

ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

“Caracterización mecánica o modelamiento estructural de un disipador de fricción”

Ing. Germán Ricardo Hernández Díaz

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Especialización en Estructuras

Bogotá, Colombia

2013

“Caracterización mecánica o modelamiento estructural de un disipador de fricción”

Ing. Germán Ricardo Hernández Díaz

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Estructuras

Directores:

M.Sc. Nancy Torres Castellanos

PhD., Pedro Nel Quiroga Saavedra

Línea de Investigación:

Grupo de Investigación en Estructuras y Materiales

Grupo de Investigación:

Comportamiento sísmico de estructuras

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Especialización en Estructuras

Ciudad, Colombia

2013

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar con esta meta tan
Importante en mi vida sin su voluntad no podría
Estar escribiendo estas palabras.

A mis padres, mi esposa por éste apoyo incondicional,
Mis hijos Juan y David son un pilar en vida, a mis familiares
Y amigos que siempre, creyeron en mí.

GERMAN RICARDO HERNÁNDEZ DÍAZ

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Dios, por permitir que a través de estos largos años de estudio, sacrificio y entrega, nos brinda hoy la satisfacción del deber cumplido, al realizar una especialización en estructuras y estar siempre con migo acompañándome para no rendirnos y luchar hasta el final logrando vencer todos los momentos críticos que se vivenciaron a lo largo de esta investigación

A mi familia, por entregarnos su apoyo incondicional en el transcurrir de este proceso de formación, facilitándonos los medios para lograr el éxito, sin su ayuda hubiera sido imposible.

El Ingeniero Jorge Salazar Director Técnico científico Geoestructuras Ltda., su guía y confianza en mí fueron de vital importancia en el desarrollo del tema de investigación y por sus diferentes puntos de vista que me permite la culminación del mismo.

A los ingenieros Nancy Torres y Pedro Nel Quiroga de la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito por compartir sus conocimientos y enseñanzas para una correcta elaboración del proyecto. Las directivas de la Escuela Colombiana De Ingeniería y de la Especialización de ingeniería civil.

A todas aquellas personas que de una u otra manera, hicieron posible la realización de este proyecto.

Resumen

Durante los últimos años la rehabilitación por vulnerabilidad sísmica, de las estructuras de concreto ha tenido un cambio de enfoque particularmente por los efectos, de los recientes sismos ocurridos en varias partes del mundo, y que han causado daños importantes en algunas estructuras de varios pisos que habían sido diseñadas dentro del marco de códigos internacionales de construcción sismo resistente. Por lo cual se hace necesario el perfeccionamiento de metodologías de análisis, así como de sistemas estructurales y mecánico-estructurales, que efectivamente estén concebidos para sollicitaciones impredecibles de movimiento sísmico. Los trabajos de reforzamiento de estructuras existentes han dejado una huella muy marcada en nuestro medio debido a los siguientes factores. Alto costo en obra, extenso periodo de ejecución, efectos de contaminación ambiental, daños colaterales en redes y equipos, impacto en la arquitectura y en el caso de edificaciones ocupadas los costos de logística son altos, reducción en la operación diaria del personal y equipos dentro de la edificación generan un lucro cesante elevado.

En nuestro país con la entrada en vigencia del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 ha obligado a varias edificaciones existentes consideradas importantes a realizar actualizaciones sísmicas (NSR-10 A.10.9). Los mecanismos de disipación de energía sísmica externos, a la estructura en si misma surgen hoy en día como una solución importante al panorama mencionado anteriormente y una excelente alternativa de reforzamiento sismo resistente, en la mayoría de los casos más seguros que los métodos convencionales. El reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Permite el uso de

disipadores (A.3.9) remitiéndonos a cumplir todos los requisitos del FEMA 450 Federal Emergency Management Agency.

En este trabajo de investigación se pretende mostrar las bases de la concepción del modelamiento estructural de un disipador de fricción, y dar una metodología de reforzamiento, dando bases claras sobre su utilización y aplicación en la vida real de dos proyectos, explicado la modelación en el programa SAP 2000, se escoge este programa de cálculo estructural, debido a que se ha dado buenos resultados de calibración del disipador, al insertar al modelo las propiedades, pero se puede utilizar otros software de análisis como ETABS, MIDAS Y STAAD PRO en estos tipos de análisis .

El objetivo general es establecer, si una estructura existente que es vulnerable a eventos sísmicos, una vez modelada con los disipadores de fricción mejora el comportamiento sísmico de una forma funcional, económica, fácil de instalar. Dando un procedimiento claro del modelamiento y análisis, para edificios con "Disipadores de Energía con fricción", controlando la respuesta dinámica de la misma edificación.

Abstract

In recent years the seismic vulnerability rehabilitation of concrete structures has been a shift in focus particularly on the effects of the recent earthquakes in various parts of the world and have caused significant damage in some multi-story structures that had designed within the framework of international earthquake resistant building codes. Therefore the development of analytical methodologies is necessary, as well as structural and mechanical - structural systems that are actually designed to unpredictable seismic solicitations. The work of strengthening existing structures have left a mark on our environment due to the following factors. High cost in work, extended period of implementation, effects of environmental pollution, collateral damage in networks and equipment, impact on architecture and in the case of buildings occupied logistics costs are high, reduction in the daily operation of staff and equipment within generate the building lost profits high.

In our country, with the entry into force of the Colombian earthquake resistant building code NSR -10 has forced several existing buildings considered important to perform seismic upgrades (NSR -10 A.10.9) . Dissipation mechanisms seismic energy external to the structure itself arise today as an important solution to the abovementioned panorama and an excellent alternative earthquake resistant reinforcement, in safer cases conventional methods. The Colombian earthquake resistant building code NSR -10. Allows use of sinks (A.3.9) by referring to fulfill all the requirements of FEMA 450 Federal Emergency Management Agency.

In this research work is to show the basis for the design of structural modeling of a sink drag, and give a method of reinforcement, giving clear basis on their use and application in the real life of a project, explained in the modeling SAP 2000 program, this program of structural calculation because it has been successful calibration sink, inserting the model properties is chosen, but you can use other analysis software such as ETABS, STAAD PRO MIDAS And in these types of analysis.

The overall objective is to establish if an existing structure that is vulnerable to seismic events, once modeled with dissipative friction improves the seismic behavior of a functional, economical, easy to install. Giving a clear procedure of modeling and analysis. For buildings with "Energy dissipating friction ", controlling the dynamic response of the same building.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	XI
Contenido	XIII
Lista de Ilustraciones	XVI
Lista de tablas	XVIII
Introducción	1
1. Clases Disipadores	3
1.1. Clases de disipadores histéricos	4
1.2. Reforzamiento principios de comportamiento sísmico por balance energético. .	9
1.3. Principio de los Amortiguadores de Fricción (AF)	11
1.4. Componentes básicos de los amortiguadores de fricción (AF) y su comportamiento sísmico	13
1.5. Principales ventajas de los AF en reforzamiento sísmico.	18
1.6. Modelamiento aproximado por métodos lineales.....	19
1.7. Procedimiento lineal estático para mecanismos de disipación de energía dependientes del desplazamiento.....	23
2. Explicación modelamiento Disipador Caso Polideportivo Universidad Nacional Colombia	29
2.1. Estado del sistema estructural: Calidad de la construcción y conservación de la estructura Polideportivo Universidad nacional.....	30
2.2. Modelo Estructural	31
2.3. Descripción del modelo estructural.....	32
2.4. Materiales definidos en el modelo estructural.....	32
2.5. Secciones de los elementos del modelo.....	33
2.6. Cargas	34
2.7. Carga sísmica	38
2.8. Combinaciones de carga.....	39
2.9. Análisis De La Estructura	41
2.10. Análisis Dinámico Elástico Espectral	42
2.11. Desplazamientos Horizontales - Revisión De La Deriva	45
2.12. Índice de flexibilidad de La Estructura Existente	46

2.13.	Capacidad de disipación de energía R' para la evaluación de la estructura existente.....	47
2.14.	Revisión del diseño de los elementos del sistema estructural.....	48
2.15.	Índices de sobre esfuerzo en columnas.....	49
2.16.	Modelo estructural de reforzamiento polideportivo Universidad Nacional	49
2.17.	Geometría y secciones del modelo.....	50
2.18.	Propiedades mecánicas de los amortiguadores de fricción pasiva	50
2.19.	Desarrollo del procedimiento lineal estático para mecanismos de disipación dependientes del desplazamiento.....	52
2.19.1.	Cálculo amortiguamiento efectivo	52
2.18.	Comportamiento resistente de la estructura con Amortiguadores de fricción AF en Polideportivo Universidad Nacional.....	60

3. Explicacion edificio modelo rehabilitado con disipadores-Armenia sin modelamiento paso a paso.....62

3.1.	Descripción	62
3.2.	Localización	63
3.3.	Descripción Del Hospital	64
3.4.	Documentación existente.....	65
3.5.	Secciones Y Refuerzos.....	65
3.6.	Características del suelo de fundación	66
3.7.	Ensayos e inspecciones.....	66
3.8.	Cargas adicionales.....	69
3.9.	Resumen Del Proyecto	70
3.10.	Geometría y secciones del modelo.....	70
3.11.	Materiales	71
3.12.	Cargas.....	71
3.13.	Cargas sísmica.....	74
3.14.	Combinaciones De Carga.....	76
3.15.	Modelación Estructural.....	78
3.15.1.	Sección y refuerzo de elementos estructurales.....	78
3.15.2.	Refuerzo Existente En Las Secciones	79
3.16.	Disipación De Energía	79
3.17.	Resultados generales del modelo.....	80
3.17.1.	Análisis modal	80
3.17.2.	Reacciones en los apoyos	81
3.18.	Revisión demanda vs. capacidad y deriva	82
3.18.1.	Revisión de columnas.....	82
3.18.2.	Revisión de vigas.....	82
3.18.3.	Revisión de la deriva	83
3.19.	Resultados vulnerabilidad.....	84
3.20.	Reforzamiento estructural.....	85
3.20.1.	Propuesta	85
3.21.	Geometría y secciones	86
3.22.	Cargas.....	87
3.23.	Carga sísmica.....	90
3.23.1.	Análisis modal	90
3.23.2.	Reacciones en los apoyos	91
3.24.	Revisión de sobre-esfuerzo en columnas	91
3.25.	Revisión De La Deriva	92

3.26.	Comportamiento resistente de la estructura con Amortiguadores de fricción AF en Hospital San Juan De Dios	97
3.27.	Registro Fotográfico	99
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	103
4.1.	Conclusiones.....	103
4.2.	Recomendaciones.....	104
5.	Bibliografía	105
6.	Anexos Tablas	106
7.	Anexos Planos.....	107

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración1-1: Disipador Flexiónate tipo ADAS.....	5
Ilustración1-2: Platinas flexionantes de los tipos ADAS	5
Ilustración1-3: Instalación de Disipador ADAS en edificaciones.....	6
Ilustración1-4: Disipador de pernos flexionantes Disipadores de energía por fricción	7
Ilustración1-5: Instalación de disipador de fricción tipo Pall.....	7
Ilustración1-6: Disipador de fricción tipo pall tipo rotula	8
Ilustración1-7: Modelo primario de una estructura en general	12
Ilustración1-8: Modelo primario estructura ajustado con disipador externo/ o fuerza restauradora asemejando al Principio de Coulomb.....	12
Ilustración 1-9: <i>Amortiguador de Fricción Tipo X conectado a un pórtico típico de la estructura.....</i>	13
Ilustración 1-10: <i>Detalle constitutivo del amortiguador y ciclos histeréticos elastoplásticos.</i>	14
Ilustración1-11: <i>Ciclos histeréticos elasto plásticos perfectos típicos de AF.....</i>	15
Ilustración1-12: <i>Gráfico de relación fuerza-desplazamiento de una prueba de un amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ sin impacto de perno.....</i>	16
Ilustración1-13: <i>Fuerza-desplazamiento de una prueba amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ con impacto de perno al sobrepasar las condiciones de seguridad de diseño.....</i>	17
Ilustración1-14: <i>Respuesta de la estructura vs carga de deslizamiento.</i>	21
Ilustración1-15: <i>Respuesta de la estructura vs carga de deslizamiento</i>	21
Ilustración1-16: <i>Elemento tipo Link</i>	22
Ilustración1-17: <i>Elemento tipo Link</i>	22
Ilustración1-18: Respuesta espectral espectro amortiguado suavizado con los coeficientes Bs y B1	26
Ilustración 2-1: <i>Modelo de la estructura existente.....</i>	30
Ilustración 2-2. <i>Modelo de la estructura existente</i>	31
Ilustración 2-3: <i>Carga Muerta Impuesta.....</i>	35
Ilustración 2-4: <i>Carga Viva.....</i>	36
Ilustración 2-5: <i>Carga de granizo</i>	37
Ilustración 2-6: <i>Carga de Empozamiento Agua.....</i>	37

Ilustración 2-7: Espectro elástico de diseño de la zona III (Estudio microzonificación sísmica Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, 2007). Grupo de Uso: III	38
Ilustración 2-8: Espectro elástico de diseño de la zona III (Estudio microzonificación sísmica Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, 2007). Grupo de uso: I	39
Ilustración 2-9: Diagrama de momento 3-3 (CARGA GRAVITACIONAL)	41
Ilustración 2-10: Diagrama de momento 2-2 (CARGA GRAVITACIONAL)	42
Ilustración 2-11: 6to modo de vibración $T= 0.19202$	42
Ilustración 2-12: Índice Sobreesfuerzos columnas	49
Ilustración 2-13: Modelo estructural con amortiguadores (links)	51
Ilustración 2-14: Cortante Nodos Estructura	53
Ilustración 2-15: Definición Elementos tipo Link	55
Ilustración 2-16: Link Plastic Wen	56
Ilustración 2-17: Propiedades Dirección Link Plastic Wen	57
Ilustración 2-18: Dibujo elemento Link	57
Ilustración 2-19: Elemento Link Analizado	58
Ilustración 3-1: Ubicación Hospital	63
Ilustración 3-2: Localización Esquemática	64
Ilustración 3-3: Esquema de las secciones	66
Ilustración 3-4: Prueba esclerómetro, ultrasonido, detector Refuerzo	68
Ilustración 3-5: Regatas de Inspección columnas, Placa y viga	69
Ilustración 3-6: Modelo Con Carga Muerta	73
Ilustración 3-7: Modelo Con Carga viva	74
Ilustración 3-8: Espectro Diseño Zona 2 Armenia	75
Ilustración 3-9: Espectro Umbral de daño	76
Ilustración 3-10: Modelo Estructural	78
Ilustración 3-11: Sobreesfuerzo Columnas	82
Ilustración 3-12: Sobreesfuerzo Columnas	83
Ilustración 3-13: Revisión Deriva	83
Ilustración 3-14: Revisión Deriva	84
Ilustración 3-15: ESQUEMA DISIPADORES	86
Ilustración 3-16: MODELO CON DISIPADORES	86
Ilustración 3-17: MODELO CON CARGA MUERTA	89
Ilustración 3-18: MODELO CON CARGA SISMICA	89
Ilustración 3-19: Análisis de Sobreesfuerzos	92
Ilustración 3-20: Revisión Deriva Con Disipadores	92
Ilustración 3-21: Fachada instalación disipadores	99
Ilustración 3-22: Disipador 50 Ton	100
Ilustración 3-23: Disipadores Instalados	100
Ilustración 3-24: Esquemas disipadores	101

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Coeficientes de amortiguamiento B_s y B_1 como una función del amortiguamiento efectivo β.....	25
Tabla 2. Propiedades generales de los materiales.....	32
Tabla 3. Propiedades mecánicas de los perfiles metálicos.....	32
Tabla 4. Propiedades mecánicas de los concretos.....	32
Tabla 5. Propiedades mecánicas de las barras corrugadas de acero.....	33
Tabla 6. Definición de las secciones de los elementos viga y columna para el modelo de evaluación de la estructura existente.....	34
Tabla 7. Definición de combinaciones de carga para diseño.....	39
Tabla 8. Combinaciones para evaluar derivas.....	40
Tabla 9. Relación de la participación de la masa modal.....	43
Tabla 10. Relación de la masa participante modal.....	43
Tabla 11. Factores de participación modal.....	44
Tabla 12. Periodos y frecuencias del Análisis Modal.....	44
Tabla 13. Cortante Basal - Análisis dinámico.....	44
Tabla 14. Revisión de límites de deriva.....	45
Tabla 15. Coeficiente de calidad del diseño y la construcción, y estado de la edificación.....	48
Tabla 16. Preferencias de diseño para elementos de concreto reforzado asignadas al procesador de diseño.....	48
Tabla 17. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el modelo de reforzamiento.....	50
Tabla 18. Propiedades de los elementos "Link" tipo Plastic Wen.....	50
Tabla 19. Propiedades geométricas disipadores elementos "Link" tipo Plastic Wen.....	51
Tabla 20. Prioridad puntos para la instalación de disipadores.....	53
Tabla 21. Propiedades Mecánicas disipadores elementos "Link" tipo Plastic Wen.....	54
Tabla 22. Amortiguamiento Efectivo con disipadores elementos "Link" tipo Plastic Wen.....	58
Tabla 23. Derivas con amortiguadores (AF).....	59
Tabla 24. Sobreesfuerzos con amortiguadores fricción (AF).....	60
Tabla 25. Resumen Proyecto.....	70
Tabla 26. Secciones geométricas del modelo.....	71

Tabla 27. Materiales del modelo	71
Tabla 28. Carga Muerta Adicional	72
Tabla 29. Combinaciones Carga	76
Tabla 30. Secciones del modelo	78
Tabla 31. Participación Modal	80
Tabla 32. Modos de Participación	80
Tabla 33. Modos periodos y frecuencias	80
Tabla 34. Factores Participación modal	81
Tabla 35. Reacciones en la base	81
Tabla 36. Nueva Secciones geométricas del modelo	87
Tabla 37. Carga Muerta Adicional	88
Tabla 38. Participación Modal Con Disipadores	90
Tabla 39. Modos de Participación Con Disipadores	90
Tabla 40. Modos periodos y frecuencias Con Disipadores	90
Tabla 41. Reacciones en base	91
Tabla 42. Análisis Deriva Con Disipadores	93

Introducción

Es muy costoso, financiera, operativa y funcionalmente la rehabilitación por vulnerabilidad sísmica de edificaciones en concreto, con las soluciones constructivas tradicionales de rigidización, aumento en el tamaño de columnas o inclusión de muros de cortante, para reducir desplazamientos y sobre esfuerzos en la estructura en general implica una mayor masa a la edificación, mayor aceleración y a su vez un aumento de la energía a disipar ocasionando costosas y traumáticas intervenciones en las edificaciones . Realmente el problema está más relacionado con el manejo de la energía sísmica, dentro de las estructuras y buscar su disipación con elementos especialmente preparados para ello; la utilización de disipadores de fricción son una ventaja dado que no incrementarían la demanda de energía sísmica a disipar, por su poca masa comparada con la del total de edificación, su mecanismo es externo de fricción, reduce los esfuerzos, deformaciones y derivas de piso en toda la estructura, dotándola de una buena capacidad de disipación de energía sísmica antes de llegar al rango inelástico .

En Colombia son poco empleados los mecanismos de disipación de energía sísmica externos a la estructura; esto debido al poco conocimiento que se tiene por parte de muchos diseñadores estructurales respecto al tema, la poca oferta de estos disipadores en el país, desconocimiento de su instalación en campo, la creencia de que estos disipadores tienen una vida útil corta pensando en muchas ocasiones, que se activan con cargas de servicio ; Por lo tanto se hace necesario plantear alternativas eficientes y económicas para ser empleadas por los diseñadores estructurales locales.

En el capítulo uno se establece la teoría básica y los conceptos de disipadores de fricción, Se dan las condiciones que actualmente rigen el diseño y rehabilitación

sísmica y una reseña traducida del ASCE 41 que reemplazó el FEMA 356 recientemente utilizado en la rehabilitación sísmica de edificios, en el capítulo dos se muestra el diseño aplicado al SAP 2000, en el polideportivo de la Universidad Nacional De Colombia y en el capítulo tres se muestra las bondades de los disipadores de fricción aplicado a un hospital en Armenia donde se muestra ensayos realizados a la edificación, registro fotográfico de disipadores instalados y algunos detalles constructivos.

1. Clases Disipadores

Dentro del ámbito de reducción de la respuesta estructural existen dos grandes grupos de mecanismos cuyo fin es disminuir la acción de fuerzas sísmicas.

El primero denominado de control pasivo, el cual es motivo de este estudio, se caracteriza por no contar con sistemas de cómputo que operen y controlen su funcionamiento.

Dentro de este grupo se tienen varios y diferentes tipos de dispositivos cuya función y colocación dentro de las estructuras varía. Algunos de ellos son los siguientes:

- Disipadores de energía
- Aisladores de base

El segundo de control activo cuenta con sistemas computarizados altamente sensibles que hacen operar los mecanismos y controlan su buen funcionamiento durante un evento sea éste de viento o sismo.

Los disipadores de energía se pueden clasificar en disipadores histéricos y visco elásticos.

Los dispositivos histéricos: dependen básicamente del desplazamiento y se basan en

- La plastificación de metales por flexión, cortante o extrusión.
- Fricción entre superficies (disipadores de fricción).

Los disipadores viscoelásticos dependen fundamentalmente de la velocidad y se basan en:

- Sólidos viscoelásticos.
- Fluidos conducidos a través de orificios.
- Fluidos viscoelásticos.

Los aisladores sísmicos de base, su funcionamiento básico es separar la súper estructura de la cimentación, estos aisladores permiten cargas axiales, pero aminoran los movimientos producidos por sismo, permitiendo periodos naturales largos

Por la naturaleza de nuestro estudio solo nos enfocaremos en los disipadores histéricos y de ahí nos dirigiremos a los disipadores de fricción que son los que se están instalando en este momento en el país

1.1. Clases de disipadores histéricos

Los disipadores histeréticos están compuestos de metales sometidos a distintos tipos de esfuerzos, siendo estos sometidos a flexión, corte, torsión, fricción o una combinación de estos, en general, este tipo de disipadores tienen una buena resistencia frente a factores ambientales y de temperatura, por lo que el comportamiento tiende a ser estable en el tiempo, muchos de ellos no requieren mantenimiento lo que da una ventaja adicional sobre los otros sistemas (1).

Disipadores por flexión:

Los disipadores por flexión plastifican debido a la flexión, el comportamiento de dos placas en forma de U que disipan energía por flexión pura se enrollan por efecto del desplazamiento relativo entre sus extremos, su comportamiento histérico es estable, en la Ilustración 1-1 se muestra Disipadores Tipo ADAS por sus siglas en inglés (Added Damping/Added Stiffness) que permite añadir rigidez y amortiguamiento a la estructura. El diseño que presenta este elemento está definido de manera tal que permite la disipación mediante la deformación plástica uniforme de las placas de acero., Y en la Ilustración 1-2 se muestra dos placas en forma de U que disipan energía por flexión pura al enrollarse por efecto del desplazamiento relativo entre sus extremos. Su comportamiento histerético es estable (2).

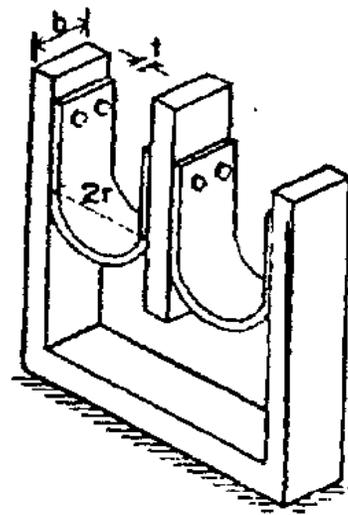
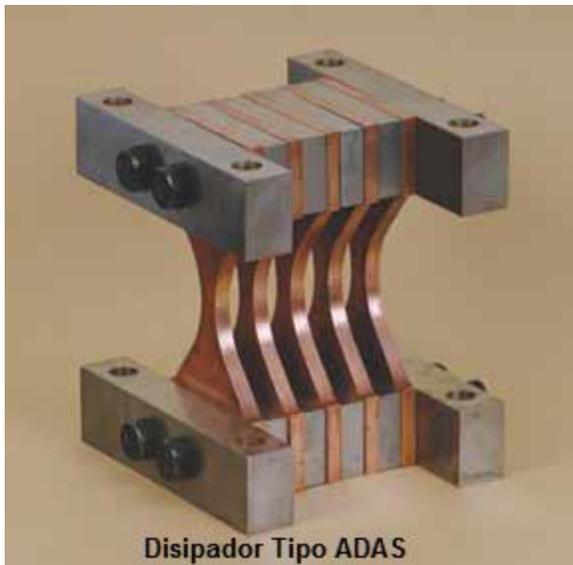


Ilustración1-1: Disipador Flexionante tipo ADAS

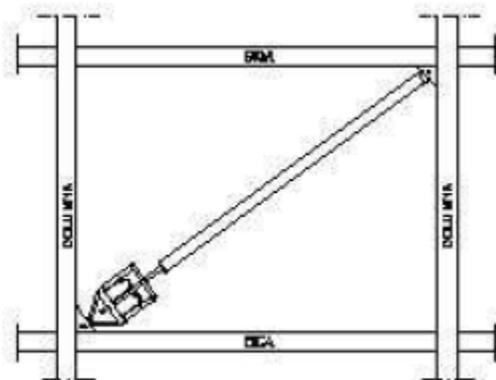
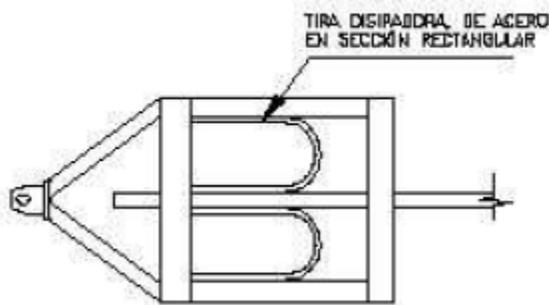


Ilustración1-2: Platinas flexionantes de los tipos ADAS¹

La Ilustración 1-3 se muestra una disposición arriostrada de disipadores tipo ADAS en K

¹ VILLAREAL CASTRO, Germer- OVIEDO SARMIENTO, Ricardo Edificaciones Con Disipadores De Energía

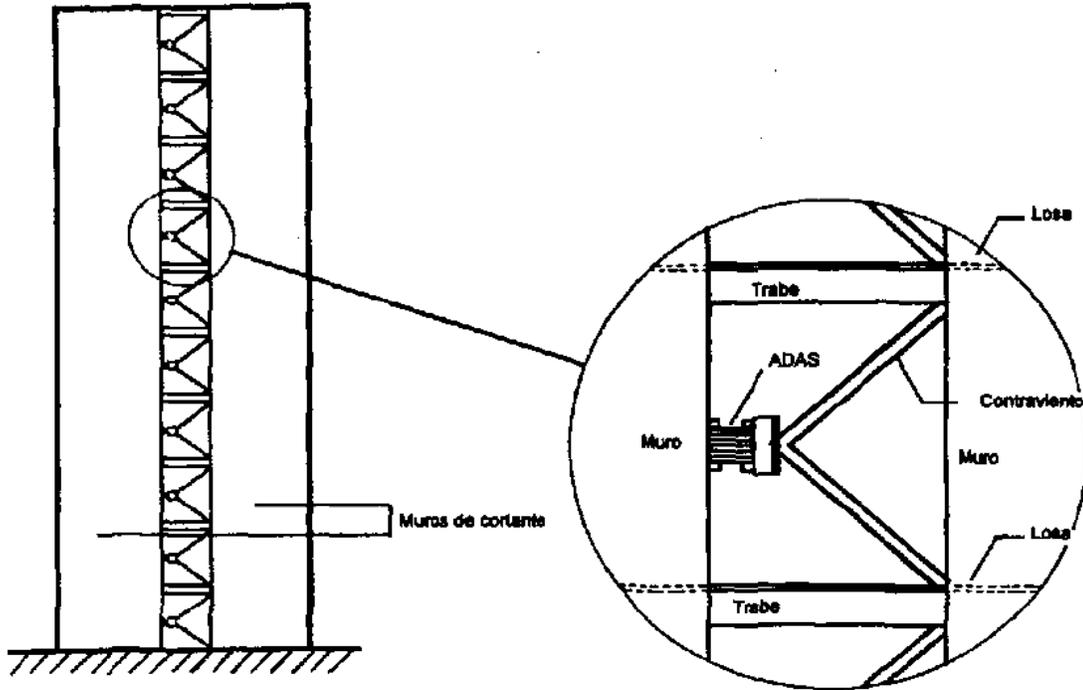


Ilustración1-3: Instalación de Disipador ADAS en edificaciones

También se han desarrollado dos disipadores, uno establecido a partir de la flexión de pernos Ilustración 1-4 y el otro basado en la plastificación por cortante, que permiten ser colocados como diagonales de arrostramiento, logrando así unos elementos prácticamente independientes de las acciones verticales y que resultan muy fáciles de instalar. Los disipadores están avalados por una amplia campaña de ensayos, a partir de la cual se establecen modelos de predicción del comportamiento y de su capacidad última disipativa bajo la acción sísmica. (1)

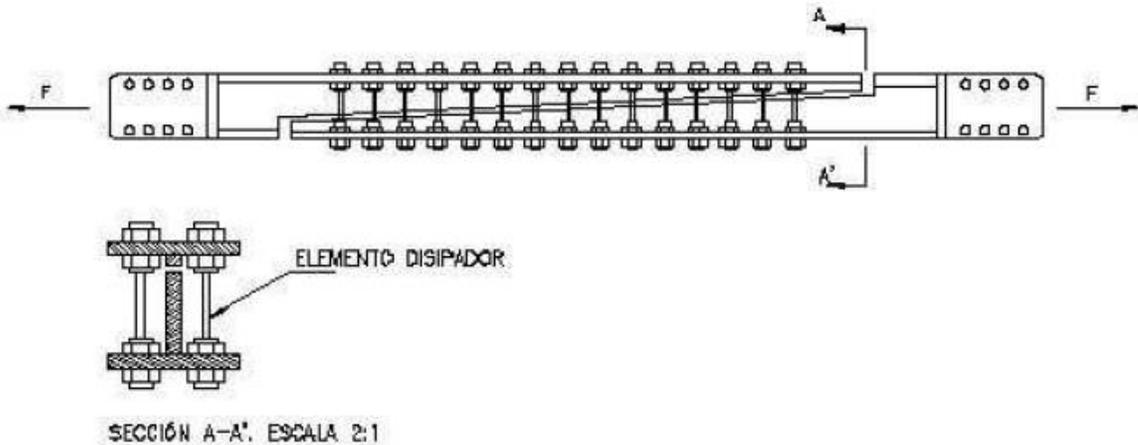


Ilustración1-4: Disipador de pernos flexionantes Disipadores de energía por fricción. Como lo dice su nombre, al producirse la fricción entre 2 o más superficies de contacto entre elementos, se produce una disipación de energía que dependerá de las características de los materiales en cuestión, ya que entre mayor sea el roce presente, mayor será la pérdida de disipación. Debido a esta condición, es que este tipo de disipador se mantiene inactivo mientras no se alcance un límite de carga capaz de romper la barrera de rigidez que impone el roce presente, por lo que su activación o participación efectiva durante un sismo debe hacerse un análisis juicioso de calibración del disipador, y el análisis de la estructura en los modelos matemáticos modernos. La Ilustración 1-5 se muestra un disipador de fricción tipo pall de 500 kN instalado en el hospital San Juan De Dios en la ciudad de Armenia, debido a falta de refuerzo detectado en el estudio se debió instalar en la columna platinas de $e=1/4$ " acero A-36 alrededor enchaquetandola, para lograr más ductilidad en la columna.



Ilustración1-5: Instalación de disipador de fricción tipo Pall

Ilustración 1-6 se muestra un dissipador de fricción tipo pall en rótula, el cual utiliza la deformación relativa de entrepiso y la deformación angular roce entre sus platinas del paralelogramo central como medio de disipación

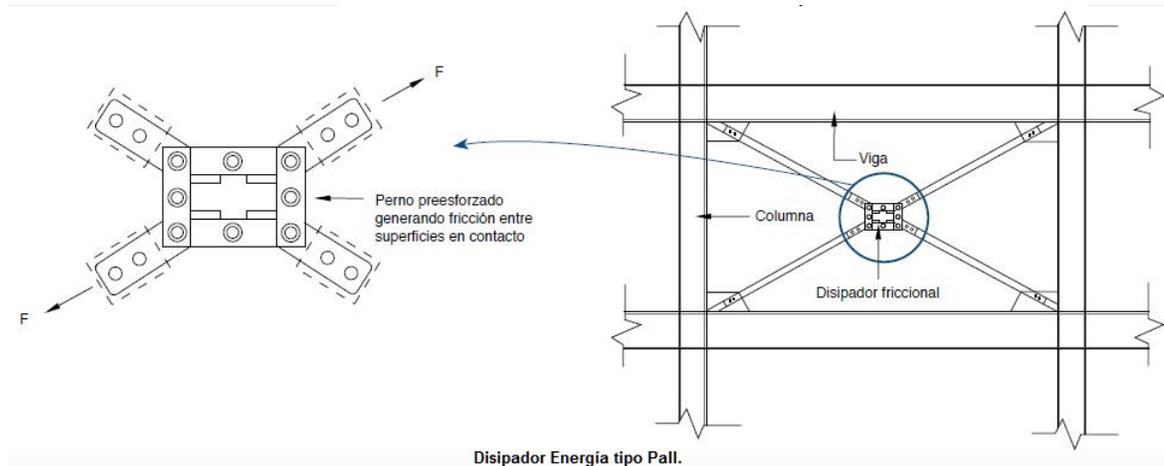


Ilustración1-6: Dissipador de fricción tipo pall tipo rotula

Las estructuras deben resistir, en el rango lineal elástico todos aquellos sismos de intensidad reducida que ocurran durante su vida útil, una gran cantidad de energía es disipada por la estructura durante un evento sísmico dependiendo de su masa y de su rigidez. En estructuras convencionales la filosofía de diseño persigue prevenir el colapso permitiendo que los elementos de la estructura disipen la energía transmitida por el sismo mediante ciclos inelásticos histeréticos de deformación, en zonas específicas de la misma particularmente en zonas aledañas en los nudos, cuando estos inician un proceso de plastificación hasta que se forma un mecanismo o rótula plástica, lo cual implica que algunos daños incipientes o graves podrían quedar en la estructura o en su defecto con un importante daño en varios de sus elementos.

En algunos casos puede presentarse un proceso de deformación e inclusive extenderse a toda la estructura, en sollicitaciones más severas hasta llegar a un grado irreversible relacionado con la reparación de la misma o colapso de la estructura.

En las últimas tres décadas se han desarrollado varios sistemas de disipadores como los que se enunciaron en el punto 1. Lo que buscan los disipadores de energía es mediante un mecanismo externo garantizar varios ciclos de histéresis para alcanzar la seguridad y reducción del daño durante terremotos en las estructuras, entre los cuales se encuentran

los amortiguadores pasivos de fricción los cuales han sido muy efectivos para el control de la respuesta estructural sísmica, reduciendo la demanda de energía de disipación en los elementos de la misma, hasta tal punto que permite disipar la energía sísmica, que no podía disipar la estructura, garantizando la integridad de sus materiales y por consecuencia de sus elementos constitutivos, de tal forma que esta se comporte dentro del rango elástico y se apoye menos en la ductilidad que tiene la estructura entrando en el rango inelástico.

Los amortiguadores de fricción han sido aceptados por la comunidad científica de ingenieros en Canadá, Estados Unidos y en todo el mundo, así como reglamentado su uso y manejo en los principales códigos de construcción sismo resistente (FEMA, ATC-40, ASCE, IBC, UBC) después de múltiples investigaciones y ensayos en los últimos 20 años.

1.2. Reforzamiento principios de comportamiento sísmico por balance energético.

La filosofía de las normas y códigos internacionales de construcción sismo-resistente tiene el objetivo de que la edificación no sufra daños importantes con sismos moderados y que no sufra colapso ante sismos de mayor intensidad, pero sobretodo salvaguardar las vidas humanas.

Los métodos tradicionales de diseño sismo-resistente como el análisis modal con curva de demanda no cubren realmente todas las sollicitaciones sísmicas, ni las a las cuales pueden dar una medida de confiabilidad. (2)

No obstante no es seguro que la estructura diseñada se comporte bien bajo sismos moderados o menores, así se haya diseñado para condiciones más exigentes como se ha comprobado en sismos recientes (Kobe, Northridge, Armenia), lo cual demuestra también que aun en países desarrollados con códigos de construcción, muy estrictos las edificaciones de acero y concreto no están completamente exentas de la destrucción y evitar el colapso estructural. (2)

Actualmente el diseño convencional de las edificaciones sismo resistentes se apoya en 3 grandes conceptos: las curvas de demanda sísmica, el análisis modal y la ductilidad, conceptos que deben ser revaluados o ajustados dada la multiplicidad de variables que

intervienen y los grados de incertidumbre, en las consideraciones sísmicas de diseño si se desean buenos grados de desempeño en las estructuras.

La respuesta de un sistema, en la dinámica estructural consiste en determinar el desplazamiento de la masa en cualquier instante con respecto a su posición inicial general $X_i(t)$. Este parámetro se calcula en función del desplazamiento del terreno y del desplazamiento de la masa respecto a su base:

$$X_i(t) = X_g(t) + X(t) \quad \text{Ec. 1}$$

Para estas condiciones el equilibrio dinámico, la ecuación sería:

$$MX''(t) + CX'(t) + K(X, X') = -(M + M') Xg'' \quad \text{Ec. 2}$$

Adicionando un sistema de amortiguamiento pasivo por fricción a la ecuación de la dinámica se tendría:

$$MX''(t) + CX'(t) + K(X, X') - AX = -(M + M') Xg'' \quad \text{Ec. 3}$$

Donde A es un parámetro envolvente de amortiguamiento por fricción y X el desplazamiento de la estructura, ligado al movimiento del amortiguador. Integrando esta ecuación respecto a X, variando de $0 \rightarrow x$ obtendríamos.

$$\int MX''(t)dx + \int CX'(t)dx + \int K(X, X')dx - \int AXdx = - \int (M + M') Xg'' dx \quad \text{Ec. 4}$$

A partir de esta ecuación de la dinámica estructural se plantea el equilibrio en forma de energía, esta ecuación no es otra cosa que un balance energético de la estructura:

$$\begin{aligned} & \text{Cinética y Potencial} + E. \text{Amortiguada (visco-elástica est.)} \\ & + E. \text{histerética est.} + E. \text{Histerética Amortig.} = \text{Energía Entrada (sísmica)} \end{aligned} \quad \text{Ec. 5}$$

Finalmente se puede resumir en

$$\text{Energía Disipada} = E. \text{Elástica} + E. \text{Disipada} \quad \text{Ec. 6}$$

Por lo tanto

$$E. \text{Disipada} = E. \text{Amort. ve.} + E. \text{Histeritica} \quad \text{Ec. 7}$$

Estas son las dos formas en que una estructura disipa su energía con las consecuencias de daño y deformación. El objetivo del disipador de energía es aumentar el amortiguamiento histerético de la estructura, es decir aumentar la energía histerética de amortiguamiento de tal manera, que para una energía sísmica de entrada, la energía de deformación elástica sea minimizada. Esto significa que la estructura presentará deformaciones más pequeñas, que cuando no tiene el sistema de disipación de energía externo. El incremento de la energía histerética de amortiguamiento, permite que la energía histerética de la estructura sea pequeña (reducida) para altos niveles de energía sísmica (3).

1.3. Principio de los Amortiguadores de Fricción (AF)³

El amortiguamiento por fricción se basa en un principio de la física bastante conocido: el principio de Coulomb

$$F = \mu N \qquad \text{Ec. 8}$$

En la ecuación 8 este amortiguamiento corresponde al fenómeno físico de fricción entre superficies secas, se supone que el amortiguamiento de Coulomb es independiente de la velocidad, una vez este se inicia, siempre se opone al movimiento, por lo tanto tiene el signo contrario al de la velocidad. (4)

Donde

F= fuerza resistente por la acción de **N**, y mínima necesaria para moverlo.

μ = coeficiente de fricción estático o dinámico entre superficies.

N = fuerza normal actuante.

En la Ilustración No.1-7: Se muestra este principio, este es un modelo bastante simplificado de una estructura convencional, ante una sollicitación de cortante, como en el caso de un sismo. El resorte se asemeja a la rigidez de la estructura, el amortiguador, al amortiguamiento degradable o capacidad de disipación interna de la estructura y la masa con la acción de la gravedad, que es equivalente a la carga gravitacional de la misma. La masa se detendrá una vez la fuerza $P(t)$ deje de actuar y la energía cinética producida cambie a otro tipo de energía al ser disipada, mediante el amortiguador la energía es

³ paldynamics.com/FrictionDampers, notas al diseño sísmico de edificios

disipada por el sistema. La estructura quedara finalmente en reposo y sin mayores daños cuando todo el sistema se comporte dentro de los límites de operación del modelo.

La Ilustración 1.7 muestra un sistema lineal de un grado de libertad, colocados sobre una superficie sin fricción, están conectados un resorte con constante de rigidez K y un amortiguador cuya constante es "c" (4)

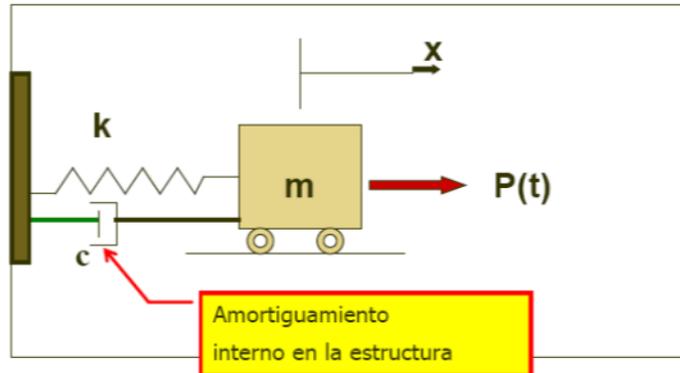


Ilustración1-7: Modelo primario de una estructura en general⁴

Si se efectúa una variación al modelo cambiando el amortiguador (interno) por una fuerza contraria a la carga de excitación evocando el Principio de Coulomb Ilustración 1-8 se muestra que se tiene un mecanismo estabilizador , amortiguado que disipará la energía impuesta por $P(t)$, o en el caso de una estructura por el cortante sísmico.

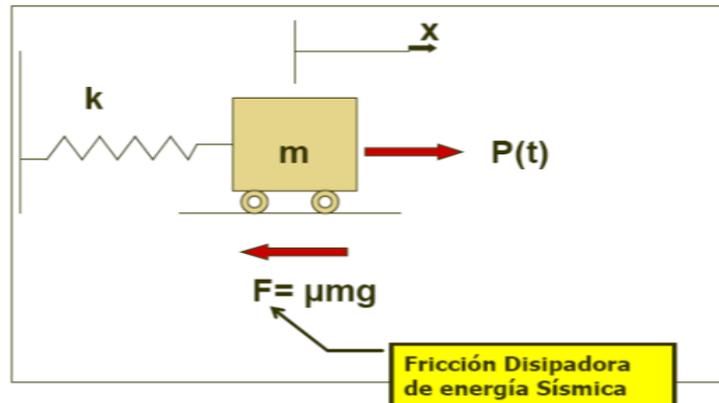


Ilustración1-8: Modelo primario estructura ajustado con disipador externo/ o fuerza restauradora asemejando al Principio de Coulomb

⁴ Geoestructura-Notas técnicas departamento de estructuras "Jorge Salazar-Germán Ricardo Hernández-Sergio Vázquez". Bogotá Colombia 2012

1.4. Componentes básicos de los amortiguadores de fricción (AF) y su comportamiento sísmico

Los disipadores de Energía Sísmica de Fricción están compuestos por platinas de acero con superficies de alta resistencia que friccionan entre sí, al producirse un desplazamiento generado por una carga, previamente superada la carga de diseño o tensionamiento. Según los requerimientos de la estructura. Las diagonales conectoras van ancladas al sistema estructural en los nudos viga-columna o placa-columna, y en cada extremo conecta mediante articulación al amortiguador en si generando un plano friccionante. Ver Ilustración (No 1-9)

Las diagonales que hacen parte del soporte de los amortiguadores de fricción se encontrarán en tensión o compresión de acuerdo al sentido que vaya el sismo en estudio en la Ilustración No. 1-9.

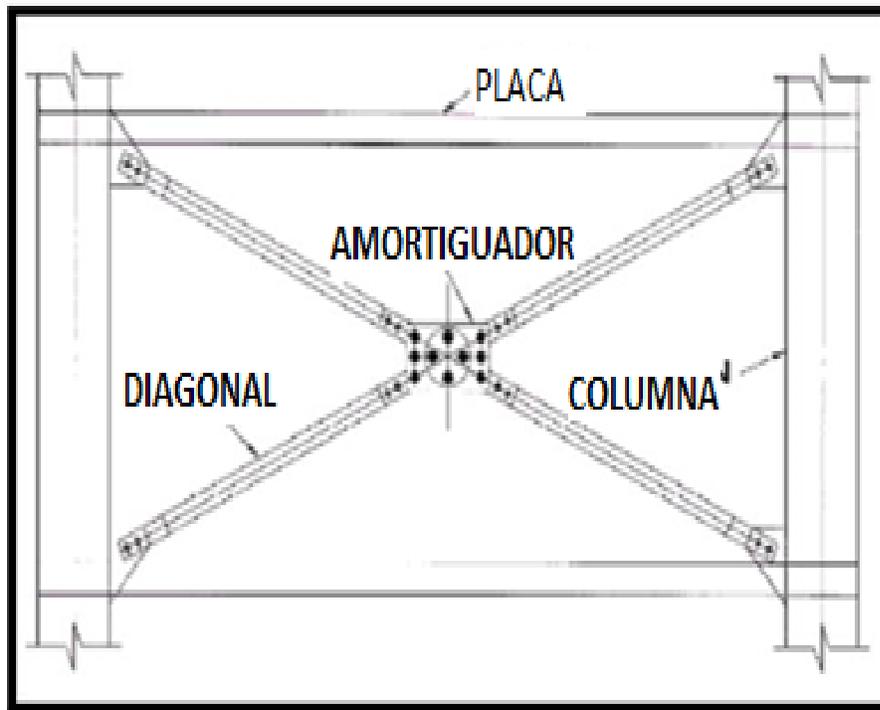


Ilustración 1-9: Amortiguador de Fricción Tipo X conectado a un pórtico típico de la estructura.⁵

⁵ palldynamics.com/FrictionDampers, notas al diseño sísmico de edificios

En la Ilustración 1-10 se muestra el amortiguador de rotula el detalle constitutivo de platinas sucesivas y sus ciclos histeréticos de disipación de energía.

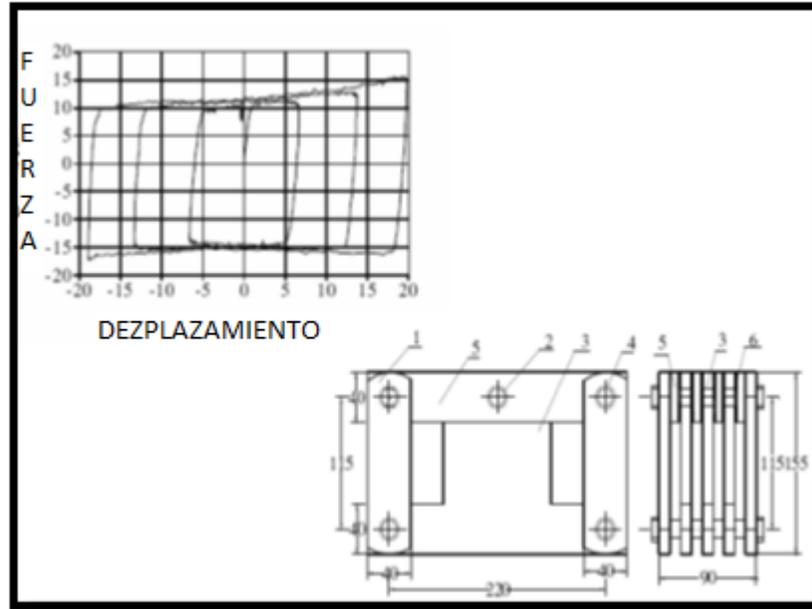


Ilustración 1-10: Detalle constitutivo del amortiguador y ciclos histeréticos elastoplásticos.

Es importante verificar que durante la inversión de carga en las diagonales, que se encuentren en la condición de compresión, en estas no sea muy alta para evitar el pandeo de las mismas, situación que debe contemplar un buen diseño.

Una vez inicia el movimiento la estructura, el sistema de disipación se mueve a la par de la estructura jalonado por esta y el amortiguador solo inicia deslizamiento una vez se ha superado la carga de tensionamiento o según los requerimientos de diseño, las platinas fijadas a las diagonales se deslizan contra las platinas centrales aprisionadas generándose un mecanismo disipador de energía sísmica.

Los ciclos de carga y descarga e inversión de los mismos siguen un comportamiento de material elasto-plástico perfecto, el comportamiento de este aislador es estable y muy regular (Ilustración 1-11).

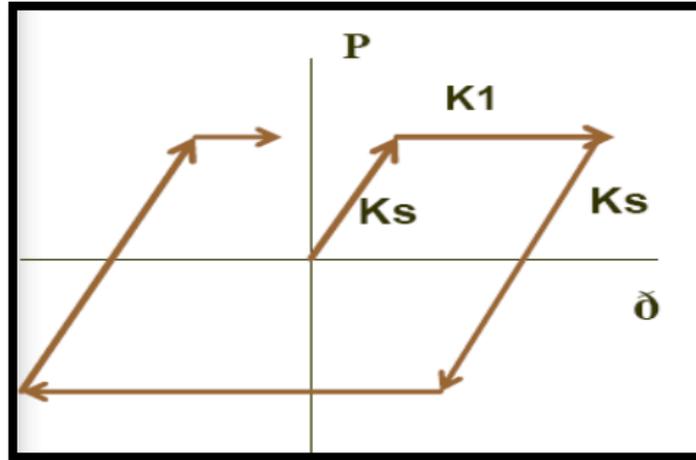


Ilustración1-11: Ciclos histeréticos elasto plásticos perfectos típicos de AF

En cada ciclo que se presenta en la Ilustración 1-11 la disipación de energía es el área encerrada en los semi-romboides. La cantidad de energía que se desee disipar depende de las características inherentes de la estructura y la cantidad de amortiguamiento externo que el ingeniero estructural determine de acuerdo con la metodología ASCE 41, la cual indica que no debe superar el 30% de amortiguamiento,

Pudiéndose disipar más del 90% de la energía sísmica por el mecanismo externo y por lo tanto logrando menores esfuerzos y deformaciones en la estructura de concreto. Este sistema nunca se degrada, a menos que exista un evento sísmico que sobrepase las condiciones de envolventes de sismo máximo previsto en el proyecto y recomendado para la zona, de manera que en condiciones severas del movimiento del subsuelo frente a las condiciones resistentes y de disipación de energía de la estructura. Los amortiguadores de fricción AF tienen la ventaja: disipan energía mediante la fluencia de metales por temperatura, por lo que el comportamiento tiende a ser estable, una ventaja adicional de seguridad es alejar la edificación del periodo de resonancia por el cambio en el sistema de rigidez en las diferentes etapas.

En múltiples investigaciones (5) se ha demostrado que aplicándoles hasta 5,000 ciclos (Ilustraciones 1-11 y 1-12) de carga y descarga, su pérdida de capacidad friccional no supera el 1%, en el caso de los amortiguadores de fricción AF Pall (6).

La Ilustración 1-12 muestra una prueba de un disipador en el que el roce de las platina internas no genera un impacto al perno al no superar las condiciones de diseño, se observa que en los ciclos la capacidad de disipación de energía es elevado con un degradamiento muy poco y la Ilustración 1-13 muestra una prueba de un disipador que supera las condiciones diseño los que genera un impacto con los pernos se observa una perdida en la capacidad de disipación y unos desplazamiento más altos respecto a la figura anterior de todas maneras muestra el grado de confiabilidad tan elevado que presentan estos disipadores.

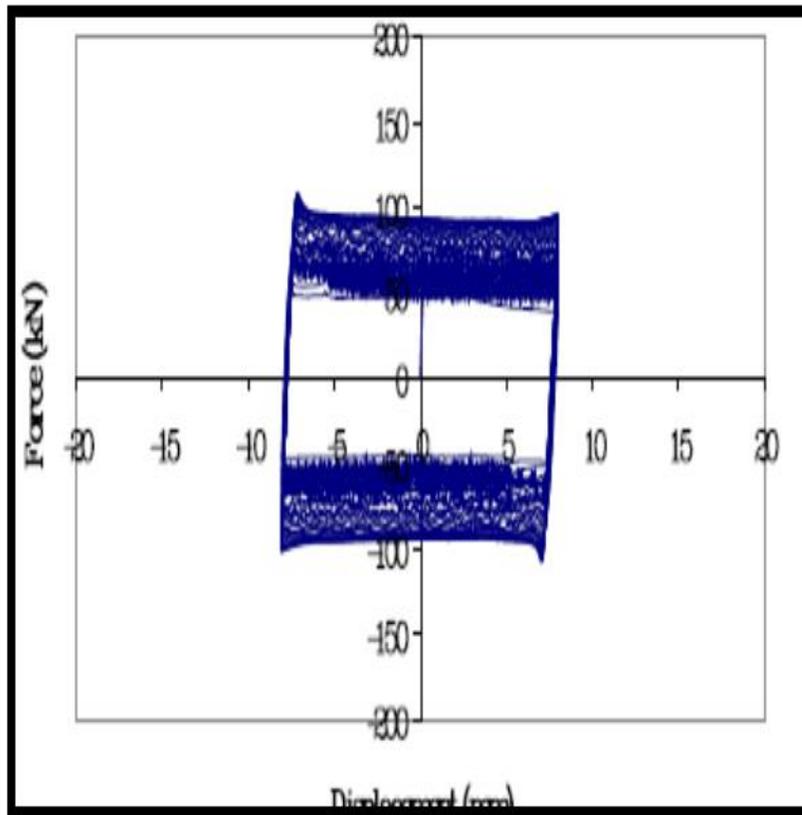


Ilustración1-12: Gráfico de relación fuerza-desplazamiento de una prueba de un amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ sin impacto de perno.⁶

⁶ palldynamics.com/FrictionDampers, notas al diseño sísmico de edificios

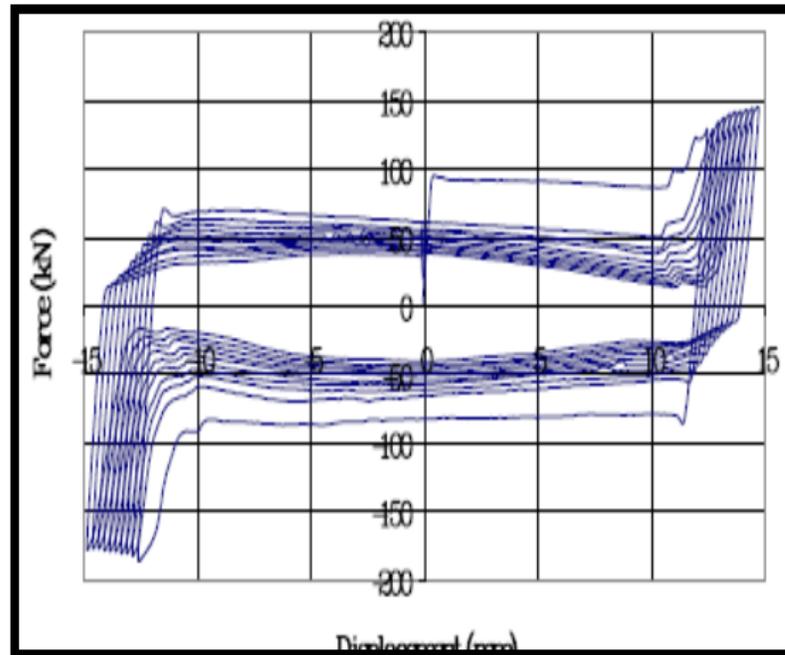


Ilustración1-13: Fuerza-desplazamiento de una prueba amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ con impacto de perno al sobrepasar las condiciones de seguridad de diseño.

Los primeros amortiguadores de fricción (AF) aparecieron a comienzos de los años 80 y desde entonces han existido innumerables investigaciones en varias partes del mundo dentro de las que se desatacan las efectuadas en la Universidad de California en Beckley USA. En 1987 por Dr. J.M. Nelly y Dr. I.D. Aiken (7), se han realizados estructuras a escala con amortiguadores de fricción PALL, mediante la simulación de sismos importantes en la Universidad British Columbia en Vancouver, Canadá en 1985 por Dr. S.Cherry y Dr. A. Filiatrault (6) que han causado colapsos y daños en estructuras, comprobándose no solo su efectividad sino los lineamientos del modelamiento físico-matemático con muy buen grado de precisión

Desde hace varios años los principales códigos de construcción sismo-resistentes y de atención de emergencias en los países con alta investigación estructural y sísmica los han acogido e incorporado dentro de sus normas y estándares que permiten su uso mientras cumplan con los requerimientos . Es el caso del ATC-40, UBC (Uniform Building Code) IBC (Internacional Building Code), FEMA (Federal emergency Management Agency)

1.5. Principales ventajas de los AF en reforzamiento sísmico.

La consideración de una intervención de cualquier edificación ocupada, no deja de generar preocupación por sus ocupantes debido al desalojo que deberán enfrentar por varios meses, la incertidumbre sobre el costo y tiempo final de la obra, los daños colaterales que se presentarán en los sistemas de dotación de servicio (suministro agua, desagües, red eléctrica y de comunicaciones, redes de gases, red de cableado estructurado, redes de combustibles etc.) así como de otros elementos no estructurales constitutivos y el dramático cambio de las condiciones ambientales que adicionados al lucro cesante y los costos de traslados genera un panorama bastante preocupante.

Los amortiguadores de fricción AF, contrariamente a los sistemas tradicionales como son ensanchamiento de columnas y construcción de muros pantalla que son los más utilizados en Colombia para el reforzamiento sísmico presentan:

- Alto desempeño estructural con bajo costo, en casos de reforzamiento con reducciones hasta del 40% frente a los otros sistemas tradicionales y hasta más de 200% con relación a los amortiguadores hidráulicos y visco elásticos.
- Incorporación de un alto porcentaje de amortiguamiento.
- Proveen varios ciclos histeréticos "dúctiles" y amplios de disipación protegiendo la estructura, muros y demás elementos no estructurales contra daños importantes.
- Se requieren relativamente pocos amortiguadores de fricción AF.
- No requieren mantenimiento mientras operen dentro de las condiciones de diseño.
- Proveen una resistencia residual de seguridad por deformación histerética y aleja la estructura de la probabilidad de entrar en resonancia con la frecuencia del sismo.
- Rápida instalación, pudiendo llegar a tan solo el 10% del tiempo que requieren los sistemas tradicionales.

- Puede calibrarse y ajustarse de acuerdo a las necesidades del proyecto de reforzamiento.
- Son lo suficientemente angostos para mimetizarse en particiones internas o fachadas.
- No produce traumatismos en el normal funcionamiento de la edificación durante su instalación, prácticamente sin daños en acabados constituyen una buena protección en caso de sismos con grados de intensidad y duración diferentes a los considerados en el reforzamiento.
- Después del terremoto, la edificación regresa a su verticalidad original debido a la acción de resorte de estructura elástica.
- Mínimo impacto de obra, no se requiere el desalojo de las instalaciones y por lo tanto un lucro cesante prácticamente nulo. (2)

1.6. Modelamiento aproximado por métodos lineales.

Existen varios métodos que aunque no son exactos, en la mayoría de los casos, dependiendo de las irregularidades geométricas en altura y en planta de la estructura, pueden ser aplicados dado que al final tienen mucha similitud en cuanto al diseño final con el método cronológico. Algunos Códigos y en particular el FEMA 273- **356 - 357** (NEHRP – Guides for Seismic Rehabilitation of Buildings) (8) del BSSC (Building Seismic Safety Council) con base a los trabajos del ATC, presenta algunos métodos lineales para el análisis de estructuras con mecanismos de disipación de energía dependientes del desplazamiento y de la velocidad de movimiento.

En la guía FEMA se aplica el sismo de diseño. En Colombia, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, da las directrices que exigen que se evalúe la estructura para una respuesta correcta del sismo de diseño que es un evento con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. Bajo el sismo de diseño, evaluamos el cortante de los pisos de la edificación, colocamos en el modelo amortiguadores que tomen el cortante de piso y hacemos una primera iteración como se explicara en detalle en el

capítulo 2, se evalúa la estructura para asegurar que la deriva de la estructura se encuentra dentro de los límites aceptables, con los desplazamientos obtenidos del límite de deriva y obtenemos el deslizamiento de carga del amortiguador en el punto escogido, esta es la principal variable que debe ser apropiada para sintonizar la respuesta de la estructura a un valor óptimo.

La Carga de deslizamiento óptimo es el cortante que está tomando por cada amortiguador y es la respuesta mínima en que se activaran los disipadores de fricción AF. La selección de la carga de deslizamiento también debe asegurarse que después de un sismo, el edificio vuelve a su alineación original o cerca, bajo la acción de un resorte. Otra forma opcional de chequear la carga optima de deslizamiento del disipador es evaluar los desplazamientos de la estructura elevando en un 130% el valor del viento de diseño se toma como el límite inferior y el límite superior es 75% de la falla de la carga gravitacional de los miembros estructurales aplicada en sentido horizontal a la estructura.

En la, Ilustración 1-14 muestra que las variaciones de hasta $\pm 25\%$ de la carga óptima de deslizamiento como límite superior 75 % de la falla de la carga gravitacional aplicada en sentido horizontal y como límite inferior 130% el valor del viento de diseño no afectan significativamente la respuesta. Por lo tanto, las pequeñas variaciones en la carga de deslizamiento (8-10%) a lo largo de la vida del edificio no justifican ningún ajuste o reemplazo de amortiguador de fricción. (2)

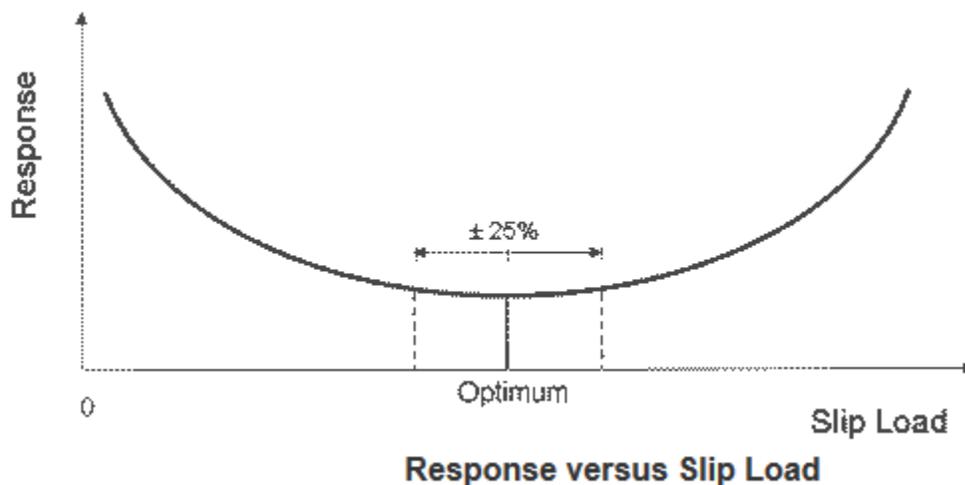


Ilustración1-14: Respuesta de la estructura vs carga de deslizamiento⁷.

Para realizar el modelo estructural en el computador, se escogió el programa Sap 2000 debido a que ha dado buenos resultados de calibración del disipador. Como los ciclos de histéresis de los amortiguadores de fricción son perfectamente rectangulares, similares a la perfección elasto-plástico de material, los amortiguadores de fricción se pueden modelar como elemento de plasticidad ficticia que tiene fuerza de fluencia igual a deslizamiento de carga óptimo.

La riostra diagonal que se introduce en el SAP 2000 con un amortiguador de fricción, que va a estar únicamente en tensión o compresión (Ilustración 1-15) puede ser modelada como una riostra amortiguada, utilizando las siguientes propiedades de un elemento en sap tipo Link (Ilustración 1-16):

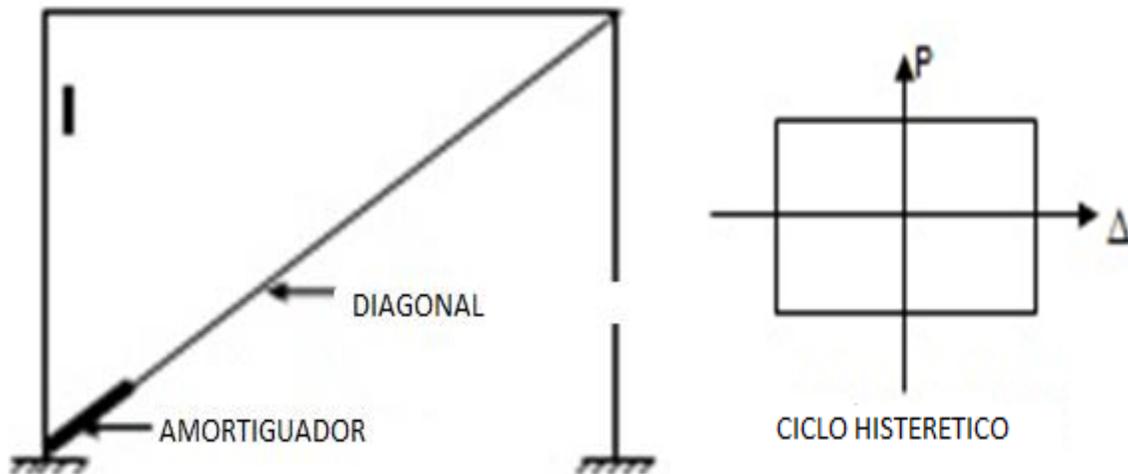


Ilustración1-15: Respuesta de la estructura vs carga de deslizamiento⁸

⁷ paldynamics.com/FrictionDampers, notas al diseño sísmico de edificios

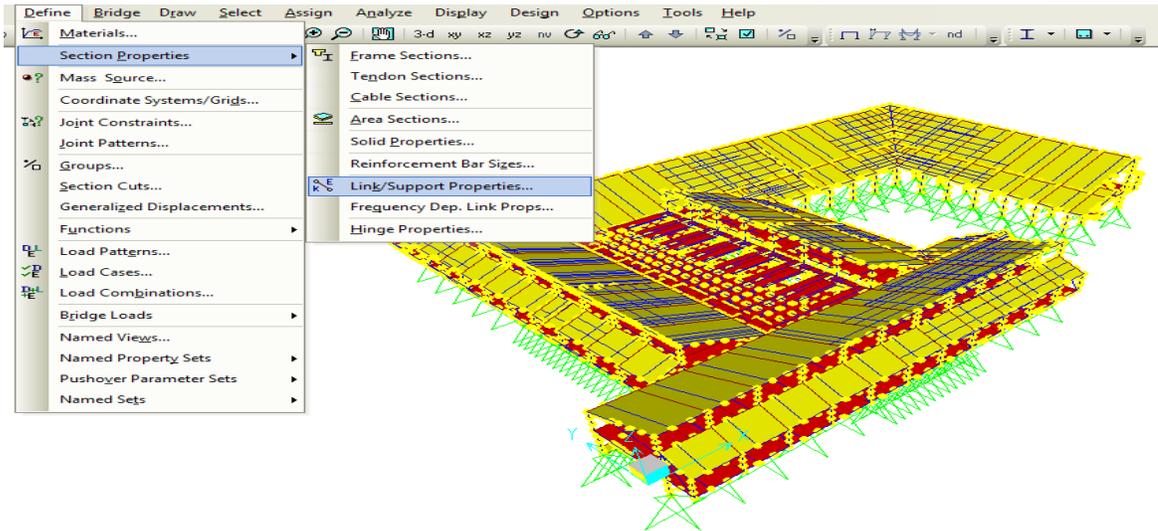


Ilustración1-16: Elemento tipo Link

La Ilustración 1-17 muestra las propiedades que se le deben dar al elemento tipo link

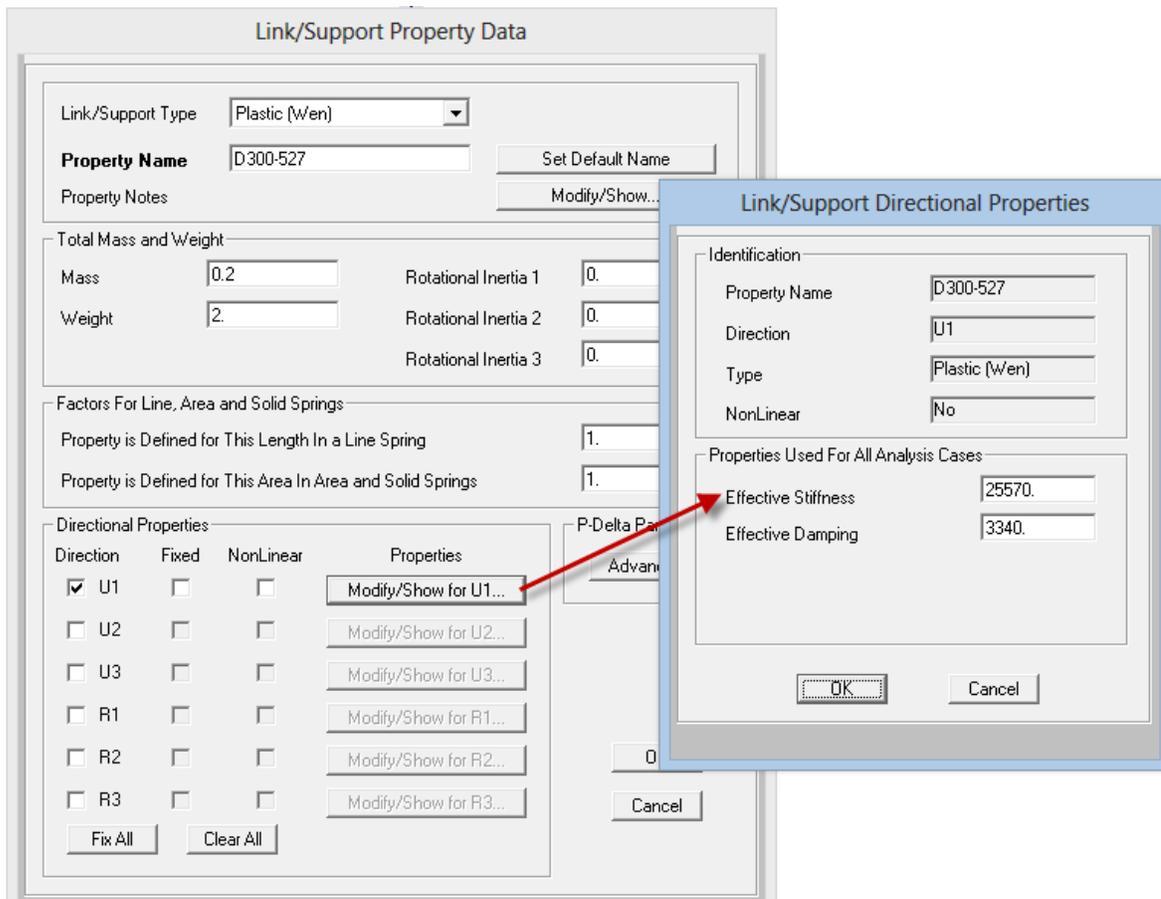


Ilustración1-17: Elemento tipo Link

Nombre= tratamos de colocar la carga de deslizamiento del disipador ejemplo D300 (disipador de 300 KN)

Tipo = Plastic Wen

M = masa de la riostra amortiguada

W = Peso de la riostra amortiguada

Rotación inercial 1 = Rotación inercial 2 = Rotación inercial 3 = 0

Dirección = U1

K_d = Rigidez efectiva

C_d = Amortiguamiento efectivo

En el capítulo 2 se presenta el ejemplo del trabajo realizado en el Polideportivo de la Universidad Nacional Colombia, se explicara el procedimiento aplicado paso a paso, del modelamiento de un amortiguador de fricción es un ejemplo realizado en sap 2000

1.7. Procedimiento lineal estático para mecanismos de disipación de energía dependientes del desplazamiento.⁹

Una vez determinada la vulnerabilidad y después de realizar los cálculos de amortiguadores dados en la sección 1.7, donde se explica cómo obtener la carga del disipador y que se verán en detalle en el capítulo 2, por el método lineal aproximado, la guía ASCE41 da el procedimiento para calcular el amortiguamiento efectivo β_{eff} que es la suma del amortiguamiento de la estructura y el amortiguamiento del mecanismo externo en este caso los disipadores de fricción.

Este procedimiento es válido siempre y cuando la estructura permanezca en condición elástica después de instalados los disipadores y sometida a las máximas cargas sísmicas previstas por el espectro sísmico de la zona y que el amortiguamiento efectivo provisto por los amortiguadores no sobrepase el 30 % del amortiguamiento del crítico en el primer modo (3).

⁹ ASCE-41 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings-traducido español

Además en el caso de los disipadores histeréticos o dependientes de desplazamiento se debe cumplir: (9)

- La relación de resistencias en cada piso en cada dirección en consideración debe estar dentro de un rango del 80 % y 120 % del promedio de las resistencias a cortante de todos los pisos.
- La máxima resistencia de todos los mecanismos de disipación en cada piso en la dirección bajo consideración, no debe exceder el 50% de la resistencia remanente de la estructura.

El procedimiento consiste en reducir el cortante sísmico por los factores de modificación de amortiguamiento para tener en cuenta la energía de disipación que puede generar el conjunto de disipadores de energía. Los disipadores de energía por fricción utilizados en el reforzamiento, se clasifican como dispositivos que dependen del desplazamiento.

Para la modelación del efecto de los disipadores en las estructuras, se procede a calcular el amortiguamiento efectivo, por medio de la ecuación (**Ec. 9**):

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum W_j}{4\pi W_k} \quad \text{Ec. 9}$$

En donde se calcula el trabajo el trabajo efectuado W_j por el disipador j en un ciclo completo correspondiente al desplazamiento de piso δ_i , y se realiza la sumatoria de todos los disipadores j . El valor de β se adopta igual a 0.05.

W_k hace referencia la máxima energía de deformación en el pórtico, y se determina por medio de la ecuación (**Ec 10**). Donde F_i es la fuerza inercial en nivel i y se extiende la sumatoria sobre todos los pisos.

Con:

$$W_k = \frac{1}{2} \sum_i F_i \delta_i \quad \text{Ec. 10}$$

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del conjunto amortiguadores + estructura.

W_j : Trabajo efectuado por cada amortiguador en un ciclo correspondiente al desplazamiento de piso δ_i .

W_k : Máxima energía de deformación de la estructura.

F_i : Fuerza inercial.

β : Amortiguamiento de la estructura

$$W_j = 4P_y(\delta_0 - \delta_y) \text{ Ec. 11}$$

Donde

P_y : es la tensión del disipador, antes de deslizarse

δ_y : es la deformación del elemento conector del disipador con la estructura

δ_0 : es la carrera del disipador que el deslizamiento interno del amortiguador, que estará relacionada con el desplazamiento entre pisos o deriva

La tabla 1 que se presenta a continuación es utilizada para iniciar un proceso de iteración en el modelamiento de la estructura para llegar a un amortiguamiento efectivo suministrado por la estructura rehabilitada (entre el 5% y el 30%) y calcular el cortante basal con el espectro amortiguado dados en los coeficientes B_s y B_1 este valor dado en la tabla 1 se usa para suavizar el espectro Ilustración 1-18 y Calcular las fuerzas horizontales equivalentes en cada piso (F_i).

Tabla 1. Coeficientes de amortiguamiento B_s y B_1 como una función del amortiguamiento efectivo β

Coeficientes de amortiguamiento B_s and B_1 como una función del amortiguamiento efectivo β		
Amortiguamiento efectivo β (porcentaje del crítico) ¹	B_s	B_1
<2	0,8	0,8
5	1	1

Coeficientes de amortiguamiento B_s and B_1 como una función del amortiguamiento efectivo β		
Amortiguamiento efectivo β (porcentaje del crítico) ¹	B_s	B_1
10	1,3	1,2
20	1,8	1,5
30	2,3	1,7
40	2,7	1,9
>50	3	2

1. El coeficiente de amortiguación está basado en interpolación lineal de valores de amortiguamiento efectivo escogidos.

La Ilustración 1-18 muestra el espectro amortiguado suavizado con los coeficientes B_s y B_1 , se utiliza para calcular el amortiguamiento efectivo de la estructura β_{eff}

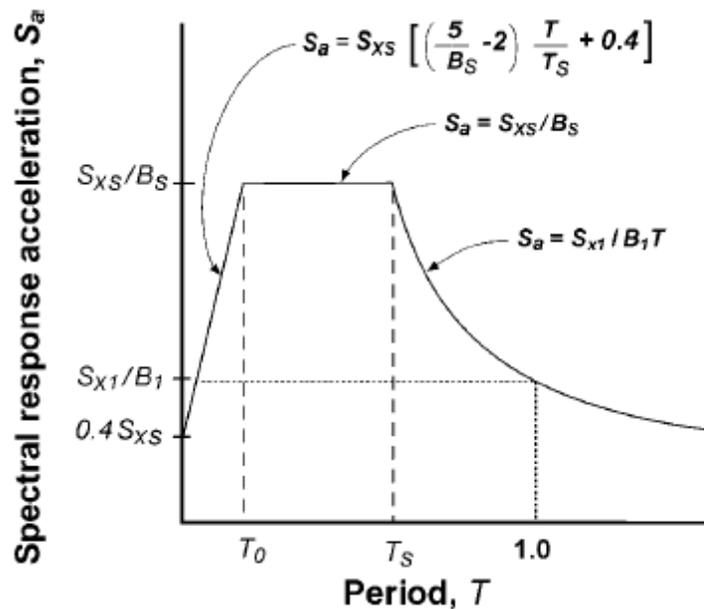


Ilustración1-18: Respuesta espectral espectro amortiguado suavizado con los coeficientes B_s y B_1

Para calcular el amortiguamiento efectivo de la estructura β_{eff} se supone un amortiguamiento no debe ser mayor al 30%, el desplazamiento u_i es el de la estructura ya amortiguada con los disipadores de fricción, el cual se calcula sumando el amortiguamiento intrínseco de la estructura (β) con el amortiguamiento histerético equivalente suministrado por todos los disipadores de fricción AF, se debe iterar, hasta que el amortiguamiento sea igual al supuesto β_{eff} . Y se revisan los niveles de carga en los elementos y los desplazamientos obtenidos. (3)

2. Explicación modelamiento Disipador Caso Polideportivo Universidad Nacional Colombia

El edificio Polideportivo ubicado en la Universidad Nacional de Colombia tiene un área de 3100 m² de área construida; es un complejo deportivo de esparcimiento para los estudiantes cuenta con zonas de gimnasio, artes marciales, salón de baile, oficinas de administración y baños, El sistema estructural de resistencia sísmica está definido por pórtico losa-columna (reticular celulado), la capacidad de disipación de energía de la estructura es moderada (DMO), la estructura presenta un sótano, dos pisos y cubierta, las columnas fueron elaboradas con concreto de 28 Mpa y vigas de 21 Mpa . A continuación se explicará el diseño del reforzamiento estructural del edificio, modelado con disipadores de fricción en Sap 2000.

Dando una introducción al modelamiento, en este capítulo se realizó el análisis del edificio, siguiendo los requisitos de A.10 de la NSR-10 con el cual se pudo determinar que la estructura es altamente vulnerable como se verá más adelante; Se determinaron índices de sobre-esfuerzo en los elementos del sistema estructural que superan la unidad (1.0) y mayores a (5.0) e índices de flexibilidad de 3.9; teniendo en cuenta éste análisis se plantea la alternativa de reforzamiento de la estructura y el diseño de ésta, el resultado que se obtuvo después de evaluar el diseño, permite garantizar que la estructura no tendrá sobre esfuerzos excesivos y no habrá flexibilidad, ni deflexiones excesivas en la estructura, con lo cual se concluye que la estructura luego de la intervención cumplirá con los requisitos de demanda y capacidad exigidos en la NSR-10. En la Ilustración 2-1 se muestra la estructura modelada sin ninguna intervención, con un sistema reticular celulado, muestra sótano, dos pisos y cubierta.

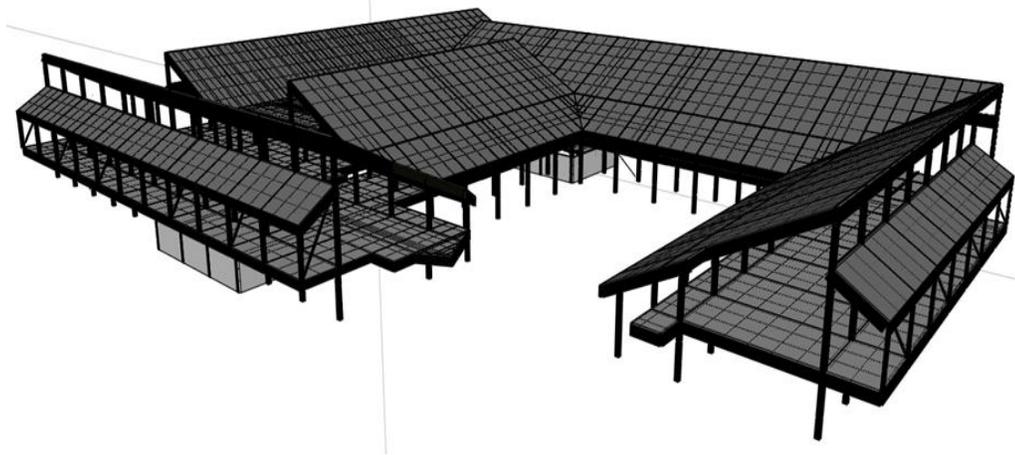


Ilustración 2-1: Modelo de la estructura existente

2.1. Estado del sistema estructural: Calidad de la construcción y conservación de la estructura Polideportivo Universidad nacional

Respecto a la calidad de la construcción se realizaron inspecciones visuales que permitieron evaluar la geometría de los elementos estructurales, realizando mediciones de estos en el sitio, y validando la información contenida en los planos estructurales existentes, se encuentran dimensiones correctas de los elementos prismáticos como las columnas, éstas verificaciones se han realizado en el semisótano, los dos pisos y cubierta.

En la revisión de los elementos estructurales no se evidenció que las vigas tuvieran grandes deflexiones de tal manera que se generaran fallas en los elementos estructurales, las conexiones en los nudos no revelan fisuras que dejen entrever posibles fallas en la conexión por cortante o torsión, de igual forma se revisó que las columnas no tuvieran elementos adosados que permitiera generar un comportamiento de columna corta; las columnas a lo largo de su desarrollo se encuentran plomadas, y no se presentan asentamientos diferenciales. En ninguno de los elementos estructurales se vieron armaduras de refuerzo expuestas, la estructura en su interior es limpia y seca, no presenta humedad lo que permite con una inspección visual determinar, que no hay descascaramientos, desgastes, se recomienda realizar un ensayo de carbonatación para determinar la presencia de ella, no hay elementos notablemente esbeltos o débiles, no se evidenciaron irregularidades en la geometría de los elementos por mala construcción.

La impermeabilización de las placas expuesta al exterior están en buen estado de forma que impide el paso de agua al interior de la edificación; en procedimientos de inspección de la placa de cubierta se hicieron regatas, para ver el estado de la armadura de los elementos y se observa que el refuerzo de estos elementos no está oxidado, lo que permite un buen comportamiento del concreto reforzado, la respuesta de la edificación ante las solicitaciones de cargas horizontales (sismo) no han provocado un daño visible en los elementos estructurales,

Es importante anotar que través de metodologías en el rango elástico el análisis de ocurrencia al daño no se tiene en cuenta, sino que se parte de la base teórica en la cual se asume que el material está sin daño, tal como lo muestran las inspecciones visuales realizadas a la edificación.

A la luz de esta revisión, se concluyó que la calidad de la construcción y el estado de conservación de la estructura es BUENO.

2.2. Modelo Estructural

Para desarrollar el diseño estructural se realizó el modelo utilizando el programa de diseño estructural: sap200, En la Ilustración 2-2 se muestra el modelo realizado en sap con sus respectivos niveles de la estructura

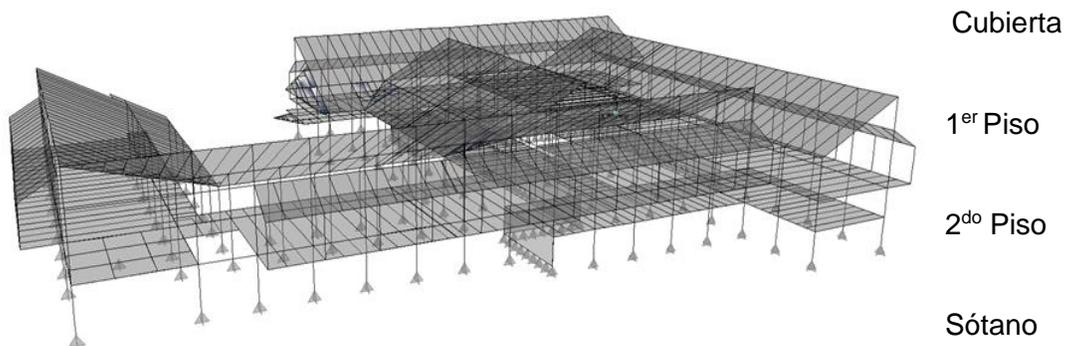


Ilustración 2-2. Modelo de la estructura existente

2.3. Descripción del modelo estructural

El sistema estructural de resistencia sísmica se definió por pórtico losa-columna (reticular celulado), la capacidad de disipación de energía de la estructura es moderada (DMO). Tal como se observa en la Ilustración 2-2, el modelo de la estructura de la edificación está compuesto por columnas, capiteles, las tres vigas que convergen al capitel, una losa equivalente de 0.25 m de espesor para simular el aporte de rigidez del sistema de la placa reticulada, en él también se incluyó el muro de contención del sótano.

2.4. Materiales definidos en el modelo estructural

En la Tabla 2 se presenta los materiales que se utilizaron en el modelo estructural después de hacer un análisis de esclerómetro, del promedio tomado en todas las columnas y vigas, las columnas serán en concreto de 28 MPa y las vigas en Concreto de 21 MPa, los perfiles de arrostramiento para los amortiguadores de fricción AF serán en acero A-36 y de ser necesario la construcción de nuevos elementos en concreto se introdujo un acero de refuerzo referencia PDR-60.

Material	Type	SymType	TempDepend	UnitWeight	UnitMass	E1	G12
Text	Text	Text	Yes/No	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2
A36	Steel	Isotropic	No	76.973	7.849	1.999E+08	7.69E+07
A416Gr270	Rebar	Uniaxial	No	76.973	7.849	1.965E+08	
CONC21	Concrete	Isotropic	No	23.562	0	2.153E+07	8.97E+06
CONC28	Concrete	Isotropic	No	23.562	0	2.486E+07	1.04E+07

En la tabla 3 se hace una ampliación a las propiedades del acero A-36 con las que se alimentó en el modelo su esfuerzo de fluencia y esfuerzo último. En la tabla 4 se muestra las propiedades mecánicas de los concretos.

Material	Fy	Fu	EffFy	EffFu
-	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
A36	248211,28	399895,96	372316,93	439885,55

Material	Fc	LtWtConc
----------	----	----------

Tabla 3. Propiedades mecánicas de los perfiles metálicos				
Material	Fy	Fu	EffFy	EffFu
-	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
Text		KN/m2	Yes/No	
CONC21		20684	No	
CONC28		27579	No	

En la tabla 5 se hace una ampliación a las propiedades del acero ASTM 416 con las que se alimentó en modelo su esfuerzo de fluencia y esfuerzo último

Tabla 5. Propiedades mecánicas de las barras corrugadas de acero				
Material	Fy	Fu	EffFy	EffFu
Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
A416Gr270	186158	279238	204774	307161

2.5. Secciones de los elementos del modelo

La modelación de la estructura se hizo teniendo en cuenta el diseño arquitectónico y estructural ya que se realizó una inspección y los planos coincidían con la realidad de la estructura y atendiendo a todas las disposiciones contempladas en la NSR-10 y al anexo del decreto 92 de enero 17 de 2011. A continuación se describirá la geometría del modelo analizado:

El modelo del edificio está compuesto por las respectivas placas nervadas de entrepiso, correspondientes a los niveles de pisos 1 y 2; la placa de cubierta nervada. En cada uno de estos niveles se modeló el sistema de placa, es decir se modeló la composición de elementos: vigas, viguetas y placas. Se hace la aclaración que el elemento Shell se discretizó tal como están distribuidas las viguetas del entrepiso, A ninguno de los sistemas de entrepiso se le asignó un comportamiento de diafragma rígido.

En el modelo se incluyen las columnas que soportan cada una de las placas y el muro de contención.

A en la tabla 6 se presenta la geometría básica y la asignación de secciones utilizadas en el modelo para el análisis de la estructura existente con sus respectivas modificaciones.

Tabla 6. Definición de las secciones de los elementos viga y columna para el modelo de evaluación de la estructura existente

SectionName	Material	Shape	t3	t2	ConcCol	ConcBeam
Text	Text	Text	m	m	Yes/No	Yes/No
COL30X30-4N6-E225	CONC28	Rectangular	0.30	0.30	Yes	No
COL30X30-4N7-E325	CONC28	Rectangular	0.30	0.30	Yes	No
COL30X30-4N8-E325	CONC28	Rectangular	0.30	0.30	Yes	No
COL30X30-8N7-E325	CONC28	Rectangular	0.30	0.30	Yes	No
COL34X15-6N4-E225	CONC28	Rectangular	0.15	0.34	Yes	No
IPE200	A36	I/Wide Flange	0.20	0.10	No	No
IPE450	A36	I/Wide Flange	0.45	0.19	No	No
V-30X40	CONC21	Rectangular	0.40	0.30	No	Yes
V10X55	CONC28	Rectangular	0.55	0.10	No	Yes
V14X40	CONC21	Rectangular	0.40	0.14	No	Yes
V15X140	CONC21	Rectangular	1.40	0.15	No	Yes
V15X55	CONC21	Rectangular	0.55	0.15	No	Yes
V15X65	CONC21	Rectangular	0.65	0.15	No	Yes
V20X60	CONC21	Rectangular	0.60	0.20	No	Yes
V20X65	CONC21	Rectangular	0.65	0.20	No	Yes
V21X25	CONC21	Rectangular	0.25	0.21	No	Yes
V22X60	CONC21	Rectangular	0.60	0.22	No	Yes
V25X100	CONC21	Rectangular	1.00	0.25	No	Yes
V25X32	CONC21	Rectangular	0.32	0.25	No	Yes
V25X65	CONC21	Rectangular	0.65	0.25	No	Yes
V26X25	CONC21	Rectangular	0.25	0.26	No	Yes
V30X60	CONC21	Rectangular	0.60	0.30	No	Yes
V30X65	CONC21	Rectangular	0.65	0.30	No	Yes
V31X25	CONC21	Rectangular	0.25	0.31	No	Yes
V35X75	CONC21	Rectangular	0.75	0.35	No	Yes
V5X45	CONC21	Rectangular	0.45	0.05	No	Yes
V61X25	CONC21	Rectangular	0.25	0.61	No	Yes
V8X25	CONC21	Rectangular	0.25	0.08	No	Yes

2.6. Cargas

- Carga Muerta

El procesador de análisis de la estructura cuantifica la carga muerta producida por los elementos que la conforman, (columnas, viguetas, losas, muros de contención) dependiendo de la geometría y peso unitario de los materiales que la conforman. La carga sobreimpuesta o carga adicional (muros divisorios, cielo rasos, acabado de piso) serán suministradas específicamente al modelo mediante la asignación de carga uniformemente distribuida a los elementos *Shell*.

A continuación se muestra la evaluación de la carga sobre-impuesta que actúa sobre las diferentes áreas de la estructura y las cuales son introducidas al modelo.

Primer piso N +0.00, N +0.85, Segundo piso N +3.60

Afinado y acabado de pisos= 1.10 kN/m²

Fachadas y particiones = 2.40 kN/m²

TOTAL (Carga Sobre Impuesta) = **3.50 kN/m²**

Cubierta Plana

Alistado de mortero 20 mm = 0.41 kN/m²

Membrana impermeable, tela asfáltica x3 capas = 1.0 kN/m²

TOTAL (Carga Sobre Impuesta) = **1,41 kN/m²**

Cubierta Inclinada

Teja asfáltica – Tablillas (singles) de asfalto = 0.13 kN/m²

Alistado de cubierta, espesor 20 mm = 0.41 kN/m²

Membrana impermeable – Tela asfáltica x2 capas = 0.06 kN/m²

TOTAL (Carga muerta adicional) = **0,60 kN/ m²**

La Ilustración 2-3 muestra la edificación con carga muerta impuesta

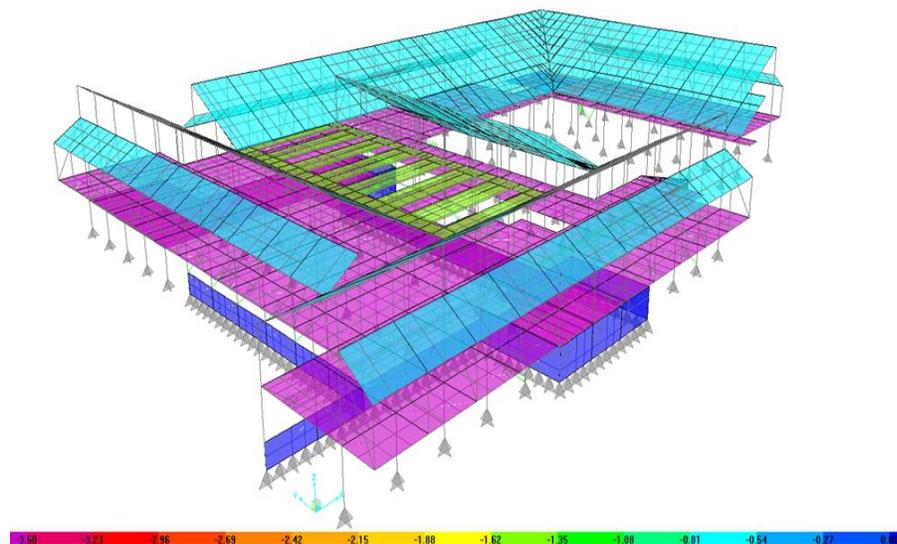


Ilustración 2-3: Carga Muerta Impuesta

- **Carga Viva**

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, establece los valores mínimos, este proyecto se diseñó con una carga viva para todos los entresijos de **2 kN/m²**, y teniendo en cuenta la consideración que se establecen *B.4.2.1*, acerca de la carga viva que se debe asignar a la cubierta plana, se optó por diseñar con una carga viva igual a la de los entresijos, es decir: **2 kN/m²**, para la cubierta inclinada la carga de diseño es de **0.5 kN/m²**.

La carga viva de diseño que se asignó para la escalera fue de **3 kN/m²**, tal como se estipula en *B.4.2.1*.

La Ilustración 2-4 muestra la edificación con carga viva

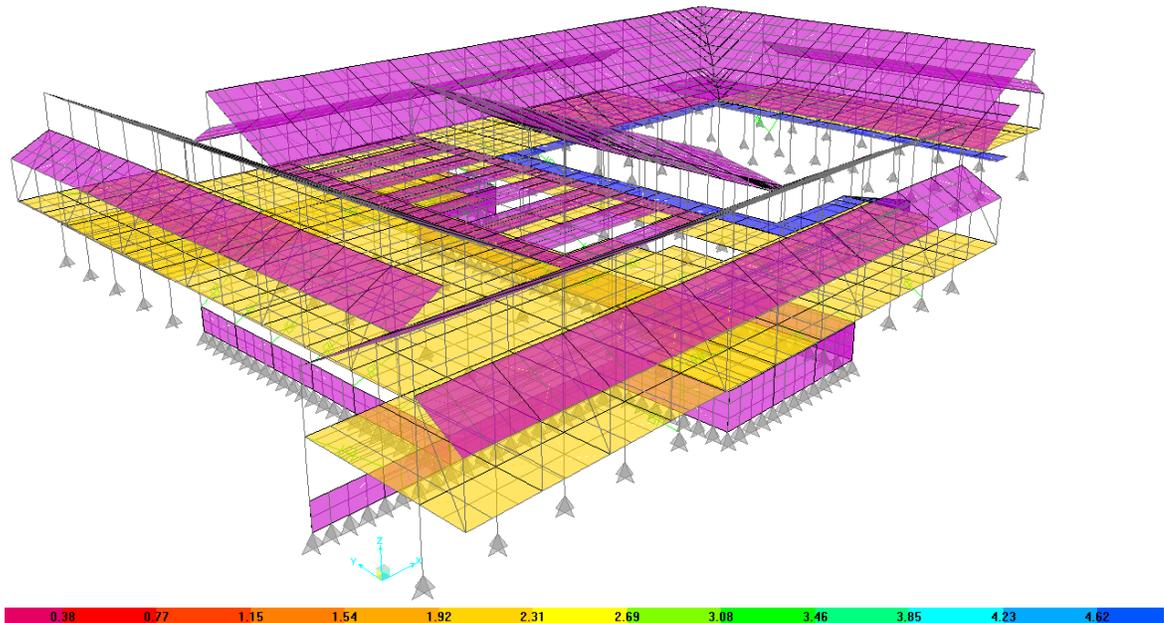


Ilustración 2-4: Carga Viva

- **Carga de granizo**

Según *B.4.8.3* para edificaciones localizadas a más de 2.000 m.s.n.m debe considerarse una carga producida por el granizo, para la cubierta plana se optó por revisar el diseño con una carga de **1 kN/m²** y para la cubierta inclinada se consideró una carga de **0.5 kN/m²**

La Ilustración 2-5 muestra la edificación con carga de granizo

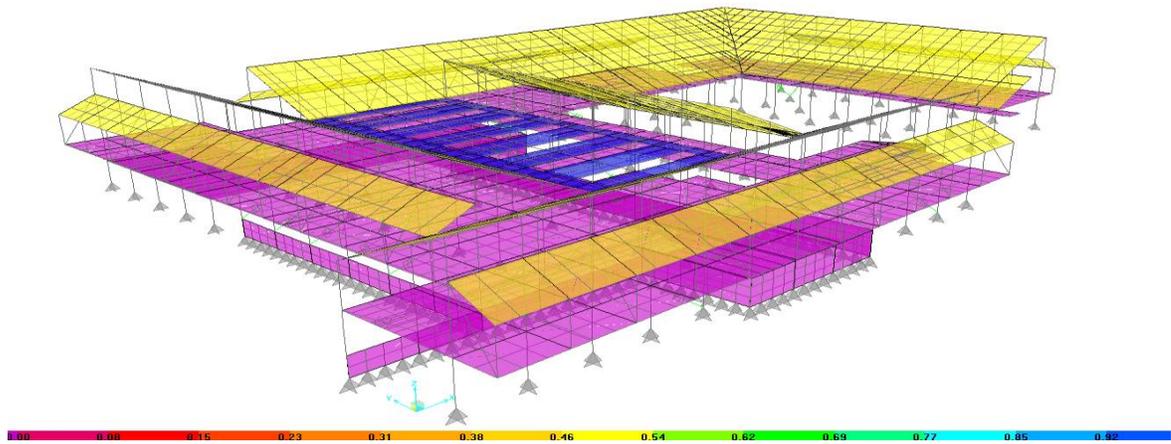


Ilustración 2-5: *Carga de granizo*

- **Carga de empozamiento de agua**

Para la carga debida al empozamiento de agua, se realizará la revisión suponiendo un espesor de 0.05 m de lámina de agua, es decir: **0.5 kN/m²**.

La Ilustración 2-6 muestra la edificación con carga de empozamiento

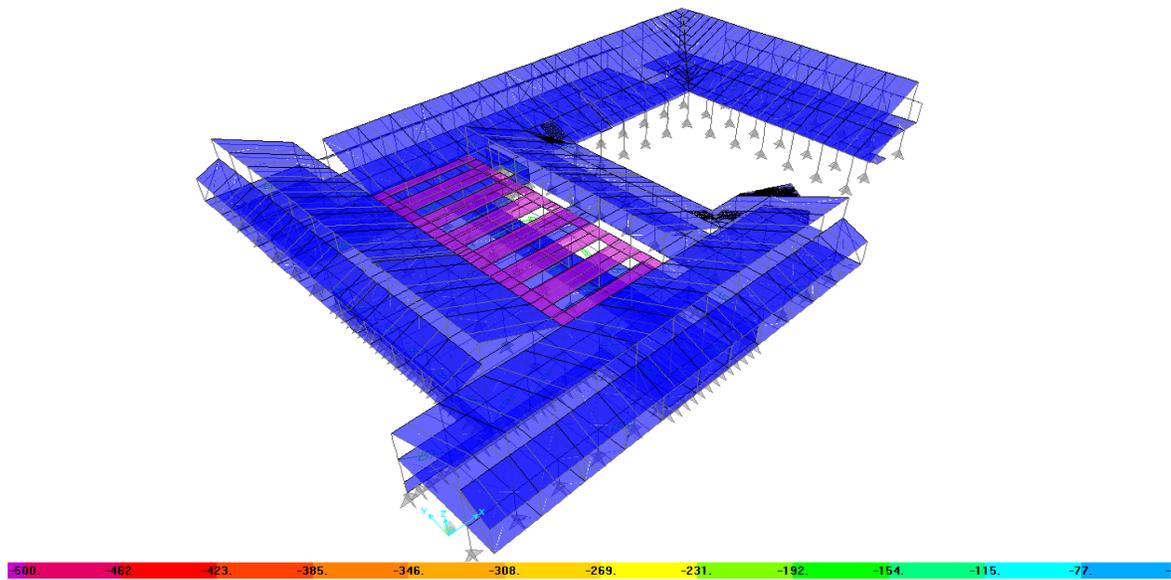
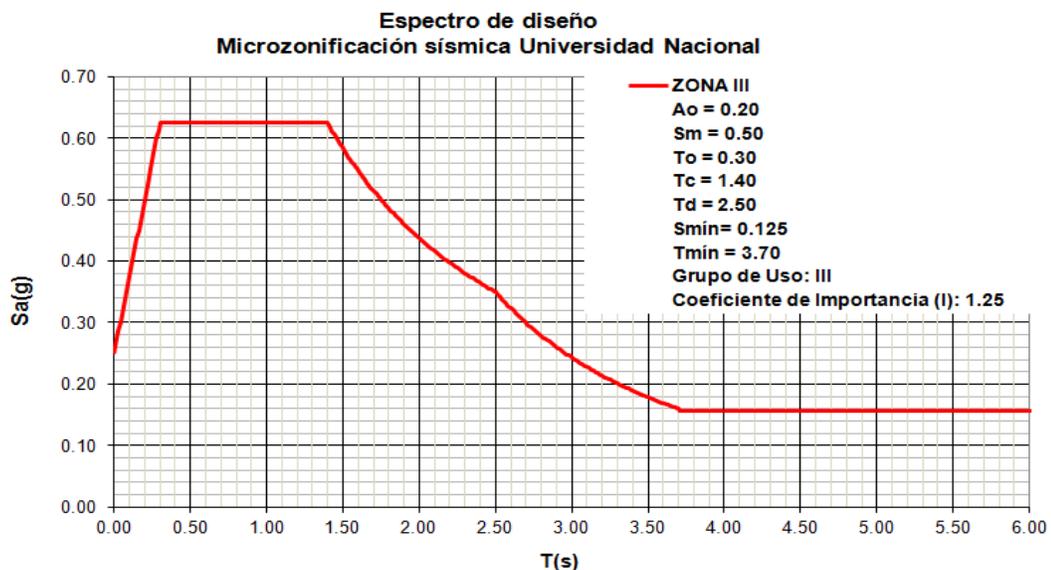


Ilustración 2-6: *Carga de Empozamiento Agua*

2.7. Carga sísmica

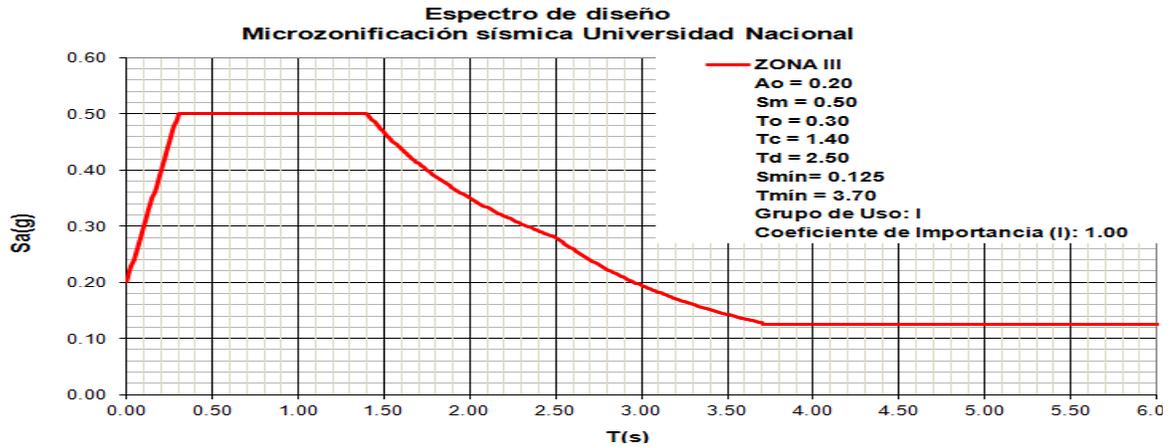
Las características de los movimientos sísmicos de diseño se expresan por medio de un espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g. El espectro de diseño utilizado en el modelo estructural, es obtenido según lo prescrito en el "ESTUDIO MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ 2.007" de acuerdo a la normatividad, la edificación en estudio se encuentra localizada en la Zona III, a continuación se muestra la Ilustración 2-7 del espectro elástico de respuesta para diseño, junto con los parámetros que lo constituyen

Ilustración 2-7: Espectro elástico de diseño de la zona III (Estudio microzonificación sísmica Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, 2007). Grupo de Uso: III



El espectro para la determinación de las fuerzas horizontales que luego se utilizó para calcular los desplazamientos horizontales se calculó con un coeficiente de importancia I igual a 1.0, según A.6.2.1.2 de la NSR-10. Este espectro es mostrado en la Ilustración 2-8.

Ilustración 2-8: Espectro elástico de diseño de la zona III (Estudio microzonificación sísmica Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, 2007). Grupo de uso: I.



2.8. Combinaciones de carga

En la tabla 7 se muestra las combinaciones de carga recomendadas en la NSR-10 y posteriormente modificadas en el anexo del decreto 92 de 2011 y utilizadas en el análisis de la estructura para el diseño de la misma son las siguientes:

Tabla 7. Definición de combinaciones de carga para diseño

ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
B241	Linear Add	Linear Static	ID	1.4
B241		Linear Static	D	1.4
B242A	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B242A		Linear Static	ID	1.2
B242A		Linear Static	L	1.6
B242A		Linear Static	LR	0.5
B242B	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B242B		Linear Static	ID	1.2
B242B		Linear Static	L	1.6
B242B		Linear Static	G	0.5
B242C	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B242C		Linear Static	ID	1.2
B242C		Linear Static	L	1.6
B242C		Linear Static	LE	0.5
B243A	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B243A		Linear Static	ID	1.2
B243A		Linear Static	LR	1.6
B243A		Linear Static	L	1.0
B243B	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B243B		Linear Static	ID	1.2
B243B		Linear Static	G	1.6

ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
B243B		Linear Static	L	1.0
B243C	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B243C		Linear Static	ID	1.2
B243C		Linear Static	LE	1.6
B243C		Linear Static	L	1.0
B245A	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B245A		Linear Static	ID	1.2
B245A		Response Spectrum	EX	1.0
B245A		Linear Static	L	1.0
B245B	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B245B		Linear Static	ID	1.2
B245B		Response Spectrum	EY	1.0
B245B		Linear Static	L	1.0
B246	Linear Add	Linear Static	D	0.9
B246		Linear Static	ID	0.9
B247A	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B247A		Linear Static	ID	1.2
B247A		Response Spectrum	EX	1.0
B247B	Linear Add	Linear Static	D	1.2
B247B		Linear Static	ID	1.2
B247B		Response Spectrum	EY	1.0
ENVOLVENTE	Envelope	Response Combo	B241	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B242A	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B242B	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B242C	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B243A	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B243B	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B243C	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B245A	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B245B	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B246	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B247A	1.0
ENVOLVENTE		Response Combo	B247B	1.0

Las combinaciones de carga para evaluar los desplazamientos horizontales ante solicitaciones de fuerza sísmica y de acuerdo a A.3.6.3 son los siguientes tabla 8:

Tabla 8. Combinaciones para evaluar derivas

Combinación	Nombre de combinación para Software			
1.0 D + 1.0 L + 1.0 LR + 1.0 FSX	DERIVX			
1.0 D + 1.0 L + 1.0 LR + 1.0 FSY	DERIVY			
Combinación	Type	Caso de carga	Factor	CaseType
DERIVX	ADD	MUERTA (D)	1,00	Static
DERIVX		SOBREIMPUESTA (ID)	1,00	Static
DERIVX		VIVA (L)	1,00	Static
DERIVX		VIVACUBIERTA (LR)	1,00	Static
DERIVX		FSX	1,00	Spectrum
DERIVY	ADD	MUERTA (D)	1,00	Static
DERIVY		SOBREIMPUESTA (ID)	1,00	Static
DERIVY		VIVA (L)	1,00	Static
DERIVY		VIVACUBIERTA (LR)	1,00	Static
DERIVY		FSY	1,00	Spectrum

2.9. Análisis De La Estructura

Dentro del análisis de la estructura, se realizó la determinación de las fuerzas (cortante, momento y torsión), giros y desplazamientos que actuaron en cada uno de los elementos de la estructura teniendo en cuenta su configuración dentro del modelo tridimensional, el análisis se realizó para cada una de las combinaciones de carga enunciadas anteriormente.

El análisis sísmico se llevó a cabo mediante el método del análisis dinámico; para la representación de los movimientos sísmicos se utilizó el procedimiento espectral. En este análisis se evaluó la deriva en algunos ejes verticales de las columnas, tal como lo permite la metodología descrita en A.6.3.1.2 de la NSR-10

La evaluación de los desplazamientos horizontales, incluye los efectos torsionales de toda la estructura. A partir de los centros de masa y rigidez de piso, se calcularon las excentricidades de piso. La excentricidad de cada piso se traduce en una fuerza sísmica por torsión en planta, que se adiciona a la fuerza de sismo por desplazamiento, las cuales sumadas se distribuirán a cada pórtico de acuerdo con la rigidez de piso de cada pórtico.

Se presenta a partir de lo anterior los resultados obtenidos del análisis del modelo estructural. Se muestran Ilustraciones 2-9 y 2-10 de los diagramas de momento bajo la carga gravitacional donde se encuentran los sitios donde son mayores los momentos, en las vigas de segundo piso con momentos que llegan máximo 315 kN-m y en las columnas de primer piso .que llegan máximo a 117 kN-m

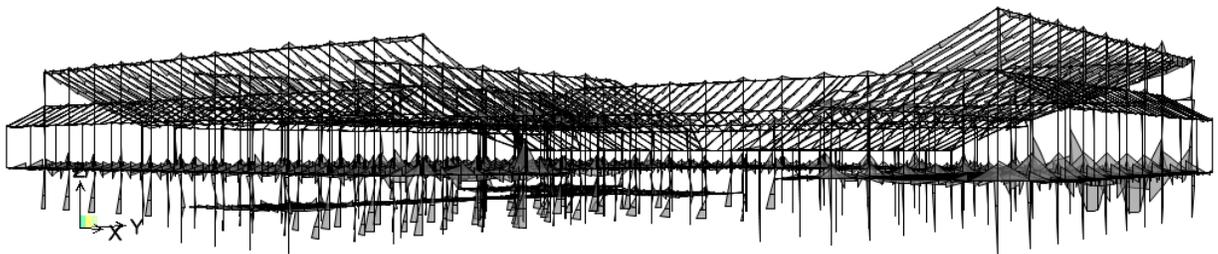


Ilustración 2-9: Diagrama de momento 3-3 (CARGA GRAVITACIONAL)

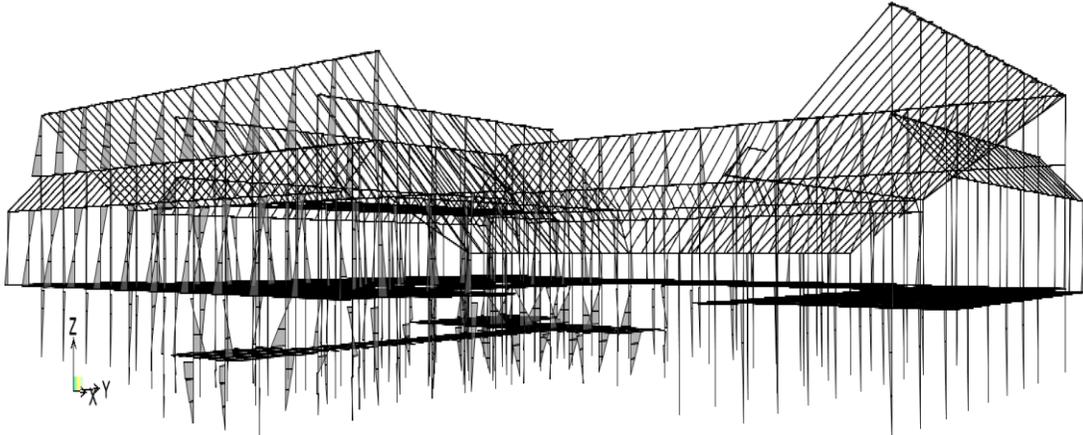


Ilustración 2-10: Diagrama de momento 2-2 (CARGA GRAVITACIONAL)

2.10. Análisis Dinámico Elástico Espectral

En la Ilustración 2-11 se muestra la representación de modo de vibración sexto que es donde las columnas están presentando movimientos torsionales, se evaluó utilizando procedimientos espectrales del análisis dinámico.

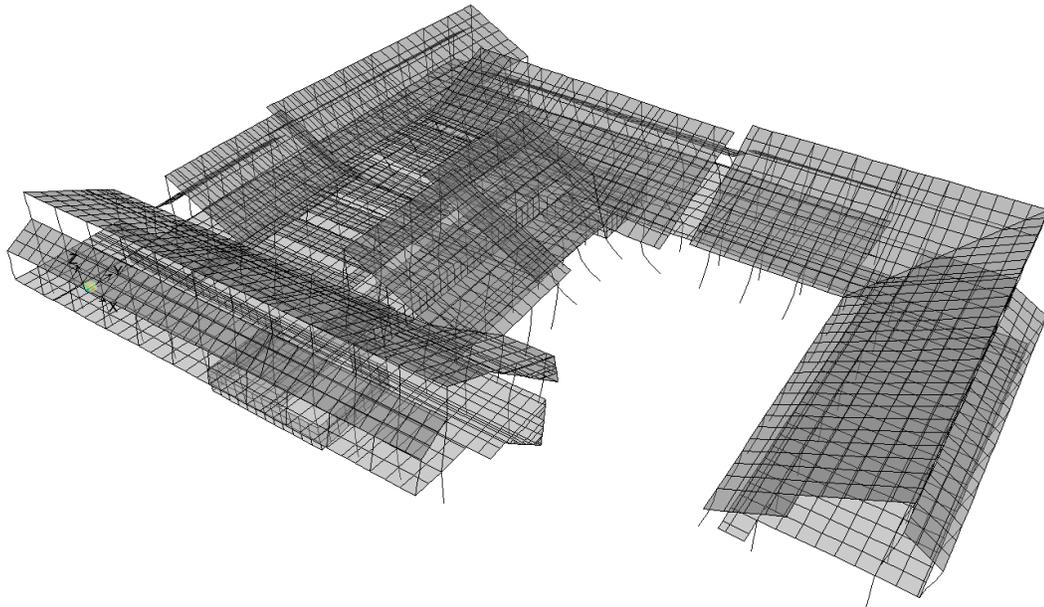


Ilustración 2-11: 6to modo de vibración $T= 0.19202$

No se realiza el diseño por el método de la fuerza horizontal equivalente, porque éste supone que la estructura vibra según el primer modo de vibración, es decir todas las masas se desplazan en el mismo sentido, y no considera el efecto de los modos restantes de vibración, además este método considera que las masas de la estructura se encuentran concentradas en los entresijos por esta razón y como la estructura se le fijaron 15 grados de libertad para el análisis modal que descompone la geometría de la deformación de la estructura en un número 15 de modos de vibración: La superposición de estos modos describe el movimiento de la estructura.

En la tabla 9 se muestra la relación de la participación de la masa en un porcentaje superior al 80% lo que nos muestra que con los 15 modos escogidos podemos seguir adelante en el análisis

Tabla 9. Relación de la participación de la masa modal

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.5107	80.6754
MODAL	Acceleration	UY	99.697	79.9899
MODAL	Acceleration	UZ	1.7097	0.0969

La tabla 10 ,11 y 12 se muestra la relación en la participación de masa en primer periodo de vibración tiene el 68% de la masa lo que nos permite seguir adelante en nuestro análisis

Tabla 10. Relación de la masa participante modal

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Unitless	Sec	Unitless											
1	0.686	1.35E-02	1.04E-01	1.39E-05	1.35E-02	1.04E-01	1.39E-05	7.13E-03	6.50E-04	4.14E-02	7.13E-03	6.50E-04	4.14E-02
2	0.625	6.40E-01	1.58E-01	1.30E-04	6.54E-01	2.62E-01	1.50E-04	1.27E-02	2.86E-02	2.14E-02	1.98E-02	2.93E-02	6.28E-02
3	0.597	1.43E-01	5.23E-01	5.84E-06	7.97E-01	7.85E-01	1.50E-04	4.91E-02	6.66E-03	7.45E-01	6.89E-02	3.59E-02	8.08E-01
4	0.219	3.44E-03	6.20E-03	2.00E-04	8.00E-01	7.91E-01	3.50E-04	1.51E-03	2.55E-05	1.10E-03	7.04E-02	3.59E-02	8.09E-01
5	0.196	5.54E-03	5.99E-06	3.90E-04	8.05E-01	7.91E-01	7.40E-04	2.50E-04	3.30E-04	1.07E-03	7.06E-02	3.63E-02	8.10E-01
6	0.192	8.97E-05	1.55E-06	4.73E-06	8.06E-01	7.91E-01	7.50E-04	4.17E-05	2.24E-06	2.65E-05	7.07E-02	3.63E-02	8.10E-01
7	0.190	7.72E-06	2.20E-06	1.18E-05	8.06E-01	7.91E-01	7.60E-04	6.14E-09	3.50E-04	1.63E-07	7.07E-02	3.66E-02	8.10E-01
8	0.188	1.67E-06	2.30E-04	7.92E-05	8.06E-01	7.91E-01	8.40E-04	9.61E-05	4.77E-05	1.20E-04	7.08E-02	3.67E-02	8.11E-01
9	0.186	2.35E-05	6.31E-05	1.38E-05	8.06E-01	7.92E-01	8.50E-04	2.80E-04	2.12E-05	1.79E-05	7.10E-02	3.67E-02	8.11E-01
10	0.180	7.48E-05	3.50E-04	1.34E-05	8.06E-01	7.92E-01	8.60E-04	1.46E-03	6.80E-04	1.50E-04	7.25E-02	3.74E-02	8.11E-01
11	0.177	5.30E-04	5.10E-04	6.53E-06	8.06E-01	7.92E-01	8.70E-04	7.60E-04	8.70E-04	1.08E-03	7.33E-02	3.83E-02	8.12E-01
12	0.176	4.00E-04	1.74E-05	2.51E-05	8.07E-01	7.92E-01	9.00E-04	2.20E-04	4.77E-05	8.22E-05	7.35E-02	3.83E-02	8.12E-01
13	0.172	6.71E-05	6.10E-04	1.01E-05	8.07E-01	7.93E-01	9.10E-04	5.45E-05	3.18E-07	3.34E-05	7.35E-02	3.83E-02	8.12E-01
14	0.170	1.55E-06	5.69E-03	5.87E-05	8.07E-01	7.99E-01	9.60E-04	5.40E-05	1.81E-05	6.60E-04	7.36E-02	3.83E-02	8.13E-01
15	0.166	6.67E-05	1.18E-03	4.52E-06	8.07E-01	8.00E-01	9.70E-04	5.90E-04	4.86E-05	9.85E-07	7.42E-02	3.84E-02	8.13E-01

Tabla 11. Factores de participación modal

Mode	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Unitless	Sec	KN-s2	KN-s2	KN-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m-s2	KN-m
1	0.686	7.40E-01	-2.06E+00	1.45E-02	10.36	4.20	58.42	9.80E-03	0.82
2	0.625	5.10E+00	2.53E+00	4.47E-02	-13.80	27.94	-42.05	9.80E-03	0.99
3	0.597	-2.41E+00	4.60E+00	-9.41E-03	-27.19	-13.48	248.04	9.80E-03	1.09
4	0.219	3.74E-01	5.02E-01	5.52E-02	4.77	-0.83	-9.54	9.80E-03	8.09
5	0.196	4.74E-01	1.56E-02	7.68E-02	1.93	-2.98	-9.39	9.80E-03	10.11
6	0.192	6.03E-02	-7.93E-03	8.47E-03	-0.79	-0.25	-1.48	9.80E-03	10.50
7	0.190	1.77E-02	9.45E-03	-1.34E-02	-0.01	3.11	0.12	9.80E-03	10.75
8	0.188	-8.23E-03	9.56E-02	-3.47E-02	1.20	1.14	3.14	9.80E-03	10.98
9	0.186	3.09E-02	-5.06E-02	1.44E-02	-2.07	-0.76	-1.22	9.80E-03	11.21
10	0.180	5.51E-02	1.18E-01	1.43E-02	4.69	-4.32	3.46	9.80E-03	11.93
11	0.177	-1.46E-01	1.44E-01	9.95E-03	3.38	4.88	9.42	9.80E-03	12.40
12	0.176	1.28E-01	2.65E-02	-1.95E-02	-1.80	-1.14	-2.61	9.80E-03	12.52
13	0.172	-5.22E-02	1.57E-01	-1.24E-02	0.91	-0.09	-1.66	9.80E-03	13.04
14	0.170	7.94E-03	-4.81E-01	2.98E-02	-0.90	-0.70	-7.38	9.80E-03	13.46
15	0.166	-5.20E-02	-2.19E-01	-8.28E-03	2.98	1.15	0.29	9.80E-03	13.98

Tabla 12. Periodos y frecuencias del Análisis Modal

Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	0.686	1.46	9.16	83.92
2	0.625	1.60	10.05	101.03
3	0.597	1.68	10.53	110.80
4	0.219	4.57	28.72	824.56
5	0.196	5.11	32.11	1030.80
6	0.192	5.21	32.72	1070.70
7	0.190	5.27	33.12	1096.60
8	0.188	5.33	33.46	1119.70
9	0.186	5.38	33.81	1142.90
10	0.180	5.55	34.88	1216.90
11	0.177	5.66	35.56	1264.50
12	0.176	5.69	35.73	1276.80
13	0.172	5.80	36.47	1329.80
14	0.170	5.90	37.04	1372.10
15	0.166	6.01	37.76	1425.90

En la tabla 13 se muestra el cortante en la base por el análisis dinámico

Tabla 13. Cortante Basal - Análisis dinámico

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
BASALX	31240	10961	53757	1373869	-1776853	824926
BASALY	11563	28729	53607	1476366	-1885095	1048120

2.11. Desplazamientos Horizontales - Revisión De La Deriva

Una vez llevado a cabo el análisis sísmico, se realizó la verificación del cumplimiento del límite de deriva tomando todos los ejes verticales de las columnas, tal como lo permite alternativamente A.6.3.1.2 de la NSR-10. La revisión de la deriva se realiza con las combinaciones de carga presentadas en la tabla 28, las cuales incluyen la fuerza sísmica sin reducción del coeficiente de disipación de energía R, y que fueron evaluadas a partir de la demanda del espectro de diseño y calculado con el coeficiente de Importancia I=1.0.

A continuación se presentan la tabla 14 que contienen el chequeo de los límites de deriva, donde muestra que el mayor esta con 3.4%

Tabla 14. Revisión de límites de deriva

COL	Desplazamientos								DERIVAS					
Eje	-	-	m	m	m	m	-	mm	mm	mm	mm	mm	%	3.9%
	Joint	CoordSys	GlobalX	GlobalY	GlobalZ	h	OutputCase	UX	UY	Delta x	Delta y	Deriva	Deriva	MAX.
	21	GLOBAL	0.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.9	38.9	0.8	2.5	2.6	0.1%	2.7%
	104	GLOBAL	0.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.1	36.4	10.2	0.3	10.2	0.2%	
	314	GLOBAL	0.00	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	36.1	89.9	36.1	96.9	2.7%	
	1	GLOBAL	0.00	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	23	GLOBAL	4.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.9	37.0	0.8	1.7	1.9	0.1%	2.7%
	105	GLOBAL	4.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.0	35.3	10.1	0.7	10.1	0.2%	
	316	GLOBAL	4.50	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	34.5	89.9	34.5	96.3	2.7%	
	3	GLOBAL	4.50	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	24	GLOBAL	9.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	35.9	0.8	1.8	2.0	0.1%	2.7%
	111	GLOBAL	9.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.0	34.1	10.1	0.8	10.1	0.2%	
	318	GLOBAL	9.00	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	33.3	89.9	33.3	95.9	2.7%	
	5	GLOBAL	9.00	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	33	GLOBAL	13.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	35.2	0.8	2.1	2.2	0.1%	2.7%
	112	GLOBAL	13.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.0	33.1	10.1	0.8	10.1	0.2%	
	331	GLOBAL	13.50	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	32.4	89.9	32.4	95.6	2.7%	
	20	GLOBAL	13.50	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	37	GLOBAL	18.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.9	34.8	0.8	2.1	2.3	0.1%	2.7%
	114	GLOBAL	18.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.1	32.7	10.2	0.9	10.2	0.2%	
	333	GLOBAL	18.00	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	31.8	89.9	31.8	95.4	2.7%	
	57	GLOBAL	18.00	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	39	GLOBAL	22.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.9	34.6	0.8	1.8	2.0	0.1%	3.4%
	115	GLOBAL	22.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	100.1	32.8	10.1	1.1	10.2	0.2%	
	346	GLOBAL	22.50	-3.15	5.42	2.75	DERIVAX - Max	89.9	31.7	88.4	30.7	93.6	3.4%	
	260	GLOBAL	22.50	-3.15	2.67	2.67	DERIVAX - Max	1.5	1.0	1.5	1.0	1.8	0.1%	
	58	GLOBAL	22.50	-3.15	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	41	GLOBAL	27.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	34.8	0.9	1.5	1.8	0.1%	3.4%
	116	GLOBAL	27.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.9	33.3	10.0	1.4	10.1	0.2%	
	350	GLOBAL	27.00	-3.15	5.42	2.75	DERIVAX - Max	89.9	31.9	89.1	29.3	93.8	3.4%	
	264	GLOBAL	27.00	-3.15	2.67	2.67	DERIVAX - Max	0.8	2.6	0.8	2.6	2.7	0.1%	
	66	GLOBAL	27.00	-3.15	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
	75	GLOBAL	31.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	35.5	1.0	1.4	1.7	0.1%	3.4%
	117	GLOBAL	31.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.8	34.1	9.9	1.6	10.0	0.2%	

360	GLOBAL	31.50	-3.15	5.42	2.75	DERIVAX - Max	89.9	32.5	89.3	30.3	94.3	3.4%	
274	GLOBAL	31.50	-3.15	2.67	2.67	DERIVAX - Max	0.6	2.2	0.6	2.2	2.3	0.1%	
86	GLOBAL	31.50	-3.15	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
76	GLOBAL	36.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.7	36.6	1.1	1.4	1.8	0.1%	3.4%
119	GLOBAL	36.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.6	35.2	9.7	1.7	9.8	0.2%	
370	GLOBAL	36.00	-3.15	5.42	2.75	DERIVAX - Max	89.9	33.4	88.4	33.1	94.4	3.4%	
284	GLOBAL	36.00	-3.15	2.67	2.67	DERIVAX - Max	1.5	0.4	1.5	0.4	1.6	0.1%	
106	GLOBAL	36.00	-3.15	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
77	GLOBAL	40.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.7	38.1	1.2	1.6	2.0	0.1%	2.7%
120	GLOBAL	40.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.6	36.5	9.6	1.8	9.8	0.2%	
374	GLOBAL	40.50	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	34.7	89.9	34.7	96.4	2.7%	
469	GLOBAL	40.50	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
80	GLOBAL	45.00	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	39.9	1.2	1.7	2.1	0.1%	2.7%
132	GLOBAL	45.00	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.7	38.2	9.8	1.9	9.9	0.2%	
384	GLOBAL	45.00	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	36.2	89.9	36.2	97.0	2.7%	
124	GLOBAL	45.00	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
91	GLOBAL	49.50	-3.15	13.76	3.02	DERIVAX - Max	100.8	42.0	1.1	2.1	2.4	0.1%	2.7%
133	GLOBAL	49.50	-3.15	10.74	5.32	DERIVAX - Max	99.7	39.9	9.8	1.9	10.0	0.2%	
394	GLOBAL	49.50	-3.15	5.42	3.60	DERIVAX - Max	89.9	38.0	89.9	38.0	97.6	2.7%	
135	GLOBAL	49.50	-3.15	1.82	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
922	GLOBAL	0.00	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.2	38.3	11.1	2.2	11.3	0.3%	1.8%
315	GLOBAL	0.00	5.85	5.42	5.42	DERIVAX - Max	90.0	36.1	90.0	36.1	97.0	1.8%	
482	GLOBAL	0.00	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
923	GLOBAL	4.50	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.1	36.5	11.1	2.0	11.3	0.3%	1.8%
317	GLOBAL	4.50	5.85	5.42	5.42	DERIVAX - Max	90.0	34.5	90.0	34.5	96.4	1.8%	
481	GLOBAL	4.50	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
147	GLOBAL	9.00	5.85	13.76	3.02	DERIVAX - Max	101.2	36.3	0.3	0.9	0.9	0.0%	1.8%
162	GLOBAL	9.00	5.85	10.74	1.54	DERIVAX - Max	100.9	35.4	-0.2	-0.1	0.2	0.0%	
924	GLOBAL	9.00	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.1	35.5	11.1	2.2	11.3	0.3%	
319	GLOBAL	9.00	5.85	5.42	5.42	DERIVAX - Max	90.0	33.3	90.0	33.3	96.0	1.8%	
6	GLOBAL	9.00	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					
784	GLOBAL	13.50	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.2	34.7	11.2	2.4	11.4	0.3%	1.8%
332	GLOBAL	13.50	5.85	5.42	5.42	DERIVAX - Max	90.0	32.4	90.0	32.4	95.7	1.8%	
31	GLOBAL	13.50	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0	-101.2	-34.3	106.9		
721	GLOBAL	18.00	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.2	34.3	11.2	2.5	11.4	0.3%	1.8%
334	GLOBAL	18.00	5.85	5.42	5.42	DERIVAX - Max	90.0	31.8	90.0	31.8	95.5	1.8%	
34	GLOBAL	18.00	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0	-101.3	-34.2	106.9		
729	GLOBAL	22.50	5.85	9.20	3.78	DERIVAX - Max	101.3	34.2	11.2	2.6	11.5	0.3%	3.3%
347	GLOBAL	22.50	5.85	5.42	2.75	DERIVAX - Max	90.0	31.7	84.3	30.6	89.7	3.3%	
261	GLOBAL	22.50	5.85	2.67	2.67	DERIVAX - Max	5.8	1.0	5.8	1.0	5.9	0.2%	
60	GLOBAL	22.50	5.85	0.00	-	DERIVAX - Max	0.0	0.0					

La estructura no está cumpliendo los límites de derivas están por encima en promedio 2 veces

2.12. Índice de flexibilidad de La Estructura Existente

De la evaluación de la deriva se determinó el índice de flexibilidad de piso. A partir de la información de la tabla anterior, se concluyó que el índice de flexibilidad de la estructura es de 3.7.

2.13. Capacidad de disipación de energía R' para la evaluación de la estructura existente.

De acuerdo con el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 en A.10.4.2.4 se definió un valor de R' para la estructura existente, de acuerdo con el sistema estructural que corresponde y de acuerdo al análisis realizado de la estructura en el capítulo 2.1 y que corresponda a la realidad de la edificación.

- a. *IRREGULARIDAD EN ALTURA*: según la tabla A.3-7 y la Ilustración A.3-2 (irregularidades en altura) la estructura presenta irregularidades en altura. Por lo tanto, $\phi_a = 0.8$.
- b. *IRREGULARIDAD EN PLANTA*: De acuerdo a la arquitectura en planta del edificio, éste presenta una irregularidad en planta, por tanto se concluye que el valor a signar a ϕ_p es 0.8.
- c. *AUSENCIA DE REDUNDANCIA EN EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA SÍSMICA*: de acuerdo con lo que prescribe A.3.3.8.2, para edificaciones DMO, Se asignó un valor igual a la unidad ($\phi_r = 1.0$) ya que el sistema estructural de resistencia sísmica lo componen dos o más vanos compuestos y están localizados en la periferia a ambos lados de la planta en las dos direcciones principales.
- d. *COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA BÁSICO R_0* : Se asume que la edificación objeto del presente estudio tiene un capacidad de disipación de energía muy bajo, teniendo en cuenta la insuficiencia de refuerzo tanto a flexión negativa como a cortante en las zonas de confinamiento de las vigas, y la inadecuada separación de estribos en las zonas de confinamiento de las columnas. Por tanto, se prevé una insuficiencia de acero en las secciones que provea al sistema aporticado una buena ductilidad ante cargas horizontales, como las producidas por la acción de un sismo. De esta forma, se adopta un valor de $R_0 = 3.9$; Es decir que se puede definir un valor de R' de la siguiente manera:

$$R' = 0.8 \times 0.8 \times 1.0 \times 3.9$$

$$R' = 2.5$$

2.14. Revisión del diseño de los elementos del sistema estructural

Según lo que se prescribe en A.10.1.4 etapas 6 a 8 debe determinarse la resistencia de los elementos de la estructura.

La resistencia efectiva N_{ef} de los elementos que componen los pórticos se evaluó con la expresión $N_{ef} = \phi_c \phi_e N_{ex}$

Se definió el factor ϕ_c (calidad del diseño y la construcción de la estructura) igual a 1.0 y el factor ϕ_e (calidad del estado de la edificación) igual a 1.0

En la tabla 15 se muestran los valores de los coeficientes de resistencia utilizados en el modelo.

Tabla 15. Coeficiente de calidad del diseño y la construcción, y estado de la edificación.

Coeficiente	N_{ex}	ϕ_c	ϕ_e	N_{ef}
Tensión	0.90	1.0	1.0	0.90
Compresión	0.70	1.0	1.0	0.70
Cortante y torsión	0.85	1.0	1.0	0.85

En la tabla 16 se muestra de acuerdo a los valores de la tabla 15 afectados por los coeficientes e introducidos al modelo estructural.

Tabla 16. Preferencias de diseño para elementos de concreto reforzado asignadas al procesador de diseño.

Design Code	ACI 318-05/IBC 2003
Seismic Design Category	A
Number of Interaction Curves	24
Number of Interaction Points	11
Consider Minimum Eccentricity	Yes
Phi (Tension Controlled)	0.9
Phi (Compression Controlled Tied)	0.65
Phi (Compression Controlled Spiral)	0.7
Phi (Shear and/or Torsion)	0.75
Phi (Shear Seismic)	0.6
Phi (Shear Joint)	0.85
Pattern Live Load Factor	0.75
Utilization Factor Limit	0.95

2.17. Geometría y secciones del modelo.

Dentro del nuevo modelo estructural que hace parte de la alternativa de reforzamiento estructural, se mantuvo la geometría y las secciones del modelo que se tuvieron en cuenta para el análisis de vulnerabilidad, en el modelo de reforzamiento se modelaron amortiguadores de 300 kN a 600 kN, aparte de los amortiguadores en el modelo se incluyó vigas IPE 300 en los pórticos que tienen los amortiguadores, también en el modelo se incluyó un revestimiento de las caras de las columnas con platinas metálicas formando un enchaquetamiento, para las columnas que siguieron sobreesforzadas, en sap 2000 se realiza por el modulo llamado "Section Designer"

Propiedades de los materiales definidas en el modelo de reforzamiento

La tabla 17 muestra las propiedades mecánicas introducidas al modelo reforzado

Tabla 17. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el modelo de reforzamiento												
Material	Type	Sym Type	Temp Depend	Unit Weight	Unit Mass	E1	G12	U12	Fy	Fu	EffFy	EffFu
Text	Text	Text	Yes/No	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2	Unitless	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
A36	Steel	Isotropic	No	76.973	7.849	2.00E+08	7.69E+07	0.3	248211	399896	372317	439886
A572Gr50	Steel	Isotropic	No	76.973	7.849	2.00E+08	7.69E+07	0.3	344738	448159	379212	492975
A706	Rebar	Uniaxial	No	76.973	7.849	2.00E+08			413685	551581	455054	606739

2.18. Propiedades mecánicas de los amortiguadores de fricción pasiva

Los amortiguadores utilizados para reforzar la edificación son de 300 kN a 600 kN, para el sótano y primer piso, y para el segundo y tercer piso dependiendo la intensidad del cortante de piso. Las propiedades mecánicas de los disipadores están relacionadas en la siguiente tabla.

La tabla 18 muestra las propiedades de rigidez efectiva y amortiguamiento efectivo obtenidos en la metodología explicada en el capítulo 2-17

Tabla 18. Propiedades de los elementos "Link" tipo Plastic Wen					
Link	DOF	Fixed	NonLinear	TransKE	TransCE
Text	Text	Yes/No	Yes/No	KN/m	KN-s/m
D300-527	U1	No	No	25570	3340

D300-576	U1	No	No	21344	2838
D300-941	U1	No	No	22814	6499
D400-527	U1	No	No	34093	4149
D400-576	U1	No	No	28458	3553
D500-527	U1	No	No	42616	4808
D500-576	U1	No	No	35573	4152
D500-941	U1	No	No	38023	3288
D600-527	U1	No	No	51139	5314
D600-576	U1	No	No	42687	4636

La Ilustración 2-13 muestra el modelo del polideportivo de la universidad nacional con los elementos tipo Links del sap 2000 dibujados como se realizó esto, se describirá en el capítulo 2-19.

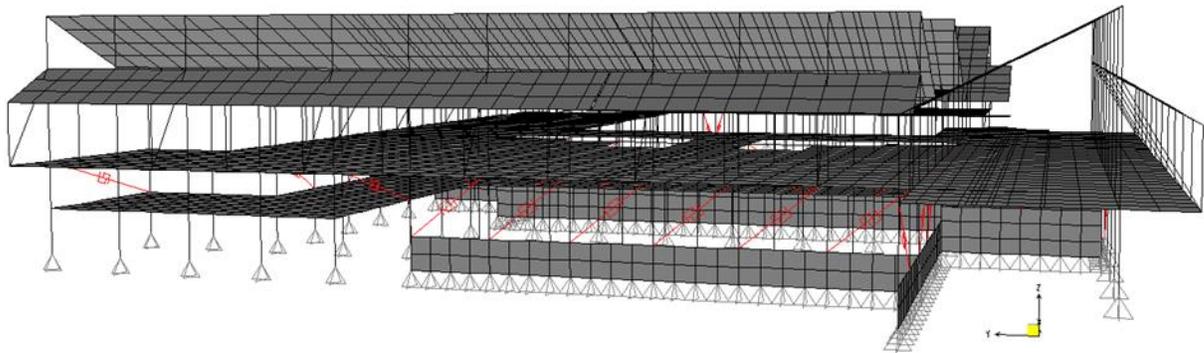


Ilustración 2-13: Modelo estructural con amortiguadores (links)

En la tabla 19 se muestra la denominación de los amortiguadores en el modelo, características del perfil diagonal estructural que funciona como riostra, precarga que tiene el amortiguador en el modelo, la altura de entrepiso, deriva en porcentaje que se pretende alcanzar, desplazamiento en metros para cumplir la deriva estimada, la luz del pórtico, la longitud de la diagonal y el ángulo que forma cuando instalamos la riostra.

Tabla 19. Propiedades geométricas disipadores elementos “Link” tipo Plastic Wen

Designación	Perfil diagonal	Precarga P	h_{piso}	Deriva	Desplazamiento d	Luz pórtico L	Long. Diagonal L_b	Ángulo diag.
		(kN)	(m)	%h	(m)	(m)	(m)	(rad)
D600-576	Inducol 150 x150 x 7 mm	600	3,6	0,50%	0,018	4,5	5,76	0,675
D600-527	Inducol 150 x150 x 7 mm	600	2,75	0,50%	0,014	4,5	5,27	0,549
D500-941	Inducol 150 x150 x 7 mm	500	2,75	0,50%	0,014	9	9,41	0,297
D500-576	Inducol 150 x150 x 7 mm	500	3,6	0,50%	0,018	4,5	5,76	0,675
D500-527	Inducol 150 x150 x 7 mm	500	2,75	0,50%	0,014	4,5	5,27	0,549
D400-576	Inducol 150 x150 x 7 mm	400	3,6	0,50%	0,018	4,5	5,76	0,675
D400-527	Inducol 150 x150 x 7 mm	400	2,75	0,50%	0,014	4,5	5,27	0,549
D300-941	Inducol 150 x150 x 7 mm	300	2,75	0,50%	0,014	9	9,41	0,297

D300-576	Inducol 150 x150 x 7 mm	300	3,6	0,50%	0,018	4,5	5,76	0,675
D300-527	Inducol 150 x150 x 7 mm	300	2,75	0,50%	0,014	4,5	5,27	0,549

2.19. Desarrollo del procedimiento lineal estático para mecanismos de disipación dependientes del desplazamiento

Según los conceptos preliminares ver capítulo 1-8 *"Este procedimiento es válido siempre y cuando la estructura permanezca en condición elástica después de instalados los disipadores y sometida a las máximas cargas sísmicas previstas por el espectro sísmico de la zona y que el amortiguamiento efectivo provisto por los amortiguadores no sobrepase el 30% del amortiguamiento del crítico en el primer modo."* Como se revisa en la tabla 22 (ver tabla)

2.19.1. Cálculo amortiguamiento efectivo

Determinamos el cortante por piso y se toman los 20 valores con los cortantes más elevados de la edificación, se identifican las zonas con cortantes de piso más elevados por piso de la edificación, para conocer las zonas donde es la prioridad, para corregir la estructura instalando un amortiguador de fricción AF, se tiene en cuenta las limitaciones de tipo arquitectónico como corredores, puertas y vanos en uso, para la ubicación de estos.

La Ilustración 2-14 se muestra una gráfica donde están los cortantes más elevados de la edificación en veinte puntos donde, se estuvo prioridad de instalar un disipador, esta grafica se extrajo de las tablas que arroja el sap 2000 y se graficó, sus valores se pueden ver en los anexos

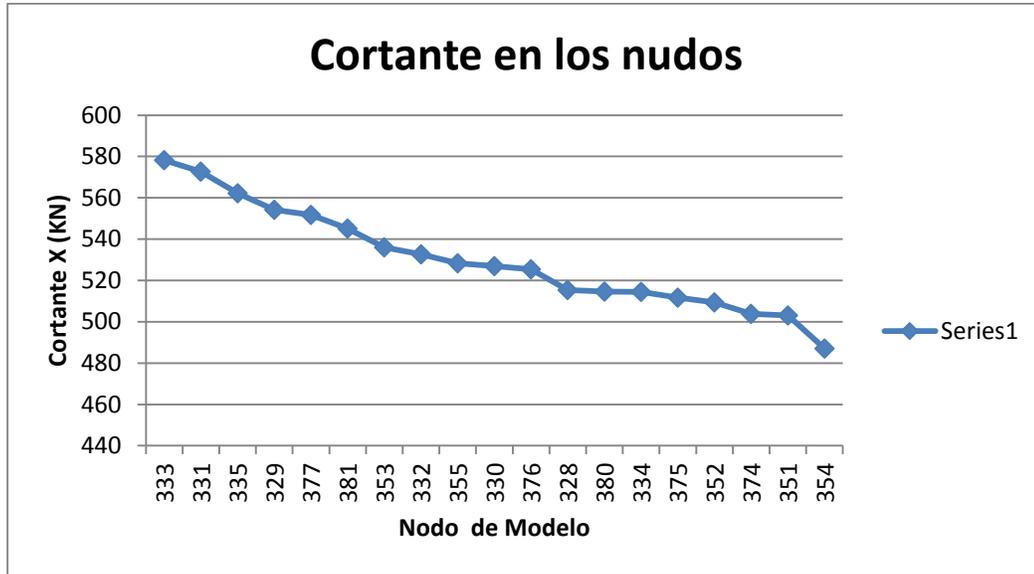


Ilustración 2-14: Cortante Nodos Estructura

A estos valores que se tienen en la Ilustración 2-14, le determinamos una prioridad del más alto al menor y se asignaron un disipador con la precarga adecuada que pueda tomar este cortante en un rango de 25% por debajo garantizando que esta precarga se activara con sismos menores al de diseño.

La Tabla 20 muestra el orden de prioridad en las que se instalaron los disipadores en la edificación, la última casilla es el nombre que se designó para introducir el modelo en sap 2000.

Tabla 20. Prioridad puntos para la instalación de disipadores

-	-	-	kN	m	m	m	m	rad	°	kN	kN	kN
Orden	Prioridad	Join	V en X	i	i-1	Luz	Diag	α	α	AFP (P)	AFP (P)	AFP
1	2	331	573	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	733	600	D600-576
2	8	332	533	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	682	600	D600-576
3	10	330	527	5,42	2,67	9,00	9,41	0,30	17	551	500	D500-941
4	14	334	514	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	659	500	D500-576
5	15	375	512	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	655	500	D500-576
6	17	374	504	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	591	500	D500-527
7	18	351	503	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	590	500	D500-527
8	20	373	466	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	546	500	D500-527
9	22	350	441	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	517	400	D400-527
10	23	371	435	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	557	500	D500-576
11	24	372	429	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	502	400	D400-527

12	25	348	420	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	492	400	D400-527
13	26	369	416	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	488	400	D400-527
14	27	368	412	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	483	400	D400-527
15	31	385	386	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	494	400	D400-576
16	35	326	363	5,42	2,67	9,00	9,41	0,30	17	379	300	D300-941
17	38	393	353	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	452	400	D400-576
18	61	343	233	5,42	2,67	4,50	5,27	0,55	31	273	300	D300-527
19	63	315	232	5,42	1,82	4,50	5,76	0,67	39	297	300	D300-576

Calculamos las propiedades de cada disipador de acuerdo lo expuesto en el capítulo preliminar 1-7. La tabla 21 muestra el cálculo de las propiedades de los disipadores, como son K_e rigidez efectiva del disipador y C_e amortiguamiento efectivo.

Tabla 21. Propiedades Mecánicas disipadores elementos "Link" tipo Plastic Wen

Calculo de propiedades de disipadores

Designación	Elongación			Área (m ²)	$K_d=(P/x_0)$ (kN/m)	$K_e (AE/Lb)$ (kN/m)	Periodo T (s)
	Diagonal d_y	Disipador D_o	Diag+Disip X_o max				
	(m)	(m)	(m)				
D600-576	0.00435	0.00970	0.014056	0.00397	42687.49	137891.02	0.675
D600-527	0.00398	0.00775	0.011733	0.00397	51139.45	150678.19	0.675
D500-941	0.00592	0.00723	0.013150	0.00397	38023.29	84439.47	0.675
D500-576	0.00363	0.01043	0.014056	0.00397	35572.91	137891.02	0.675
D500-527	0.00332	0.00841	0.011733	0.00397	42616.21	150678.19	0.675
D400-576	0.00290	0.01115	0.014056	0.00397	28458.33	137891.02	0.675
D400-527	0.00265	0.00908	0.011733	0.00397	34092.97	150678.19	0.675
D300-941	0.00355	0.00960	0.013150	0.00397	22813.98	84439.47	1.675
D300-576	0.00218	0.01188	0.014056	0.00397	21343.75	137891.02	0.675
D300-527	0.00199	0.00974	0.011733	0.00397	25569.72	150678.19	0.675

Calculo de propiedades de disipadores

Designación	Modelo Wen						
	$C_d=(2.3P*Do*T^*)/(\pi^2*x_0^2)$	$C_e=(2*A*E*T^*)/(\pi^2*Lb)$	Razon de Rigidez	Exponente	Masa	Peso	Trabajo realizado W_j
	kN*s/m	kN*s/m	pos fluencia	de fluencia	kg	kN	kN-m
D600-576	4636.07	18861.23	0.0001	10	179.88	1798.77	23.29
D600-527	5314.10	20610.31	0.0001	10	164.61	1646.12	18.60
D500-941	3287.80	11549.93	0.0001	10	293.74	2937.43	14.46

D500-576	4152.10	18861.23	0.0001	10	179.8 8	1798.77	20.86
D500-527	4807.61	20610.31	0.0001	10	164.6 1	1646.12	16.83
D400-576	3552.65	18861.23	0.0001	10	179.8 8	1798.77	17.85
D400-527	4149.44	20610.31	0.0001	10	164.6 1	1646.12	14.52
D300-941	6499.18	28660.95	0.0001	10	293.7 4	2937.43	11.52
D300-576	2837.71	18861.23	0.0001	10	179.8 8	1798.77	14.26
D300-527	3339.60	20610.31	0.0001	10	164.6 1	1646.12	11.69

Con las propiedades calculadas en la tabla 21 se introdujo las variables al procesador de cálculo en esta caso SAP 2000, el en menú Define, Section properties y se escogió un elemento tipo **Link/Support Properties...** Ver Ilustración 2-15

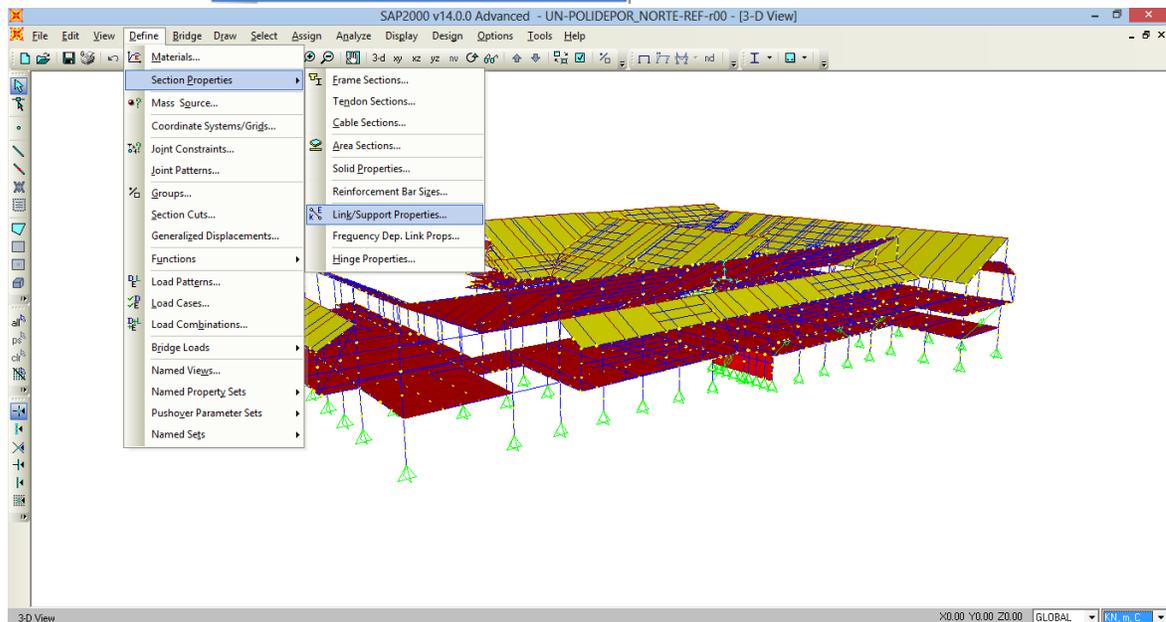


Ilustración 2-15: Definición Elementos tipo Link

Escogemos link tipo plastic (Wen) este es el que asemeja a un amortiguador de fricción.

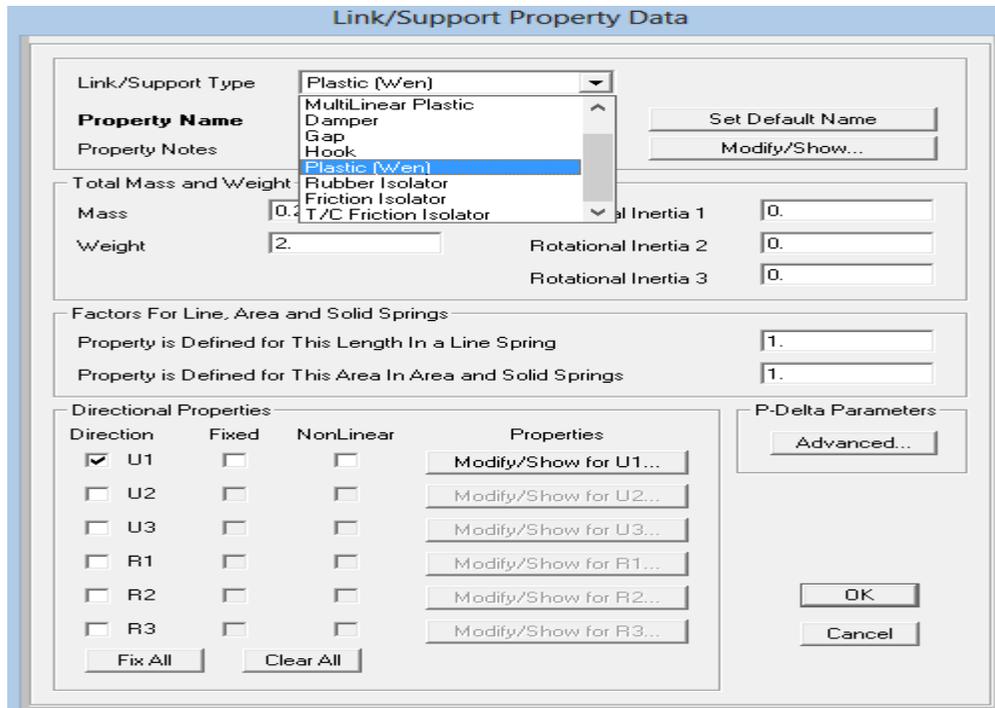


Ilustración 2-16: Link Plastic Wen

Colocamos la masa y el peso del disipador calculado en la tabla 21, escogemos la dirección u1 en la propiedades del disipador colocamos los valores (effective stiffness) rigidez efectiva que es valor K_d y amortiguamiento efectivo que es el valor C_d de la tabla 21 y se muestra a continuación el encabezado de la formula y sus valores calculados de cada disipador desarrollando sus fórmulas.

$$K_d = (P/x_0) \quad C_d = (2.3P * D_0 * T^*) / (\pi^2 * x_0^2)$$

(kN/m)	kN*s/m
42687	4636
51139	5314
38023	3288
35573	4152
42616	4808
28458	3553
34093	4149
22814	6499
21344	2838
25570	3340

La Ilustración 2-17 muestra el menú Link y como se introducen los datos Kd y Cd para el caso de un amortiguador de 300 kN

Designación	$K_d=(P/x_0)$ (kN/m)	$C_d=(2.3P*Do*T^*)/(\pi^2*x_0^2)$ kN*s/m
D600-576	42687	4636
D600-527	51139	5314
D500-941	38023	3288
D500-576	35573	4152
D500-527	42616	4808
D400-576	28458	3553
D400-527	34093	4149
D300-941	22814	6499
D300-576	21344	2838
D300-527	25570	3340

Ilustración 2-17: Propiedades Dirección Link Plastic Wen

En la Ilustración 2-18 muestra cómo se dibuja un link vamos al menú Draw y seleccionamos la opción draw 2 joint link

21	1083	1085	23	1098	1104	24	1108	1123	33	1146	1176	37	208	455	1272	39	1274	12
2442	2444	2446	2448	2450	2452													
2441	2443	2445	2447	2449	2451													
104	1390	1392	105	1386	1388	111	1382	1384	112	1378	1380	114	1374	1376	115	1370	13	
3130	2422	2424	2440	2438	3138													
3131	2421	2423	2439	2437	3139													
3132	2421	2423	2439	2437	3140													
114	59	67	316	30	46	318	81	82	331	87	113	333	123	139	346	140	14	
121	397	782	886	884	890													
99	181	415	885	882	893													
	3	5	20	57	118													
					118													
					58													

Ilustración 2-18: Dibujo elemento Link

Se escogió el tipo de link que se utilizó y se dibujó, se procuró siempre dibujar de izquierda a derecha, en esta caso escogimos el nodo 331 donde está el cortante más, Elevado de la estructura y así lo hicimos sucesivamente con cada uno de los puntos que le dimos mayor prioridad de acuerdo a la tabla (20) donde le dimos prioridad.

Se analizó la estructura vimos que el link fue escogido correctamente en el nodo 331 el disipador está siendo activado pro que toma el cortante de piso requerido para el diseño de 600kN en la Ilustración 2-19 muestra para el caso que está tomando un cortante de en un rango de -486kN y 516 kN lo que nos garantiza que el disipador va estar activo y la estructura no llegara al rango inelástico recordemos que este caso es para sismo sin reducir por el factor R.

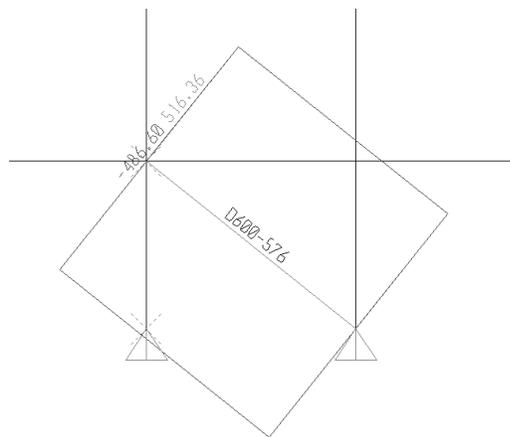


Ilustración 2-19: Elemento Link Analizado

Una vez obtenidos los datos de todos los disipadores en la tabla 22 calculamos el amortiguamiento efectivo de la estructura y revisamos que cumpla con las especificaciones del ASCE-41 que explicamos en la parte preliminar en el capítulo 1-6

Tabla 22. Amortiguamiento Efectivo con disipadores elementos "Link" tipo Plastic

Wen

$V_i \cdot d_i$ kN-m	$V_i \cdot d_i / 2$ kN-m
850	425
850	425
b	5%
bamorti	24%
b _{eff}	29%

De la tabla 22 vemos que el amortiguamiento que están dando los amortiguadores a la estructura es del 24% para llegar a un total de amortiguamiento del 29% cumpliendo con lo especificado con el ASCE-41, revisamos nuevamente derivas ver tabla 23 y sobre esfuerzos ver tabla 24 y tendremos derivas máximas del 0.6% en comparación de las derivas de la estructura sin reforzar que estaba de 3.5%.

Tabla 23. Derivas con amortiguadores (AF)

656	GLOBAL	36.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-52.8	-98.8	-6.3	-11.4	13.0	0.3%	3.5%
372	GLOBAL	36.00	37.35	5.42	2.75	DERIVAY--Min	-46.5	-87.4	-45.2	-83.9	95.3	3.5%	
286	GLOBAL	36.00	37.35	2.67	2.67	DERIVAY--Min	-1.3	-3.5	-1.3	-3.5	3.8	0.1%	
63	GLOBAL	36.00	37.35	0.00	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
580	GLOBAL	40.50	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-52.7	-101.1	-6.2	-11.5	13.0	0.3%	3.6%
382	GLOBAL	40.50	37.35	5.42	2.75	DERIVAY--Min	-46.5	-89.6	-45.3	-88.3	99.2	3.6%	
296	GLOBAL	40.50	37.35	2.67	2.67	DERIVAY--Min	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	1.8	0.1%	
515	GLOBAL	40.50	37.35	0.00	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
577	GLOBAL	45.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-52.7	-103.6	-6.2	-11.2	12.8	0.3%	2.9%
392	GLOBAL	45.00	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-46.5	-92.4	-46.5	-92.4	103.5	2.9%	
73	GLOBAL	45.00	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
636	GLOBAL	49.50	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-52.7	-106.6	-6.2	-11.0	12.6	0.3%	3.0%
398	GLOBAL	49.50	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-46.5	-95.6	-46.5	-95.6	106.3	3.0%	
79	GLOBAL	49.50	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
1034	GLOBAL	54.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-49.9	-103.3	-3.4	-4.0	5.2	0.1%	3.0%
1017	GLOBAL	54.00	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-46.5	-99.3	-46.5	-99.3	109.6	3.0%	
2738	GLOBAL	54.00	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
656	GLOBAL	36.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-9.8	-22.1	-2.3	-5.8	6.2	0.2%	0.6%
372	GLOBAL	36.00	37.35	5.42	2.75	DERIVAY--Min	-7.5	-16.4	-7.0	-15.5	17.1	0.6%	
286	GLOBAL	36.00	37.35	2.67	2.67	DERIVAY--Min	-0.5	-0.8	-0.5	-0.8	1.0	0.0%	
63	GLOBAL	36.00	37.35	0.00	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
580	GLOBAL	40.50	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-9.8	-22.2	-2.3	-5.8	6.2	0.2%	0.6%
382	GLOBAL	40.50	37.35	5.42	2.75	DERIVAY--Min	-7.5	-16.4	-7.0	-15.9	17.4	0.6%	
296	GLOBAL	40.50	37.35	2.67	2.67	DERIVAY--Min	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	0.8	0.0%	
515	GLOBAL	40.50	37.35	0.00	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
577	GLOBAL	45.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-9.8	-21.7	-2.3	-5.3	5.7	0.2%	0.5%
392	GLOBAL	45.00	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-7.5	-16.5	-7.5	-16.5	18.1	0.5%	
73	GLOBAL	45.00	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
636	GLOBAL	49.50	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-9.8	-21.5	-2.3	-5.0	5.5	0.1%	0.5%
398	GLOBAL	49.50	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-7.5	-16.5	-7.5	-16.5	18.1	0.5%	
79	GLOBAL	49.50	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					
1034	GLOBAL	54.00	37.35	9.20	3.78	DERIVAY--Min	-9.8	-21.5	-2.3	-4.9	5.4	0.1%	0.5%
1017	GLOBAL	54.00	37.35	5.42	3.60	DERIVAY--Min	-7.5	-16.6	-7.5	-16.6	18.2	0.5%	
2738	GLOBAL	54.00	37.35	1.82	-	DERIVAY--Min	0.0	0.0					

Lo mismo sucede con el sobre esfuerzo que se presentó en las columnas que tenían incapacidad de resistir cargas laterales de sismo, revisamos algunas columnas con cuantías inferiores al 1% y las enchaquetamos con platinas A-36 para confinar columnas y darles mayor ductilidad.

Tabla 24. Sobresfuerzos con amortiguadores fricción (AF)

<i>Tabla. Índice de sobre-esfuerzo en columnas</i>			<i>Tabla. Diseño de columnas a reforzar (enchaquetamiento con platina A-36)</i>		
Frame	DesignSect	Col-PMMRatio	Frame	DesignSect	PMMRatio
2483	COL30X30-4N8-E325	31.3	1636	R-P33-COL30X30-8N7-E325	0.8
2486	COL30X30-4N8-E325	28.5	2760	COL30X30-4N8-E325	0.8
2489	COL30X30-4N8-E325	15.9	1864	R-P23-COL30X30-4N6-E325	0.8
2484	COL30X30-4N8-E325	15.2	2763	COL30X30-4N7-E325	0.8
2480	COL30X30-4N8-E325	15.1	452	COL34X15-6N4-E225	0.8
1556	COL30X30-4N6-E225	13.7	2766	COL30X30-4N7-E325	0.8
1448	COL30X30-4N6-E225	13.7	1865	R-P33-COL30X30-8N7-E325	0.8
2487	COL30X30-4N8-E325	13.4	1541	R-P3T-COL30X30-4N6-E325	0.8
2492	COL30X30-4N8-E325	12.7	458	COL34X15-6N4-E225	0.8
1550	COL30X30-4N6-E225	12.5	1454	R-P3T-COL30X30-4N6-E325	0.8
1442	COL30X30-4N6-E225	12.2	1964	R-P33-COL30X30-8N7-E325	0.8
1721	COL30X30-4N7-E325	11.7	2777	COL30X30-4N7-E325	0.8
1718	COL30X30-4N7-E325	11.7	478	COL34X15-6N4-E225	0.8
1544	COL30X30-4N6-E225	11.5	1576	COL30X30-8N7-E325	0.8
1558	COL30X30-4N6-E225	11.3	487	COL34X15-6N4-E225	0.8
843	COL30X30-4N7-E325	11.3			

2.18. Comportamiento resistente de la estructura con Amortiguadores de fricción AF en Polideportivo Universidad Nacional

La edificación presentó un grado de vulnerabilidad alto ante eventos sísmicos, Al evaluar en rango elástico la estructura con la propuesta de reforzamiento de amortiguadores de fricción AF la respuesta ante cargas sísmica de la edificación, con los amortiguadores de fricción (AF) se observó que la magnitud de los momentos flectores de orden sísmico disminuyó; esto se explica, porque la energía sísmica se disipa en la fricción de los amortiguadores. Está previsto que se instalen 41 amortiguadores de fricción AF, el dimensionamiento y características de tensionamiento de éstos para el reforzamiento son: 300 kN, 400 kN, 500 kN y 600 kN, con carreras máximas de trabajo del orden de 20 mm.

Los amortiguadores de fricción AF mejoraron notoriamente el problema de sobredeflexión que se tenía en la estructura, es decir que estos dispositivos "detuvieron" el desplazamiento excesivo del edificio, haciéndolo eficientemente rígido; aunque no basta con la instalación simplemente de éstos dispositivos para contrarrestar los problemas de resistencia que poseen los elementos estructurales, particularmente las columnas que se deben mejorar con enchaquetamientos de las columnas para aumentar su ductilidad.

La deriva máxima calculada en la presente propuesta es de 0,7%; aunque son casos aislados (ver detalles en la tabla de cálculo de deriva). La deriva promedio es de 0.5%

3. Explicacion edificio modelo rehabilitado con disipadores-Armenia sin modelamiento paso a paso

Este capítulo tres se presenta una explicación, de cómo se plantea una vulnerabilidad sísmica y como a través de los disipadores de fricción, se brinda una solución de reforzamiento que se aplicó, el modelamiento en sap 2000, los ensayos que se realizaron y algunos disipadores de fricción ya montados se muestra registro fotográfico.

Para el análisis de vulnerabilidad y diseño del reforzamiento de la estructura se utilizaron amortiguadores pasivos de fricción (AF) con cargas de 150 kN a 1200 kN que es lo que se encuentra en el mercado. En una primera fase del estudio se determinó el estado de vulnerabilidad que tenía la estructura, encontrando deficiencias en derivas y en el estado de sobreesfuerzo de los elementos (columnas), a partir del cual se adelantó una segunda fase con una solución estructural a los problemas de sobre-esfuerzos y flexibilidad que tenía la edificación con disipadores de fricción AF.

3.1. Descripción

El Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios, es una Empresa Social del Estado, creada como un establecimiento Público que presta servicios de salud a usuarios del Departamento del Quindío y área de influencia, en forma integral y oportuna.

La edificación del hospital departamental universitario del Quindío san Juan de dios - E.S.E. fue diseñada y construida antes de la entrada en vigencia del primer Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes (CCCSR-84) y de la última norma

NSR-10, Por lo cual la edificación fue construida sin considerar cargas de sismo de ningún tipo, siendo así que hoy sus sistemas estructurales presentaron un alto grado de vulnerabilidad sísmica requiriendo su reforzamiento en cumplimiento de la normatividad vigente por ser consideradas sitios de atención inminente en caso de desastres.

Como parte de las actividades adelantadas, se elaboró la evaluación estructural y el análisis de vulnerabilidad sísmica del Hospital de acuerdo con la NSR-10. Para cumplir con este propósito, las edificaciones existentes fueron evaluadas de acuerdo con el nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requerimientos de la norma.

3.2. Localización

El Hospital Departamental Universitario Del Quindío San Juan De Dios E.S.E. está ubicado en la ciudad de Armenia, zona de amenaza sísmica alta afectada por dos importantes estructuras geológicas, denominadas Falla de Armenia y Falla El Danubio, definidas por el INGEOMINAS (1992) como estructuras con actividad geotectónica, las cuales se interceptan al norte de la ciudad, Estas fallas se consideran satélites de la Falla Silvia-Pijao, del Sistema de Romeral, sistemas de fallas que se prolongan, desde la República del Ecuador hasta la costa Caribe Colombiana, por aproximadamente 1200 km de longitud, el hospital Se encuentra ubicado en el sector norte de la ciudad, en la avenida Bolívar (ver Ilustración No. 3-1)

La zona del Hospital objeto del presente estudio está dividida en tres (3) zonas



Ilustración 3-1: Ubicación Hospital

Separadas por juntas de dilatación, el acceso, escaleras y ascensores conforman una zona, las otras dos zonas están ubicadas en el costado izquierdo y superior del acceso, tal como se muestra en la Ilustración No. 3-2



Ilustración 3-2: Localización Esquemática.

3.3. Descripción Del Hospital

El Hospital, tiene un área construida de 13.500 m² aproximadamente y está conformado por 3 zonas donde se disponen los consultorios, área administrativa, habitaciones y demás dependencias de servicios.

La edificación corresponde a una estructura construida mediante pórticos en concreto reforzado, placas de entrepiso aligeradas y armadas en una dirección. Presenta simetría en altura, mientras que en planta presenta irregularidad si no se tienen en cuenta las juntas de dilatación existentes. Consta de un sótano, nueve (9) pisos, cuarto de máquinas y cubierta

A partir de la verificación de los planos arquitectónicos y haciendo la confrontación con lo observado en el sitio de la obra, se pudo determinar que el edificio objeto del presente estudio corresponde a los bloques 1, 2 y 3, cuyo uso principal es el Hospitalario.

3.4. Documentación existente.

Para dar inicio al estudio y análisis de la estructura, se realizó una recopilación de la información existente, con la cual se determinarán las características del estado actual de la edificación. Dentro de esta recopilación se obtuvo la siguiente información:

- Secciones de cada uno de los elementos estructurales (Planos arquitectónicos y verificación en el sitio).
- Características del suelo de fundación (estudio de suelos).
- Usos actuales de cada edificación (planos arquitectónicos).
- Estado de las edificaciones (inspección visual del Hospital).
- Cargas adicionales (equipos, tanque, etc.).

3.5. Secciones Y Refuerzos

Tomando como punto de partida los planos del levantamiento arquitectónico del Hospital y a partir de la inspección en el sitio de los diferentes elementos (vigas, viguetas, columnas, placas, etc.) que conforman la estructura, se obtuvo la sección y el refuerzo con que cuentan actualmente los diferentes elementos estructurales. Estos elementos están contenidos en los planos estructurales que hacen parte integral del presente documento.

En la Ilustración 3-3. Anterior se muestra la planta del edificio que hace parte del presente estudio de reforzamiento (bloques 1, 2 y 4), los cuales están conformados por pórticos en concreto reforzado.

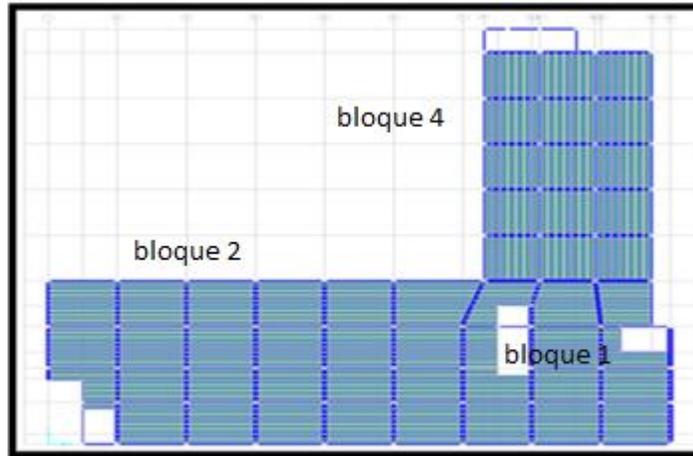


Ilustración 3-3: Esquema de las secciones.

Las placas en general están conformadas por vigas en un sentido y viguetas en el otro sentido. Las placas de entrepiso tienen una sección de 40. cm. Tanto para vigas como para columnas encontramos varios tipos de secciones.

El refuerzo de cada uno de los elementos que conforman la estructura actual es presentado en los planos que hacen parte del estudio y que han servido como punto de referencia dentro del estudio de vulnerabilidad de la edificación.

3.6. Características del suelo de fundación

A partir del estudio de suelos adelantado por la firma consultora Millán y Asociados Ltda., se encontró que el suelo de fundación de las estructuras existentes se compone de estratos intercalados de limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas, las cuales presentan resistencia media y una compacidad media. A partir de las características del terreno, se determinó por medio de las teorías de Terzaghi y Meyerhof que la presión máxima admisible del suelo es de 165 kN/m². Los edificios que componen el Hospital están cimentados sobre zapatas aisladas.

3.7. Ensayos e inspecciones

Para determinar las características de los elementos que conforman la estructura de la edificación mencionada, se realizaron los siguientes ensayos:

- **Ensayos No Destructivos:** Detección de acero de refuerzo, pruebas esclerométricas, pruebas de ultrasonido, prueba detector de refuerzo.
- **ensayos destructivos:** Regatas de inspección.

En resumen los ensayos realizados fueron:

- Mapeo de acero de refuerzo: Mediante el Equipo Detector de detección electromagnética que permite ubicar las varillas existentes en una sección de concreto reforzado y determinar con una variabilidad de 1/8" el diámetro del refuerzo (Ilustracion 2-4).
- Ensayo de Ultrasonido: Con este ensayo se determinó un rango de resistencias del concreto del elemento estudiado (Ilustracion 3-4).
- Ensayo de esclerometria: Con este ensayo y con unas relaciones de rebote se obtuvo un aproximado de la resistencia del concreto (Ilustracion 3-4).
- Toma de Núcleos inalterados: A partir de la extracción de un pequeño cilindro del elemento objeto de estudio, se determinó en el laboratorio su resistencia a la compresión.





Ilustración 3-4: Prueba esclerómetro, ultrasonido, detector Refuerzo



Ilustración 3-5: Regatas de Inspección columnas, Placa y viga

La Ilustración 3-5 se realizaron regatas para verificar aceros de refuerzo, corroborar que los flejes son redondos en columnas, verificar espesores de recubrimiento.

3.8. Cargas adicionales

Además de las cargas muertas existentes en la edificación, se encontraron otras cargas que deben ser tenidas en cuenta dentro del análisis estructural:

- Equipos: 3 kN/m²
- Tanques de reserva de agua: 25 kN/m² y 14 kN/m².

3.9. Resumen Del Proyecto

La siguiente tabla 25 muestra un resumen de la información recopilada de cómo está constituida la estructura, sistema estructural, material principal de la estructura.

Tabla 25. Resumen Proyecto

HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS (ARMENIA-QUINDÍO)	
Tipo de uso de la edificación	Institución Hospitalaria
Materiales de la estructura principal	Concreto reforzado
Material de las fachadas y muros	Mampostería
Material de la cubierta	Placa en concreto reforzado
Número de niveles Edificio	Sótano y siete (9) niveles.
Sistema de resistencia sísmica	Sistema pórticos en concreto reforzado.
Tiempo Construcción	Data años 50

A partir de la información recopilada y descrita anteriormente, se realizó la modelación de la edificación mencionada, teniendo en cuenta las características de geometría de los elementos y las propiedades de los materiales constitutivos de la estructura, con el fin de determinar la resistencia de cada uno de los elementos que la conforman.

3.10. Geometría y secciones del modelo

El edificio está conformado por diez (10) ejes en el sentido X y diez (10) ejes en el sentido Y. Las luces en el sentido X son todas de 6.60 m, mientras que en el sentido Y existen luces de 6.00 m, 6.60 m y una de 5.00 m. La altura de cada uno de los pisos es de 3.65 m.

La modelación de la estructura se llevó a cabo con los datos que existen en los planos del levantamiento arquitectónico y con los datos obtenidos en el sitio, utilizándose para tal efecto vigas, viguetas y columnas de diferentes secciones en la siguiente tabla 26 se presenta las geometrías con las que se alimentó el modelo.

Tabla 26. Secciones geométricas del modelo

TABLE: Frame Section Properties 01 - General				
SectionName	Material	Shape	t3	t2
Text	Text	Text	m	m
APOYO	OTHER	Rectangular	0.2	0.2
COL40X40-S1	CONC	Rectangular	0.4	0.4
COL40X40-S2	CONC	Rectangular	0.4	0.4
COL45X45	CONC	Rectangular	0.45	0.45
COL50X50	CONC	Rectangular	0.5	0.5
COL50X60	CONC	Rectangular	0.5	0.6
COL55X55	CONC	Rectangular	0.55	0.55
COLCIR40	CONC	Circle	0.4	
VIG30X40	CONC	Rectangular	0.4	0.3
VIG50X40	CONC	Rectangular	0.4	0.5
VIG65X40	CONC	Rectangular	0.4	0.65
VIG70X40	CONC	Rectangular	0.4	0.7
VTA12X40	CONC	Rectangular	0.4	0.12

3.11. Materiales

Las características y propiedades de los materiales que se utilizaron dentro de la modelación, obtenidas mediante ensayos y suministradas en el estudio de vulnerabilidad fueron las siguientes tabla 27 :

Tabla 27. Materiales del modelo

Material	Resistencia MPa	Módulo de Elasticidad MPa
Concreto	$f'_c = 28$	1.81E+04
Mampostería	$f'_m = 10$	9.0E+03
Refuerzo $\geq \frac{1}{2}$ "	$F_y = 420$	2.4E+05
Refuerzo $\leq \frac{3}{8}$ "	$F_y = 240$	2.4E+05

3.12. Cargas

Dentro de la información necesaria para realizar la modelación de la estructura, es necesario ingresarle al programa el valor de las cargas muertas adicionales, vivas y de sismo que están actuando sobre la edificación.

- Cargas Muertas Adicionales

El programa hace la valoración de la carga muerta producida por los elementos que conforman la estructura, dependiendo de la geometría y características del peso unitario de los materiales que la conforman (concreto reforzado), mientras que las cargas muertas adicionales serán suministradas específicamente.

Para las cargas correspondientes a las placas de entrepiso, se toma un espesor del recubrimiento superior de 0.05m con un peso específico de 22kN/m^3 , un espesor de afinado de 0.03m con peso específico de 22kN/m^3 .

Para la carga correspondiente a las particiones se toma del valor indicado en la NSR-10 donde para una altura de entrepiso de 2.2m el valor debe ser de 3.5kN/m^2 en este caso se determina el valor equivalente para cada altura real de entrepiso, resultando un valor promedio de 5.0kN/m^2

En la tabla 28 se presenta análisis de la evaluación de las cargas muertas adicionales que actúan sobre la estructura.

Tabla 28. Carga Muerta Adicional

Placa aligerada:				
Loseta superior	0.05	x	23	= 1.15 kN/m ²
Loseta inferior	0.03	x	23	= 0.69 kN/m ²
Viguetas	0.12	x	0.33 x 23	= 1.27 kN/m ²
	0.72			
Casetón			0.35	= 0.35 kN/m ²
Acabado en granito + alistado			15	= 1.5 kN/m ²
Muros divisorios en mampostería	3.5	x	3.15	= 5.01 kN/m ²
			2.2	
				<u>9.97 kN/m²</u>

La Ilustración 3-6 muestra el modelo de la estructura cargada con carga muerta, adicionalmente se evaluó y aplicó una carga adicional por el peso de un tanque de reserva de agua ubicado en el último nivel de la edificación; esta carga es de 25kN/m^2 y otro tanque que existe en el séptimo piso, el cual se modelo con una carga de 14kN/m^2

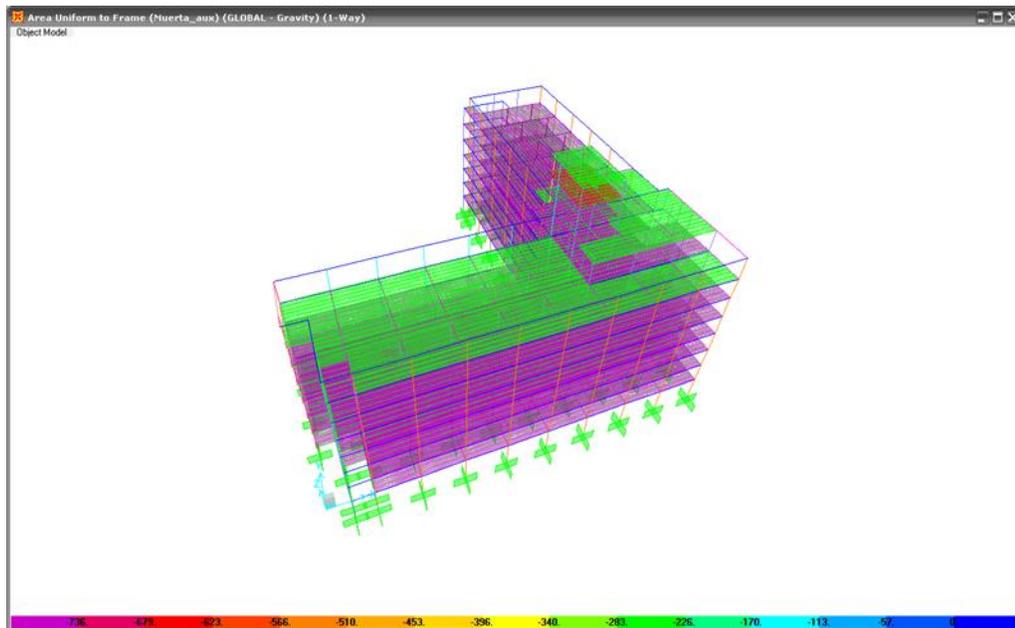


Ilustración 3-6: Modelo Con Carga Muerta

- Cargas Vivas

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 establece unos valores mínimos que deben ser utilizados dentro del diseño de edificaciones de tipo hospitalario; estos valores son los siguientes:

Cuartos – habitaciones – Oficinas: 2.0kN/m^2 .

Salas de Operación: 4.0kN/m^2 .

La Ilustración 3-7 muestra el modelo de la estructura cargada con carga viva

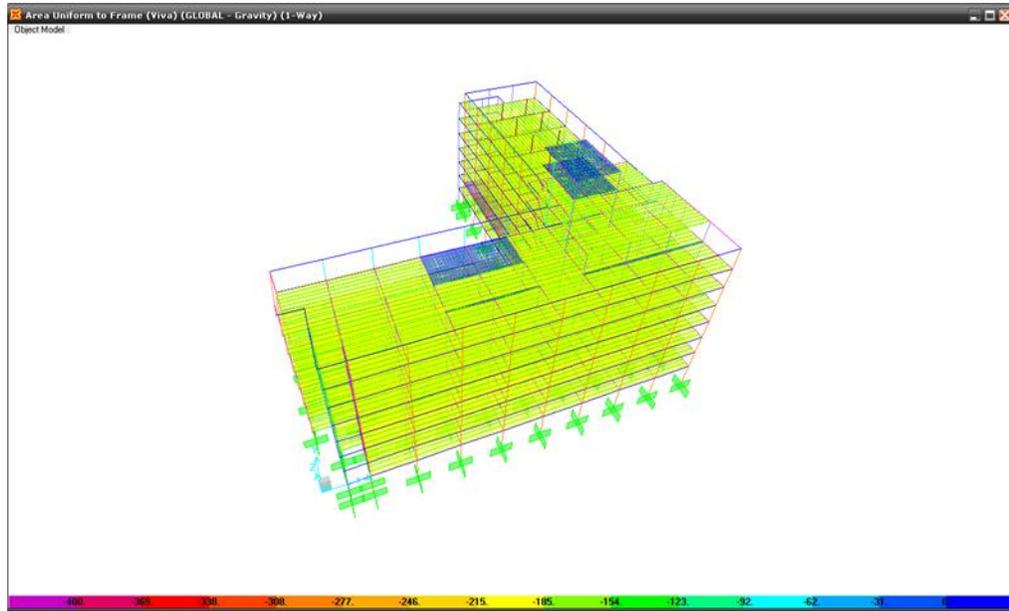


Ilustración 3-7: Modelo Con Carga viva

3.13. Cargas sísmica

Armenia está ubicada en una zona de sismicidad alta, por lo tanto se utilizó el siguiente espectro de diseño correspondiente a la zona 2 de la microzonificación sísmica de esta ciudad.

ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO ESPECTRAL

Microzonificación de Armenia

Zona:	2
T_0 =	0.10
T_c =	0.70
T_L =	3.00
A_m =	0.55
$S_a \text{ max}$ =	1.20

Periodo Fundamental Aprox.

(T)

Altura	25.00
Ct=	0.08
T=C _t h ^α =	0.894
No de pisos =	7

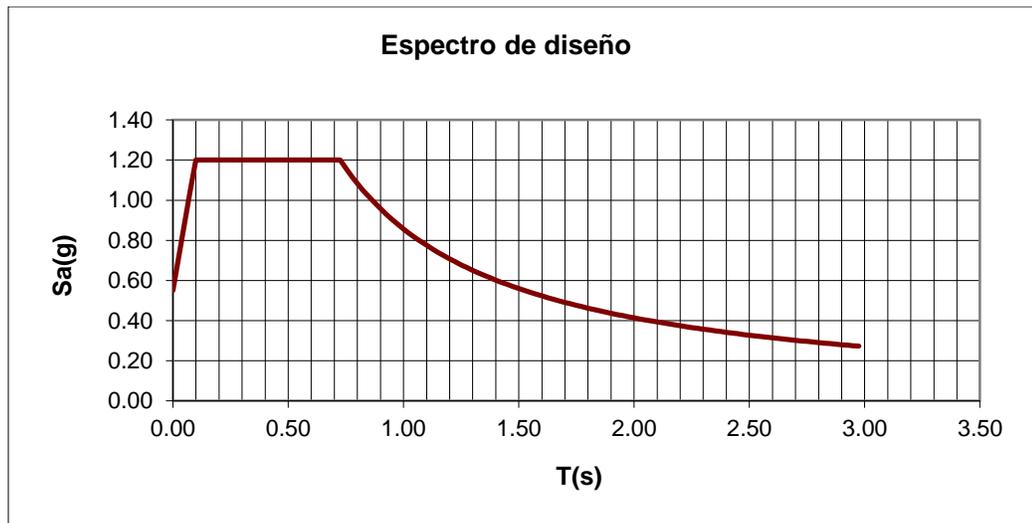


Ilustración 3-8: Espectro Diseño Zona 2 Armenia

Igualmente se hará la revisión del umbral de daño especificado en la NSR-10 para edificaciones indispensables (Grupo IV)

Espectro del umbral de daño

Periodo Fundamental Aprox. (T_a)

Altura edificación 25.55

Ct= 0.08

T=C_th^α = 0.91

Espectro del Umbral de daño

T₀=0.25

T_d=0.9375

Cuando T<0.25s

$$S_a = A_d(1.0 + 8xT)$$

Cuando $0.25s < T < T_d$

$$S_a = 3.0A_d$$

$$S_a = 0.12$$

Cuando $T_d < T$

$$S_a = (1.5A_d S) / T$$

$$S_a = 0.09/T$$

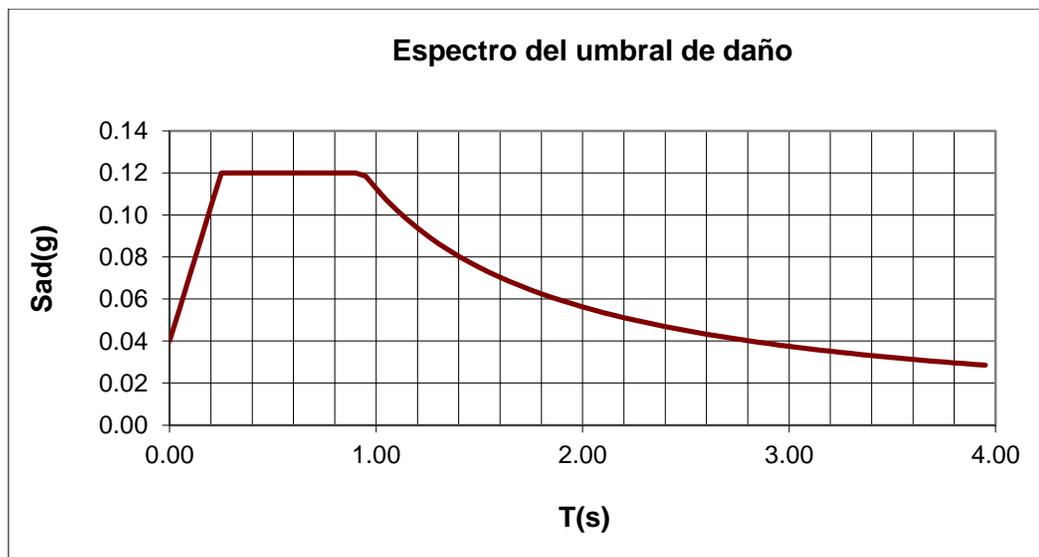


Ilustración 3-9: Espectro Umbral de daño

3.14. Combinaciones De Carga

En la tabla 29 atendiendo lo dispuesto en el reglamento colombiano de construcciones sismo resistente NSR-10 se utilizaron las siguientes combinaciones de cargas dentro de la modelación de la edificación:

Tabla 29. Combinaciones Carga

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
1.4(D+F)	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.4

1.4(D+F)			Linear Static	MUERTA_AUX	1.4
1.4(D+F)			Linear Static	Fluido	1.4
1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.2
1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr			Linear Static	MUERTA_AUX	1.2
1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr			Linear Static	Fluido	1.2
1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr			Linear Static	VIVA	1.6
1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr			Linear Static	Viva_cubierta	0.5
0.9D+Ex	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0.9
0.9D+Ex			Linear Static	MUERTA_AUX	0.9
0.9D+Ex			Linear Static	Fluido	0.9
0.9D+Ex			Response Spectrum	SismoX	0.5
0.9D+Ey	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0.9
0.9D+Ey			Linear Static	MUERTA_AUX	0.9
0.9D+Ey			Linear Static	Fluido	0.9
0.9D+Ey			Response Spectrum	SismoY	0.5
1.2D+1Ex+0.5L	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.2
1.2D+1Ex+0.5L			Linear Static	MUERTA_AUX	1.2
1.2D+1Ex+0.5L			Linear Static	Fluido	1.2
1.2D+1Ex+0.5L			Response Spectrum	SismoX	0.5
1.2D+1Ex+0.5L			Linear Static	VIVA	0.5
1.2D+1Ey+0.5L	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.2
1.2D+1Ey+0.5L			Linear Static	MUERTA_AUX	1.2
1.2D+1Ey+0.5L			Linear Static	Fluido	1.2
1.2D+1Ey+0.5L			Response Spectrum	SismoY	0.5
1.2D+1Ey+0.5L			Linear Static	VIVA	0.5
0.9D+Sx	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0.9
0.9D+Sx			Linear Static	MUERTA_AUX	0.9
0.9D+Sx			Linear Static	Fluido	0.9
0.9D+Sx			Response Spectrum	SismoX	1
0.9D+Sy	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	0.9
0.9D+Sy			Linear Static	MUERTA_AUX	0.9
0.9D+Sy			Linear Static	Fluido	0.9
0.9D+Sy			Response Spectrum	SismoY	1
1.2D+Sx+0.5L	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.2
1.2D+Sx+0.5L			Linear Static	MUERTA_AUX	1.2
1.2D+Sx+0.5L			Linear Static	Fluido	1.2
1.2D+Sx+0.5L			Response Spectrum	SismoX	1
1.2D+Sx+0.5L			Linear Static	VIVA	0.5
1.2D+Sy+0.5L	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA	1.2
1.2D+Sy+0.5L			Linear Static	MUERTA_AUX	1.2
1.2D+Sy+0.5L			Linear Static	Fluido	1.2

1.2D+Sy+0.5L			Response Spectrum	SismoY	1
1.2D+Sy+0.5L			Linear Static	VIVA	0.5

3.15. Modelación Estructural.

A partir de los datos citados anteriormente y en los cuales se describieron las características geométricas de cada elemento que conforma la estructura, al igual que las propiedades del material y el refuerzo que tiene cada uno de ellos, se procedió a realizar la modelación del edificio Ilustración 3-10, utilizando para tal fin el programa SAP2000. Se presenta en la siguiente Ilustración el modelo del edificio.

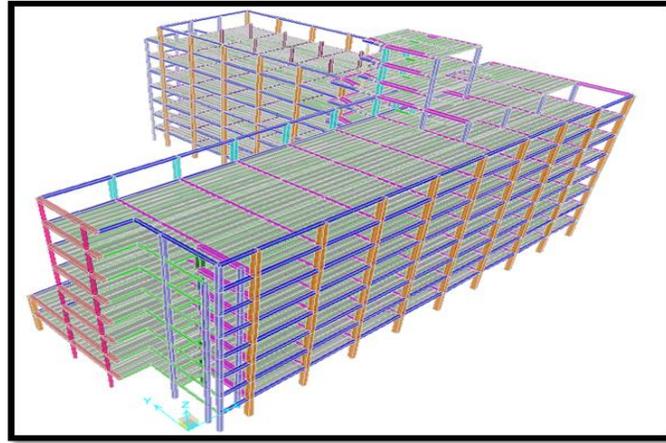


Ilustración 3-10: Modelo Estructural

3.15.1. Sección y refuerzo de elementos estructurales

A partir de las inspecciones realizadas a los diferentes elementos estructurales del edificio, presentamos a continuación el resumen de las diferentes secciones tipo de la estructura, así como su refuerzo longitudinal y transversal.

Tabla 30. Secciones del modelo

TABLE: Frame Section Properties 01 - General								
SectionName	Material	Shape	t3	t2	Area	TorsConst	I33	I22
Text	Text	Text	m	m	m2	m4	m4	m4
APOYO	OTHER	Rectangular	0.2	0.2	0.04	0.000225	0.000133	0.000133
COL40X40-S1	CONC	Rectangular	0.4	0.4	0.16	0.003605	0.002133	0.002133
COL40X40-S2	CONC	Rectangular	0.4	0.4	0.16	0.003605	0.002133	0.002133
COL45X45	CONC	Rectangular	0.45	0.45	0.2025	0.005775	0.003417	0.003417

COL50X50	CONC	Rectangular	0.5	0.5	0.25	0.008802	0.005208	0.005208
COL50X60	CONC	Rectangular	0.5	0.6	0.3	0.012402	0.00625	0.009
COL55X55	CONC	Rectangular	0.55	0.55	0.3025	0.012887	0.007626	0.007626
COLCIR40	CONC	Circle	0.4		0.125664	0.002513	0.001257	0.001257
VIG30X40	CONC	Rectangular	0.4	0.3	0.12	0.001944	0.0016	0.0009
VIG50X40	CONC	Rectangular	0.4	0.5	0.2	0.005474	0.002667	0.004167
VIG65X40	CONC	Rectangular	0.4	0.65	0.26	0.008555	0.003467	0.009154
VIG70X40	CONC	Rectangular	0.4	0.7	0.28	0.009605	0.003733	0.011433
VTA12X40	CONC	Rectangular	0.4	0.12	0.048	0.000187	0.00064	0.000058

3.15.2. Refuerzo Existente En Las Secciones

Tomando como base los datos obtenidos en la inspección a los elementos estructurales (vigas, viguetas, columnas y placas), se adelantó la comparación del refuerzo existente contra el refuerzo obtenido del modelo estructural, el cual se realizó partiendo de las características actuales de la edificación, pero teniendo en cuenta las solicitaciones contempladas en la NSR-10, Conexiones Y Apoyos

Las columnas se consideran empotradas en la base y tal como se mencionó anteriormente están apoyadas en zapatas. Las conexiones entre columnas y vigas principales son de tipo rígido y las viguetas se consideran monolíticas.

3.16. Disipación De Energía

La edificación objeto del presente estudio tiene un capacidad de disipación de energía muy bajo puesto que ya ha soportado varios eventos sísmicos, por lo tanto tomamos un $R_o = 2.50$, La edificación presenta irregularidad en altura, por lo tanto le podemos dar un valor de $\Phi_a = 0.90$, mientras que en planta también presenta irregularidad, por lo tanto $\Phi_p = 0.90$.

El valor final del coeficiente de disipación de energía en el rango inelástico es entonces:

$$R = \Phi_p \times \Phi_a \times R_o = 0.90 \times 0.90 \times 2.50 = 2.00$$

3.17. Resultados generales del modelo

3.17.1. Análisis modal

En la tabla 31 se puede observar el porcentaje de participación de las masas en cada uno de los modos de vibración encontrados.

Tabla 31. Participación Modal

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.9136	93.7152
MODAL	Acceleration	UY	99.8048	91.1977
MODAL	Acceleration	UZ	1.0042	0.1832

Tabla 32. Modos de Participación

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.206102	0.562	0.125	3.941E-07
MODAL	Mode	2	2.111991	0.159	0.599	5.613E-07
MODAL	Mode	3	1.670755	0.045	0.046	1.179E-08
MODAL	Mode	4	0.869222	0.048	0.002961	0.00004317
MODAL	Mode	5	0.777767	0.006122	0.068	0.0000292
MODAL	Mode	6	0.64828	0.069	0.008231	0.00006821
MODAL	Mode	7	0.603035	0.0009138	0.03	0.000003539
MODAL	Mode	8	0.561871	0.005178	0.021	0.00001134
MODAL	Mode	9	0.519155	0.0004666	0.00003678	0.000007183
MODAL	Mode	10	0.461183	0.003217	0.001866	0.000569
MODAL	Mode	11	0.400739	0.037	0.0005531	0.0006711
MODAL	Mode	12	0.385249	0.001126	0.01	0.000428

Tabla 33. Modos periodos y frecuencias

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	2.206102	0.45329	2.8481	8.1116
MODAL	Mode	2	2.111991	0.47349	2.975	8.8507
MODAL	Mode	3	1.670755	0.59853	3.7607	14.143

MODAL	Mode	4	0.869222	1.1505	7.2285	52.251
MODAL	Mode	5	0.777767	1.2857	8.0785	65.262
MODAL	Mode	6	0.64828	1.5425	9.6921	93.937
MODAL	Mode	7	0.603035	1.6583	10.419	108.56
MODAL	Mode	8	0.561871	1.7798	11.183	125.05
MODAL	Mode	9	0.519155	1.9262	12.103	146.48
MODAL	Mode	10	0.461183	2.1683	13.624	185.62
MODAL	Mode	11	0.400739	2.4954	15.679	245.83
MODAL	Mode	12	0.385249	2.5957	16.309	266

Tabla 34. Factores Participación modal

TABLE: Modal Participation Factors						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Kgf-s2	Kgf-s2	Kgf-s2
MODAL	Mode	1	2.206102	990.009969	465.935378	0.828673
MODAL	Mode	2	2.111991	525.587914	-1021.55526	-0.988959
MODAL	Mode	3	1.670755	-278.634353	-282.511774	-0.143338
MODAL	Mode	4	0.869222	-290.137347	71.829742	-8.673769
MODAL	Mode	5	0.777767	-103.288866	-345.056522	7.133293
MODAL	Mode	6	0.64828	346.263661	-119.766619	-10.902611
MODAL	Mode	7	0.603035	39.90551	227.785328	2.483271
MODAL	Mode	8	0.561871	94.989043	189.779764	4.44617
MODAL	Mode	9	0.519155	28.514457	-8.005469	-3.537932
MODAL	Mode	10	0.461183	-74.87073	57.025877	31.488386
MODAL	Mode	11	0.400739	-255.626413	-31.046739	-34.198159
MODAL	Mode	12	0.385249	-44.297938	134.105804	-27.309328

3.17.2. Reacciones en los apoyos

Estos valores permiten conocer la fuerza total aplicada en el modelo por cada uno de los análisis efectuados tanto estáticos como espectrales. La tabla 35 se muestra las reacciones o sollicitaciones en la base

Tabla 35. Reacciones en la base

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
MUERTA	LinStatic	-2.635E-08	2.979E-08	6164984.24	126047870	-235092112	0.000002196
MUERTA_AUX	LinStatic	2.672E-08	3.595E-07	10749188.78	213001772.6	-439941373	0.00001393

VIVA	LinStatic	6.196E-09	2.927E-08	2608426.4	53483557.86	-101907560	0.00000106
Fluido	LinStatic	-2.297E-09	1.337E-09	267337.48	3976574.14	-9714014.74	1.949E-07
Viva_cubierta	LinStatic	1.498E-10	1.64E-09	49600	1088310	-1841283	6.011E-08

3.18. Revisión demanda vs. capacidad y deriva

3.18.1. Revisión de columnas

En la Ilustración 3-11 se presentan los resultados del análisis de sobreesfuerzo que se producen sobre las columnas. Se puede observar que la estructura es vulnerable para resistir cargas laterales y se debe reforzar, existen columnas que en la relación de momento actuante/momento resistente son superiores hasta en un 20%. En el anexo de tablas se puede observar de donde se graficó sobreesfuerzos vs ubicación columnas.

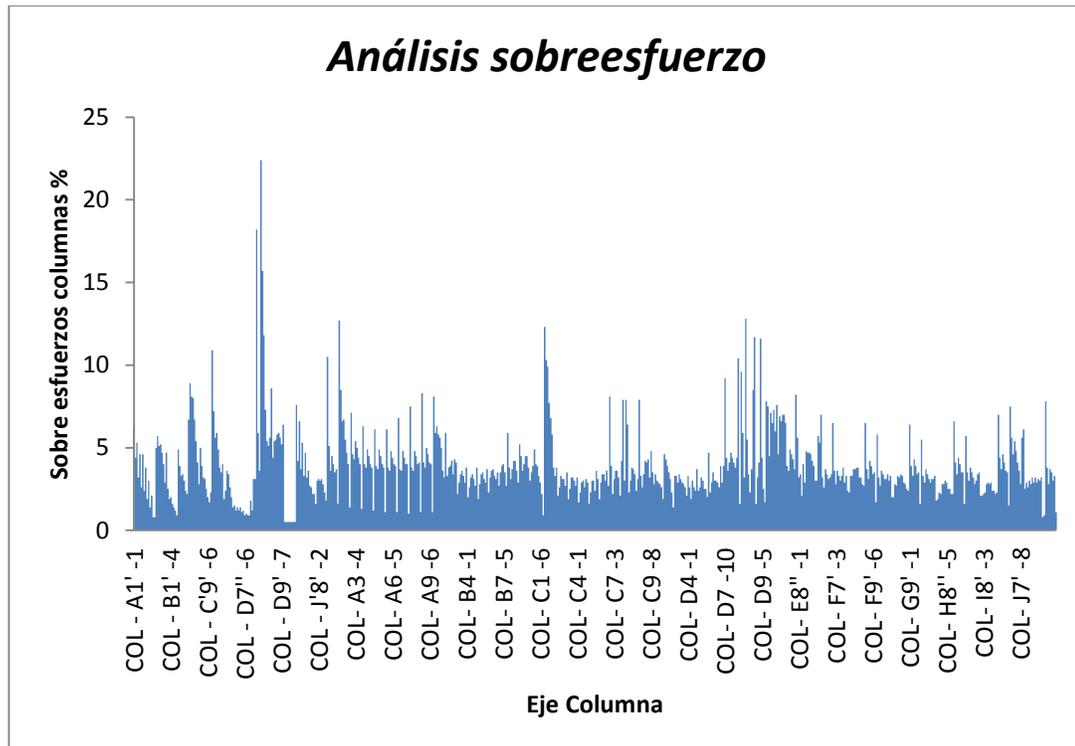


Ilustración 3-11: **Sobreesfuerzo Columnas**

3.18.2. Revisión de vigas

Al igual que con las columnas, en la ilustración 3-12 se muestra en la siguiente Ilustración el análisis de sobre esfuerzos que se producen sobre las vigas que conforman la estructura. En el anexo de tablas se puede observar de donde salió la gráfica.

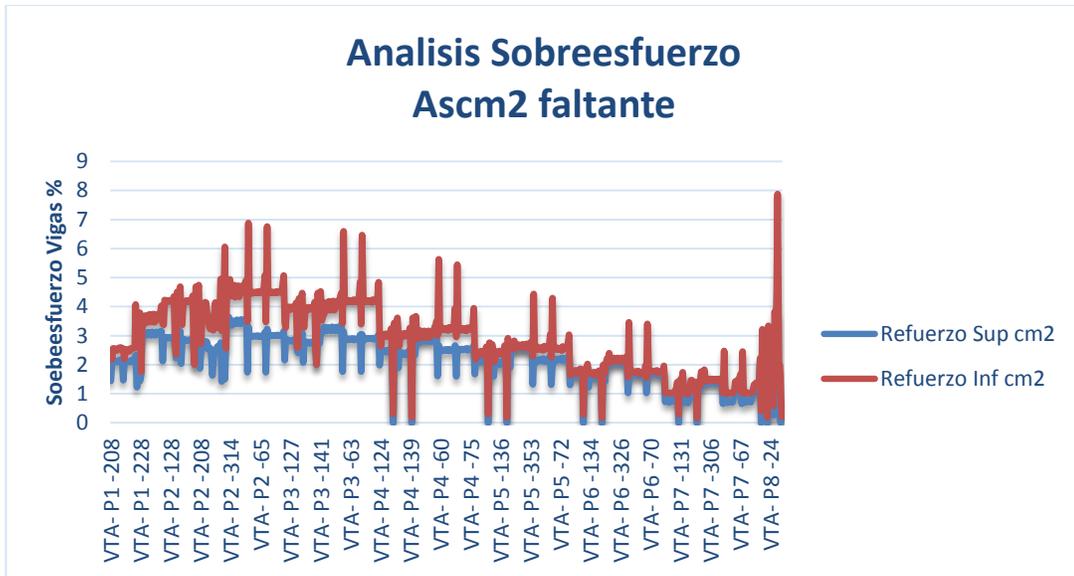


Ilustración 3-12: Sobreesfuerzo Columnas

3.18.3. Revisión de la deriva

En la siguiente Ilustración 3-13 se muestra los puntos tomados para determinar la deriva. Los puntos corresponden a los nudos de cada uno de los pisos en las dos esquinas mostradas, y como la estructura desde el tercer piso no cumple y en los pisos que más presentan deformación entre pisos son los pisos cinco y seis.

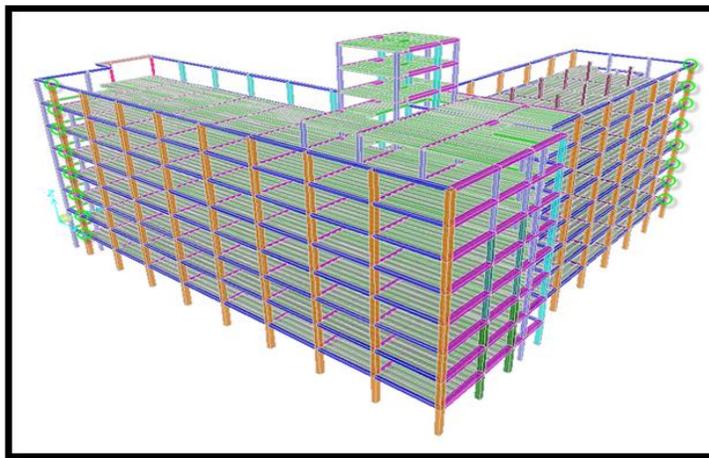


Ilustración 3-13: Revisión Deriva

La Ilustración 3-14 muestra en análisis de derivas que llegan hasta 2.50% y los pisos cuatro al seis son los que están sufriendo de una derivas más altas, En el anexo de tablas se puede observar de donde salió la gráfica.

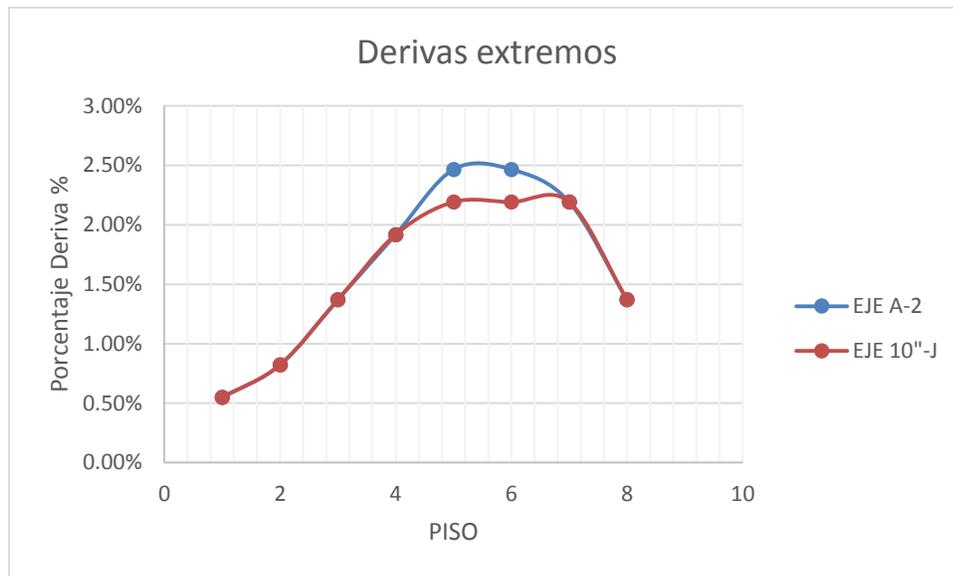


Ilustración 3-14: Revisión Deriva

3.19. Resultados vulnerabilidad

Una vez analizada la estructura se evidencio que la estructura presento problemas de flexibilidad y resistencia de manera acentuada en las columnas, lo que se evidencio en una deriva superior al 1%, existiendo índices incluso hasta del 2.5%. En algunas de las vigas que conforman las placas de entrepiso se presentan también sobreesfuerzos que implicarían la necesidad de reforzamiento.

Debido a que las placas de entrepiso no tienen vigas en uno de los dos sentidos de la estructura, es necesario agregar a ésta una sección adicional que nos garantice la rigidez en este sentido.

Se evidencia la necesidad de disminuir las cargas que existen en los niveles superiores, debidas a los tanques de almacenamiento de agua.

Igualmente se debió disminuir la mayor cantidad de muros en ladrillo tolete macizo, los cuales hacen parte de la carga muerta adicional, ya que esto incidió directamente sobre la masa de la edificación.

3.20. Reforzamiento estructural

3.20.1. Propuesta

En una primera fase del estudio se determinó el estado de vulnerabilidad que presenta la estructura, a partir del cual se adelantó una segunda fase que presentó una solución estructural a los problemas de sobre-esfuerzos y flexibilidad de la edificación. Se muestra a continuación los resultados obtenidos a partir del modelo estructural, que utilizó disipadores por fricción para el reforzamiento estructural del hospital, los cuales garantizaron que la estructura del edificio cumplió con las recomendaciones de la norma NSR-10 y otras normas internacionales (FEMA 274, ASCE-41, ATC-40) especializadas en diseño y reforzamiento sísmico de edificaciones.

Los disipadores de energía sísmica utilizados dentro del modelamiento de la edificación, tienen como función principal disipar la energía sísmica y por lo tanto su adición en una estructura reduce la demanda sísmica logrando, por lo tanto una importante reducción de esfuerzos, así como de desplazamientos. Tal como se muestra en la Ilustración 3-15, se reforzó la estructura en algunos pórticos en cada uno de los pisos que presentaron más alta vulnerabilidad, con la colocación de disipadores de energía por fricción, los desplazamientos estuvieron alrededor de 3.00 cm y sirvió para disminuir el efecto de la carga sísmica sobre la edificación. La Ilustración 3-16 muestra el modelo ya con los disipadores instalados se puede ver que en los últimos pisos no se necesitan disipadores debido a que los desplazamientos y cortantes de piso hacen que ya no se necesite.

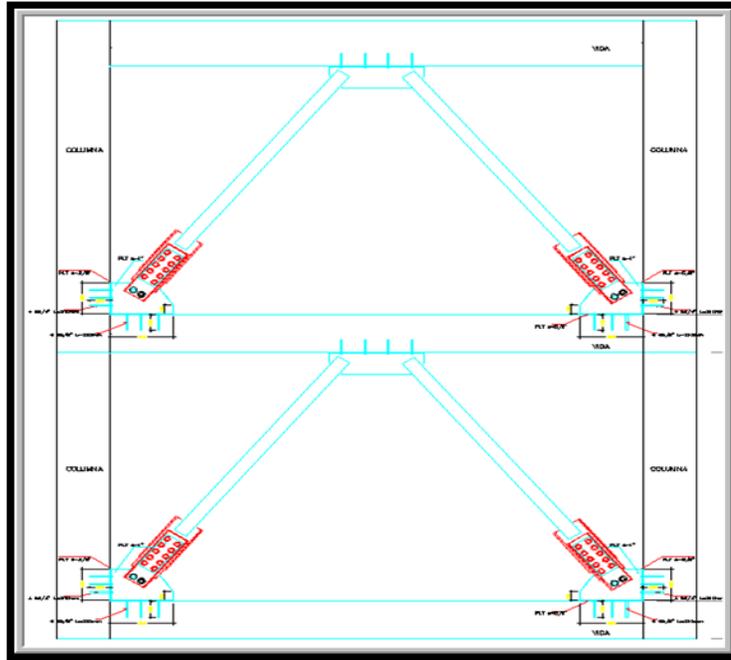


Ilustración 3-15: *ESQUEMA DISIPADORES*

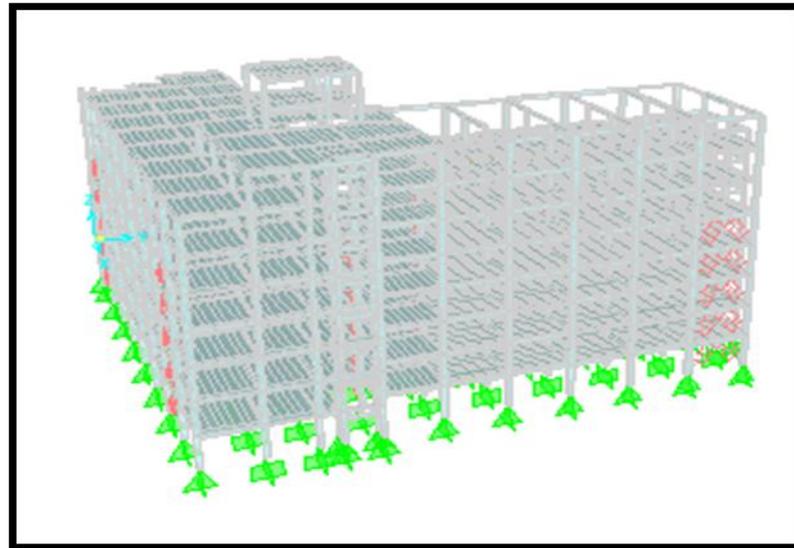


Ilustración 3-16: *MODELO CON DISIPADORES*

3.21. Geometría y secciones

Dentro del nuevo modelo estructural que hace parte de la alternativa de reforzamiento estructural, se utilizaron además de las secciones que se habían presentado inicialmente, los disipadores por fricción y perfiles tipo I en acero adosado a las columnas

donde se encontró mayores sobreesfuerzos. Se presenta a continuación la tabla 36 con las secciones del modelo.

Tabla 36. Nueva Secciones geométricas del modelo

TABLE: Frame Section Properties 01 - General						
SectionName	Material	Shape	t3	t2	Area	TorsConst
Text	Text	Text	m	m	m2	m4
APOYO	OTHER	Rectangular	0.2	0.2	0.04	0.000225
COL40X40-S1	CONC	Rectangular	0.4	0.4	0.16	0.003605
COL40X40-S2	CONC	Rectangular	0.4	0.4	0.16	0.003605
COL45X45	CONC	Rectangular	0.45	0.45	0.2025	0.005775
COL50X50	CONC	Rectangular	0.5	0.5	0.25	0.008802
COL50X60	CONC	Rectangular	0.5	0.6	0.3	0.012402
COL55X55	CONC	Rectangular	0.55	0.55	0.3025	0.012887
COLCIR40	CONC	Circle	0.4		0.125664	0.002513
HE240A	STEEL	I/Wide Flange	0.23	0.24	0.00768	0.000000421
VIG30X40	CONC	Rectangular	0.4	0.3	0.12	0.001944
VIG50X40	CONC	Rectangular	0.4	0.5	0.2	0.005474
VIG65X40	CONC	Rectangular	0.4	0.65	0.26	0.008555
VIG70X40	CONC	Rectangular	0.4	0.7	0.28	0.009605
VTA12X40	CONC	Rectangular	0.4	0.12	0.048	0.000187

3.22. Cargas

Dentro de la información necesaria para realizar la modelación de la estructura, se ingresó al modelo estructural de reforzamiento el valor de las cargas muertas, vivas y de sismo que están actuando sobre la edificación.

- Cargas Muertas Adicionales

Dentro de las propuestas que se hicieron para disminuir los problemas de sobreesfuerzo en columnas y vigas, lo cual a su vez condujeron a una disminución en los desplazamientos que presenta la estructura, está la de disminuir algunas cargas muertas adicionales, tales como tanque de agua y muros divisorios se desmontara gradualmente la mampostería tradicional por muros en construcción liviana.

Se muestra a continuación en la tabla 37 las nuevas cargas adicionales, que serán utilizadas dentro de la modelación estructural, la vulnerabilidad y el reforzamiento, lo que se hace favorable por el reforzamiento del hospital.

En el peso de los muros de mampostería que fueron considerados dentro del análisis de cargas muertas adicionales que actúan sobre la estructura, se considera una reducción del orden de 30% debido al aligeramiento de estos muros por cambio de material (muros livianos) esto se ha acordado previamente con la arquitectura y remodelación de los espacios, en el proceso de colocación de los dissipadores. Esta reducción permitió disminuir la masa de la edificación.

Tabla 37. Carga Muerta Adicional

Placa aligerada:			
Loseta superior	0.05	x	23 = 1.15 kN/m ²
Loseta inferior	0.03	x	23 = 0.69 kN/m ²
Viguetas	0.12	x 0.33	x 23 = 1.27 kN/m ²
0.72			
Casetón	0.35 = 0.35 kN/m ²		
Acabado + alistado	1.50 = 1.50 kN/m ²		
Muros divisorios	0.7	x 3.50	x 3.15 = 3.51 kN/m ²
2.2			
8.47 kN/m ²			

La Ilustración 3-17 muestra el modelo de la estructura cargada con carga muerta, adicionalmente se elimino la carga adicional del peso del tanque de reserva de agua ubicado en el último nivel de la edificación, este se eliminara en la remodelacion que se esta adelantando.

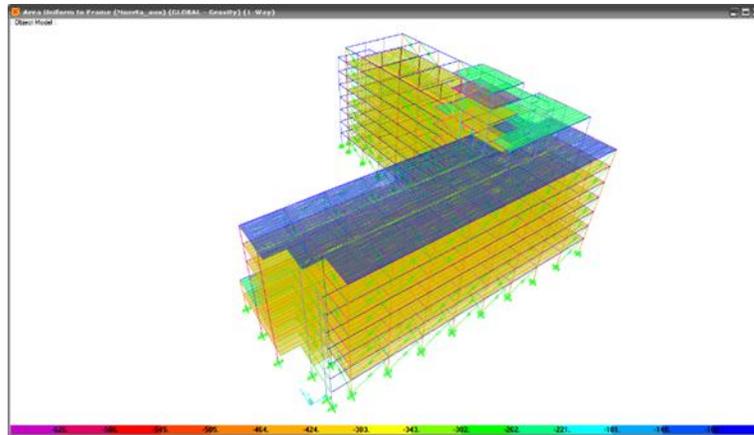


Ilustración 3-17: *MODELO CON CARGA MUERTA*

- Carga Viva

La carga viva que se utilizará dentro del modelo estructural de reforzamiento, es la misma que se utilizó en el modelo que sirvió como base para hacer el análisis de vulnerabilidad de la edificación.

La Ilustración 3-18 muestra el modelo de la estructura cargada con carga viva

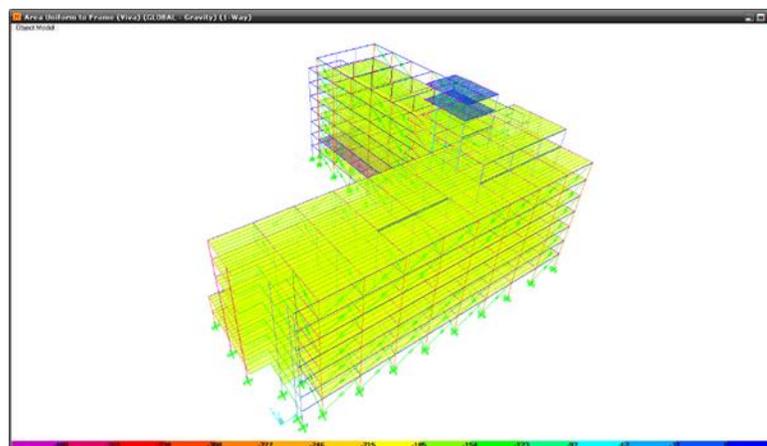


Ilustración 3-18: *MODELO CON CARGA SISMICA*

3.23. Carga sísmica

La carga sísmica no presento variaciones respecto a la utilizada en el modelo con el que se realizó el estudio de vulnerabilidad sísmica. Se hace el análisis sísmico dinámico con el espectro de la microzonificación y con el umbral de daño de la NSR 10.

3.23.1. Análisis modal

En la siguientes tablas 38 a 40 se puede observar el porcentaje de participación de las masas en cada uno de los modos de vibración de la edificación y el periodo principal de vibración bajo 38% lo que tradujo que las columnas están menos sobre esforzadas Ilustración 3-19.

Tabla 38. Participación Modal Con Disipadores

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	95.79
MODAL	Acceleration	UY	100	94.64
MODAL	Acceleration	UZ	0.031	0.0018

Tabla 39. Modos de Participación Con Disipadores

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Output Case	Step Type	Step Num	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.32	0.436	0.08	2.71E-09	0.436	0.08	2.17E-09
MODAL	Mode	2	1.187	0.16	0.53	9.52E-08	0.596	0.61	9.74E-08
MODAL	Mode	3	0.978	0.123	0.108	1.62E-06	0.719	0.718	1.72E-06
MODAL	Mode	4	0.619	0.101	0.012	0.000005	0.82	0.73	7.6E-06
MODAL	Mode	5	0.456	0.033	0.179	9.28E-06	0.852	0.909	0.000016
MODAL	Mode	6	0.356	0.105	0.038	1.24E-06	0.958	0.946	0.000018

Tabla 40. Modos periodos y frecuencias Con Disipadores

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1.324193	0.75518	4.7449	22.514
MODAL	Mode	2	1.187458	0.84214	5.2913	27.998

MODAL	Mode	3	0.978744	1.0217	6.4196	41.212
MODAL	Mode	4	0.61919	1.615	10.147	102.97
MODAL	Mode	5	0.456089	2.1926	13.776	189.78
MODAL	Mode	6	0.356742	2.8031	17.613	310.21

3.23.2. Reacciones en los apoyos

Estos valores permiten conocer la fuerza total aplicada en el modelo por cada uno de los análisis efectuados tanto estáticos como espectrales. En la tabla 41 debido a que se disminuyó masa de la edificación los momentos transmitidos en la base disminuyen 46%, esto resulta muy beneficioso para la edificación

Tabla 41. Reacciones en base

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
MUERTA	LinStatic	-2.749E-13	-4.341E-14	6057000	123923000	-232203000	-4.444E-12
MUERTA_AUX	LinStatic	1.624E-13	-3.045E-14	6039000	121642000	-231641000	-7.011E-13
VIVA	LinStatic	-7.771E-14	-1.043E-14	2452000	49750000	-94400000	1.24E-13
Viva_cubierta	LinStatic	6.649E-115	1.393E-16	50000	1088000	-1841000	-4.267E-14

3.24. Revisión de sobre-esfuerzo en columnas

En la Ilustración 3-19 se muestra a continuación los resultados del chequeo de sobreesfuerzo que se produjo sobre las columnas, se puede observar que las columnas casi todas están 95% están por debajo del 1%.

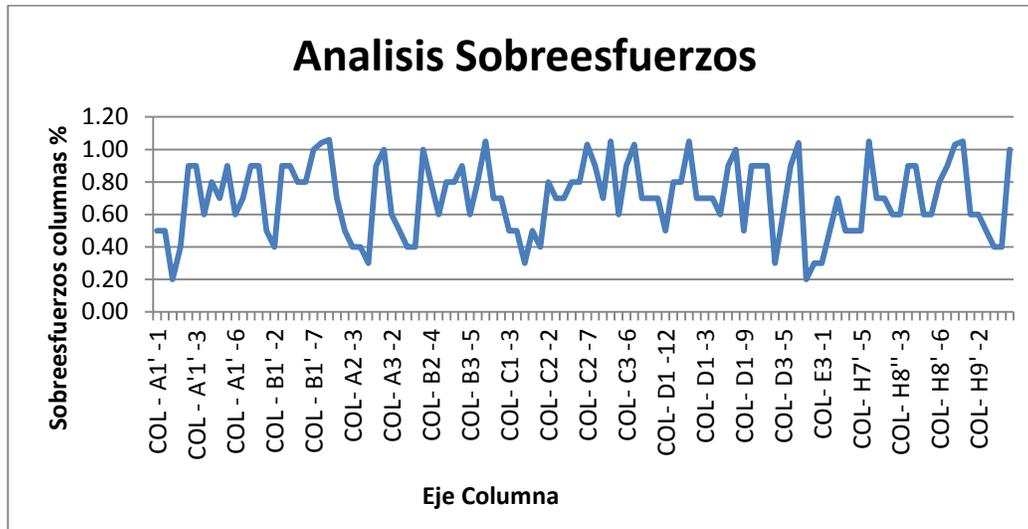


Ilustración 3-19: Análisis de Sobreesfuerzos

3.25. Revisión De La Deriva

En la ilustración No.3-19 se pueden ver los puntos tomados para determinar la deriva. Los puntos corresponden a los nudos ubicados en cada uno de los pisos ubicados en las cuatro esquinas de la edificación.

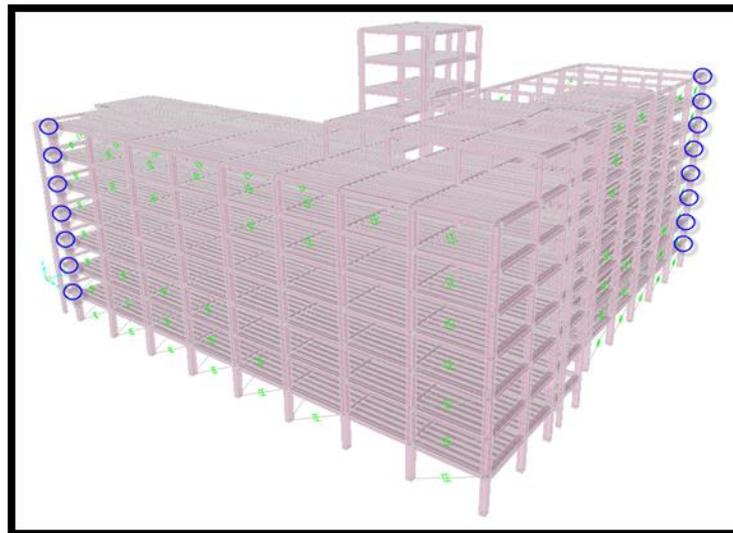


Ilustración 3-20: Revisión Deriva Con Disipadores

Tabla 42. Análisis Deriva Con Disipadores
Derivas en las columnas ubicadas en el eje 2ª

h =	3.65	m	Deslazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Y	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
3488	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.05	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.05	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.034	0.012	3.64	3.65	1.0%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.035	-0.011	3.65	3.65	1.0%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.004	0.022	2.21	3.65	0.6%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.005	-0.021	2.14	3.65	0.6%
	7	0.9D+Sx Max	0.034	0.012	3.64	3.65	1.0%
	8	0.9D+Sx Min	-0.035	-0.011	3.65	3.65	1.0%
	9	0.9D+Sy Max	0.004	0.022	2.20	3.65	0.6%
	10	0.9D+Sy Min	-0.005	-0.021	2.15	3.65	0.6%
h =	3.65	m	Deslazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Y	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
2951	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.041	0.014	4.0	3.65	1.1%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.041	-0.014	4.0	3.65	1.1%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.006	0.027	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.006	-0.027	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.041	0.014	4.0	3.65	1.1%
	8	0.9D+Sx Min	-0.041	-0.014	4.0	3.65	1.1%
	9	0.9D+Sy Max	0.006	0.027	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.006	-0.027	2.0	3.65	0.5%
h =	3.65	m	Deslazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
2414	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.026	0.009	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.026	-0.008	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.004	0.020	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.004	-0.020	1.0	3.65	0.3%
	7	0.9D+Sx Max	0.026	0.009	2.0	3.65	0.5%
	8	0.9D+Sx Min	-0.026	-0.008	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.004	0.020	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.004	-0.020	2.0	3.65	0.5%

h =	3.65	m	Deslazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h

1877	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.028	0.008	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.027	-0.008	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.005	0.021	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.005	-0.020	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.028	0.008	2.0	3.65	0.5%
	8	0.9D+Sx Min	-0.027	-0.008	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.005	0.021	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.005	-0.021	2.0	3.65	0.5%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
1340	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.031	0.008	3.0	3.65	0.8%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.031	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.005	0.022	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.005	-0.022	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.031	0.008	3.0	3.65	0.8%
	8	0.9D+Sx Min	-0.031	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	9	0.9D+Sy Max	0.005	0.022	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.005	-0.022	2.0	3.65	0.5%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
754	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.034	0.007	3.0	3.65	0.8%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.034	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.005	0.024	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.005	-0.024	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.034	0.007	3.0	3.65	0.8%
	8	0.9D+Sx Min	-0.034	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	9	0.9D+Sy Max	0.005	0.024	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.005	-0.024	2.0	3.65	0.5%

h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
155	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.032	0.007	3.0	3.65	0.8%

	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.032	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.004	0.026	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.004	-0.026	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.032	0.007	3.0	3.65	0.8%
	8	0.9D+Sx Min	-0.032	-0.007	3.0	3.65	0.8%
	9	0.9D+Sy Max	0.004	0.026	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.004	-0.026	2.0	3.65	0.5%

- Derivas en las columnas del eje 9'J

h = 3.65		m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
4127	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.008	0.004	0.0	3.65	0.0%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.008	-0.004	0.0	3.65	0.0%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.002	0.016	1.0	3.65	0.3%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.002	-0.017	1.0	3.65	0.3%
	7	0.9D+Sx Max	0.008	0.004	0.0	3.65	0.0%
	8	0.9D+Sx Min	-0.008	-0.004	0.0	3.65	0.0%
	9	0.9D+Sy Max	0.002	0.017	1.0	3.65	0.3%
	10	0.9D+Sy Min	-0.002	-0.017	1.0	3.65	0.3%

h = 3.65		m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
3951	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.015	0.008	1.0	3.65	0.3%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.015	-0.008	1.0	3.65	0.3%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.005	0.029	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.005	-0.028	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.015	0.008	1.0	3.65	0.3%
	8	0.9D+Sx Min	-0.015	-0.008	1.0	3.65	0.3%
	9	0.9D+Sy Max	0.005	0.029	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.005	-0.029	2.0	3.65	0.5%

h = 3.65		m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
3414	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.015	0.009	1.0	3.65	0.3%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.015	-0.009	1.0	3.65	0.3%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.006	0.036	3.0	3.65	0.8%

	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.006	-0.035	3.0	3.65	0.8%
	7	0.9D+Sx Max	0.015	0.009	1.0	3.65	0.3%
	8	0.9D+Sx Min	-0.015	-0.009	1.0	3.65	0.3%
	9	0.9D+Sy Max	0.006	0.036	3.0	3.65	0.8%
	10	0.9D+Sy Min	-0.006	-0.035	3.0	3.65	0.8%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
2877	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.019	0.006	1.0	3.65	0.3%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.018	-0.006	1.0	3.65	0.3%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.006	0.025	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.006	-0.025	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.019	0.006	1.0	3.65	0.3%
	8	0.9D+Sx Min	-0.018	-0.006	1.0	3.65	0.3%
	9	0.9D+Sy Max	0.006	0.025	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.006	-0.025	2.0	3.65	0.5%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
2340	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.022	0.006	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.021	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.007	0.026	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.007	-0.026	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.022	0.006	2.0	3.65	0.5%
	8	0.9D+Sx Min	-0.021	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.007	0.026	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.007	-0.026	2.0	3.65	0.5%

h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
1803	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.023	0.006	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.022	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.007	0.029	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.007	-0.029	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.023	0.006	2.0	3.65	0.5%

	8	0.9D+Sx Min	-0.022	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.007	0.029	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.007	-0.029	2.0	3.65	0.5%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
1266	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.025	0.006	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.024	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.007	0.030	3.0	3.65	0.8%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.006	-0.030	3.0	3.65	0.8%
	7	0.9D+Sx Max	0.025	0.006	2.0	3.65	0.5%
	8	0.9D+Sx Min	-0.024	-0.006	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.007	0.030	3.0	3.65	0.8%
	10	0.9D+Sy Min	-0.006	-0.030	3.0	3.65	0.8%
h =	3.65	m	Desplazamientos (m)		Deriva	Revisión	
Nodo	Carga No.	Combinación	X	Z	Absoluta (cm)	1%h	Razón □/h
676	1	1.4(D+F)	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	2	1.2(D+F)+1.6L+0.5Lr	0.000	0.000	0.0	3.65	0.0%
	3	1.2D+1Sx+0.5L Max	0.024	0.005	2.0	3.65	0.5%
	4	1.2D+1Sx+0.5L Min	-0.024	-0.005	2.0	3.65	0.5%
	5	1.2D+1Sy+0.5L Max	0.006	0.028	2.0	3.65	0.5%
	6	1.2D+1Sy+0.5L Min	-0.006	-0.028	2.0	3.65	0.5%
	7	0.9D+Sx Max	0.024	0.005	2.0	3.65	0.5%
	8	0.9D+Sx Min	-0.024	-0.005	2.0	3.65	0.5%
	9	0.9D+Sy Max	0.006	0.028	2.0	3.65	0.5%
	10	0.9D+Sy Min	-0.006	-0.028	2.0	3.65	0.5%

Las derivas después de introducir los disipadores de fricción cumplieron quedando la mayor en 0.80%, lo que nos llevó a concluir que los amortiguadores están en sus cargas de deslizamiento optimas y más del 28% del amortiguamiento lo estamos tomando con un mecanismo externo a la edificación

3.26. Comportamiento resistente de la estructura con Amortiguadores de fricción AF en Hospital San Juan De Dios

Los Amortiguadores de fricción AF suministraron a la estructura varios ciclos de carga-descarga, constituyéndose en una disipación de energía a los sismos, presentando

derivas que bajaron 30% cumpliendo con la NSR-10 y menores desplazamientos totales, por lo tanto menores esfuerzos en los elementos columnas casi del 95% por debajo del 1%.

Este proyecto del hospital San Juan de Dios presento los resultados finales positivos de un proyecto de reforzamiento de un edificio de 9 plantas, 6700 m² de construcción, aporticado y en concreto reforzado con relativamente pocos disipadores 1 por cada 33 metros cuadrados.

El proyecto contempló inicialmente la solución con diagonales de acero tipo Chevron (X) con perfiles sección W de acero Corten , no obstante debido al alto número de diagonales necesarias y su impacto de instalación en obra , así como su costo, se analizó la alternativa de reforzar únicamente con amortiguadores de fricción (AF) . Como resultado final se observaron reducciones de casi el 50% en los desplazamientos totales sin considerar comportamiento inelástico, de la estructura para el mismo grado de disipación de energía, reduciendo a su vez considerablemente las derivas de piso, y reducciones de más del 30% en el nivel de mayor deriva con relación a la estructura sin reforzar.

Bajo la misma condición anterior se evaluaron las envolventes de momento promedio por piso y se observaron reducciones hasta del 47% en los momentos generados en los elementos de la estructura con los amortiguadores de fricción AF frente a las diagonales Chevron, y hasta algo más del 60% con la estructura sin reforzar.

En las ilustraciones 3-21 se muestra un registro fotográfico del hospital San Juan de Dios la fachada de la edificación y como se instalan disipadores en V invertida se puede ver el detalle del anclaje a piso con pernos epóxicos.

En las ilustraciones 3-22 se muestra disipadores de 500kN listos para instalar en el hospital, en la ilustración 3-23 se puede observar los corredores del hospital como quedan ya instalados los disipadores.

3.27. Registro Fotográfico

Ilustración 3-21: *Fachada instalación disipadores*



Ilustración 3-22: *Disipador 50 Ton*

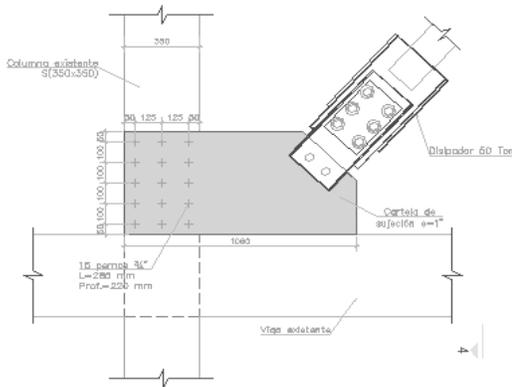


Ilustración 3-23: *Disipadores Instalados*

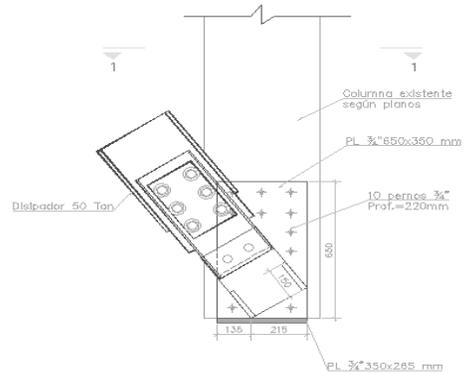


En las Ilustraciones 3-24 se muestran detalles realizados de esquemas de disipadores, para instalación en sitio, para cada proyecto se estudia las condiciones y se elaboran detalles de instalación

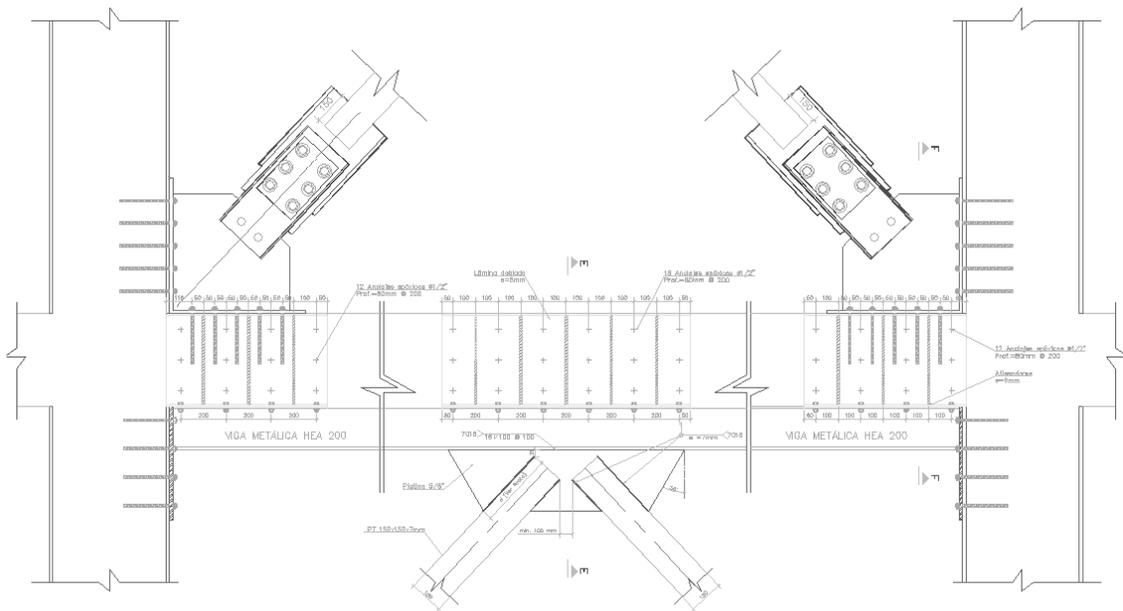
Ilustración 3-24: Esquemas disipadores



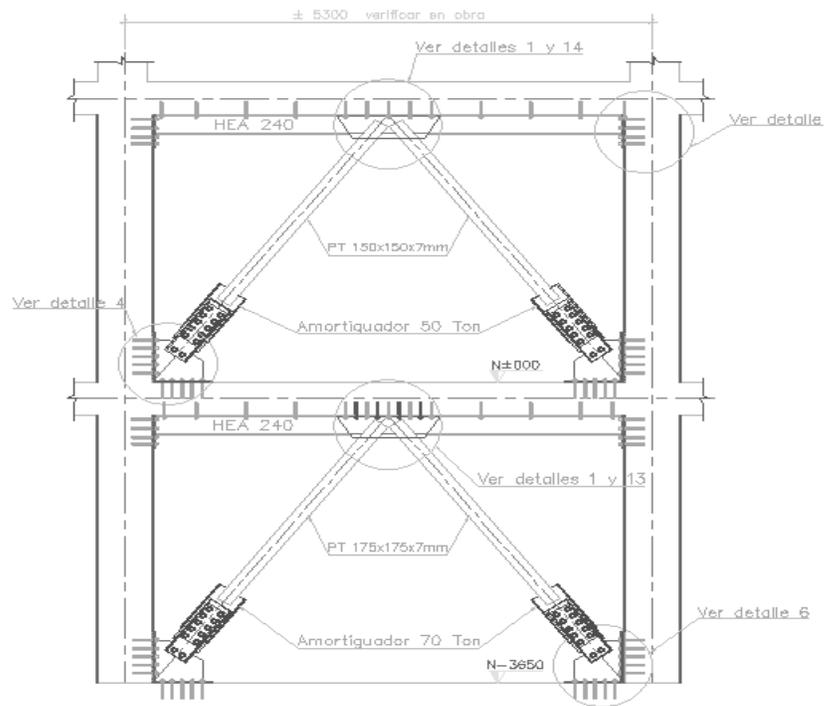
DETALLE 29
 CONEXIÓN TÍPICA DISIPADOR 50 Ton
 INSTALADO SOBRE LA CARA DE LA
 COLUMNA S(350x350)
 OPCIÓN 1
 Escala 1:20



DETALLE 20
 CONEXIÓN TÍPICA SUPERIOR DISIPADORES 50Ton
 UBICADOS EN FACHADA
 OPCIÓN C
 Escala 1:20



DETALLE 19A
 CONEXIÓN TÍPICA SUPERIOR DISIPADORES 50Ton
 POR COSTADO DE FACHADA
 Escala 1:12.5



DETALLE

Vista ampliada de instalación típica de
disipadores en "V" con viga metálica
HEA 240, Luz= 5300 mm
Escala 1:75

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Esta metodología con amortiguadores de fricción ampliamente utilizada en Estados Unidos, Canadá y Europa pero poco utilizada en Colombia demuestra ser una alternativa de reforzamiento para las edificaciones del grupo IV, con aproximadamente entre por cada 25 a 35 metros cuadrados un disipador esto daría costos en un orden de 40 % más económica, que es muy favorable en el entorno de nuestro país proveyendo gran capacidad de disipación de energía, implicando utilización de pocos amortiguadores.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que Las edificaciones presentaban un grado de vulnerabilidad alta a eventos sísmicos de diseño. Luego de realizar el reforzamiento con disipadores por fricción; las estructuras presentan un grado de desempeño adecuado ante cargas sísmicas.
- De las diferentes combinaciones de ubicación de disipadores estudiadas, teniendo en cuenta los criterios de optimización de espacios arquitectónicos, desempeño y ductilidad de la estructura, prioridad de cortante de piso en columnas, minimización de secciones a reforzar, facilidades de acceso y de reforzamiento, se debe optar por aquellas disposiciones que generan una menor intervención arquitectónica y un buen desempeño estructural.
- Los amortiguadores de fricción disminuyeron notoriamente las derivas (apaciguando el movimiento) y por lo tanto también lograron reducción de esfuerzos en los elementos de concreto reforzado. El dimensionamiento y características de

tensionamiento de los amortiguadores para este reforzamiento está en 500 y 700 kN con carreras máximas de trabajo del orden de 3.0 cm.

- Aunque no basta con la instalación simplemente de éstos dispositivos para contrarrestar los problemas de resistencia que poseen los elementos estructurales, particularmente las columnas; por esta razón se requiere mejorar la capacidad a flexión y cortante de estos elementos, con unas platinas de acero
- Puede ser necesario realizar Obras complementarias a la colocación de disipadores pueden requeridas, tales como reforzamiento de la cimentación de ser necesario, de algunas columnas y vigas con el fin de aumentar su capacidad de carga axial y de resistir mayores momentos flectores; todo esto se debe realizar especialmente en los elementos vinculados a la colocación de disipadores, donde habrá una mayor concentración de esfuerzos.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que este trabajo sea ampliado en su investigación con unos ensayos de laboratorio de los disipadores de fricción para estudiar su comportamiento, realizar una investigación a fondo del comportamiento en los nudos de unión viga columna, cuando están actuando los disipadores e investigar que pasa en sustrato base y la cimentación.
- Se recomienda que se realicen investigaciones de este tipo con amortiguadores viscosos y de base también ampliamente aplicados en estos países desarrollados

5. Bibliografía

1. **Mayorga Vela, Carlos Alberto.** *Tesis Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido. parte 2.* Bogotá : Universidad Nacional De Colombia, 2011.
2. **VILLARREAL CASTRO, Gernner y OVIEDO SARMIENTO, Ricardo.** *Edificaciones Con Disipadores Energía.* Lima : s.n., 2009.
3. **Pall, Dr. avatar.** <http://www.palldynamics.com/FrictionDampers.htm>. [En línea] 2013.
4. **GARCIA REYES, Luis Enrique.** *Dinámica Estructural Aplicada Al Diseño.* Bogotá : Universidad De Los Andes, 1998.
5. **Pall, Dr avatar y Pall, R. Tina.** *PERFORMANCE-BASED DESIGN USING PALL FRICTION DAMPERS AN ECONOMICAL DESIGN SOLUTION.* Vancouver, Canada : 13 World Conference on Earthquake Engineering, 2004.
6. **Dr Filiatrault, Andre y Dr. Cherry, Sheldon.** *“Performance Evaluation of Friction Damped Braced Steel Frames Under Simulated Earthquake Loads”.* Vancouver, Canadá : University of British Columbia, 1985.
7. **Aike, Ian D, James M, Kelly. y Avtar S, Pall.** *SEISMIC RESPONSE OF A NINE-STORY STEEL FRAME WITH FRICTION DAMPED CROSS-BRACING.* Berkeley, USA : University of California, 1987.
8. **273-356-357, FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY FEMA.** *NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS.* Washington, D.C. : s.n., 1997-2000.
9. **American Society of Civil Engineers.** *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings Standards ASCE/SEI 41-13.* 2013.
10. **PANTOJA MORALES, Luis Enrique.** *Tesis Últimos avances sobre estudios referentes a dispositivos disipadores de energía sísmica.* Puebla : s.n., Abril 1998.

6.Anexos Tablas

7. Anexos Planos
