	\$ 456,624.00	\$ 666,061.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,963,198.13</b>	<b>\$ 3,474,923.98</b>	<b>\$ 4,590,530.65</b>

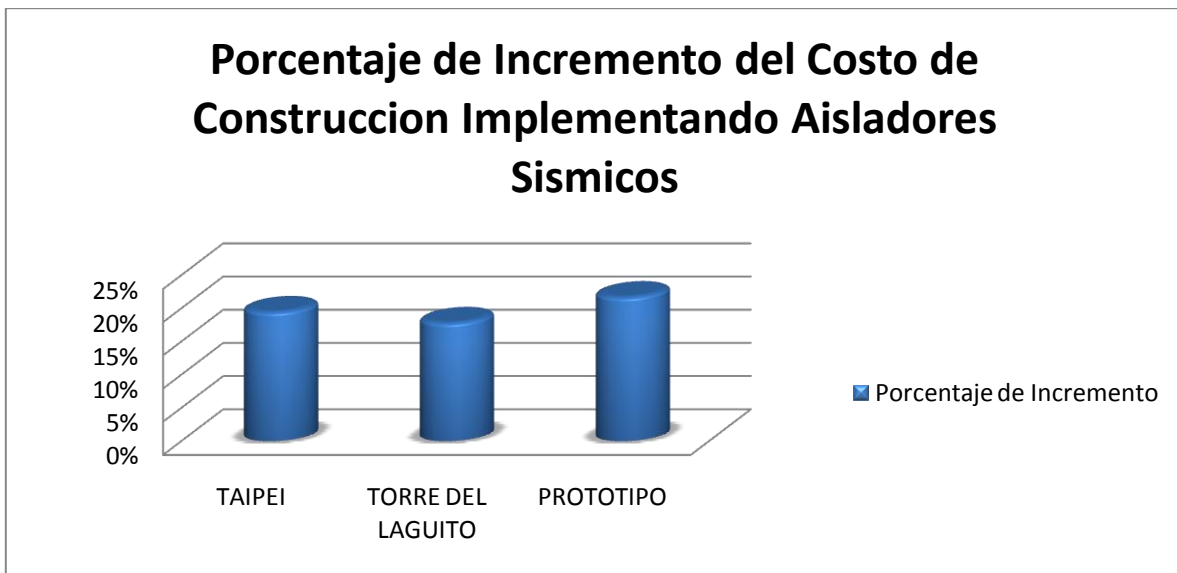
Tabla 38 .Costo Estructuras Aisladas

<b>MODELO</b>	<b>TAIPÉI</b>	<b>TORRE DEL LAGUITO</b>	<b>PROTOTIPO</b>
<b>EMPOTRADO</b>	\$ 4,286,345.88	\$ 3,920,014.40	\$ 4,942,369.06
<b>AISLADO</b>	\$ 3,963,198.13	\$ 3,474,923.98	\$ 4,590,530.65
<b>AHORRO</b>	\$ 323,147.75	\$ 445,090.42	\$ 351,838.41
<b>% REDUCCIÓN</b>	8%	11%	7%

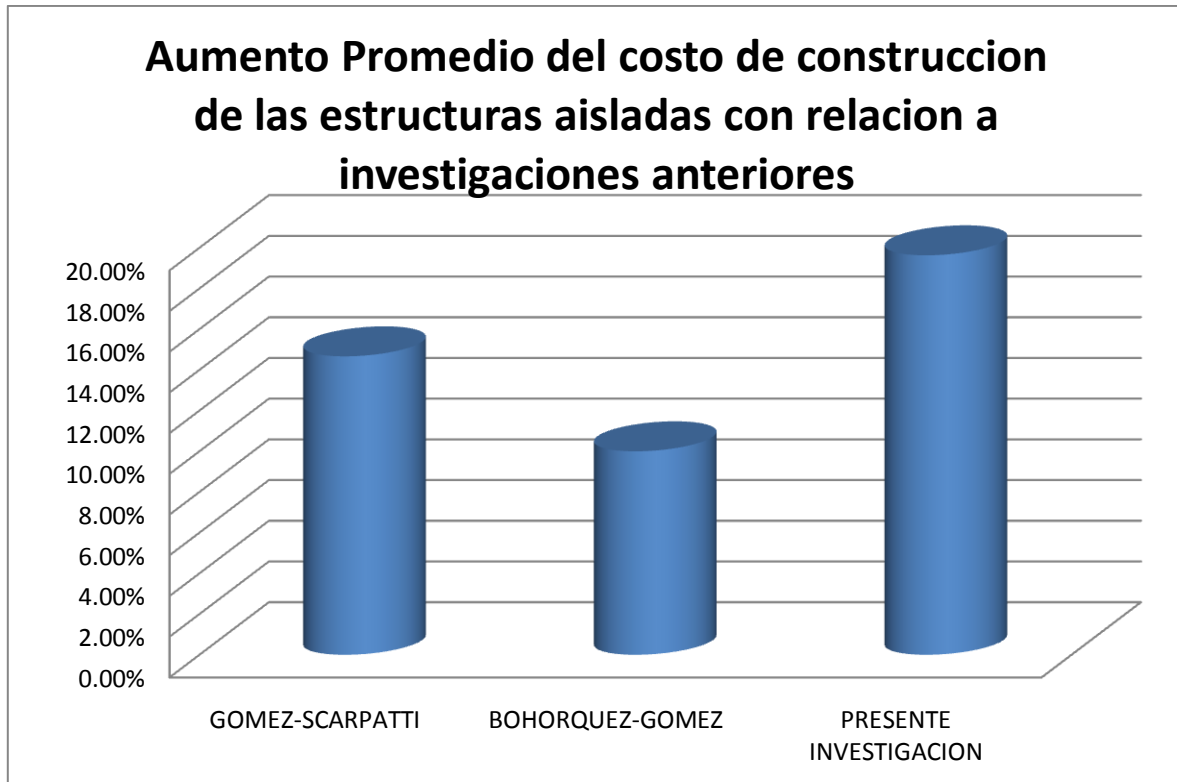
Tabla 39 .Ahorro y Rentabilidad.



Grafica 32. Comparación entre Costos de construcción de las estructuras.



Grafica 33. Incremento del Costo de construcción de las estructuras.



*Grafica 34. Aumento promedio del Costo de construcción de las estructuras con relación a investigaciones anteriores.*

### **6.3.2 Análisis económico de los costos de construcción de las estructuras incluyendo los costos de cimentación, mampostería, instalaciones y acabados.**

Para conocer realmente cual es la rentabilidad del sistema debemos analizar los costos finales de construcción de los edificios incluyendo la cimentación, la mampostería, las instalaciones hidrosanitarias, eléctricas y electrónicas y los acabados terminados. Para este análisis se utilizaron los precios suministrados por varias empresas constructoras de la ciudad de Cartagena, así como también los análisis de precios unitarios contenidos en el SISPA, edición Enero de 2011. A continuación presentamos un resumen de los costos analizados y las comparaciones entre los costos finales de construcción de los edificios.



### MODELOS EMPOTRADOS

TAIPÉI	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 8,144,057,173.20
COSTO CIMENTACIÓN	\$ 4,249,073,307.76
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERÍA	\$ 8,498,146,615.51
COSTO ACABADOS	\$ 14,517,667,134.83
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 35,408,944,231.30</b>
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN	18705.3798
COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCIÓN POR M2	<b>\$ 1,892,981.84</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
COSTO TOTAL POR M2	<b>\$ 1,893,613.42</b>

Tabla 40 .Costo total Edificio Taipei-empotrado

TORRE DEL LAGUITO	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 7,448,027,361.00
COSTO CIMENTACION	\$ 3,885,927,318.78
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERIA	\$ 7,771,854,637.57
COSTO ACABADOS	\$ 13,276,918,339.17
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 32,382,727,656.52</b>
AREA DE CONSTRUCCION	15416.607
COSTO DE CONSTRUCCION POR M2	<b>\$ 2,100,509.38</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
COSTO TOTAL POR M2	<b>\$ 2,101,140.96</b>

Tabla 41 .Costo total Edificio Laguito-empotrado

PROTOTIPO	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 9,390,501,215.50
COSTO CIMENTACION	\$ 4,899,391,938.52
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERIA	\$ 9,798,783,877.04
COSTO ACABADOS	\$ 16,739,589,123.28
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 40,828,266,154.35</b>
AREA DE CONSTRUCCION	24495.357
COSTO DE CONSTRUCCION POR M2	<b>\$ 1,666,775.71</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
COSTO TOTAL POR M2	<b>\$ 1,667,407.29</b>

Tabla 42 .Costo total Edificio Prototipo-empotrado





### MODELOS AISLADOS

TAIPEI	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 7,530,076,443.20
COSTO CIMENTACION	\$ 4,107,314,423.56
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERIA	\$ 8,498,146,615.51
COSTO ACABADOS	\$ 14,517,667,134.83
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 34,653,204,617.11</b>
AREA DE CONSTRUCCION	18705.3798
<b>COSTO DE CONSTRUCCION POR M2</b>	<b>\$ 1,852,579.58</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
<b>COSTO TOTAL POR M2</b>	<b>\$ 1,853,211.16</b>

Tabla 43 .Costo total Edificio Taipei-aislado

TORRE DEL LAGUITO	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 6,602,355,557.00
COSTO CIMENTACION	\$ 3,458,376,720.33
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERIA	\$ 7,771,854,637.57
COSTO ACABADOS	\$ 13,276,918,339.17
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 31,109,505,254.07</b>
AREA DE CONSTRUCCION	15416.607
<b>COSTO DE CONSTRUCCION POR M2</b>	<b>\$ 2,017,921.66</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
<b>COSTO TOTAL POR M2</b>	<b>\$ 2,018,553.24</b>

Tabla 44 .Costo total Edificio Laguito- aislado

PROTOTIPO	COSTO
COSTO ESTRUCTURA	\$ 8,722,008,229.00
COSTO CIMENTACION	\$ 3,872,102,307.94
COSTO INSTALACIONES Y MAMPOSTERIA	\$ 9,798,783,877.04
COSTO ACABADOS	\$ 16,739,589,123.28
<b>COSTO TOTAL DEL EDIFICIO</b>	<b>\$ 39,132,483,537.27</b>
AREA DE CONSTRUCCION	24495.357
<b>COSTO DE CONSTRUCCION POR M2</b>	<b>\$ 1,597,546.98</b>
COSTO INDIRECTO POR M2	\$ 631.58
<b>COSTO TOTAL POR M2</b>	<b>\$ 1,598,178.56</b>

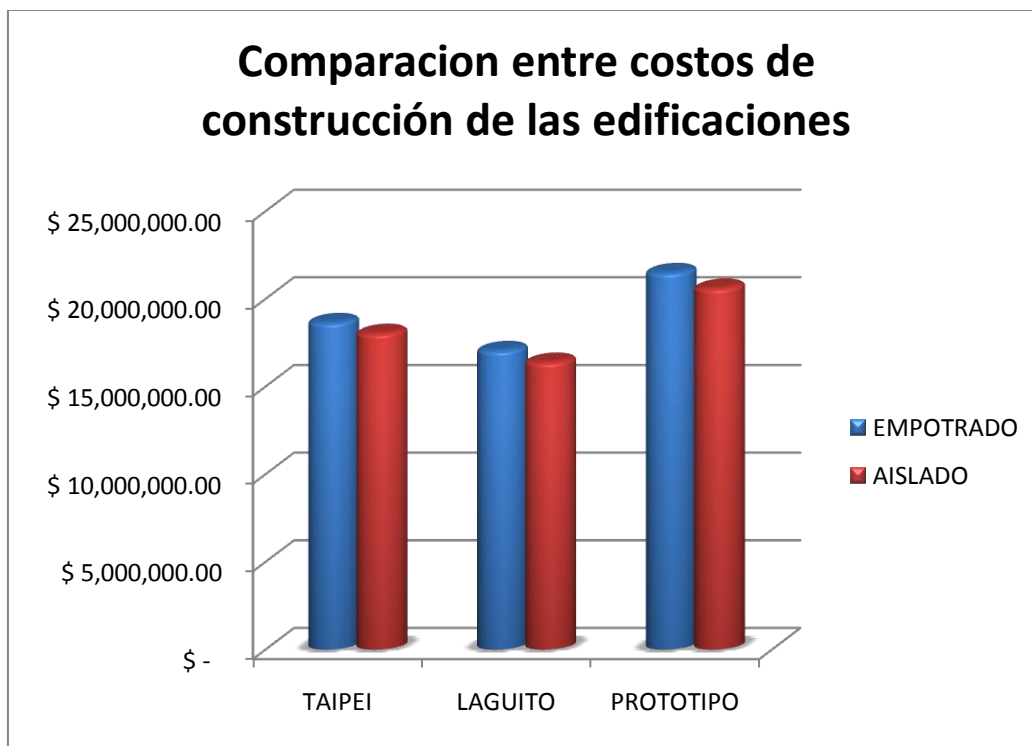
Tabla 45 .Costo total Edificio Prototipo- aislado



### AHORRO Y REDUCCION TOTAL DEL SISTEMA

MODELO	TAIPEI	LAGUITO	PROTOTIPO
EMPOTRADO	\$ 18,636,286.44	\$ 17,043,540.87	\$ 21,488,561.13
AISLADO	\$ 18,020,552.85	\$ 16,373,423.82	\$ 20,596,043.97
AHORRO	\$ 615,733.59	\$ 670,117.05	\$ 892,517.17
% REDUCCION	<b>3.30%</b>	<b>3.93%</b>	<b>4.15%</b>

Tabla 46 .Reducción total de los costos de construcción



Grafica 35. Comparación entre Costos Finales de construcción de las edificaciones.



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los resultados obtenidos en la investigación permite afirmar que el uso de aisladores sísmicos en edificios de gran altura es un sistema que permite lograr una reducción en los costos de construcción. Los modelos analizados muestran las ventajas de la implementación de este sistema en materia económica, ya que se lograron reducciones del orden de 15% en la cantidad de concreto y del 29% en la cantidad de acero.

A pesar de la notable reducción en las cantidades de material, el sistema es poco rentable, ya que una vez determinados los precios finales incluyendo el IVA y los impuestos de nacionalización establecidos por la DIAN para los aisladores, y se hace el presupuesto de cimentación, mampostería, instalaciones, redes y acabados, estamos manejando reducciones entre el 3.3% y el 4.15% de los gastos finales de construcción.

Este ahorro en costos no tiene relevancia alguna para un proyecto de construcción de cualquier tipo, pero la implementación del sistema de aislamiento sísmico permite mejorar el comportamiento de la estructura ante un sismo, minimizando los daños, lo cual se traduce en menores costos de reparación de elementos no estructurales, y menores gastos de reposición de bienes inmuebles afectados. Por tanto es recomendable el uso de este sistema de protección sísmica en construcciones institucionales, tales como hospitales, universidades, escuelas, estaciones de bomberos, comandos de policía y fuerza militar en general, que son estructuras de vital importancia para la atención post-ocurrencia de un sismo, y que muchas veces el daño ocasionado por el sismo a este tipo de edificaciones hace que sea muy difícil atender la emergencia ocurrida.

En aras de mejorar el desempeño estructural debe analizarse el uso de otros dispositivos de protección sísmica, ya sean activos o pasivos, con el fin de mejorar aspectos como la deriva, ya que logrando controlar las derivas puede lograrse una reducción en el diámetro de los aisladores, característica esta que determina el valor unitario de cada aislador.



Una ventaja derivada del uso del sistema de aislamiento sísmico, es la ampliación de los espacios habitables debido a la reducción de las dimensiones de los elementos de la estructura, todo esto incide en el mejoramiento del aspecto estético del edificio y por consiguiente también mejora la calidad de vida de los ocupantes, además de la valorización del inmueble.

Es necesario continuar realizando investigaciones sobre este tema, teniendo en cuenta otros aspectos, tales como la interacción suelo-estructura y el análisis sísmico de tipo dinámico, aisladores de otras marcas tales como la Dynamic Isolation System (DIS). Todo esto con el fin de tener mayor conocimiento del sistema, de las ventajas y de la viabilidad de su implementación a nivel local.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. ARROYO, J.R.”Metodología para calcular las respuestas de las estructuras con amortiguadores viscosos”. *Technical Report for the Federal Emergency Management Agency* .Universidad de Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico. 2003
2. GONZÁLEZ, R.”Modelación estructural y comparación económica de edificios con aislamiento sísmico de base” Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. 2001
3. MORENO, D., YAMIN, L., REYES, J.C. “Estudio Experimental de Aisladores Sísmicos Tipo Péndulo de Fricción en Modelos A Escala Reducida”. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
4. DE LA LLERA, J. “Análisis y Diseño de Sistemas de Aislación Sísmica Y Disipación de Energía” Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
5. ROMO, M., AGUILAR, R., BRAVO, V. “Alternativas de Modelamiento de Estructuras con Aisladores Sísmicos mediante SAP 2000. Escuela Politécnica del Ejército. Guayaquil, Ecuador. 2005
6. “ESTUDIO COMPARATIVO ECONÓMICO DE EDIFICIOS CON AISLAMIENTO SÍSMICO DE BASE” Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2003
7. “BASE ISOLATION MANUAL” Bridgestone Company. Japón. 2000.
8. ROCHEL, ROBERTO. “Análisis y diseño sísmico de edificios”. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.



9. ROCHEL, ROBERTO. “Hormigón Reforzado tomo I”. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.2000
10. ROCHEL, ROBERTO. “Hormigón Reforzado tomo II”. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.2000
11. BELZAN, EDUARDO. “Diseño Sísmico”. Editorial Limusa. México. 2009
12. GARCIA REYES, Luis Enrique. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. Universidad de los Andes, Facultad De Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia . 1998
13. RENDON, Jorge. El aislamiento sísmico de estructuras y su aplicación en Colombia. Revista NOTICRETO N° 95, edición Julio-Agosto de 2009. Bogotá, Colombia, 2009.
14. ZHOU, Fulin y QIAOLING, Xian. Recent development on seismic isolation, energy dissipation, Passive and semi-active control of structures in P.R. CHINA. Guangzhou University, República de China.
15. BOHORQUEZ, Lainer y GOMEZ, Sandy, Tesis de grado:” Analisis económico y estructural de edificaciones aporricadas de mas de 30 pisos ubicadas en la ciudad de Cartagena de Indias, mediante análisis estático y empleado aisladores sísmicos modelados enn ETABS”, Facultad de Ingenieria, Universidad de Cartagena, Colombia. 2009.
16. GOMEZ, Ruben y SCARPATTI, Leonel, Tesis de grado:” Analisis Dinamico de Estructuras Aporricadas con Aisladores Sismicos en la Base”, Facultad de Ingenieria, Universidad de Cartagena, Colombia. 2010.



# **ANEXOS**



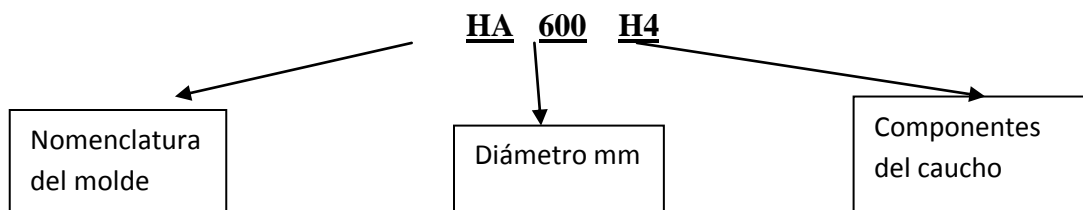
## ANEXO 1. INFORMACIÓN GENERAL DE AISLADORES BRIDGESTONE

### MODELOS

SERIE DE MODELOS ESTANDAR			
Nomenclatura	Altura total del caucho	Rango de diámetros	Numero de tamaños
HM	160 mm	500-1300 mm	13
HA	200 mm	600-1300 mm	11
HK	250 mm	800-1300 mm	7
HH	200 mm	700-1300 mm	10

COMPONENTES ESTANDAR DEL HDR	
Nomenclatura	Modulo cortante a 100% del esfuerzo al corte
H4	4.1 kgf/cm <sup>2</sup> -57.8 psi
H6	6.2 kgf/cm <sup>2</sup> -88.2 psi
H8	8.2 kgf/cm <sup>2</sup> -116 psi
H12	13.7 kgf/cm <sup>2</sup> -195 psi

### CONVENCION DE CODIGOS DE PRODUCTO







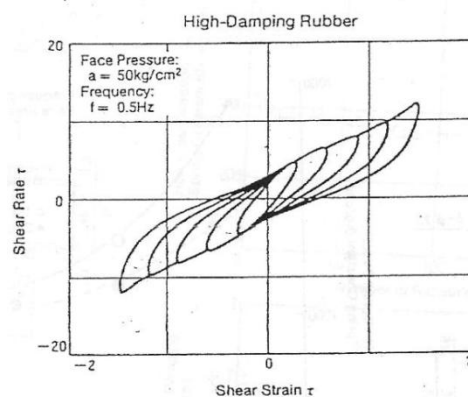
## OTRAS PROPIEDADES DE LOS AISLADORES HDR.

### CARACTERÍSTICAS DE RESTITUCIÓN HISTERÉTICA

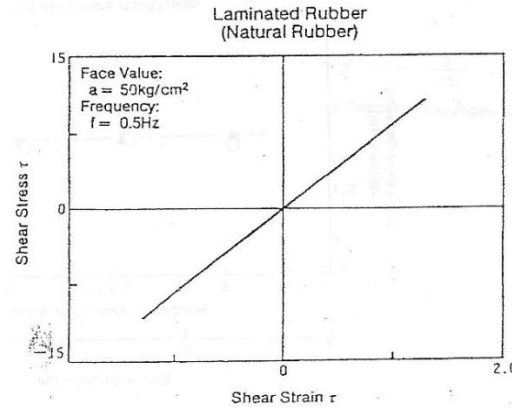
Puesto que el caucho de aislación sísmica de alto amortiguamiento de Bridgestone posee capacidad de amortiguamiento viscoso, no solo presenta curvas histeréticas suaves, sino que la capacidad de amortiguamiento viscoso también muestra un amortiguamiento constante de cerca del 15% en un ancho rango de amplitud.

Adicionalmente, puesto que la rigidez de resorte (rigidez equivalente) del caucho tiene características de un tipo de amplitud-dependencia, el caucho también presenta una no linealidad de retención de alta rigidez de resorte bajo pequeños desplazamientos, mientras que se incrementa la suavidad de su rigidez de resorte cuando el caucho esta sujeto a largos desplazamientos.

Mientras que la rigidez de este nuevo caucho es suavizada contra sismo de pequeña, mediana y gran escala, su alta rigidez inicial desempeña una función de gatillo contra las vibraciones causadas por el viento. Además, ya que el caucho presenta el fenómeno de endurecimiento contra grandes desplazamientos excesivos con el incremento de la rigidez y la fuerza de reacción, el soporte de caucho puede proteger los edificios contra cargas sísmicas severas<sup>11</sup>.

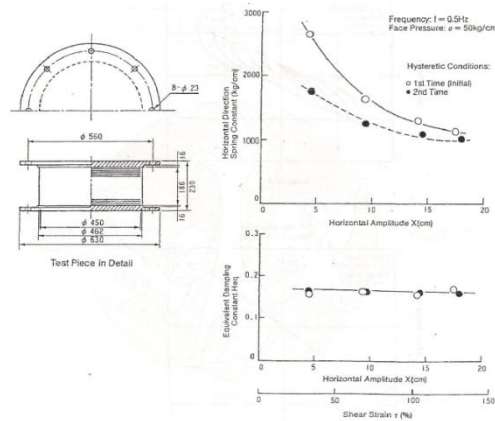


<sup>11</sup> : Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000



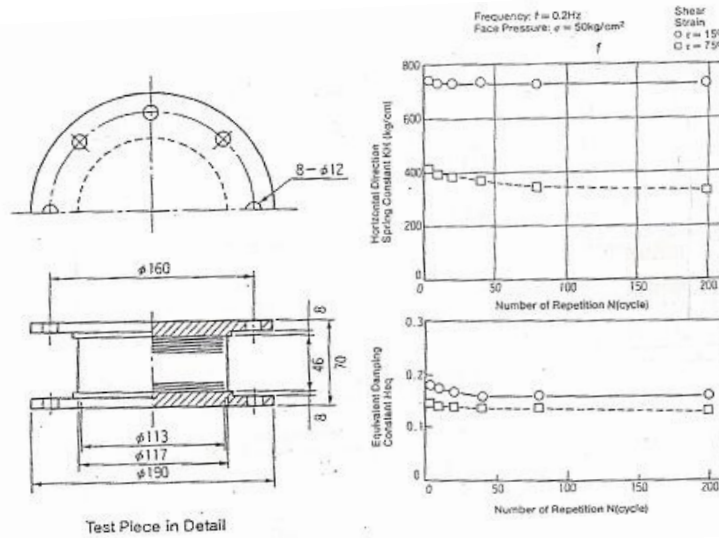
## DEPENDENCIA DE HISTERESIS DE CARGA

El caucho de alto amortiguamiento muestra una dependencia de histéresis de carga en rangos pequeños de amplitud, inmediatamente después de que el caucho ha experimentado grandes desplazamientos. Esta tendencia es generalmente encontrada en todos los productos de caucho y no es un fenómeno peculiar para el caucho de alto amortiguamiento. Este generalmente se le denomina “fenómeno de suavización” del caucho. A través de la reacción las moléculas de caucho son intervenidas para formar enlaces entre ellas mismas. No obstante, cuando esas moléculas de caucho son intervenidas están sujetas a desplazamientos, aquellas partes de las moléculas las cuales han estado falsamente enlazadas son eliminadas, ocasionando la “suavización” del caucho. En consecuencia, cuando el caucho es sujeto repetidamente a desplazamientos, este alcanza un cierto estado de estabilidad. Cuando el caucho deformado es dejado sin atención después de que ha alcanzado la estabilidad, los enlaces falsos eliminados son re-enlazados, alcanzando cerca del 80 % de recuperación. Después de esto, cuando es sujeto a desplazamientos repetidos, el caucho no se suavizara más allá del estado inicial o estabilidad que una vez alcanzo.



## CARACTERÍSTICAS DE DESPLAZAMIENTO REPETITIVO

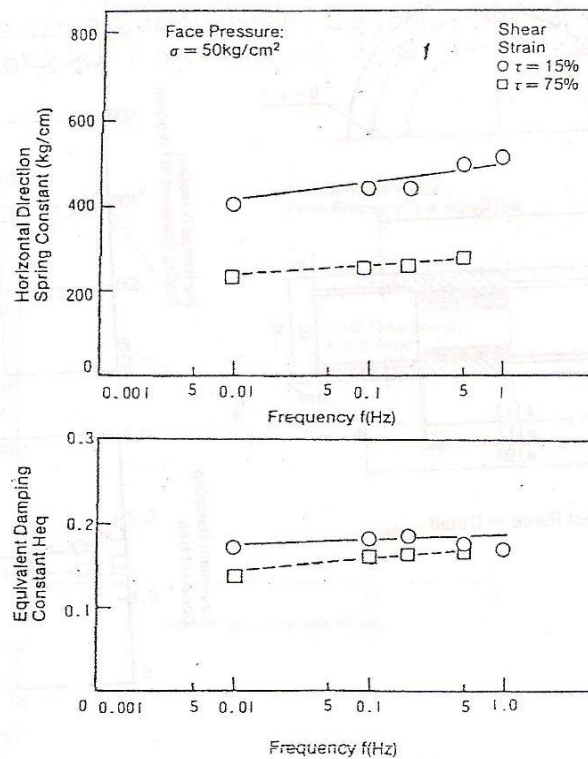
Cuando el caucho de alto amortiguamiento y separación sísmica esta sujeto a desplazamientos repetitivos, muestra las características de decremento de la rigidez de resorte, asi como su capacidad de amortiguamiento para los severos ciclos iniciales. No obstante, las variaciones subsecuentes son pequeñas y el caucho muestra un desempeño estable en el resto de características. La figura siguiente muestra las variaciones en la rigidez y amortiguamiento cuando el caucho de alto amortiguamiento y separación sísmica esta sujeto a desplazamientos repetitivos bajo tres diferentes condiciones de desplazamiento.





## CARACTERÍSTICAS DE DEPENDENCIA DE FRECUENCIA

En lo que concierne a la dependencia de frecuencia del caucho de alto amortiguamiento y separación sísmica, este muestra bastantes características de frecuencia estabilizada en pequeños, medianos y grandes desplazamientos, mientras que su rigidez de resorte tiende a incrementarse así como se incrementa la frecuencia en pequeñas amplitudes. Con respecto a la capacidad de amortiguamiento, la dependencia de frecuencia puede ser considerada como no dependiente de la velocidad de las características histeréticas, las cuales son más bien más elasto-plásticas que viscosas.



Fuente: Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000.

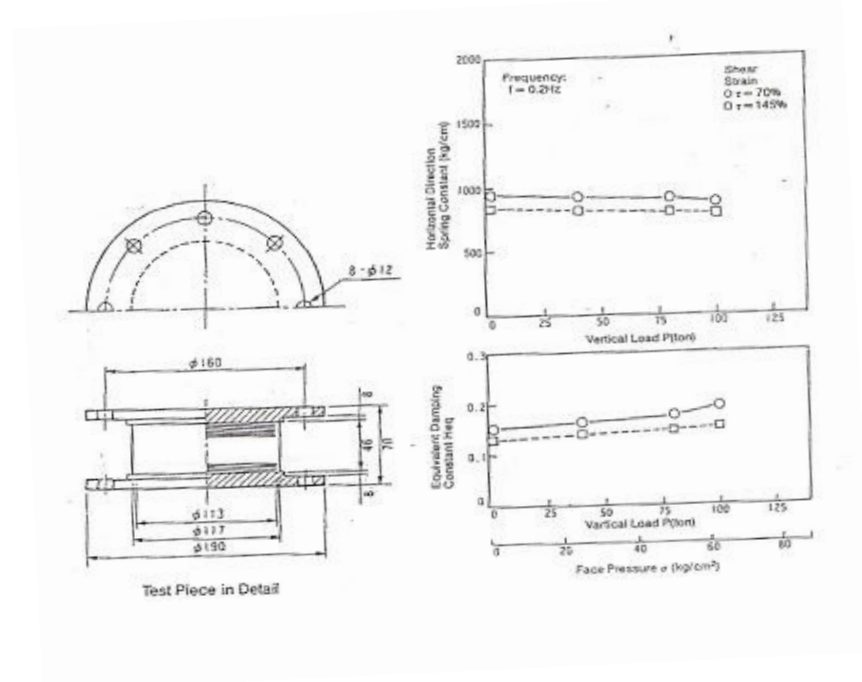


## CARACTERÍSTICAS DE DEPENDENCIA DE LA PRESIÓN (CARGA) DE SUPERFICIE

Como se esperaba, la rigidez de resorte de un MRB HD, y cualquier tipo de soporte(o productos basados en caucho natural) tiende a disminuir a medida que aumenta la presión de superficie. No obstante, cuando la rigidez disminuye es limitada a pequeños rangos y el amortiguamiento muestra una dependencia a incrementarse, esto no solo no es un problema, sino que puede decirse que este ofrece seguridad adicional por un ligero incremento del efecto de amortiguamiento del soporte.

Bridgestone establece convenientes presiones de superficie para sus soportes de alto amortiguamiento y separación sísmica, considerando condiciones de durabilidad, rotura y otros factores. El uso de soportes bajo grandes presiones de superficie debe ser evitado.

Figura 23. Características de la dependencia de la presión de superficie

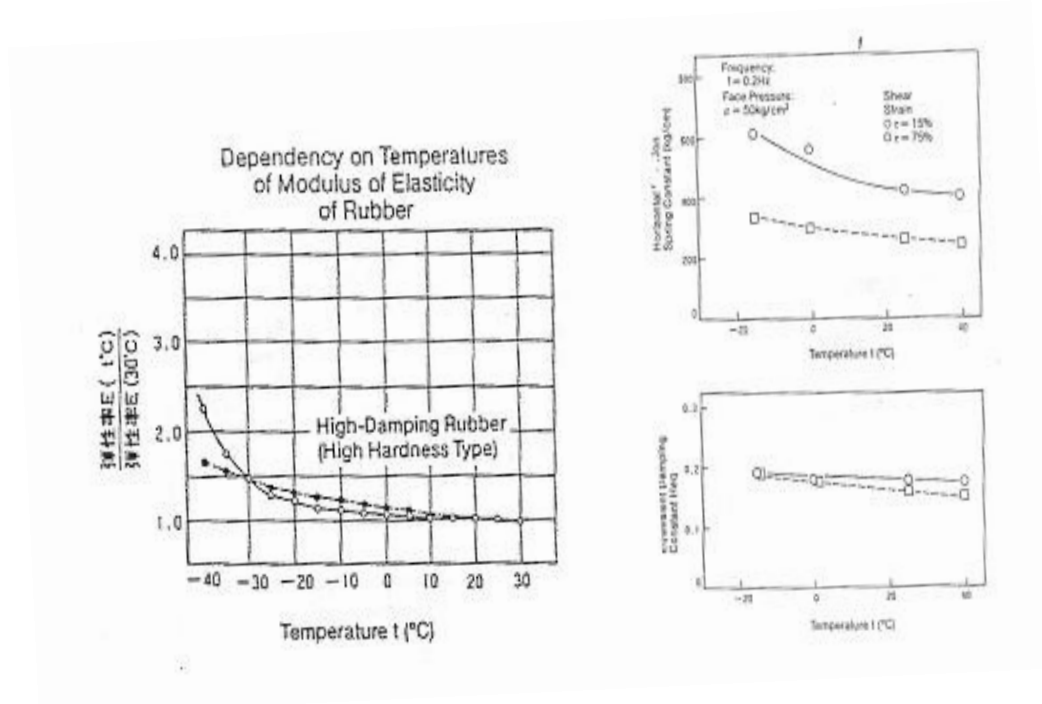




## DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA

Materiales de amortiguamiento ordinarios (como las sustancias viscosas y el aceite) cambian sus características bajo la influencia de la temperatura. No obstante, el material de caucho de alto amortiguamiento, el cual ha sido especialmente desarrollado para el uso en los soportes de separación sísmica tiene baja dependencia a la temperatura.

El material de caucho de Bridgestone incluso tiene mejor resistencia a bajas temperaturas en temperaturas por debajo de los  $-20^{\circ}\text{C}$  que el caucho natural.



## RIGIDEZ DE RESORTE Y CAPACIDAD DE AMORTIGUAMIENTO EN EL TIEMPO

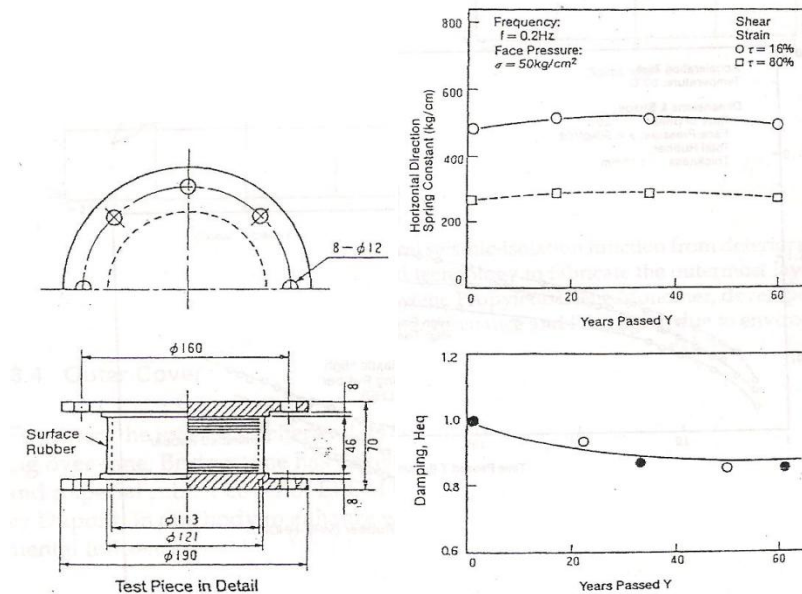
Los cambios en la rigidez de resorte en el tiempo se presenta gradualmente en el estado inicial y disminuye cerca del punto medio de los 60 años en el periodo de prueba, en



pruebas hechos por Bridgestone. Las relaciones de cambio en la rigidez de resorte son mostradas en la tabla siguiente

Esfuerzo Cortante del Caucho	Valor inicial	18 años	35 años	60 años
15%	1.00	1.07	1.06	1.02
80%	1.00	1.10	1.08	1.00
140%	1.00	1.15	1.19	1.10

En contraste, pruebas de edad simuladas muestra que el amortiguamiento disminuye cerca del 7-10% en 60 años

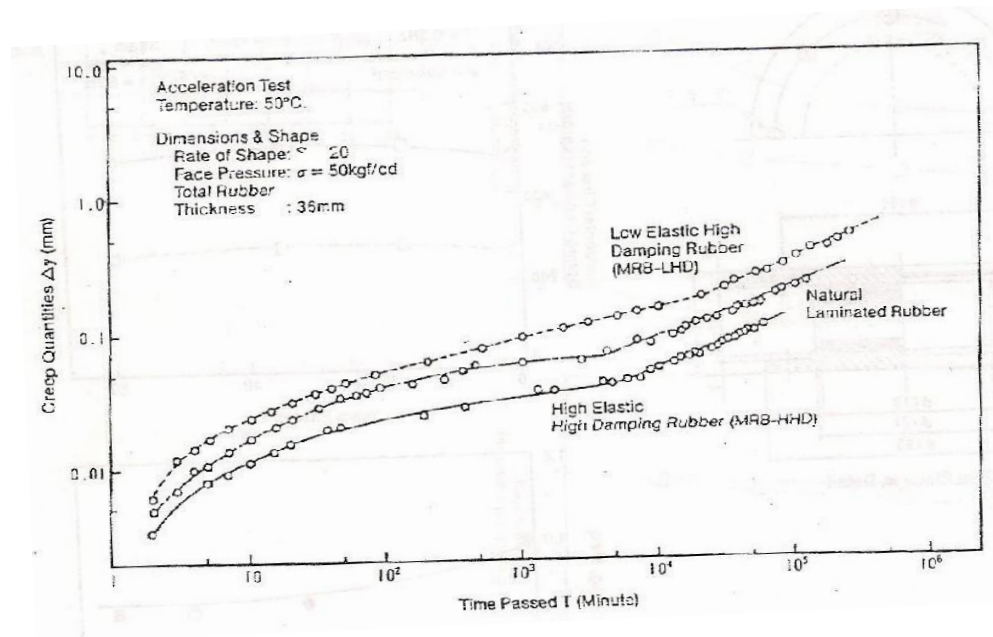


## CARACTERÍSTICAS DEL CREEP

Debido a que soportan grandes cargas en periodos largos de tiempo todos los soportes de caucho de separación sísmica presentan el fenómeno del creep. Los materiales convencionales de caucho están asociados a grandes factores de creep. No obstante, Bridgestone ha tenido éxito minimizando estas cantidades mediante el balance elástico y



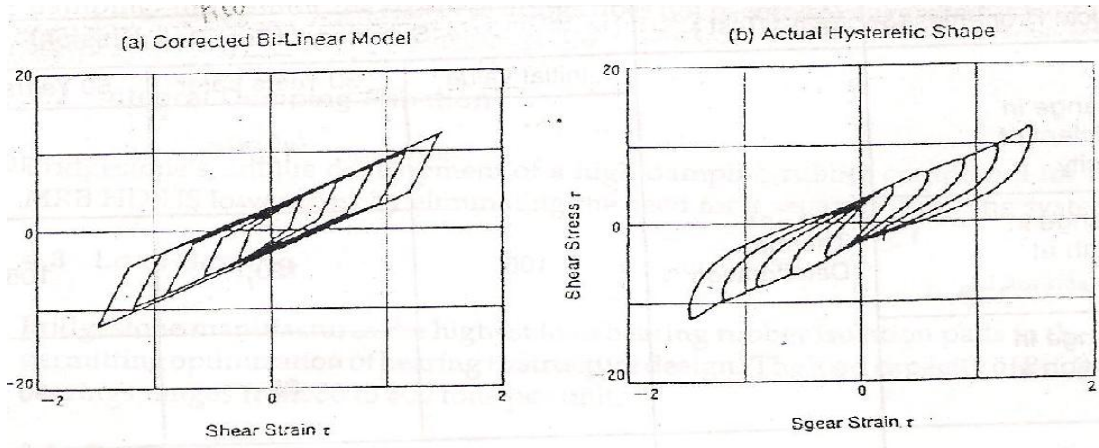
viscoso en su caucho de alto amortiguamiento. Como resultado el creep ha sido reducido en los MRB HD-HS de Bridgestone a un factor por debajo de los sistemas basados en caucho natural. El grado de creep varía con la presión de superficie, espesor total y coeficientes de forma del material de caucho usado. En el caso de los materiales de caucho de alto amortiguamiento y aislamiento sísmico, el creep aumenta cerca de 3 a 5 mm en 60 años.



## ANÁLISIS ORIENTADO AL MODELO DE RESTITUCIÓN DE MATERIALES DE CAUCHO LAMINADO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO

Los modelos para el análisis de respuesta dinámica cuando un material de caucho laminado de alto amortiguamiento es usado como una fundación de separación sísmica puede ser manipulado como un modelo bilineal corregido tipo esfuerzo-dependiente, el cual generalmente consiste en un esquema de curvas definidas por los valores característicos básicos de un caucho laminado y el esfuerzo y el grupo de histéresis definido por el tiempo máximo de respuesta.





## CUBIERTA EXTERNA

Para proteger el caucho interior y su función crítica de aislamiento sísmico del deterioro a lo largo del tiempo, Bridgestone ha desarrollado la tecnología para fabricar la capa exterior como una cubierta de caucho especial de EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer, desarrollado por Dupont) en un cuerpo para reforzar la resistencia a la intemperie y al envejecimiento debido a las influencias ambientales.

## DURABILIDAD DE MATERIALES DE CAUCHO

PROPIEDADES FÍSICAS	PRUEBA	RESUMEN DE LAS PRUEBAS*		
		Valor inicial	30 años	60 años
1. Cambio en el coeficiente de elasticidad	Deterioro Térmico	100	120	110
2. Cambio en la resistencia a la rotura			120	105
3. Cambio en la elongación a rotura			95	90
4. Fatiga repetitiva del caucho	Deterioro Térmico	Cauchos que contrarrestan desplazamientos repetitivos conducen más de 1500 veces al 450% del esfuerzo cortante y más de 70000 veces al 325% del esfuerzo cortante		
5. Fuerza de adhesión Caucho-Metal	Deterioro Térmico/Cortante	Incremento de la adhesión en cerca del 60% para 80 kg/cm <sup>2</sup> , contra valores de 50 kg/cm <sup>2</sup>		
6. Fatiga de adhesión Caucho-Metal		Cauchos que contrarrestan desplazamientos repetitivos conducen más de 300 veces al 500% del esfuerzo cortante y más de 7000 veces al 300% del esfuerzo cortante		



\*(Después de 60 años de deterioro acelerado equivalente)

## LAMINAS MULTIPLES

El soporte de caucho Bridgestone utiliza más láminas de menor de espesor que los soportes convencionales, a pesar de que requiere un mayor nivel de precisión de manufactura y costos adicionales, este procedimiento provee:

- Más distribución uniforme de esfuerzos a través del soporte.
- Grandes desplazamientos horizontales.
- Alta estabilidad al doblamiento.
- Más estabilidad y menos oscilación al desplazamiento.
- Menos creep.

## MONTAJE Y COLOCACIÓN

Los soportes son fijados en una estructura y su cimentación mediante uno de dos métodos:

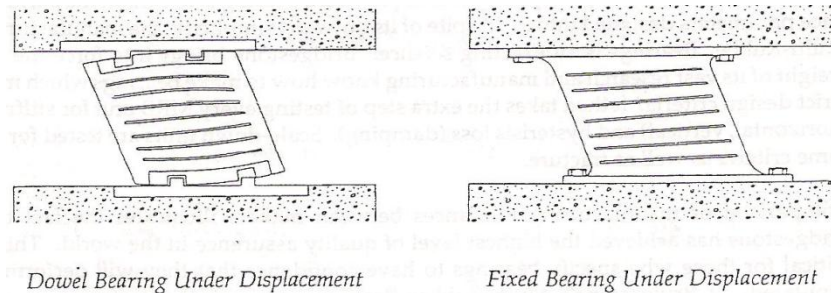
- a) Tipo dovela:** El soporte tipo dovela, no está atornillado a la fundación ni a la estructura, en cambio el descansa en dovelas como se muestra en la figura. Este método es usado para proteger los soportes de esfuerzos excesivos en las esquinas, no porque proteja la estructura. Bajo un sismo severo es posible que la estructura se balancee fuera de la dovela haciendo aconsejable incorporar almohadillas en la fundación, sobre las cuales descansara



en caso de que ocurra este evento. Debido a este defecto se espera que los soportes de dovelas sean discontinuados.

- b) **Tipo fijo:** Los soportes Bridgestone son de tipo fijo. Esto significa que las pestañas incorporadas a soporte son atornilladas a la fundación y a la estructura. La estructura no rodara fuera de un soporte fijo. Los soportes fijos también limitan el balanceo delantero y trasero, los cuales pueden ser acentuados por los soportes de dovela. El esfuerzo se dispersa mejor en soportes fijos que en soporte de dovela.

Figura 28. Montaje y colocación.



Fuente: Base Isolation Manual. Bridgestone Engineered Products Company ,2000



## ESPECIFICACIONES DEL SOPORTE DE CAUCHO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO

### Especificaciones serie HM.

SERIE HM (Espesor total=16 cm)		unidad	HM060	HM065	HM070	HM075	HM080	HM085	HM090	HM100	HM110	HM120
H4	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	-	41	48	56	60	60	60	60	60	60
	Máxima presión sup. Corta duración 300%	kg/cm2	-	81	93	105	120	120	120	120	120	120
H6	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	64	75	87	100	100	100	100	100	100	100
	Máxima presión sup. Corta duración 270%	kg/cm2	108	146	194	200	200	200	200	200	200	200
H8	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Máxima presión sup. Corta duración 200%	kg/cm2	175	224	240	240	240	240	240	240	240	240
Diámetro externo de la pestaña Df		mm	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1400	1500	1600
Diámetro interno de la pestaña tf		mm	28/22	28/22	28/22	28/22	32/24	32/24	32/24	36/28	38/30	40/32
Diámetro al centro del tornillo PCD		mm	775	825	875	950	1000	1050	1100	1250	1350	1450
Diámetro del hueco del tornillo *numero		mm*núm.	φ35*8	φ35*8	φ35*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ54*8	φ54*8
Diámetro externo de la plancha Ds		mm	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200
Diámetro interno de la plancha ds		mm	100	100	100	100	150	150	150	200	200	200
Espesor de la plancha ts		mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,1	3,1	3,1
Espesor. capa de caucho por numero tR		mm*n capa	6,0*27	6,0*27	6,0*27	6,0*27	8,0*20	8,0*20	8,0*20	8,0*20	8,0*20	8,0*20
Altura total del caucho Hr		mm	162	162	162	162	160	160	160	160	160	160
Sección transversal total área efectiva. A		cm2	2749	3240	3770	4339	4850	5498	6185	7540	9189	10996
Primer factor de forma S1		-	20,8	22,9	25	27,1	20,3	21,9	23,4	25	28,1	31,3
Segundo factor de forma		-	3,7	4	4,3	4,6	5	5,3	5,6	6,3	6,9	7,5
Altura externa del aislador		mm	275,2	275,2	275,2	275,2	265,8	265,8	265,8	290,9	290,9	290,9
Peso del producto		kgf	430	490	550	650	700	780	860	1250	1530	1850
H4	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	-	1499	1856	2247	2061	2485	2946	3758	4926	6232
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	-	0,63	0,73	0,85	0,95	1,08	1,21	1,48	1,8	2,15
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	-	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
H6	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1380	1739	2137	2571	2418	2895	3412	4327	5620	7056
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	0,86	1,02	1,19	1,37	1,54	1,74	1,96	2,39	2,91	3,48
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
H8	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1705	2131	2600	3110	2994	3561	4172	5265	6779	8454
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	1,17	1,38	1,61	1,85	2,08	2,36	2,66	3,24	3,95	4,72
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15



### Especificaciones serie HA.

SERIE HA (Espesor total=16 cm)		unidad	HA060	HA065	HA070	HA075	HA080	HA085	HA090	HA100	HA110	HA120
<b>H4</b>	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	-	-	-	34	39	45	51	60	60	60
	Máxima presión sup. Corta duración 300%	kg/cm2	-	-	-	69	78	88	97	120	120	120
<b>H6</b>	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	40	49	58	64	73	82	92	100	100	100
	Máxima presión sup. Corta duración 270%	kg/cm2	52	69	90	109	139	172	200	200	200	200
<b>H8</b>	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	103	113	120	120	120	120	120	120	120	120
	Máxima presión sup. Corta duración 200%	kg/cm2	100	124	153	177	215	240	240	240	240	240
Diámetro externo de la pestaña Df		mm	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1400	1500	1600
Diámetro interno de la pestaña tf		mm	28/22	28/22	28/22	28/22	32/24	32/24	32/24	36/28	38/30	40/32
Diámetro al centro del tornillo PCD		mm	775	825	875	950	1000	1050	1100	1250	1350	1450
Diámetro del hueco del tornillo *numero		mm*núm.	φ35*8	φ35*8	φ35*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ54*8	φ54*8
Diámetro externo de la plancha Ds		mm	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200
Diámetro interno de la plancha ds		mm	100	100	100	100	150	150	150	200	200	200
Espesor de la plancha ts		mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,1	3,1	3,1
Espesor capa de caucho por numero tR		mm*ncapa	5,0*40	5,5*36	6,0*33	6,5*31	6,5*31	7,0*29	7,5*27	8,0*25	9,0*22	9,5*22
Altura total del caucho Hr		mm	200	198	198	202	202	203	203	200	198	200
Sección transversal total área efectiva. A		cm2	2749	3240	3770	4339	4850	5498	6185	7548	9189	10996
Primer factor de forma S1		-	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26,3
Segundo factor de forma		-	3	3,3	3,5	3,7	4	4,2	4,4	5	5,6	6
Altura externa del aislador		mm	341,8	331	324,4	323,5	331,5	328,6	323,7	346,4	339,1	341,5
Peso del producto		kgf	500	550	610	700	820	890	970	1380	1620	1930
<b>H4</b>	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	-	-	-	1717	1919	2160	2436	3006	3701	4384
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	-	-	-	0,76	0,85	0,96	1,08	1,32	1,62	1,93
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	-	-	-	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
<b>H6</b>	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1262	1503	1748	1978	2210	2487	2805	3462	4262	5049
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	0,77	0,91	1,06	1,21	1,35	1,52	1,71	2,1	2,58	3,07
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<b>H8</b>	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1536	1828	2127	2406	2689	3026	3412	4212	5185	6142
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	1,03	1,22	1,42	1,62	1,81	2,05	2,3	2,83	3,47	4,13
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16



### Especificaciones serie HK

SERIE HK (Espesor total=16 cm)		unidad	HK080	HK085	HK090	HK100	HK110	HK120
H4	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	-	-	32	41	51	60
	Máxima presión sup. Corta duración 300%	kg/cm2	-	-	65	81	98	114
H6	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	47	54	61	76	92	100
	Máxima presión sup. Corta duración 270%	kg/cm2	65	81	100	149	200	200
H8	Máxima presión sup. larga duración	kg/cm2	111	120	120	120	120	120
	Máxima presión sup. Corta duración 200%	kg/cm2	118	140	165	228	240	240
Diámetro externo de la pestaña Df		mm	1150	1200	1250	1400	1500	1600
Diámetro interno de la pestaña tf		mm	32/24	32/24	32/24	36/28	38/30	40/32
Diámetro al centro del tornillo PCD		mm	1000	1050	1100	1250	1350	1450
Diámetro del hueco del tornillo *numero		mm*núm.	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ41*8	φ54*8	φ54*8
Diámetro externo de la plancha Ds		mm	800	850	900	1000	1100	1200
Diámetro interno de la plancha ds		mm	150	150	150	200	200	200
Espesor de la plancha ts		mm	2,2	2,2	2,2	3,1	3,1	3,1
Espesor capa de caucho por numero tR		mm*ncapa	8,0*31	8,0*31	8,0*31	8,0*31	8,0*31	8,0*31
Altura total del caucho Hr		mm	248	248	248	248	248	248
Sección transversal total área efectiva. A		cm2	4850	5498	6185	7540	9189	10996
Primer factor de forma S1		-	20,3	21,9	23,4	25	28,1	31,3
Segundo factor de forma		-	3,2	3,4	3,6	4	4,4	4,8
Altura externa del aislador		mm	378	378	378	413	417	421
Peso del producto		kgf	840	940	1040	1530	1870	2250
H4	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	-	-	1901	2424	3178	4021
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	-	-	1	1,22	1,49	1,78
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	-	-	0,18	0,18	0,18	0,18
H6	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1560	1868	2201	2792	3625	4552
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	1,2	1,36	1,54	1,87	2,28	2,73
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
H8	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	1931	2297	2692	3397	4374	5454
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	1,6	1,81	2,04	2,48	3,03	3,62
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16



### Especificaciones serie HH

SERIE HH (Espesor total=20 cm)		unidad	HH070	HH075	HH080	HH085	HH090	HH095	HH100	HH110	HH120
Máxima presión sup. larga duración		kg/cm2	80	100	120	130	140	140	150	150	150
Máxima presión sup. Corta duración 300%		kg/cm2	160	200	240	260	280	280	300	300	300
Diámetro externo de la pestaña Df		mm	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600
Diámetro interno de la pestaña tf		mm	28/22	28/22	32/24	32/24	32/24	32/24	36/28	38/30	40/32
Diámetro al centro del tornillo PCD		mm	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450
Diámetro del hueco del tornillo *numero		mm*núm.	φ33*12	φ33*12	φ33*12	φ33*12	φ33*12	φ33*12	φ39*12	φ39*12	φ39*12
Diámetro externo de la plancha Ds		mm	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200
Diámetro interno de la plancha ds		mm	15	15	20	20	20	20	25	25	25
Espesor de la plancha ts		mm	3,1	3,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Espesor capa de caucho por numero tR		mm*ncapa	4,7*27	5,0*40	5,4*37	5,7*35	6,0*33	6,4*31	6,7*30	7,4*27	8,0*25
Altura total del caucho Hr		mm	202	200	200	200	198	198	201	200	200
Sección transversal total área efectiva A		cm2	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9498	11305
Primer factor de forma S1		-	36,4	36,8	36,1	36,4	36,7	36,3	36,4	36,3	36,7
Segundo factor de forma		-	3,46	3,75	4	4,26	4,55	4,79	4,98	5,51	6
Altura externa del aislador		mm	388,3	376,9	422,2	413,1	402,8	394,4	400,6	390,2	385,6
Peso del producto		kgf	790	890	1190	1290	1380	1480	1740	2020	2340
E6	Rigidez de resorte vertical Kv	ton/cm	2170	2530	2870	3250	3680	4080	4460	5430	6480
	Rigidez de resorte horizontal Kh (en un desplazamiento = 25,4 cm)	ton/cm	1,08	1,24	1,42	1,6	1,8	2,01	2,21	2,68	3,19
	Factor de Amortiguamiento Equ. Heq (en un desplazamiento = 25,4 cm)	-	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23



## PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DE LOS AISLADORES CONSTANTES DE DISEÑO

Las constantes de diseño para los compuestos de caucho del HD Bridgestone se muestran en la siguiente tabla.

Constantes de diseño

Constante	Notación	Unidad	H4	H6	H8	H12
Mod. Cortante	$G(\gamma)$	$\text{Kg/cm}^2$	Ver explicación			
Factor de Amortiguamiento Equivalente	$H_{eq}(\gamma)$		Ver explicación			
Modulo elástico	$E_a$	$\text{Kg/cm}^2$	19	25	35	40
Modulo de masa	$E_{\infty}$	$\text{Kg/cm}^2$	12000	13000	15000	19000
Factor de corrección de dureza del caucho		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

El modulo cortante  $G$  y el factor de amortiguamiento equivalente de los compuestos de caucho de alto amortiguamiento son no-lineales y dependen más que todo del esfuerzo cortante. Las funciones de esas propiedades, basadas en el modelo estudiado a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0.5\text{Hz}$ , son presentadas para cada compuesto HD, en el siguiente ítem. La función de diseño para  $G$  y  $H_{eq}$  recomendada por Bridgestone es el promedio del pre-máximo desplazamiento (Pre-MD) y el post-máximo desplazamiento (Post-MD).

Los resultados del Pre-MD (por ejemplo; el primer cortante experimentado después de su manufactura) y el Post-MD (por ejemplo; subsecuentes cortantes experimentados) están basados en el tercer ciclo de cada secuencia de prueba. Bridgestone ha demostrado que la función promedio es un buen indicador del desempeño del compuesto después de la recuperación.

Notación:

Pre-MD: máximo desplazamiento anterior (1ª serie de ciclos).

Post-MD: máximo desplazamiento posterior (2ª serie de ciclos).

Función de diseño: función de diseño promedio entre la función Pre-MD y la función Post-MD.





## FUNCIONES PARA LOS COMPUESTOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO

### Funciones para el Compuesto H4

Limite de cortante efectivo: $0.1 \leq \gamma \leq 3.0$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$=14.322-17.746\gamma+11.274\gamma^2-3.341\gamma^3+0.375\gamma^4$
	Post-MD	$=7.9819-8.966\gamma+5.762 \gamma^2-1.6932 \gamma^3+0.1916^4$
	Función diseño	$=11.152-13.356 \gamma+8.5 \gamma^2-2.5037 \gamma^3+0.281 \gamma^4$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.1652+0.0494 \gamma-0.0232 \gamma^2+0.0025 \gamma^4$
	Post-MD	$=0.1725-0.0068 \gamma+0.0149 \gamma^2-0.0051 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.1688+0.0213 \gamma-0.0042 \gamma^2-0.0013 \gamma^3$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.3901-0.0668 \gamma+0.0285 \gamma^2-0.0055 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.4061+0.1109 \gamma-0.0605 \gamma^2+0.0047 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.3981+0.0221 \gamma-0.016\gamma^2-0.0004 \gamma^3$

### Funciones para el Compuesto H6

Limite de cortante efectivo: $0.1 \leq \gamma \leq 2.7$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$=32.40-69.12\gamma+77.25\gamma^2-43.82\gamma^3+12.51\gamma^4-1.303\gamma^5$
	Post-MD	$=11.37-14.23\gamma+12.85 \gamma^2-6.831 \gamma^3+ 1.986\gamma^4-0.2320\gamma^5$
	Función diseño	$=21.89-41.68 \gamma+45.05 \gamma^2-25.33 \gamma^3+7.068 \gamma^4-0.7675\gamma^5$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.1572+0.01214 \gamma-0.008243 \gamma^2+0.0002574 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.1766-0.001356 \gamma+0.003527 \gamma^2-0.004080 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.1669+0.005391 \gamma-0.002358 \gamma^2-0.002169 \gamma^3$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.3046-0.0002345 \gamma+0.007819 \gamma^2-0.007651 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.3921+0.004379 \gamma-0.03304 \gamma^2+0.001960 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.3484+0.002307 \gamma-0.01261\gamma^2-0.002846 \gamma^3$
Limite de cortante efectivo: $2.7 < \gamma \leq 3.6$		
G( $\gamma$ )	Función diseño	$=0.004666+2.264 \gamma-0.1954\gamma^2$
Heq( $\gamma$ )	Función diseño	$=0.2619-0.05196 \gamma$
U( $\gamma$ )	Función diseño	$=0.4353-0.1195 \gamma-0.01290\gamma^2$



### Funciones para el compuesto H8

Limite de cortante efectivo: $0.1 \leq \gamma \leq 2.0$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$=52.41-142.4\gamma+194.8\gamma^2-134.0\gamma^3+44.84\gamma^4-5.779\gamma^5$
	Post-MD	$=19.56-40.70+54.96 \gamma^2-39.72 \gamma^3+ 14.49\gamma^4-2.051\gamma^5$
	Función diseño	$=35.99-91.53 \gamma+124.9 \gamma^2-86.87 \gamma^3+29.67 \gamma^4-3.915\gamma^5$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.1453+0.007467 \gamma-0.009121 \gamma^2+0.007361 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.1670+0.03807 \gamma+0.03782 \gamma^2-0.005547 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.1562+0.02277 \gamma-0.01435 \gamma^2-0.0009027 \gamma^3$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.2995-0.007096 \gamma+0.02176 \gamma^2-0.00001036 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.3695+0.01818 \gamma-0.03565 \gamma^2+0.004848 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.3345+0.01264 \gamma-0.02870\gamma^2-0.002419 \gamma^3$
Limite de cortante efectivo: $2. < \gamma \leq 2.7$		
G( $\gamma$ )	Función diseño	$=1.85(-18.39+12.8 \gamma-1.848\gamma^2-1.028 \gamma^3)$
Heq( $\gamma$ )	Función diseño	$=0.893(0.4771-0.165 \gamma-0.026\gamma^2+0.01381 \gamma^3)$
U( $\gamma$ )	Función diseño	$=0.23$

### Funciones para el compuesto H12

Limite de cortante efectivo: $0.1 \leq \gamma \leq 1.7$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$=115.9-404.1\gamma+675.5\gamma^2-562.4\gamma^3+227.6\gamma^4-35.6 \gamma^5$
	Post-MD	$=37.11-107.6\gamma+191.5 \gamma^2-176.7 \gamma^3+80.68 \gamma^4-14.18 \gamma^5$
	Función diseño	$=76.51-225.9 \gamma+433.5 \gamma^2-369.6 \gamma^3+154.1 \gamma^4-24.89 \gamma^5$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.1393+0.06369 \gamma-0.07390 \gamma^2+0.01901 \gamma^4$
	Post-MD	$=0.1537+0.04898\gamma-0.03792 \gamma^2-0.001887 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.1465+0.05634 \gamma-0.05591 \gamma^2-0.008560 \gamma^3$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$=0.2775+0.0008483 \gamma-0.03685 \gamma^2+0.006865 \gamma^3$
	Post-MD	$=0.3417+0.01299 \gamma-0.07870 \gamma^2+0.01194 \gamma^3$
	Función diseño	$=0.3096+0.006919 \gamma-0.05778\gamma^2+0.009403 \gamma^3$



Funciones para niveles pequeños de esfuerzo compuesto H6.

Limite de cortante efectivo: $0.001 \leq \gamma \leq 0.03$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$=79.03 \log(\gamma) - 52.82$
	Post-MD	$= -20.39 \log(\gamma) - 10.32$
	Función diseño	$= -50.93 \log(\gamma) - 32.79$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$= 0.07678 \log(\gamma) + 0.2351$
	Post-MD	$= 0.06441 \log(\gamma) + 0.2410$
	Función diseño	$= 0.07120 \log(\gamma) + 0.2386$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	Cuando es $0.00100012 = 0.1206 \log(\gamma) + 0.37011$ Cuando es $0.0013003 = 0.1493 \log(\gamma) + 0.4538$
	Post-MD	$= 0.1493 \log(\gamma) + 0.5415$
	Función diseño	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
Limite de cortante efectivo: $0.03 < \gamma \leq 0.1$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$= (0.1493 \log(\gamma) + 0.4538) / \gamma$
	Post-MD	$= (0.1493 \log(\gamma) + 0.4538) / \gamma$
	Función diseño	$= (0.1493 \log(\gamma) + 0.4538) / \gamma$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
	Post-MD	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
	Función diseño	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
	Post-MD	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$
	Función diseño	$= 0.1492 \log(\gamma) + 0.4979$

Funciones para el compuesto H8

Limite de cortante efectivo: $0.03 < \gamma \leq 0.1$		Función característica
G( $\gamma$ )	Pre-MD	$= -77.79 \log(\gamma) - 37.80$
	Post-MD	$= -30.47 \log(\gamma) - 14.47$
	Función diseño	$= -61.00 \log(\gamma) - 33.00$
Heq( $\gamma$ )	Pre-MD	$= 0.05917 \log(\gamma) + 0.2053$
	Post-MD	$= 0.05917 \log(\gamma) + 0.2296$
	Función diseño	$= 0.05917 \log(\gamma) + 0.2175$
U( $\gamma$ )	Pre-MD	$= 0.1177 \log(\gamma) + 0.4177$
	Post-MD	$= 0.1177 \log(\gamma) + 0.4887$
	Función diseño	$= 0.1177 \log(\gamma) + 0.4531$



**ANEXO 2.**

**TABLAS PARA EL DISEÑO DE AISLADORES- CODIGO UBC-98**

TABLE A-16 C Damping Coefficients	
Effective Damping, $\beta_d$ or $\beta_m$ (percentage of critical)	$\beta_d$ or $\beta_m$ factor
$\leq 2$	0,8
5	1
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
$\geq 50$	2

TABLE A-16-D Maximum Capable Earthquake response coefficient, $M_M$	
Design basis earthquake shaking intensity, $Z_N v$	Maximum Capable Earthquake response coefficient, $M_M$
0,075	2.67
0,15	2
0,2	1,75
0,3	1,5
0,4	1,25
$\geq 0.5$	1,2

TABLE A-16-G Seismic Coefficient, $C_{VM}$					
Soil Profile Type	Maximum Capable Earthquake shaking intensity				
	MMZNV=0,075	MMNZV=0,15	MMNZV=0,2	MMNZV=0,3	MMNZV=0,4
SA	0,06	0,12	0,16	0,24	0,8MMNZV
SB	0,08	0,15	0,2	0,3	1,0 MMNZV
SC	0,13	0,25	0,32	0,45	1,4 MMNZV
SD	0,18	0,32	0,4	0,54	1,6 MMNZV
SE	0,26	0,5	0,64	0,84	2,4 MMNZV
SF	See footnote				



**TABLE 16-J SOIL PROFILE TYPES**

Soil Profile Type	Soil Profile Name/Generic Description	AVERAGE SOIL PROFILE FOR TOP 100 FEET (30480 mm) OF SOIL PROFILE		
		Shear Wave Velocity Vs feet/second (m/s)	Standard Penetration test, N (Nch for cohesionless soil layers) (blows/foot)	Undrained shear strength, SU psi (KPa)
SA	Hard Rock	>5000 (1500)	-	-
SB	Rock	2500 to 5000 (760 to 1500)	-	-
SC	Very Dense Soil And Soft Rock	1200 to 2500(360 to 760)	>50	>2000 (100)
SD	Stiff Soil Profile	600 to 1200(180 to 360)	15 to 50	1000 to 2000 (50 to 100)
SE	Soil Profile	<600 (180)	<15	<100 (50)
SF	Soil Requiring Site-Specific Evaluation			



Soil Profile Type	Seismic Zone Factor, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 Na
SB	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4 Na
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.4 Na
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 Na
SE	0.19	0.3	0.34	0.36	0.36 Na
SF	See foot note				

Site specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for soil profile type SF.

Soil Profile Type	Seismic Zone Factor, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32Na
SB	0.08	0.15	0.2	0.3	0.4Na
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56Na
SD	0.18	0.32	0.4	0.54	0.64Na
SE	0.26	0.5	0.64	0.84	0.94Na
SF	See foot note				

Site specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for soil profile type SF.

Zone	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.2	0.3	0.4

Soil Profile Type	Closets Distance to Known Seismic Source		
	≤2 Km	5 Km	≥ 10 Km
A	1.5	1.2	1
B	1.3	1	1
C	1	1	1



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS  
EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS  
MODELADOS EN ETABS

Table 16-T Near Source Factor Nv				
Soil Profile Type	Closets Distance to Known Seismic Source			
	$\leq 2$ Km	5 Km	10 Km	15 Km
A	2	1.6	1.2	1
B	1.6	1.2	1	1
C	1	1	1	1



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE  
ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS MODELADOS EN ETABS

TABLE A-16-E STRUCTURAL SYSTEM ABOVE THE ISOLATION INTERFACE

BASIC STRUCTURAL SYSTEM	LATERAL FORCE RESISTING SYSTEM DESCRIPTION	R	HEIGHT LIMIT FOR SEISMIC ZONES 3 AND 4
			x 304.8 for mm
1. Bearing Wall System	1. Light framed walls with shear panels		
	a. wood structural panel walls for structures three stories or less	2.0	65
	b. All other light framed walls	2.0	65
	2. Shear Walls		
	a. Concrete	2.0	160
	b. Masonry	2.0	160
	3. Light steel framed bearing walls with tension only bracing	1.6	65
	4. Braced frames where bracing carries gravity load		
	a. Steel	1.6	160
	b. Concrete.	1.6	-
2. Building Frame System	c. Heavy limber	1.6	65
	1. Steel eccentrically braced frame (EBF)	2.0	240
	2. Light framed walls with shear panels		
	a. wood structural panel walls for structures three stories or less	2.0	65
	b. All others light framed walls.	2.0	65
	3. Shear walls		
	a. Concrete.	2.0	240
	b. Masonry	2.0	160
	4. Ordinary braced frames		
	a. Steel	1.6	160
	b. Concrete	1.6	-
	c. Heavy Limber	1.6	65
	5. Special concentrically braced frames		
a. Steel	2.0	240	
3. Moment resisting frame system	1. Special moment resisting frame (SMRF)		
	a. Steel	2.0	N.L
	b. Concrete	2.0	N.L
3. Moment resisting frame system	2. Masonry moment resisting wall frame (MMRWF)	2.0	160
	3. Concrete intermediate moment resisting frame (IMRF)	2.0	-
	4. Ordinary moment resisting frame (OMRF)		





ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS MODELADOS EN ETABS

	a. Steel	2.0	160
	b. Concrete	2.0	-
	5. Specials truss moment frames of steel ( STMF)	2.0	240
Dual systems	1. shear walls		
	a. Concrete with SMRF	2.0	N.L
	b. Concrete with steel OMRF	2.0	160
	c. Concrete with IMRF	2.0	160
	d. Masonry with SMRF	2.0	160
	e. Masonry with steel OMRF	2.0	160
	f. Masonry with concrete IMRF	2.0	-
	g. Masonry with masonry MMRWF	2.0	160
	2. Steel EBF		
	a. with Steel SMRF	2.0	N.L
	b. with Steel OMRF	2.0	160
	3. Ordinary braced frames		
	a. Steel with steel SMRF	2.0	N.L
	b. Steel with steel OMRF	2.0	160
	c. Concrete with concrete SMRF	2.0	-
	d. Concrete with concrete IMRF	2.0	-
	4. Specially concentrically braced frames		
	a. Steel with steel SMRF	2.0	N.L
b. Steel with steel OMRF	2.0	160	
5. Cantilevered column building systems	1. Cantilevered column elements	1.4	35
6. Shear Wall frame intecation systems	1. Concrete	2.0	-



### ANEXO 3. ANALISIS DE VIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

A continuación se presenta los análisis de viento realizados para esta investigación, basados en el capítulo B.6 de la NSR-10.



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS MODELADOS EN ETABS**

**ANALISIS DE VIENTO-EDIFICIO TAIPEI**

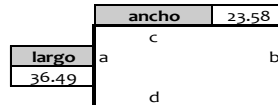
Ciudad	Cartagena	Altura del edificio	90	mts
Viento Basico	130	Altura ciudad msnr	0	mts

**Coefficientes**

<b>Coef Topografia</b>	<b>Coef Rugosidad</b>	<b>Coef Seg y Vida Util</b>	<b>Coef densidad</b>
S1    1	Rugosidad    4	S3    1	S4    1
	Clase    C		
	S2    1.0775		

Velocidad de viento de diseño	140.075	Km/h
Presion dinamica de viento q	0.94	KN/m2
Angulo de entrada del viento	0	°

**dimensiones de la estructura**



Piso	Altura m	Elevación m	S2	Vs, km/h	q T/m2	Aferenci a	Coeficiente de presión, Cp					Presion ejercida, p en T/m				Fuerza del viento en T				Viento en Y	Viento en X
							A	B	C	D	Local	A	B	C	D	A	B	C	D		
30	3	90	1.0775	140.08	0.0942	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	7.22	-4.12	-4.66	-4.66	3.09	-9.33
29	3	87	1.0722	139.39	0.0933	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	7.15	-4.08	-4.62	-4.62	3.06	-9.24
28	3	84	1.066	138.58	0.0922	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	7.06	-4.04	-4.56	-4.56	3.03	-9.13
27	3	81	1.059	137.67	0.0910	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.97	-3.98	-4.50	-4.50	2.99	-9.01
26	3	78	1.052	136.76	0.0898	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.88	-3.93	-4.45	-4.45	2.95	-8.89
25	3	75	1.045	135.85	0.0886	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.79	-3.88	-4.39	-4.39	2.91	-8.77
24	3	72	1.038	134.94	0.0874	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.70	-3.83	-4.33	-4.33	2.87	-8.66
23	3	69	1.031	134.03	0.0862	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.61	-3.78	-4.27	-4.27	2.83	-8.54
22	3	66	1.0225	132.93	0.0848	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.50	-3.71	-4.20	-4.20	2.79	-8.40
21	3	63	1.01375	131.79	0.0834	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.39	-3.65	-4.13	-4.13	2.74	-8.26
20	3	60	1.005	130.65	0.0819	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	6.28	-3.59	-4.06	-4.06	2.69	-8.11
19	3	57	0.99625	129.51	0.0805	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	6.17	-3.53	-3.99	-3.99	2.64	-7.97
18	3	54	0.9875	128.38	0.0791	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.09	-0.17	-0.17	6.06	-3.46	-3.92	-3.92	2.60	-7.83
17	3	51	0.978	127.14	0.0776	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	5.95	-3.40	-3.84	-3.84	2.55	-7.68
16	3	48	0.964	125.32	0.0754	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	5.78	-3.30	-3.73	-3.73	2.48	-7.47
15	3	45	0.95	123.50	0.0732	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	5.61	-3.21	-3.63	-3.63	2.40	-7.25
14	3	42	0.935	121.55	0.0709	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	5.43	-3.11	-3.51	-3.51	2.33	-7.02
13	3	39	0.9175	119.28	0.0683	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	5.23	-2.99	-3.38	-3.38	2.24	-6.76
12	3	36	0.9	117.00	0.0657	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	5.04	-2.88	-3.25	-3.25	2.16	-6.51
11	3	33	0.875	113.75	0.0621	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.13	-0.07	-0.13	-0.13	4.76	-2.72	-3.08	-3.08	2.04	-6.15
10	3	30	0.84	109.20	0.0572	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.12	-0.07	-0.12	-0.12	4.39	-2.51	-2.83	-2.83	1.88	-5.67
9	3	27	0.805	104.65	0.0526	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.11	-0.06	-0.11	-0.11	4.03	-2.30	-2.60	-2.60	1.73	-5.21
8	3	24	0.772	100.36	0.0483	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.10	-0.06	-0.10	-0.10	3.70	-2.12	-2.39	-2.39	1.59	-4.79
7	3	21	0.7405	96.27	0.0445	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	3.41	-1.95	-2.20	-2.20	1.46	-4.41
6	3	18	0.709	92.17	0.0408	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	3.12	-1.79	-2.02	-2.02	1.34	-4.04
5	3	15	0.67	87.10	0.0364	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.08	-0.04	-0.08	-0.08	2.79	-1.59	-1.80	-1.80	1.20	-3.61
4	3	12	0.628	81.64	0.0320	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.07	-0.04	-0.07	-0.07	2.45	-1.40	-1.58	-1.58	1.05	-3.17
3	3	9	0.586	76.18	0.0279	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.06	-0.03	-0.06	-0.06	2.13	-1.22	-1.38	-1.38	0.91	-2.76
2	3	6	0.532	69.16	0.0230	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.76	-1.01	-1.14	-1.14	0.75	-2.27
1	3	3	0.53	68.90	0.0228	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.75	-1.00	-1.13	-1.13	0.75	-2.26
<b>Σ</b>																			<b>66.04</b>	<b>-199.16</b>	



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE  
ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS MODELADOS EN ETABS**

**ANALISIS DE VIENTO-EDIFICIO TORRE DE LAGUITO**

Ciudad	Cartagena
Viento Basico	130

Altura del edificio	90	mts
Altura ciudad msnm	0	mts

**Coefficientes**

Coef Topografia	S1	1
-----------------	----	---

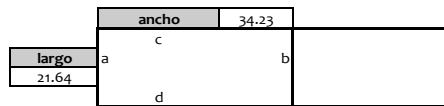
Coef Rugosidad	Rugosidad	4
	Clase	C
	S2	1.0775

Coef Seg y Vida Util	S3	1
----------------------	----	---

Coef densidad	S4	1
---------------	----	---

Velocidad de viento de diseño	140.075	Km/h
Presion dinamica de viento q	0.94	KN/m2
Angulo de entrada del viento	0	°

**dimensiones de la estructura**



Piso	Altura m	Elevación m	S2	Vs, km/h	q T/m2	Aferencia m	Coeficiente de presión, Cp				Presion ejercida, p en T/m				Fuerza del viento en T				Viento en Y	Viento en X																			
							A	B	C	D	Local	A	B	C	D	A	B	C			D																		
30	3	90	1.0775	140.08	0.0942	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	4.28	-2.45	-6.77	-6.77	1.83	-13.54																		
29	3	87	1.0722	139.39	0.0933	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	4.24	-2.42	-6.74	-6.74	1.82	-8.48																		
28	3	84	1.066	138.58	0.0922	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	4.19	-2.39	-6.71	-6.71	1.80	-8.38																		
27	3	81	1.059	137.67	0.0910	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	4.13	-2.36	-6.67	-6.67	1.77	-8.27																		
26	3	78	1.052	136.76	0.0898	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	4.08	-2.33	-6.63	-6.63	1.75	-8.16																		
25	3	75	1.045	135.85	0.0886	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	4.03	-2.30	-6.59	-6.59	1.73	-8.05																		
24	3	72	1.038	134.94	0.0874	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	3.97	-2.27	-6.55	-6.55	1.70	-7.94																		
23	3	69	1.031	134.03	0.0862	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	3.92	-2.24	-6.51	-6.51	1.68	-7.84																		
22	3	66	1.0225	132.93	0.0848	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	3.85	-2.20	-6.47	-6.47	1.65	-7.71																		
21	3	63	1.01375	131.79	0.0834	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	3.79	-2.16	-6.43	-6.43	1.62	-7.58																		
20	3	60	1.005	130.65	0.0819	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	3.72	-2.13	-6.39	-6.39	1.60	-7.45																		
19	3	57	0.99625	129.51	0.0805	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	3.66	-2.09	-6.35	-6.35	1.57	-7.32																		
18	3	54	0.9875	128.38	0.0791	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.09	-0.17	-0.17	3.59	-2.05	-6.31	-6.31	1.54	-7.19																		
17	3	51	0.978	127.14	0.0776	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	3.53	-2.01	-6.27	-6.27	1.51	-7.05																		
16	3	48	0.964	125.32	0.0754	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	3.43	-1.96	-6.22	-6.22	1.47	-6.85																		
15	3	45	0.95	123.50	0.0732	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	3.33	-1.90	-6.17	-6.17	1.43	-6.65																		
14	3	42	0.935	121.55	0.0709	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	3.22	-1.84	-6.12	-6.12	1.38	-6.45																		
13	3	39	0.9175	119.28	0.0683	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	3.10	-1.77	-6.07	-6.07	1.33	-6.21																		
12	3	36	0.9	117.00	0.0657	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	2.99	-1.71	-6.02	-6.02	1.28	-5.97																		
11	3	33	0.875	113.75	0.0621	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.13	-0.07	-0.13	-0.13	2.82	-1.61	-5.92	-5.92	1.21	-5.64																		
10	3	30	0.84	109.20	0.0572	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.12	-0.07	-0.12	-0.12	2.60	-1.49	-5.77	-5.77	1.11	-5.20																		
9	3	27	0.805	104.65	0.0526	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.11	-0.06	-0.11	-0.11	2.39	-1.37	-5.62	-5.62	1.02	-4.78																		
8	3	24	0.772	100.36	0.0483	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.10	-0.06	-0.10	-0.10	2.20	-1.26	-5.47	-5.47	0.94	-4.39																		
7	3	21	0.7405	96.27	0.0445	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	2.02	-1.16	-5.32	-5.32	0.87	-4.04																		
6	3	18	0.709	92.17	0.0408	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	1.85	-1.06	-5.17	-5.17	0.79	-3.71																		
5	3	15	0.67	87.10	0.0364	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.08	-0.04	-0.08	-0.08	1.65	-0.95	-5.02	-5.02	0.71	-3.31																		
4	3	12	0.628	81.64	0.0320	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.07	-0.04	-0.07	-0.07	1.45	-0.83	-4.87	-4.87	0.62	-2.91																		
3	3	9	0.586	76.18	0.0279	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.06	-0.03	-0.06	-0.06	1.27	-0.72	-4.72	-4.72	0.54	-2.53																		
2	3	6	0.532	69.16	0.0230	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.04	-0.60	-4.57	-4.57	0.45	-2.09																		
1	3	3	0.53	68.90	0.0228	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.04	-0.59	-4.57	-4.57	0.44	-2.07																		
<b>Σ</b>																																						<b>39.16</b>	<b>-187.75</b>



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE 30 PISOS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO Y EMPLEANDO AISLADORES SISMICOS MODELADOS EN ETABS**

**ANALISIS DE VIENTO EDIFICIO PROTOTIPO**

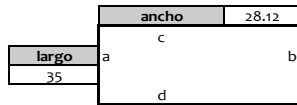
Ciudad	Cartagena	Altura del edificio	90	mts
Viento Basico	130	Altura ciudad msnm	0	mts

**Coefficientes**

<b>Coef Topografia</b>	<b>Coef Rugosidad</b>	<b>Coef Seg y Vida Util</b>	<b>Coef densidad</b>
S1 1	Rugosidad 4	S3 1	S4 1
	Clase C		
	S2 1.0775		

Velocidad de viento de diseño	140.075	Km/h
Presión dinámica de viento q	0.94	KN/m2
Angulo de entrada del viento	0	°

**dimensiones de la estructura**



Piso	Altura m	Elevación m	S2	Vs, km/h	q T/m2	Aferencia m	Coeficiente de presión, Cp					Presion ejercida, p en T/m				Fuerza del viento en T				Viento en Y	Viento en X
							A	B	C	D	Local	A	B	C	D	A	B	C	D		
30	3	90	1.0775	140.08	0.0942	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	6.92	-3.96	-5.56	-5.56	2.97	-11.12
29	3	87	1.0722	139.39	0.0933	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.20	-0.11	-0.20	-0.20	6.85	-3.92	-5.51	-5.51	2.94	-11.01
28	3	84	1.066	138.58	0.0922	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.78	-3.87	-5.44	-5.44	2.90	-10.89
27	3	81	1.059	137.67	0.0910	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.69	-3.82	-5.37	-5.37	2.87	-10.74
26	3	78	1.052	136.76	0.0898	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.60	-3.77	-5.30	-5.30	2.83	-10.60
25	3	75	1.045	135.85	0.0886	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.19	-0.11	-0.19	-0.19	6.51	-3.72	-5.23	-5.23	2.79	-10.46
24	3	72	1.038	134.94	0.0874	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.42	-3.67	-5.16	-5.16	2.75	-10.32
23	3	69	1.031	134.03	0.0862	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.34	-3.62	-5.09	-5.09	2.72	-10.18
22	3	66	1.0225	132.93	0.0848	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.23	-3.56	-5.01	-5.01	2.67	-10.02
21	3	63	1.01375	131.79	0.0834	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.18	-0.10	-0.18	-0.18	6.13	-3.50	-4.92	-4.92	2.63	-9.85
20	3	60	1.005	130.65	0.0819	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	6.02	-3.44	-4.84	-4.84	2.58	-9.68
19	3	57	0.99625	129.51	0.0805	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.10	-0.17	-0.17	5.92	-3.38	-4.75	-4.75	2.54	-9.51
18	3	54	0.9875	128.38	0.0791	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.17	-0.09	-0.17	-0.17	5.81	-3.32	-4.67	-4.67	2.49	-9.34
17	3	51	0.978	127.14	0.0776	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	5.70	-3.26	-4.58	-4.58	2.44	-9.16
16	3	48	0.964	125.32	0.0754	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.16	-0.09	-0.16	-0.16	5.54	-3.17	-4.45	-4.45	2.37	-8.90
15	3	45	0.95	123.50	0.0732	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	5.38	-3.07	-4.32	-4.32	2.31	-8.65
14	3	42	0.935	121.55	0.0709	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.15	-0.09	-0.15	-0.15	5.21	-2.98	-4.19	-4.19	2.23	-8.38
13	3	39	0.9175	119.28	0.0683	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	5.02	-2.87	-4.03	-4.03	2.15	-8.07
12	3	36	0.9	117.00	0.0657	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.14	-0.08	-0.14	-0.14	4.83	-2.76	-3.88	-3.88	2.07	-7.76
11	3	33	0.875	113.75	0.0621	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.13	-0.07	-0.13	-0.13	4.56	-2.61	-3.67	-3.67	1.96	-7.34
10	3	30	0.84	109.20	0.0572	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.12	-0.07	-0.12	-0.12	4.21	-2.40	-3.38	-3.38	1.80	-6.76
9	3	27	0.805	104.65	0.0526	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.11	-0.06	-0.11	-0.11	3.86	-2.21	-3.10	-3.10	1.66	-6.21
8	3	24	0.772	100.36	0.0483	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.10	-0.06	-0.10	-0.10	3.55	-2.03	-2.85	-2.85	1.52	-5.71
7	3	21	0.7405	96.27	0.0445	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	3.27	-1.87	-2.63	-2.63	1.40	-5.25
6	3	18	0.709	92.17	0.0408	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.09	-0.05	-0.09	-0.09	3.00	-1.71	-2.41	-2.41	1.28	-4.82
5	3	15	0.67	87.10	0.0364	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.08	-0.04	-0.08	-0.08	2.68	-1.53	-2.15	-2.15	1.15	-4.30
4	3	12	0.628	81.64	0.0320	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.07	-0.04	-0.07	-0.07	2.35	-1.34	-1.80	-1.80	1.01	-3.78
3	3	9	0.586	76.18	0.0279	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.06	-0.03	-0.06	-0.06	2.05	-1.17	-1.64	-1.64	0.88	-3.29
2	3	6	0.532	69.16	0.0230	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.69	-0.96	-1.36	-1.36	0.72	-2.71
1	3	3	0.53	68.90	0.0228	3	0.7	-0.4	-0.7	-0.7	-1.2	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	1.67	-0.96	-1.35	-1.35	0.72	-2.69
																			<b>Σ</b>	<b>63.34</b>	<b>-237.50</b>